

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
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ТРУБОПРОВОДА С ИМИТАЦИЕЙ УТЕЧЕК

УДК 004.896:530.17:621.643

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8Б	Федотов Александр Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Зебзеев Алексей Григорьевич	к.т.н., доцент		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Тутов Иван Андреевич	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения

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

Код компетенции	Наименование компетенции
	жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа.
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-9	Способен определять номенклатуру параметров продукции и технологических процессов ее изготовления, подлежащих контролю и измерению, устанавливать оптимальные нормы точности продукции, измерений и достоверности контроля, разрабатывать локальные поверочные схемы и выполнять проверку и отладку систем и средств автоматизации технологических процессов, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, а также их ремонт и выбор; осваивать средства обеспечения автоматизации и управления
ПК(У)-10	Способен проводить оценку уровня брака продукции, анализировать причины его появления, разрабатывать мероприятия по его предупреждению и устранению, по совершенствованию продукции, технологических процессов, средств автоматизации и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, систем экологического менеджмента предприятия, по сертификации продукции, процессов, средств автоматизации и управления
ПК(У)-11	Способен участвовать: в разработке планов, программ, методик, связанных с автоматизацией технологических процессов и производств, управлением процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, инструкций по эксплуатации оборудования, средств и систем автоматизации, управления и сертификации и другой текстовой документации, входящей в конструкторскую и технологическую документацию, в работах по экспертизе технической документации, надзору и контролю за состоянием технологических процессов, систем, средств автоматизации и управления, оборудования, выявлению их резервов, определению причин недостатков и возникающих неисправностей при эксплуатации, принятию мер по их устранению и повышению эффективности использования
ПК(У)-18	Способен аккумулировать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции, компьютерных систем управления ее качеством,
ПК(У)-19	Способен участвовать в работах по моделированию продукции, технологических процессов, производств, средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизированного проектирования, по разработке алгоритмического и программного обеспечения средств и систем автоматизации и управления процессами
ПК(У)-20	Способен проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять описания выполненных исследований и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций
ПК(У)-21	Способен составлять научные отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области автоматизации технологических процессов и производств, автоматизированного управления жизненным циклом продукции и ее качеством
ПК(У)-22	Способен участвовать: в разработке программ учебных дисциплин и курсов на основе изучения научной, технической и научно-методической литературы, а также собственных результатов исследований; в постановке и модернизации отдельных лабораторных работ и практикумов по дисциплинам профилей направления; способностью проводить отдельные виды аудиторных учебных занятий (лабораторные и практические), применять новые образовательные технологии, включая системы компьютерного и дистанционного обучения

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Громаков Е.И.
 (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
8Т8Б	Федотову Александру Дмитриевичу

Тема работы:

Автоматизированный исследовательский стенд физического подобия трубопровода с имитацией утечек	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№47-13/с от 16.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является процесс разработки программно-аппаратного комплекса для управления стендом физического подобия, имитирующего длинный трубопровод с возможными утечками. Предназначение стенда – имитация трубопроводов различной длины, исследование процесса утечек и методов её обнаружения.
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Описание технологического процесса; Разработка схемы соединения внешних проводок; Разработка функциональной схемы автоматизации; Выбор средств КИПиА для реализации стенда; Разработка программного обеспечения для программируемого логического контроллера М580 для управления стендом. Сборка стенда и программирование ПЛК
---	---

Перечень графического материала	Функциональная схема автоматизации; Схема внешних проводок; Трёхмерная модель стенда; Программа работы ПЛК
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Креницына Зоя Васильевна, доцент ОСГН ШБИП, к.т.н.
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, старший преподаватель ООД

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
Заключение (Conclusion)

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

Задание выдал руководитель / консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Зебзеев Алексей Григорьевич	к.т.н.		
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Тутов Иван Андреевич	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8Б	Федотов Александр Дмитриевич		

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

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

Период выполнения – осенний / весенний семестр 2021 /2022 учебного года
 Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела	Максимальный балл раздела
31.05.2022	Основная часть	60
10.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
23.05.2022	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Зебзеев Алексей Григорьевич	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Тутов Иван Андреевич	—		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Евгений Иванович	К.Т.Н., доцент		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Т8Б	Федотову Александру Дмитриевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя – 37 700 руб. Оклад инженера – 19 200 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы – 20% Районный коэффициент – 30% Норма амортизации – 33,3%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30%
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование проекта, анализ конкурентных решений, SWOT-анализ
2. Планирования процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение трудоёмкости работ, планирование выполнения работ по проекту, формирование бюджета затрат.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка сравнительной эффективности исследования. Интегральный финансовый показатель – 0,59 Интегральный показатель ресурсоэффективности – 7,64
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. График проведения и бюджет НТИ 4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ 	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02
---	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Учёная степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н., доцент		

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8Б	Федотов Александр Дмитриевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
8Т8Б		Федотов Александр Дмитриевич	
Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	<i>15.03.04. Автоматизация технологических процессов и производств</i>

Тема ВКР:

Автоматизированный исследовательский стенд физического подобия трубопровода с имитацией утечек

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение

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

Объект исследования: автоматизированный стенд физического подобия трубопровода с имитацией утечек.

Область применения: исследование гидродинамических процессов (утечка, запаздывание).

Рабочая зона: лаборатория отделения ОАР, ИШИТР.

*Размеры помещения: 7,5*5.5 м.*

Количество и наименование оборудования рабочей зоны: паяльник для сварки полипропиленовых труб, сверлильный станок, программируемый логический контроллер Modicon M580.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: сборка стенда физического подобия, монтаж релейных схем и разработка и отладка программного обеспечения для ПЛК Modicon M580, создание электрического распределительного щита.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации

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

Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ
ГОСТ 12.2.032-78 «Рабочее место при выполнении работ сидя».

ГОСТ 12.2.033-78 «Рабочее место при выполнении работ стоя».

ГОСТ Р 58471-2019 «Слаботочные системы. Кабельные системы. Создание и эксплуатация кабельных систем помещений заказчиков».

СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

2. Производственная безопасность при эксплуатации:

Опасные факторы

<ul style="list-style-type: none"> - Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов; - Обоснование мероприятий по снижению воздействия. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека. 2. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей потенциалов, под действие которого попадает рабочий; 3. Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение твёрдых, сыпучих, жидких объектов на работающего; 4. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твёрдых объектов. <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень шума; 2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: использование защитных перчаток, полуперчаток, очков, наушников, берушей.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p>Воздействие не селитебную зону: загрязнение помещения рабочей жидкостью при аварии.</p> <p>Воздействие на литосферу: твёрдые отходы при утилизации оборудования.</p> <p>Воздействие на гидросферу: попадание отходов при утилизации оборудования в сточные воды.</p> <p>Воздействие на атмосферу: испарение части рабочей жидкости.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС: Взрыв баллона, находящегося под давлением; Отравление персонала химическим веществом вследствие разгерметизации системы; Техногенные аварии (пожар при коротком замыкании в электрической цепи)</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 26.02.2022</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		26.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т8Б	Федотов Александр Дмитриевич		26.02.2022

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 91 страницы, содержит 25 рисунков, 22 таблицы, 23 источника литературы, 1 приложение и 3 схемы.

Ключевые слова: стенд, утечка, имитация, давления, регулирование, автоматизация, трубопровод, подобие.

Объектом исследования является процесс разработки программно-аппаратного комплекса для управления стендом физического подобия, имитирующего длинный трубопровод с возможными утечками.

Целью работы является разработка автоматизированного исследовательского стенда физического подобия длинного трубопровода с имитацией утечек.

В результате проведённой работы был разработан проект автоматизированного исследовательского стенда физического подобия трубопровода с возможностью имитации утечек, приведены решения по автоматизации работы стенда, а также проведён выбор датчиков и исполнительных устройств, разработаны схемы: автоматизации, соединения внешних проводов.

Разработанный стенд может применяться для исследования процессов определения местоположения и объёма утечки, а также в учебных целях.

Для выполнения выпускной квалификационной работы использовались программные продукты Microsoft Word, КОМПАС-3D, SolidWorks, Control Expert.

Задание на ВКР выполнено в полном объёме и разработка соответствует заданию на проектирование.

Содержание

Определения, сокращения, обозначения	14
Введение	15
1 Технические требования к стенду физического подобия	17
1.1 Метод определения утечек, исследуемый с помощью стенда	17
1.2 Требования к функционалу стенда	18
1.3 Требования к техническим компонентам стенда	18
1.4 Требования к информационному обеспечению	19
2 Разработка структурной схемы автоматизации	21
3 Разработка функциональной схемы автоматизации	23
4 Выбор средств автоматизации	24
4.1. Выбор регулирующих клапанов	24
4.2. Программируемое логическое устройство	26
4.3. Выбор расходомера	27
4.4. Выбор компрессора	28
4.5. Выбор отсечного клапана	30
4.6. Выбор насосов	32
4.7. Выбор датчиков давления	34
5 Разработка схемы внешних проводок	35
6 Описание работы стенда	37
7 Разработка ПО	41
7.1 Описание среды разработки	41
7.2 Настройка целевой платформы	41
7.3 Управление дискретными сигналами	42
7.4 Управление аналоговыми сигналами	44
9 Финансовый менеджмент	49
9.1 Потенциальные потребители результатов исследования	49
9.2 Анализ конкурентных решений	50
9.3 SWOT-анализ	51
9.4 Планирование научно-исследовательских работ	53

9.4.1 Структура работ в рамках научного исследования	53
9.4.2 Определение трудоёмкости выполнения работ	55
9.5 Бюджет научно-технического исследования	59
9.5.1 Расчёт материальных затрат НТИ	59
9.7 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	68
10 Социальная ответственность.....	69
10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	69
10.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	69
10.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	70
10.2 Производственная безопасность.....	70
10.2.1 Производственные факторы.....	71
10.2.2 Действие силы тяжести при падении предметов на рабочего.....	72
10.2.3 Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твёрдых предметов	73
10.2.4 Повышенный уровень шума.....	73
10.2.5 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	
74	
10.3 Экологическая безопасность.....	75
10.3.1 Влияние объекта исследования на гидросферу.....	76
10.3.2 Влияние объекта исследования на литосферу	76
10.3.3 Влияние объекта исследования на атмосферу	77
10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	78
10.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	78
10.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	78
10.5 Вывод по разделу «Социальная ответственность».....	79
Заключение.....	80

Conclusion.....	81
Список литературы.....	82
Приложение А (обязательное) Виды трёхмерной модели.....	85

Определения, сокращения, обозначения

Ниже перечислены термины, сокращения и обозначения, используемые в работе, с соответствующими определениями.

Автоматизированная система управления технологическим процессом – программно-аппаратный комплекс, состоящих из программных и технических средств, предназначенный для управления каким-либо технологическим процессом.

Объект управления – устройство или динамический процесс, чье поведение подвергается управлению системы автоматического управления.

Программируемый логический контроллер – самостоятельное устройство, ориентированное на работу с машинами, датчиками и исполнительными устройствами через развитую систему ввод-вывод, использующееся для автоматизации технологических процессов.

Функциональная схема автоматизации – технический документ, на котором схематически и условными обозначениями изображены технологическое оборудование, коммуникации, органы управления и средства автоматизации с обозначением взаимосвязей между элементами.

Схема соединений внешних проводок – комбинированная схема, показывающая электрические связи между приборами и средствами автоматизации

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

ТЗ – техническое задание;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ФСА – функциональная схема автоматизации;

КИП – контрольно-измерительные приборы;

ПК – персональный компьютер.

САУ – система автоматического управления

SCADA – (*Supervisory Control And Data Acquisition*) диспетчерское управление и сбор данных.

Введение

Важность нефтегазовой промышленности для экономики Российской Федерации и для многих других государств невозможно отрицать. Успехи в этой сфере во многом определяют благополучие государств и направление их внешней политики. Тем не менее, ошибки, которые неизбежно допускаются в любых сферах деятельности человека, применительно к нефтегазовому делу, приводят не только к подрыву доверия партнёров, но и к большим экономическим убыткам, которые несёт как предприятие-поставщик, так и предприятие, для которого доставка предполагалась.

В связи со сложностью оборудования, касающегося указанной сферы и используемого в ней, немалая его часть производится не просто на нескольких предприятиях, но и в нескольких странах, что не позволяет существовать уверенности в поставках и своевременном обновлении программного обеспечения со стороны поставщиков. Поэтому, в связи со сложившейся ситуацией, наиболее дальновидным и, в некоем роде, правильным методом защиты от последствий нестабильности является развитие собственного производства сложного технического оборудования и проведение собственных исследований в области, в которой ошибка может стоить очень многого.

Одной из проблем нефтегазовой отрасли, требующих решения, являются утечки в длинных участках трубопровода, из-за которых происходит потеря объёма перекачиваемой нефтегазовой смеси, разрушение окружающей место утечки флоры и фауны ввиду разлива углеводородов, а также большие экономические убытки. Естественно, полностью искоренить возможность возникновения утечки нельзя, однако существуют методы скорейшего обнаружения места утечки, применение которых позволит сократить время ремонта и устранения пробойны. Сокращение времени на обнаружение и ремонт трубопровода критически важно, так как утечка может произойти в далёкой от населённых пунктов точке, что потребует довольно продолжительного времени на проведение поисковых и ремонтных работ.

В связи со всем вышеописанным, раскрывается актуальность выбранной для выпускной квалификационной работы темы и цели. Цель работы – разработать стенд физического подобия трубопровода для исследования систематического выявления утечек. Соответственно, для реализации цели были поставлены следующие задачи:

- рассмотреть алгоритмы выявления утечек;
- рассмотреть аналоги стендов для выявления утечек;
- разработать функциональную схему автоматизации, определить точки автоматизации и требования к системе;
- провести подбор и выбор элементной базы;
- разработать программное обеспечение для стенда физического подобия.

Таким образом, выполнив все задачи, поставленные для достижения обозначенной цели, разработка стенда будет завершена.

1 Технические требования к стенду физического подобия

1.1 Метод определения утечек, исследуемый с помощью стенда

Метод определения утечки по изменению профиля давления вдоль трубопровода базируется на фиксации понижения давления в случае возникновения утечки на контролируемом участке [1]. Метод позволяет определить такие параметры утечки, как её координата и массовый расход. Предполагается, что алгоритм определения может быть реализован с помощью четырёх датчиков давления, расположенных по длине трубопровода соответствующим образом, изображённом на рисунке 1.1.1.

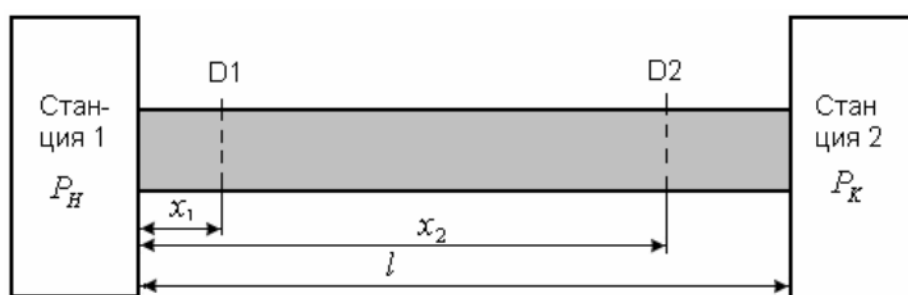


Рисунок 1.1.1 – Расположение датчиков

На рисунке 1.1.1 на станции 1 и 2 расположены датчики давления, фиксирующие давление в начале трубопровода (P_H), конце трубопровода (P_K), а также два датчика давления, расположенных на расстоянии x_1 и x_2 ($D1$ и $D2$ соответственно).

Таким образом, в проектируемом стенде физического подобия необходимо учесть, что требуется наличие минимум пяти датчиков давления и трёх сосудов, в которых поддерживается дифференциальное давление не более 0,7 атмосфер. Также необходимо предусмотреть возможность имитации различной длины трубопровода с помощью запорной арматуры.

Проектируемый стенд должен обеспечивать возможность имитировать трубопровод различной длины. С помощью разрабатываемого стенда физического подобия будет возможно имитировать утечки на длинном участке трубопровода.

Необходимо обеспечить возможность подключения стенда к различным программируемым устройствам, будь то ПЛК или программируемое реле. Таким образом, посредством изменения коммутации, стендом можно управлять с разных устройств, запрограммированных соответствующим образом.

Для первичной демонстрации работы программное обеспечение должно быть написано для промышленного ПЛК *Modicon M580 ePAC*, установленного в лаборатории Томского Политехнического Университета.

1.2 Требования к функционалу стенда

К АСУ ТП предъявляются соответствующие требования [2]. Система должна:

- управлять технологическим процессом посредством совместной реализации решений человеком-оператором и средств вычислительной техники;
- выполнять возложенные на неё функции в соответствии с определёнными критериями качества;
- отвечать требованиям эргономики по способе и форме предоставления информации о протекании процесса в системе оператору;
- допускать возможность модернизации и развития в пределах технического задания на создание АСУ ТП;
- нормально функционировать в условиях, предусмотренных ТЗ;
- быть надёжной и отвечать требованиям безопасности.

1.3 Требования к техническим компонентам стенда

Система должна быть построена как иерархическая, то есть содержать в себе три уровня:

- управляющие устройства САУ, так называемый полевой уровень;
- программируемые логические контроллеры, или уровень щитового оборудования;
- станция оператора, или уровень SCADA.

Технические средства должны быть подобраны из условий обеспечения требуемого функционала. Подбор должен проводиться на основе сравнения аналогов компонентов друг с другом.

Должна быть предусмотрена возможность замены программируемого логического устройства на другое с соответствующим разработанным ПО. Также необходимо предусмотреть возможность замены функциональных устройств для их замены или ремонта. Датчики и управляющие устройства в системе должны передавать стандартизированные сигналы (4 – 20 мА, 0 – 10 В) и питаться от источника малого напряжения (12-36 В). Источник питания должен работать от бытовой сети 220 В 50 Гц.

1.4 Требования к информационному обеспечению

Поскольку, как было ранее указано, система автоматического регулирования должна быть построена в соответствии с иерархической трёхуровневой структурой, разрабатываемое информационное обеспечение должно предполагать:

- возможность просмотра данных, передаваемых датчиками на полевом уровне, а также о состоянии управляющих устройств;
- предоставление информации оператору на экран персонального компьютера в удобной и понятной форме;
- возможность перехода с автоматического режима управления стендом на автоматизированный и назад;
- выводить полно необходимую информацию;
- возможность расширения программы работы стенда при возможном расширении аппаратного комплекса или замене некоторых комплектующих;
- написание на одном из языков программирования, предусмотренных стандартом МЭК 61131 [3], в третьем разделе которого предусмотрены языки *IL (Instruction List)*, *FBD (Function Block Diagram)*, *ST (Structured Text)*, *LD (Ladder Diagram)*, *SFC (Sequential Function Chart)*.

Разрабатываемая система должна обеспечивать снятие таких статических и динамических характеристик, как:

- величина давления в начальном участке имитируемого трубопровода, в его середине и конце;

- величину расхода на участках трубопровода, предусмотренных по проекту;

- состояние насосов ВКЛ/ВЫКЛ.

Разработанная программа должна регулировать процент открытия регулирующего механизма для поддержания одинакового значения расхода жидкости.

2 Разработка структурной схемы автоматизации

Как было ранее сказано, система должна обладать иерархической структурой и быть разделённой на три уровня: полевой уровень, щитовой и АРМ оператора.

Полевой уровень объединяет датчики, преобразователи для сбора информации о протекании технологического процесса, а также исполнительные устройства, используемые для реализации регулирующих и управляющих воздействий. Датчики полевого уровня, в соответствии с заданием, должны быть связаны со следующим уровнем автоматизации стандартизированными сигналами напряжения или тока.

Следующий уровень автоматизации можно условно назвать *щитовым*. Этот уровень объединяет оборудование, которое может располагаться в распределительном щите. Оно включает в себя программируемые логические устройства (программируемые реле, ПЛК), различные показывающие устройства (индикаторы, экраны, регистраторы и пр.), устройства для ручного управления процессом (кнопки, панели оператора).

Контроллеры, расположенные на втором уровне, способны выполнять следующие функции:

- сбор информации о технологическом процессе и состоянии оборудования с устройств полевого уровня;
- первичная обработка и хранение информации;
- управление процессами в соответствии с разработанной программой в автоматическом режиме;
- самодиагностика контроллера и состояния программного обеспечения;
- передача информации АРМ оператора и получение информации от пунктов управления.

В случае настоящей работы ПЛК будет обмениваться со следующим уровнем автоматизации по протоколу *Ethernet*.

Третий, последний в разрабатываемой схеме, уровень автоматизации – *АРМ оператора*. Этот уровень автоматизации представляет из себя рабочее

место с ЭВМ (персональный компьютер, ноутбук и пр.), с помощью которого оператор исполняет свои функции, как часть автоматизированной системы.

АРМ оператора отличается наличием специализированного ПО, с помощью которого ведётся разработка различных мнемосхем, экранов SCADA, программ для загрузки в логическое устройство, по которым те, в последствии, будут работать. С помощью АРМ оператора и SCADA-системы осуществляется:

- сбор, первичная обработка и накопление информации о технологическом процессе;

- обнаружение выхода за объявленные пределы параметров техпроцесса и сигнализация посредством изменения графической составляющей или вывода сообщения об этом;

- архивирование и хранение изменений параметров технологического процесса во времени;

- оперативное управление процессом.

Таким образом, придание системе подобной иерархической структуры может обеспечить сквозное сообщение между различными её уровнями, возможность оператору управлять процессом удалённо с помощью ПК в удобной форме, а также позволит расширять функционал стенда при необходимости.

Разработанная структурная схема представлена приведена на чертеже ФЮРА.425280.001.ЭС.01.

3 Разработка функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема автоматизации (ФСА) – технический документ, в котором схематически и условными обозначениями изображены технологическое оборудование, исполнительные механизмы, датчики и прочие устройства, являющиеся частью автоматизированной системы. Также на ФСА ФСА выделяются уровни автоматизации, характеристики коммуникаций между компонентами. При составлении схемы объект управления рассматривается как комплекс, содержащий основное оборудование и вспомогательное (редукторы, источники питания, монтажные элементы и пр.), которое не отображается. Также не отображаются элементы, не участвующие в контурах автоматизации.

Функциональная схема должна давать чёткое и определённое понимание специалисту о принципе работы и взаимодействии элементов автоматизации друг с другом. Схема даёт представление о контурах автоматизации, формирующихся в системе, регулируемых параметрах, разделении на уровни автоматизации. На основе ФСА выполняют другие необходимые чертежи проекта.

ФСА может быть выполнена двумя способами: упрощённым и развёрнутым. При выполнении развёрнутого варианта ФСА обозначаются изображаются места расположения и состав средств автоматизации. Условные графические изображения для создания схемы предусмотрены ГОСТ 21.208-2013. Разработанная схема ФСА представлена на двух листах ФЮРА.425280.001.ЭС.02.

4 Выбор средств автоматизации

Выбор средств автоматизации проводился с учётом требований к аппаратной части стенда:

- сигналы управления должны быть стандартизированы;
- питание элементов должно быть преимущественно от сети 24 вольт;
- разъёмы для соединения компонентов должны быть выполнены в диаметре 3/4 дюйма (20 мм).

Материалом для труб и фитингов будет полипропилен, так как, в сравнении с поливинилхлоридом, он более износостойкий, менее подвержен деформации и не выгорает на солнце.

4.1. Выбор регулирующих клапанов

В качестве запорной арматуры принято решение использовать регулирующие клапаны, процент открытия которых можно регулировать с помощью подачи сигнала тока или напряжения определённого стандартизированного диапазона, что позволит управлять ими на расстоянии при помощи подачи управляющих сигналов. Было предложено несколько вариантов регулирующих клапанов: SMART QT730623-060, регулирующий клапан Modentic, Neptun Bugatti Pro. Проведём сравнение характеристик отобранных моделей. Результаты сравнения приведены в таблице 4.1.1.



Рисунок 4.1.1 – Регулирующий клапан SMART QT730623-060



Рисунок 4.1.2 – Регулирующий клапан производства компании Modentic



Рисунок 4.1.3 – Кран шаровой Neptun Bugatti Pro

Таблица 4.1.1 – Сравнение характеристик клапанов

Наименование	SMART QT730623	Modentic Ду 20	Neptun Bugatti Pro Ду 20
Рабочее давление	до 20 бар	до 63 бар	до 40 бар
Рабочая среда	Жидкая и газообразная	Жидкая и газообразная, пар	Вода
Регулировка % открытия	Да	Да	Нет

Продолжение таблицы 4.1.1 – Сравнение характеристик клапанов

Питание	DC24V	DC24V	DC12V
Управляющий сигнал	4-20 мА/2-10 В	4-20 мА/1-10 В	12V (дискретный)
Обратная связь	Есть	Есть	Нет
Наличие ручного дублёра	Да	Да	Да
Наличие датчика положения	Да	Да	Нет
Цена, рублей	16522	67925	13409

По результатам сравнения был выбран регулирующийся клапан SMART QT730623, так как его характеристики являются достаточными в условиях управления потоком, присутствует обратная связь, позволяющая отслеживать состояние задвижки, а также он обладает хорошей ценой.

Немаловажным фактором при выборе было наличие возможности регулировать процент открытия задвижки, так как таким образом можно имитировать различные длины трубопроводов [4].

4.2. Программируемое логическое устройство

В качестве программируемого логического устройства был выбран ПЛК *Modicon M580 ePAC*. Выбор сделан в пользу ПЛК, имеющегося в лаборатории НИ ТПУ, как самый функциональный и доступный вариант. Сам ПЛК является промышленным, что говорит о его многофункциональности и надёжности, рассчитанным на большое количество выходов и входов. Также плюсом является встроенная поддержка протокола *Ethernet*.

В проектируемой системе данный ПЛК будет необходим для сбора и обработки сигналов с датчиков в поле, а также для формирования управляющих сигналов. Как ранее было отмечено, встроенная поддержка *Ethernet* является

большим плюсом, так как упрощает наладку сообщения между ПЛК и АРМ оператора [5].



Рисунок 4.2.1 – ПЛК *Modicon M580 ePAC*

Использование данного ПЛК предполагает наличие модулей ввода-вывода, которые уже имеются в той же лаборатории НИ ТПУ.

Впоследствии логическое устройство можно будет заменить на более простое, например, ПР200. Однако при выполнении данной работы не стояло цели использовать программируемое реле для работы стенда.

4.3. Выбор расходомера

Для обеспечения получения данных о таком параметре технологического процесса, как расход и наличие потока в определённых сечениях, было решено использовать самые распространённые и простые датчики расхода.

Выбранный вид датчика расхода отличается простотой конструкции и принципа действия. Состоит он из корпуса, внутри которого расположен ротор с магнитом на валу. При прохождении жидкости через ротор датчик Холла, установленный на определённом расстоянии, начинает реагировать на изменение полярности магнитного поля. Таким образом, при наличии специального сигнального провода, датчик способен передавать импульсные сигналы, когда магнит и датчик Холла находятся в определённом взаиморасположении.

Таким образом, скорость смены переднего и заднего фронтов сигнала с датчика изменяется с изменением мощности потока, проходящего через устройство. С помощью программы возможно посчитать расход в сечении за необходимый промежуток времени.

Выбор пал на датчик расхода от компании *Seeed Studio*, так как одной из задач при подборе компонентов также стояла задача обеспечить взаимозаменяемость компонентов, использованных при создании других стендов, находящихся в лабораториях ОАР НИ ТПУ. Такой датчик, как раз, используется, практически во всех стендах физического подобия, простой в использовании и подключении [6]. Характеристики датчика представлены в таблице 4.3.1.



Рисунок 4.3.1. – Датчик расхода *Seeed Studio*

Таблица 4.3.1. Характеристики датчика расхода *Seeed Studio*

Наименование	Water Flow Sensor Seeed Studio
Рабочее напряжение	5 ... 24 В
Максимальный рабочий ток	15 мА (при 5 В)
Диапазон расхода потока	1 ... 60 л/мин
Рабочее давление	до 1,2 МПа

4.4. Выбор компрессора

Для того, чтобы поддерживать в системе определённое давление и заряжать гидроаккумуляторы, нужен компрессор – энергетическая машина для

повышения давления перемещения газа или смесей газов. Важными критериями при выборе модели устройства были надёжность, издаваемый шум и производительность. Для сравнения были взяты три варианта компрессионных устройств: Pegas pneumatic PG-802, Вихрь КМП-50/300АМ 74/3/12, Fubag OL 195/24 CM1.5.



Рисунок 4.4.1 – Компрессор бесшумный Pegas pneumatic PG-802



Рисунок 4.4.2 – Компрессор Вихрь КМП-50/300АМ 74/3/12



Рисунок 4.4.3 - Компрессор Fubag OL 195/24 CM1.5

Характеристики компрессоров приведены в таблице 4.4.1.

Таблица 4.4.1 – Характеристики рассматриваемых компрессоров

Наименование	Pegas pneumatic бесшумный компрессор PG-802	Вихрь КМП- 50/300АМ 74/3/12	Fubag OL 195/24 CM1.5
Масса, кг	19,5	25,3	16,2
Производитель- ность, л/мин	210	300	180
Рабочее давление, бар	8	8	8
Тип компрессора	Поршневой коаксиальный	Поршневой коаксиальный	Поршневой коаксиальный
Тип смазки	Безмасляный	Масляный	Безмасляный
Тип двигателя	Электрический	Электрический	Электрический
Цена, рублей	14556	16509	12540

По итогам сравнения был выбран компрессор Pegas pneumatic PG-802. Плюсом модели является то, что компрессор безмасляный, то есть, заливка смазочной жидкости не требуется, что облегчает его обслуживание, обеспечивает низкий уровень вибрации. Также немаловажным является то, что, среди безмасляных аналогов, он создаёт меньше шума и имеет защиту от перегрева: когда компрессор перегревается, он автоматически отключается. Масса компрессора не является проблемой, так как в комплекте с ним поставляются поворотные колёса [7]. Поскольку в системе необходимо поддерживать давление около 1,7 атмосфер, мощности компрессора достаточно.

4.5. Выбор отсечного клапана

Для отсекания потоков жидкости и воздуха было решено использовать отсечные клапаны с дистанционным управлением в качестве запорно-регулирующего элемента. Наличие этого клапана позволит регулировать проход среды по трубопроводу в сечении, в котором он установлен. Следует отметить,

что, в отличие от клапана регулирующего, отсечной клапан может быть либо закрыт, либо открыт, то есть, для его управления можно использовать дискретные выходы ПЛК. Для сравнения было подобрано три аналога: клапан SMART SG5532, клапан BCX-20 Unipump, клапан СК-12 Ду20. Характеристики указанных клапанов указаны ниже в таблице 4.5.1.



Рисунок 4.5.1 – Электромагнитный клапан SMART SG5532



Рисунок 4.5.2 – Электромагнитный клапан BCX-20 Unipump



Рисунок 4.5.3 – Электромагнитный клапан СК-12 Ду20

Таблица 4.5.1 – Сравнение характеристик отсекающих клапанов

Наименование	SMART SG5532	BCX-20 Unipump	CR-12 Ду20
Начальное положение	Нормально-закрытый	Нормально-закрытый	Нормально-закрытый
Давление	16 бар	16 бар	10 бар
Рабочая среда	Жидкая и газообразная	Жидкая и газообразная	Жидкая и газообразная
Напряжение управления	DC24V	AC220V	DC24V
Цена, рублей	3690	4083	6111

Как видно из сравнительной таблицы, клапаны почти идентичны друг другу. На основании сравнительного анализа был выбран электромагнитный клапан SMART SG5532, так как обладает наименьшей ценой [].

4.6. Выбор насосов

В процессе работы стенда происходит перекачивание жидкостей из одного сосуда в другой, в начале работы заполнение системы жидкостью. Для проведения этих процессов необходимо подобрать подходящий насос для установки в стенд физического подобия. В процессе подбора рассматривались варианты насосов: насос Golden Snail GS9222, БелАК «Стандарт» БАК.11024, Unilube KE2012. В результате сравнения составлена таблица характеристик насосов 4.6.1.



Рисунок 4.6.1 - Насос Golden Snail GS9222



Рисунок 4.6.2 – Насос БелАК «Стандарт» БАК.11024



Рисунок 4.6.3 – Насос Unilube KE2012

Таблица 4.6.1 – Сравнительная таблица аналогичных насосов

Наименование	БелАК «Стандарт»	Golden Snail GS9222	Unilube KE2012
Тип насоса	Напольный	Напольный	Погружной
Вид	Электрический	Электрический	Электрический
Напряжение	24 В	24 В	12 В
Применение	Дизель, керосин	Масло, дизель	Дизель
Производительность	50 л/мин	1,5 л/мин	45 л/мин

Продолжение таблицы 4.6.1 – Сравнительная таблица аналогичных насосов

Рабочий режим (работа/перерыв)	30/10 мин.	30/10 мин.	30/30
Цена, рублей	5779	3189	5326

По результатам сравнения был выбран насос БелАК «Стандарт» БАК.11024. Хотя он и обладает самой высокой ценой, почти по всем характеристикам он превосходит аналоги, имеет удобное крепление. Отвечает всем выдвигаемым требованиям [9].

4.7. Выбор датчиков давления

В качестве датчиков давления необходимо использовать датчики избыточного давления. Для работы научным руководителем был предложен датчик Овен ПД100-ДИ0,1-171-0,5 [10]. Характеристики датчика представлены в таблице 4.7.1.



Рисунок 4.7.1 – Датчик давления Овен ПД100-ДИ0,1-171-0,5

Таблица 4.7.1 – Характеристики датчика Овен ПД100-ДИ0,1-171-0,5

Верхний предел измерений, МПа	0,1
Тип измеряемого давления	избыточное (ДИ)
Выходной сигнал	4...20 мА

Продолжение таблицы 4.7.1 – Характеристики датчика Овен ПД100-ДИО,1-171-0,5

Диапазон температур измеряемой среды	-40...+100 °С
Класс точности	0,5%
Межповерочный интервал	2 года

Как ясно из приведённого набора характеристик, датчик полностью отвечает предъявляемым требованиям и может использоваться при сборке стенда.

5 Разработка схемы внешних проводок

Схема внешних проводок – это схема, показывающая трубные и электрические связи между средствами автоматизации, приборами, установленными вне щитов и на щитах. Разработка схемы позволяет спроектировать план подключения, а также предоставить работнику, выполняющему монтажные работы, полное понимание того, как происходит включение каждого компонента в систему. В настоящей работе схема внешних проводок была разработана с использованием функциональной схемы автоматизации, технической эксплуатационной документации на компоненты системы.

Система включает в себя следующие компоненты, устройства:

- преобразователи давления измерительные Овен ПД100И-ДИО 1-171-0,5;
- датчики потока *Water Flow Sensor Seeed Studio*;
- блок питания 60Б-Д4-24;
- ПЛК *Modicon M580 ePAC*;
- регулирующие клапаны *SMART QT730623-060*;
- клапан отсечной электромагнитный *SMART SG55325-E 2306*;
- насосы БелАК «Стандарт» БАК.11024.

Для передачи сигналов между устройствами и управляющих воздействий будет использоваться гибкий провод в виниловой изоляции с медными жилами 1x1 (ПуГВ 1x1). Обжатие провода будет проводиться с помощью наконечника НШВИ (наконечник штыревой втулочный изолированный), который позволяет избежать надлома жил провода. Таким образом, монтаж стенда будет облегчен и займёт меньше времени.



Рисунок 5.1 – Наконечник НШВИ

Разработанная схема внешних проводок представлена в ФЮРА.425280.001.ЭС.03.

6 Описание работы стенда

Автоматизированный исследовательский стенд физического подобия трубопровода позволяет реализовывать метод определения утечки из трубопровода, который основан на разности давления во времени. Опишем работу стенда.

В составе стенда имеется два насоса, которые используются для заполнения системы рабочей жидкостью (масло), а также для прогонки рабочей жидкости по всей системе. При продолжительной работе насосов имеется возможность исследовать значения параметров, передаваемых с датчиков, в динамике, что является обязательным условием для реализации упомянутого метода определения утечек. Насосы подключаются к ПЛК и запускаются с помощью кнопки на экране АРМ оператора через SCADA. Для заливки насоса при первом запуске предусмотрен отдельный ручной клапан, который будет располагаться выше в системе. Для слива рабочей жидкости также предусмотрены клапаны, они расположены ниже насосов, параллельно с обратными клапанами, которые, в свою очередь, не позволяют жидкости вытекать из системы, пока насосы не работают.

Далее по схеме автоматизации после насосов расположены датчики потока жидкости, которые представляют из себя турбины с датчиками Холла. При прохождении потока жидкости через датчик, устройство передаёт дискретный сигнал на вход программируемого логического контроллера, где в зависимости от написанной программы можно использовать сигнал по-разному. Например, можно составить программу, которая, при сочетании включённого насоса и отсутствия изменяющегося во времени сигнала со следующего за ним датчика потока, будет сигнализировать об этом оператору, так как в таком случае либо повреждён насос, из-за чего не происходит прокачки жидкости по трубе, либо неисправен датчик.

Далее устанавливается регулирующий клапан, цель которого контролировать поток жидкости, проходящий через сечение трубы. Как ранее

было сказано, данный регулирующий клапан позволяет считывать положение его закрывающей механической части. С помощью расходомера, устанавливаемого далее после регулирующего клапана, можно будет определять зависимость процента открытия клапана и скорости передачи импульсов расходомером.

Далее идёт основная часть стенда, которая наиболее важна для исследования упомянутого метода определения утечек. Жидкость, которая накачивается насосами, проходит через систему из трёх гидроаккумуляторов, которые расположены последовательно друг за другом. Между гидроаккумуляторами расположены регулирующие клапаны и расходомеры. Между первым и вторым, вторым и третьим расположены датчики давления.

Гидроаккумуляторы – сосуды, которые работают под давлением. Внутри них располагается резиновая груша, в которую накачивается жидкость. Снаружи груши внутри сосуда поддерживается давление, которое можно использовать для перекачки жидкости в другое место по трубопроводу. Пример гидроаккумулятора приведён на рисунке 6.1.



Рисунок 6.1 – Гидроаккумулятор 5 л

С помощью гидроаккумуляторов происходит имитация давления в начале трубопровода, середине и конце. Предлагаемый метод определения утечки является улучшенной версией метода гидравлической локации и позволяет

обнаруживать кратковременные утечки малой интенсивности. Как уже было сказано, основывается метод на измерении изменения давления на небольших участках в начале трубопровода и в конце. Датчики 21 и 24 замеряют значения давления в начальном участке трубопровода, а датчики 23 и 25 – в конечном. Разницу давлений в этих участках трубопровода можно определить программно, сравнив показания с этих датчиков. Ведение архива изменений данных с датчиков давления обеспечивается с помощью SCADA-системы, установленной на АРМ оператора.

Длина имитируемого трубопровода изменяется с помощью регулирующих клапанов, расположенных между гидроаккумуляторами. Это можно понять, исходя из следующего: регулирующие клапаны оказывают потоку жидкости гидравлическое сопротивление, как и труба сама по себе из-за трения потока жидкости и внутренней поверхности трубы. С увеличением длины трубопровода гидравлические потери увеличиваются. Таким образом, потери на трение по длине трубопровода заменены на местные гидравлические потери, так как при закрытии регулирующего клапана, форма канала и его размер изменяется. Таким образом, принимая, что потери по длине трубопровода и местные потери удельной энергии тождественны, так как несут суть потери той же природы, можно сказать, что с помощью стенда можно имитировать трубопровод любой длины, в разумных пределах.

Гидроаккумулятор посередине несёт роль места утечки. Поскольку с помощью регулирующих клапанов мы можем регулировать расположение утечки в имитируемом трубопроводе, оператор может устроить утечку в любом сечении.

Предусмотрены выходы для рабочей жидкости со всех трёх гидроаккумуляторов с различными целями:

- выходы и наличие функционального оборудования на них позволяет гибко корректировать работу системы, задавая различные начальные условия для эксперимента определения утечки.

- имеется возможность определить объём утечки и сравнить расчёты с показаниями программы.

В-третьих, с помощью коммуникаций вывода рабочей жидкости из гидроаккумуляторов утечку можно контролировать (останавливать, увеличивать или уменьшать её объём и т.д.).

В-четвёртых, они предусмотрены также и для слива рабочей жидкости из системы.

Жидкость, проходя через систему, будет подаваться в ту же ёмкость, из которой рабочая жидкость попадает в систему. Таким образом, благодаря герметичности системы можно не менять рабочую жидкость продолжительное время.

7 Разработка ПО

7.1 Описание среды разработки

Среда разработки, предназначенная для создания ПО для сопровождения работы ПЛК производства компании Schneider Electric имеет название *Control Expert*. Более ранние версии программы объединены названием *Unity Pro*. Эти две программы отличаются друг от друга совсем незначительно и обе поддерживают возможность разработки ПО для ПЛК Modicon M340, M580, M580 Safety, Momentum, Premium и Quantum. С помощью этой среды разработки есть возможность обеспечить управление устройствами и съёма показаний с них.

Как и программа *CodeSys*, которая также используется для программирования ПЛК (более обширно), рассматриваемая среда разработки поддерживает все пять языков программирования, определяемых стандартом МЭК 61131-3, а именно:

IL (Instruction List) – язык программирования, по структуре напоминающий язык программирования нижнего уровня *Assembler*;

FBD (Function Block Diagram) – графический язык программирования, в котором программа представляется в виде функциональных блоков, соединяемых линиями связи;

ST (Structured Text) – язык программирования, широко использующийся в SCADA пакетах, по синтаксису близок к языку Паскаль;

LD (Ladder Diagram) – язык программирования, представляющий из себя цифровую версию релейных диаграмм;

SFC (Sequential Function Chart) – язык, программирование на котором осуществляется с помощью составления блок-схем.

Существуют различия упомянутых сред разработок, однако они незначительны при работе над написанием программы для настоящего стенда физического подобия.

7.2 Настройка целевой платформы

Написание программы в *Control Expert* необходимо начинать с настройки целевой платформы. Для этого составляется цифровая версия имеющийся

системы, установленной на шасси. На рисунке 7.2.1 изображено окно настройки целевой платформы.

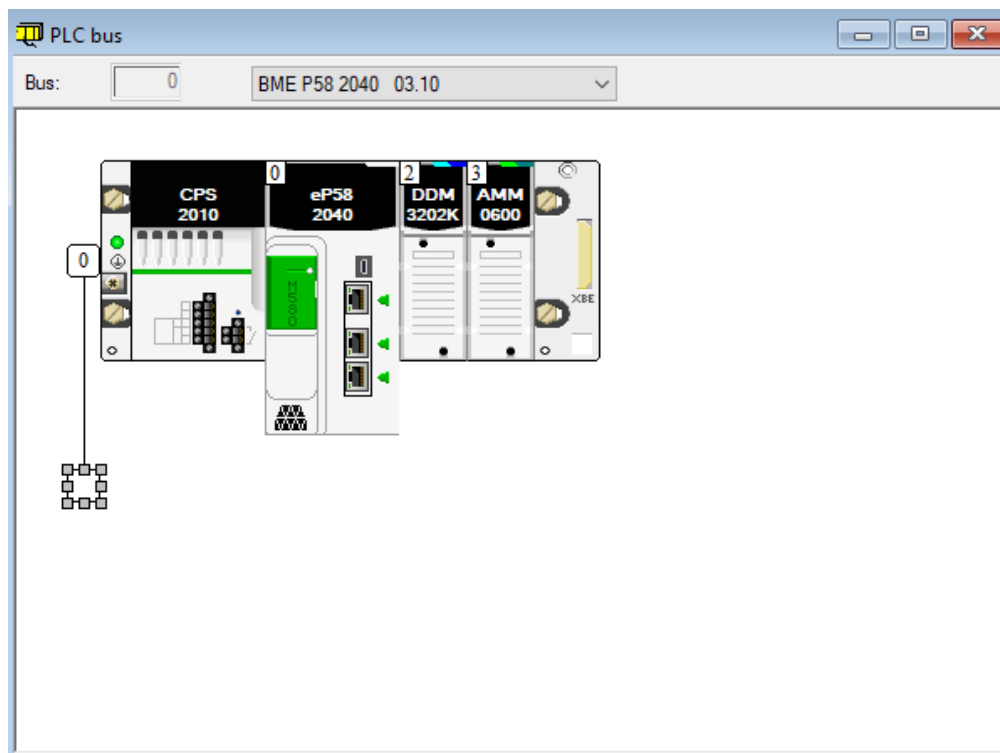


Рисунок 7.2.1 – Окно настройки целевой платформы

Оборудование, которое было предоставлено лабораторией НИ ТПУ, соответствует списку:

- шасси размещения компонентов BMEХВР0400;
- блок питания СРС2010;
- процессорный модуль М580 еР58 2040;
- дискретный модуль ввода-вывода DDM3202К;
- аналоговый модуль ввода-вывода ВМХАММ0600.

7.3 Управление дискретными сигналами

Дискретный модуль ввода-вывода DDM3202К обладает 16 дискретными входами и 16 выходами. Соответственно, позволяет формировать 16 управляющих сигналов 24 В, а также принимать сигналы 24 В от подключенных датчиков. С помощью дискретного модуля имеется возможность управлять такими компонентами стенда, как насосы 24 В, электромагнитные клапаны

отсечные SMART SG5532. Также на входы модуля будут поступать сигналы с датчика потока.

Для демонстрации съёма показаний с датчика потока была составлена простейшая программа в Control Expert, изображённая на рисунке 7.3.1.

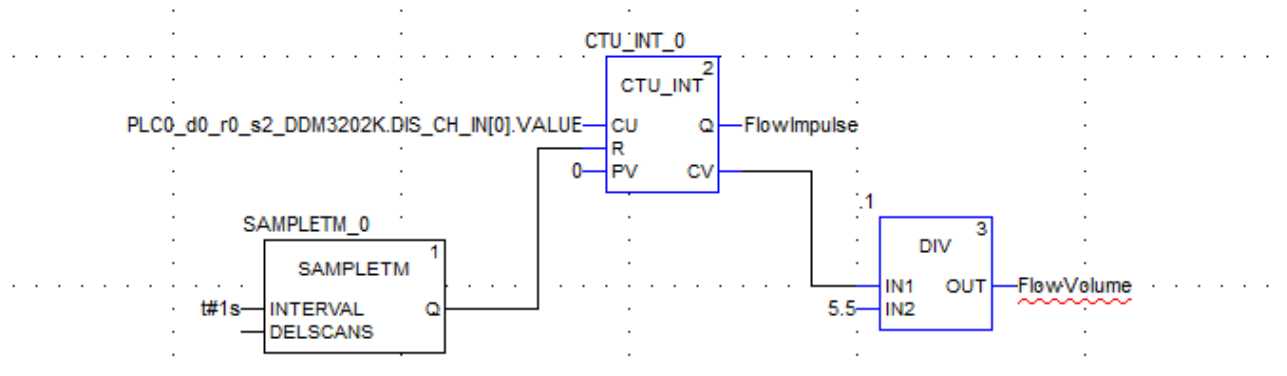


Рисунок 7.3.1 – Программа вычисления объёма расхода

Поскольку датчик потока представляет из себя устройство, которое выдаёт импульсный сигнал при прохождении через него потока среды, то расход нужно рассчитывать по формуле. Формула находится в технической спецификации датчика.

Output Table

Pulse frequency (Hz) in Horizontal Test= 5.5Q, Q is flow rate in L/min. (Results in +/- 3% range)

Output pulse high level	Signal voltage >4.5 V(input DC 5 V)
Output pulse low level	Signal voltage <0.5V(input DC 5V)
Precision	3% (Flow rate from 1L/min to 10L/min)
Output signal duty cycle	40%~60%

Рисунок 7.3.2 – Таблица спецификации выходов датчика потока

Как видно по выдержке из даташита устройства, реализованная формула расчёта потока позволяет высчитать значение прошедшей через датчик жидкости с точностью до +/- 3%. Для более точного расчёта расхода необходимо исследовать другие методы, однако для демонстрации работы эта программа подходит.

Сигнал от датчика поступает на нулевой вход дискретного модуля ввода-вывода DDM3202K, а переменная, отвечающая за состояние входа называется *PLC0_d0_r0_s2_DDM3202K.DIS_CH_IN[0].VALUE*. В названии переменной отражено расположение модуля на шасси, его название, номер входа (0). Таким образом, при поступлении импульсов на функциональный блок *CTU_INT_0* через вход *CU*, инкрементный счётчик будет фиксировать их количество. Блок *SAMPLETM_0* отвечает за то, чтобы счётчик сбрасывался каждую секунду. Значение расхода записывается в переменную *FlowVolume*, значение которой можно использовать для вывода на экран.

Ввод дискретных сигналов осуществляется аналогичным образом. На рисунке 7.3.3 представлена программа, которая при достижении расхода значения 2л/с подаёт через выход модуля логическую единицу.

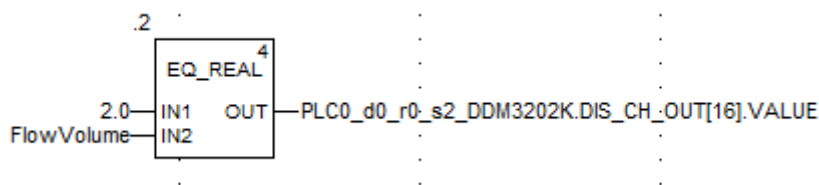


Рисунок 7.3.3 – Управление выходом 16 модуля

Таким образом, среда разработки позволяет работать модулем дискретных входов/выходов, считывать данные с дискретных датчиков и управлять дискретными исполнительными устройствами.

7.4 Управление аналоговыми сигналами

Аналоговый модуль ВМХАММ0600 обладает 6 аналоговыми входами и 2 выходами. Сигналы, поступающие на входы модуля, могут являться сигналами напряжения (0...5 В; 1...5 В; 0...10 В; +/- 10 В) или сигналами тока (0...20 мА; 4...20 мА). Выходы же могут формировать управляющие сигналы тока (0...20 мА) и напряжения +/- 10 В. Таким образом, с помощью этого модуля будет осуществляться управление регулирующими клапанами, а также приём сигналов с датчиков давления и положения.

Выбор типа сигнала как входящего, так и выходящего, осуществляется в настройках каждого модуля. Также стоит отметить, что в среде разработки при

настройке модуля можно определить масштабирование для каждого из входов. На рисунке 7.4.2 приведён процесс настройки параметров масштабирования для одного из аналоговых входов модуля VMXAMM0600.

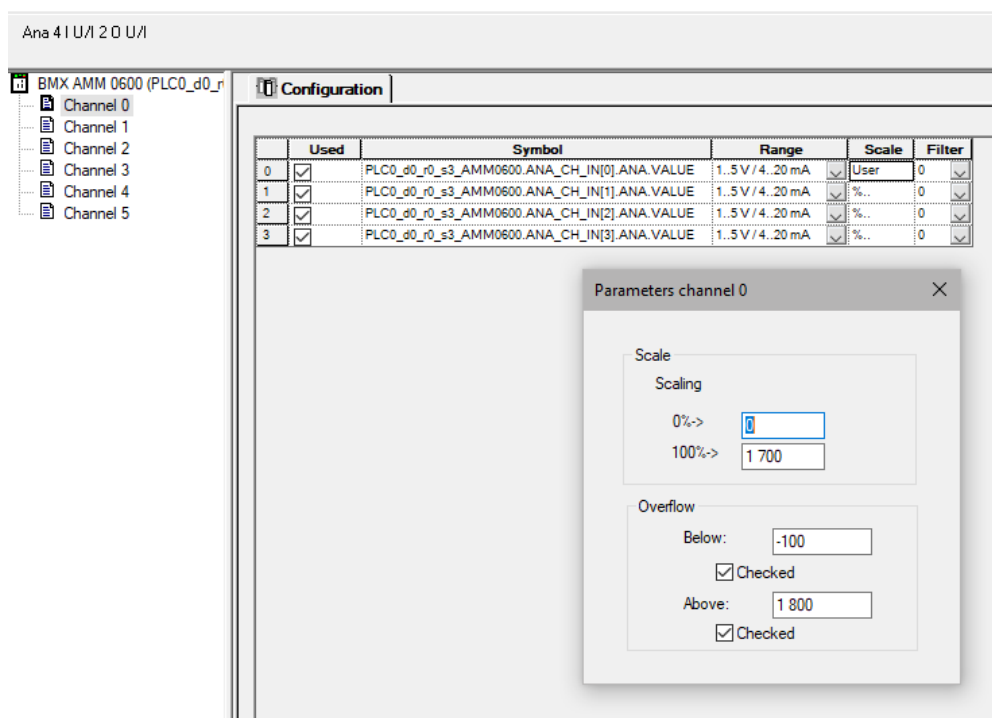


Рисунок 7.4.2 – Настройка параметров масштабирования по входу *Channel 0*

Далее были выбраны настройки для выходного канала, с помощью которого будет осуществляться управление позиционером.

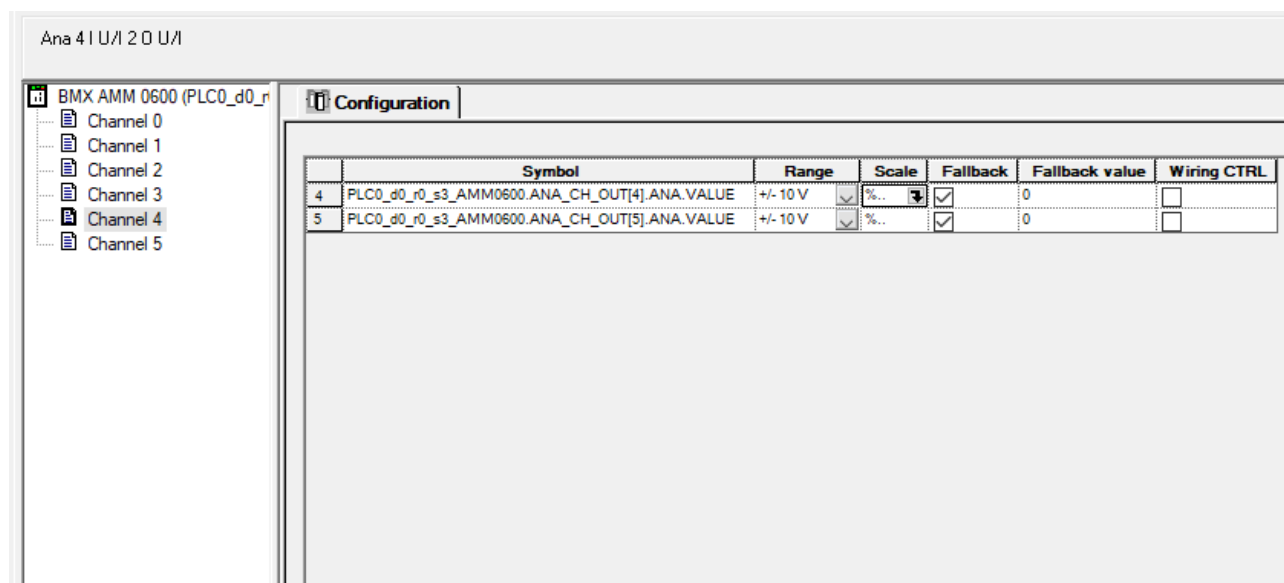


Рисунок 7.4.3 – Настройка диапазона напряжения по выходному каналу *Channel 4* и *5*

Поскольку двигатель регулирующего клапана QT730623-060 может управляться только с помощью сигнала напряжения 0...10 В, а аналоговый выход выдаёт напряжение в диапазоне +/-10 В, необходимо настроить масштабирование таким образом, чтобы оператору были понятны значения, выдаваемые программой. В связи с этим, был выбран масштаб, отображённый на рисунке 7.4.4.

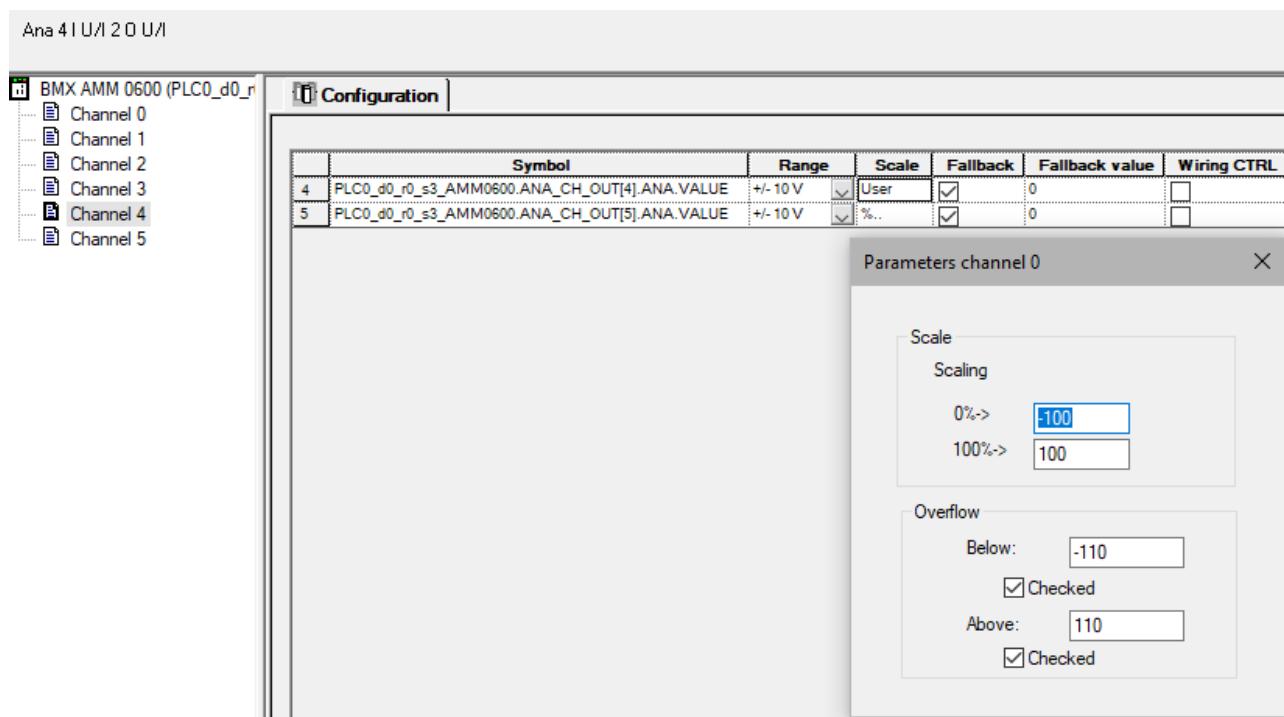


Рисунок 7.4.4 – Настройка параметров масштабирования для выходного канала

В соответствии с выбранными настройками, по выходному каналу, при установке программно значения 0, будет передаваться сигнал напряжения, соответствующий 0 В. При значении 50 будет передаваться 5 В, что соответствует открытию регулирующего клапана на 50%. При установке 100, передаваться по каналу будет 10 В, что соответствует полному открытию клапана.

В соответствии с паспортом регулирующего клапана, датчик положения передаёт сигнал 0...10 В. Входной канал аналогового модуля был настроен так, чтобы можно было принимать значения с датчика положения.

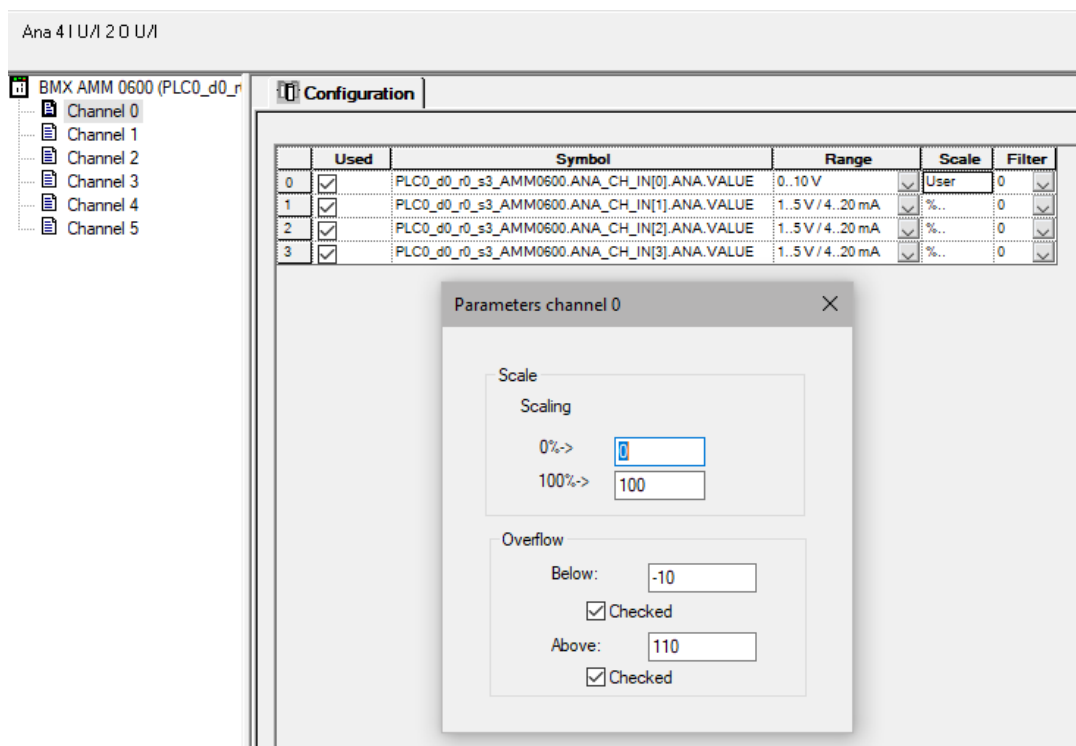


Рисунок 7.2.5 – Настройка входного канала для показаний датчика положения

В случае, если показания датчика выйдут за пределы обозначенных значений, то на входе будет формироваться соответствующее значение (если < 0 , то -10 ; если > 10 , то 110).

При составлении программы также используются названия переменных, отвечающих за состояние аналоговых входов/выходов, чтобы задавать выходные значения напряжения или тока, а также считывать значения напряжения/тока на входах модуля.

8 Разработка трёхмерной модели стенда

Трёхмерная модель стенда разрабатывается в соответствии с функциональной схемой автоматизации. Стенд должен быть расположен на стенке, которая крепится к ножкам стола. Такое расположение будет наглядным для пользователя, так как, по сути, повторяет ФСА и демонстрирует последовательность, в которой жидкость проходит через систему.

Перед разработкой было принято решение разместить сосуд с рабочей жидкостью и компрессор под столом, распределительный щит на столе, справа от тела стенда. Гидроаккумуляторы располагаются согласно функциональной схеме автоматизации последовательно друг за другом, предусмотрены варианты слива рабочей жидкости через систему выводящих труб с ручными клапанами.

Стенд должен быть уместён на столе длиной 1800 мм, глубиной 700 мм, высотой около 800 мм, на перфорированной стенке высотой до 1000 мм. Такое расположение на столе предлагает удобный способ перемещения стенда в случае, если к основанию стола присоединены поворотные колёса. Таким образом, стенд можно перемещать из аудитории в аудиторию, если речь идёт о проведении каких-либо учебных занятий с ним.

Виды трёхмерной модели стенда представлены в приложении А.

9 Финансовый менеджмент

В современных условиях разработки и исследования должны подвергаться тщательному анализу с точки зрения не только перспективности, новизны, но и с точки зрения финансовой выгоды. Целью выполнения настоящего раздела является демонстрация коммерческой привлекательности НИР. В разделе рассматривается конкурентоспособность и ресурсоэффективность проектирования и реализации автоматизированного исследовательского стенда физического подобия трубопровода с имитацией утечек, предназначенного для углублённого изучения гидродинамического процесса утечек, запаздывания, способов обнаружения утечек.

9.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Изначально, проектирование и разработка стенда физического подобия проводились с расчётом на таких потребителей, как научно-исследовательские и образовательные учреждения, где изучаются и моделируются процессы, связанные с нефтегазовой промышленностью, переносом каких-либо продуктов по длинному трубопроводу. Таким образом, основным потенциальным потребителем является Томский Политехнический Университет. Таким образом, уже изначально точно известно, что, как минимум, один научно-исследовательский институт заинтересован в разработке автоматизированного исследовательского стенда физического подобия трубопровода с имитацией утечек и после его создания будет использовать в целях обучения, исследования.

Для анализа потенциальных потребителей результатов исследования рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование, то есть разделение покупателей на однородные группы. Для сегментирования выделены два критерия: направление деятельности организации и её вид. Карта сегментирования рынка приведена в таблице 8.1.1.

Таблица 9.1.1 – Карта сегментирования рынка

		Направление деятельности		
		Научные исследования	Образовательный процесс	Моделирование и разработка автоматизированных систем
Вид организации	Промышленное предприятие			
	ВУЗ или техникум			
	Школа			

Таким образом, подходят следующие сегменты рынка: ВУЗы и техникумы, промышленные предприятия.

9.2 Анализ конкурентных решений

Основными конкурентами являются компании-производители учебного оборудования, в частности лабораторных стендов и виртуальных лабораторий. Среди таких компаний можно выделить «Учтех-Профи», «ProgramLab», «Measlab». Среди всего ассортимента указанных компаний были подобраны подобные стенды из числа программных и программно-аппаратных лабораторных стендов.

По результатам проведения анализа была построена оценочная карта для сравнения конкурентных решений. Карта представлена в таблице 8.2.1.

Таблица 9.2.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	Б _{к3}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}	К _{к3}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности									
Возможность подключения ПК	0,08	5	5	5	5	0,4	0,4	0,4	0,4
Безопасность	0,1	4	4	5	4	0,4	0,4	0,5	0,4
Удобство эксплуатации и ремонта	0,1	5	4	3	4	0,5	0,4	0,3	0,4
Энергопотребление	0,05	4	5	3	4	0,2	0,25	0,15	0,2

Продолжение таблицы 9.2.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Уровень автоматизации	0,13	5	3	3	3	0,65	0,39	0,39	0,39
Надёжность	0,12	4	4	5	4	0,48	0,48	0,6	0,48
Помехоустойчивость	0,09	3	3	4	3	0,27	0,27	0,36	0,27
Уровень шума	0,05	2	3	5	3	0,1	0,15	0,25	0,15
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности									
Цена	0,1	5	4	5	5	0,5	0,4	0,5	0,5
Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	5	5	5	0,45	0,45	0,45	0,45
Послепродажное обслуживание	0,09	5	4	5	4	0,45	0,36	0,45	0,36
Итого	1	47	44	48	44	4,4	3,95	4,35	4

Как видно из результатов заполнения оценочной карты для сравнения конкурентных технических решений, по совокупности выбранных критериев оценки разрабатываемый стенд превосходит сравниваемые решения конкурентов. Тем не менее, вызывает опасения большой уровень шума, который сопровождает работу стенда, а также высокий уровень потребления энергии (меньший, тем не менее, чем у некоторых аналогов).

Преимуществами же является удобство эксплуатации и уровень автоматизации, которые достигаются на стадии проектирования стенда. Разработка проекта велась с целью последующей эксплуатации его студентами и преподавателями ОАР ИШИТР, что требует возможности широкой вариативности автоматизации.

9.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ позволяет выделить четыре аспекта разработки и проекта: Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) [11]. Результаты анализа представлены в таблице 9.3.1.

Таблица 9.3.1 – SWOT-анализ внешней и внутренней среды производства

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С1. Стенд автоматизирован.</p> <p>С2. Позволяет использовать новый метод выявления утечек.</p> <p>С3. Может работать в различных режимах.</p> <p>С4. Имитирует трубопровод любой длины.</p> <p>С5. Подходит для образовательных целей.</p> <p>С6. Наличие возможности гибкой настройки программно-аппаратной части.</p> <p>С7. Прототип собран из относительно доступных комплектующих.</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>с1. Медленный вывод на рынок.</p> <p>с2. Направленность только на нефтегазовую промышленность.</p> <p>с3. Большие габариты стенда.</p> <p>с4. Возможность утечки рабочей жидкости из установки.</p> <p>с5. Высокий уровень шума.</p> <p>с6. Наличие компонентов импортного производства.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Популяризация используемого метода определения утечек.</p> <p>В2. Получение грантов на финансирование оптимизации/модернизации.</p> <p>В3. Публикация научных статей.</p> <p>В4. Исследование нового метода определения утечек.</p> <p>В5. Договоры с фондами поддержки проектов НИ ОКР.</p> <p>В6. Модернизация промышленных трубопроводов.</p> <p>В7. Проведение курсов для студентов ТПУ и других образовательных учреждений.</p>	<p>Благодаря гибкости прототипа в модернизации, оптимизации и адаптации под моментальные нужды, стенд отлично подходит для проведения различных образовательных процессов на основе работы с ним. Также благодаря имитации длинного трубопровода, стенд будет востребован для изучения поведения длинного трубопровода и различных параметров. По новому методу определения утечек можно составлять статьи и научные работы. Применение стенда в образовательном процессе позволяет расширять кругозор студентов в области интеллектуальных управляющих систем.</p>	<p>В процессе проведения исследований или учебных занятий возможны утечки рабочей жидкости, а также высокий уровень шума, что, в крайнем случае, может привести к затруднению и затягиванию процессов. Наличие импортного оборудования в сборке может привести к большим тратам на модернизацию стенда, что может вылиться в невозможность модернизации или починки и эксплуатации. Сам метод обнаружения утечек может оказаться неэффективным или не конкурентоспособным.</p>

Продолжение таблицы 9.3.1 – SWOT-анализ внешней и внутренней среды производства

<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на прототип стенда. У2. Малый объём рынка сбыта. У3. Невозможность заказа расходных материалов ввиду геополитической ситуации. У4. Появление на рынке более конкурентоспособных прототипов.</p>	<p>Разработка является актуальной. Новый метод исследования утечек выделяет стенд из общей массы конкурентов. Таким образом, как минимум, один из ВУЗов заинтересован в приобретении стенда. Грамотно составленная учебная программа с использованием стенда может расширить рынок сбыта. Имеется возможность замены импортных комплектующих оными российского производства.</p>	<p>Медленный вывод на рынок и отсутствие спроса на стенд или появление более конкурентоспособного прототипа при недостатках обсуждаемого стенда в совокупности могут привести к полному отсутствию интереса со стороны образовательных учреждений и промышленных предприятий. Компоненты импортного производства могут стать недоступными, а российские аналоги зачастую не отличаются надёжностью, при сравнительно большой цене.</p>
--	--	--

Таким образом, для уменьшения влияния угроз и устранения слабых сторон необходимо предусмотреть следующее:

- повышать конкурентоспособность стенда путём увеличения уровня надёжности, безопасности;
- предусмотреть возможность замены импортных комплектующих на оные отечественные производства;
- периодически проводить анализ конкурентоспособности для отслеживания положения на рынке технических решений.

9.4 Планирование научно-исследовательских работ

9.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Тщательное планирование комплекса предполагаемых работ позволяет в дальнейшем точно следовать плану и выполнить работу в заданные сроки. Для работы выделяется рабочая группа. Рабочей группой настоящего проекта является группа из трёх человек: инженера (И), выполняющего монтаж, проектирование и прочие виды работ; руководитель (Р), отслеживающий выполнение работ и направляющий разработку стенда.

Проектная работа делится на различные этапы, каждый из которых выполняется одним человеком или группой людей [11]. Этапы реализации разработки проекта представлены в таблице 9.4.1.

Таблица 9.4.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должности исполнителей
Выбор направления разработки	1	Определение направления работы	Р
	2	Обзор имеющихся решений	И
	3	Постановка основных целей и задач	Р, И
Разработка технического задания	4	Составление и утверждение технического задания	Р
Разработка технической документации	5	Разработка технологической схемы, ФСА	Р, И
	6	Составление трёхмерной модели стенда	И
	7	Разработка чертежа стенда	И
	8	Разработка чертежа электрической части стенда	И
	9	Утверждение технической документации	Р
Решение вопроса комплектующих	10	Составление списка комплектующих	Р, И
	11	Проведение закупки комплектующих	Р
Дополнительные разделы	12	Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	И
	13	Написание раздела «Социальная ответственность»	И
Монтажные работы	14	Сборка стенда, монтаж электрический	И
	15	Проведение пуско-наладочных работ	И

Продолжение таблицы 9.4.1 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Программное обеспечение	16	Написание программного обеспечения	И
Проверка результатов	17	Проверка результатов работы руководителем	Р
Оформление отчёта	18	Составление расчётно-пояснительной записки	И
	19	Подготовка презентации дипломного проекта	И

Таким образом, в рамках процесса реализации проекта было определено 9 этапов работы, состоящих суммарно из 20 работ. Исполнителем, по большей части, является инженер. Консультирование может осуществляться на любом из этапов реализации проекта.

9.4.2 Определение трудоёмкости выполнения работ

Основную часть стоимости разработки, зачастую, составляют основную часть стоимости разработки. Поэтому важно определить трудоёмкость работ каждого из участников научной работы.

Трудоёмкость выполнения научного исследования выражается в человеко-днях и носит вероятностный характер из-за того, что на выполнение работ может повлиять неисчислимое множество факторов, степень влияния которых предсказать не проще, чем само их число. Для определения ожидаемого значения трудоёмкости $t_{ожі}$ используется следующая формула [11]:

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

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.

Продолжительность одной работы рассчитывается по формуле [11]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i},$$

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

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

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

Длительность каждого из этапов работы из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни согласно формуле [11]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал},$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле [11]:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

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

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

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

Таким образом, коэффициент календарности равен:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22.$$

Все рассчитанные значения были сведены в таблицу 8.4.2.

Таблица 9.4.2 – Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	$t_{\min i}$, чел-дни		$t_{\max i}$, чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни					
	И	Р	И	Р	И	Р	И	Р	И	Р
1	0	1	0	5	0	2,60	0	2,60	0	3
2	3	0	7	0	4,6	0	4,60	0	6	0
3	1	1	3	3	1,80	1,80	0,90	0,90	1	1
4	0	3	0	5	0	3,80	0	3,8	0	5
5	3	1	5	2	3,80	1,40	1,90	0,70	2	1
6	7	0	14	0	9,80	0	9,8	0	12	0
7	7	0	18	0	11,4	0	11,4	0	14	0
8	1	0	3	0	1,8	0	1,8	0	2	0
9	10	0	20	0	14	0	14	0	17	0
10	0	2	0	6	0	3,6	0	3,6	0	4
11	1	1	5	2	2,60	1,4	1,30	0,7	2	1
12	0	2	0	9	0	4,8	0	4,8	0	6
13	1	0	3	0	1,8	0	1,8	0	2	0
14	2	0	4	0	2,8	0	2,8	0	3	0
15	7	0	14	0	9,8	0	9,8	0	12	0
16	1	0	3	0	1,8	0	1,8	0	2	0
17	10	0	15	0	12	0	12	0	15	0
18	0	1	0	2	0	1,4	0	1,4	0	2
19	5	0	8	0	6,2	0	6,2	0	8	0
20	1	0	2	0	1,4	0	1,4	0	2	0
Итого	60	12	124	34	85,6	20,8	83	19	100	23

Таким образом, разработка автоматизированного исследовательского стенда физического подобия трубопровода с имитацией утечек охватит 100 календарных дней работы инженера и 23 дня работы руководителя.

По полученным данным была построена диаграмма Ганта, отображённая в таблице 8.4.3.

Таблица 9.4.3 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февр.		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Определение направления работы	Р	3	■													
2	Обзор имеющихся решений	И	6	■	■												
3	Постановка основных целей и задач	Р, И	1		■												
4	Составление и утверждение технического задания	Р	5		■	■											
5	Разработка технологической схемы, ФСА	Р, И	2		■	■											
6	Разработка РКС	И	12			■	■										
7	Составление трёхмерной модели стенда	И	14				■	■									
8	Разработка чертежа стенда	И	2					■									
9	Разработка чертежа электрической части стенда	И	17					■	■	■							
10	Утверждение технической документации	Р	4							■	■						
11	Составление списка комплектующих	Р, И	2								■	■					
12	Проведение закупки комплектующих	Р	6									■	■	■			
13	Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	И	2										■	■			
14	Написание раздела «Социальная ответственность»	И	3											■	■	■	
15	Сборка стенда, монтаж электрический	И	12												■	■	■
16	Проведение пуско-наладочных работ	И	2													■	■
17	Написание программного обеспечения	И	15													■	■
18	Проверка результатов работы руководителем	Р	2														■
19	Составление расчётно-пояснительной записки	И	8														■
20	Подготовка презентации дипломного проекта	И	2														■

■ – инженер ■ – руководитель

Из диаграммы Ганта видно, что наиболее сложными этапами работы, на которые было выделено больше всего календарных дней являются разработка релейно-контактных схем, разработка чертежа электрической части стенда, сборка и монтаж стенда, а также написание программного обеспечения.

9.5 Бюджет научно-технического исследования

9.5.1 Расчёт материальных затрат НТИ

Материальные затраты рассчитываются по формуле [11]:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи},$$

где Z_M – материальные затраты, руб.;

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

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

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

$N_{расхи}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования.

Для создания описываемого стенда физического подобия необходимы комплектующие (датчики, трубы, фитинги и пр.). Материальные ресурсы, необходимые для реализации стенда представлены в таблице 8.5.1.

Таблица 9.5.1 – Материальные затраты для создания стенда

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Цена (всего), руб.
Отсекатель SMART SG55325-E	шт.	1	3103,14	3103,14
Кран шаровый 2-х ходовый	шт.	6	13893,49	83360,9
Шаровой кран ручной	шт.	12	333,00	3996
Обратный клапан	шт.	2	183,00	366
Труба полипропиленовая	м.	7	89,00	623
Насос для перекачки жидкости	шт.	2	4299,00	8598
Датчик расхода	шт.	7	1841,67	12891,7
Гидроаккумулятор	шт.	3	1046,00	3138
Компрессор	шт.	1	12500,00	12500
Блок питания	шт.	1	3492,00	3492
Автоматический выключатель 16А	шт.	2	204,04	408,08
Кнопки в сборе	шт.	2	334,35	668,7

Продолжение таблицы 9.5.1 – Материальные затраты для создания стенда

Щит распределительный	шт.	1	9350,03	9350,03
DIN-рейка	м.	3	255,22	765,66
ПР200	шт.	1	9079,20	9079,2
Реле с 2-мя перекидными контактами	шт.	8	265,00	2120
Таймер многофункциональный	шт.	3	3698,00	11094
Короткая ручка в сборе	шт.	2	153,53	307,06
Розетка на DIN-рейку	шт.	1	445,50	445,5
Короб перфорированный	м.	1,5	415,60	623,4
Клеммный зажим	шт.	40	30,31	1212,4
Ограничитель на DIN-рейку	шт.	17	19,84	337,38
Отвод 90гр.	шт.	20	11,00	220
Тройник	шт.	20	16,00	320
Крестовина	шт.	5	29,00	145
Муфты комбинированные	шт.	30	71,00	2130
Ноутбук HUAWEI MateBook D14	шт.	1	55000,00	55000
ИТОГО:				226295,1

Материальные затраты, которые необходимо понести для сборки стенда составили 226 295 рублей.

9.5.2 Расчёт амортизационных отчислений

Разработка стенда (документы, трёхмерная модель) ведётся с использованием ноутбука стоимостью 55 000 рублей в течение 5 месяцев, срок полезного использования которого – 3 года.

Норма амортизации рассчитывается согласно формуле [11]:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%,$$

Где T – срок полезного использования, лет.

Таким образом, норма амортизации для используемого ноутбука составит:

$$H_A = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33,3\%.$$

Тогда годовые амортизационные отчисления составляют:

$$A_{год} = \frac{55000 \cdot 33,3}{100} = 18315 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления за 5 месяцев составят:

$$A = \frac{18315 \cdot 5}{12} = 7631,25 \text{ руб.}$$

По результатам расчётов амортизационные отчисления на реализацию проекта в течение 5 месяцев составили 7631,25 рублей.

9.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Помимо материальных затрат необходимо рассчитать включающую премию и заработную плату работников, непосредственно выполняющих НТИ.

Зарботная плата работников складывается из основной и дополнительной [11]:

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

При этом основная плата работников, занятых НТИ равняется произведению среднедневной платы работника и количества рабочих дней [11]:

$$Z_{дн} = Z_{осн} \cdot T_{раб},$$

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

$T_{раб}$ – продолжительность работ, раб. дн.

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}},$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

Месячный должностной оклад работника [11]:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

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

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

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

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

Таблица 9.5.3 – Баланс рабочего времени

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

Таким образом, действительный годовой фонд рабочего времени составляет 243 дня для руководителя и 271 день для инженера.

Таблица 9.5.4 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37700	0,3	0,2	1,3	73515	3025	19	57475
Инженер	19200	0,3	0,2	1,3	37440	779	83	64657
Итого $Z_{осн}$								122132

По результатам расчётов видно, что основная заработная плата за реализацию проекта составит 57475 рублей руководителю и 64657 рублей инженеру.

9.5.4 Дополнительная заработная плата

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле [11]

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы.

Тогда дополнительная заработная плата составит:

$$Z_{\text{доп.рук.}} = 0,12 \cdot 57475 = 6897 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп.инж.}} = 0,12 \cdot 64657 = 7759 \text{ руб.}$$

Таким образом, дополнительная плата для инженера составляет 7759 рублей, для руководителя – 6897 руб.

9.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Нормами законодательства Российской Федерации установлены обязательные отчисления от затрат на оплату труда работникам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС), величина которых рассчитываются по формуле:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Размер страховых взносов равен 30% от заработной платы. Сюда включены взносы на пенсионное страхование – 22%, на медицинское страхование – 5,1%, а также на соцстрахование – 2,9%. Отчисления во внебюджетные фонды представлены ниже в таблице 8.5.5.

Таблица 9.5.5 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Заработная плата, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды, %	Отчисления во внебюджетные фонды, руб.
Руководитель	64372	30	19311,6
Инженер	72416	30	21724,8

Таким образом, сумма отчислений во внебюджетные фонды по двум работникам составляет 41 036 рублей.

9.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя затраты на управление, хозяйственное обслуживание, эксплуатацию и ремонт оборудования и составляют 15-20% от суммы заработной платы и отчислений [11]:

$$C_H = k_H \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 7) = \\ = 0,16 \cdot (41036,4 + 226295,1 + 18315 + 122132) = 65244,56 \text{ руб.}$$

По результатам расчётов можно заключить, что накладные расходы составляют 65244,56 рублей.

9.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Затраты формируются на основе рассчитанной величины затрат научно-исследовательской работы. Определение бюджета затрат на научно-исследовательскую деятельность представлено в таблице 9.5.7.

Таблица 9.5.7 – Расчёт бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НИИ	226295,1
Амортизационные расходы	7631,15
Затраты по заработной плате сотрудников	
- руководитель	64372
- инженер	72416
Отчисления во внебюджетные фонды	
- руководитель	19311,6
- инженер	21724,8
Накладные расходы	65244,56
Бюджет затрат НИИ	476995,21

Согласно расчётам, бюджет затрат НИИ составляет 476995,21 рублей. Основной статьёй расходов составляют материальные затраты НИИ (около 47%). Следующими по величине идут расходы на заработную плату (около 29%).

9.6 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

Определение эффективности исследования основано на расчёте интегрального показателя эффективности, который рассчитывается согласно формуле [11]:

$$I_{финр}^{испл.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

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

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

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

На рынке не существует прямых аналогов разрабатываемого стенда, поэтому были подобраны схожие по тематике и процессу, протекающему в системе. Аналогом 1 назовём стенд производства компании «ProgramLab» стоимостью 394 432 рублей, аналогом 2 назовём стенд производства компании «Учтех-Профи» стоимостью 803 323 рублей.

Интегральный финансовый показатель разработки относительно конкурентов составляет:

$$I_{финр}^{разраб} = \frac{476995,21}{803323} = 0,59,$$

$$I_{финр}^{ан.1} = \frac{394432}{803323} = 0,49,$$

$$I_{финр}^{ан.2} = \frac{803323}{803323} = 1.$$

Разница между коэффициентом аналога 1 и разрабатываемого стенда составляет практически одну десятую, однако стоит учесть, что аналог 1 обеспечивает лишь малую часть необходимого функционала. Стоимость аналога 2 же почти в два раза превышает стоимость разрабатываемого стенда.

Интегральный показатель ресурсоэффективности рассчитывается по формуле [11]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

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.

Расчёты показателей приведены в таблице 9.6.1.

Таблица 9.6.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент	Балл			Интегральный финансовый показатель		
		P	A1	A2	P	A1	A2
Функционал	0,3	5	1	2	1,5	0,3	0,6
Энергоэффективность	0,09	3	4	4	0,27	0,36	0,36
Удобство эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Помехоустойчивость	0,09	4	5	5	0,36	0,45	0,45
Надёжность	0,12	4	5	5	0,48	0,6	0,6
Энергосбережение	0,05	4	4	5	0,2	0,2	0,25
Безопасность	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Ремонтопригодность	0,1	5	4	3	0,5	0,3	0,3
Потребление ресурсов	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Итого					4,51	3,21	3,56

Согласно полученным данным, разрабатываемый проект является наиболее ресурсоэффективным, чем не прямые, но наиболее близкие аналоги.

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}} .$$

Сравнительная эффективность вариантов исполнения рассчитывается по формуле [11]:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{разраб}}{I_{ан.i}} ,$$

где \mathcal{E}_{cp} – сравнительная эффективность проекта;

$I_{разраб}$ – интегральный показатель эффективности разработки;

$I_{ан.i}$ – интегральный показатель эффективности аналога.

Расчёт сравнительной эффективности разработки представлен в таблице 9.6.2.

Таблица 9.6.2 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Разрабатываемый проект	Аналог 1	Аналог 2
Интегральный финансовый показатель разработки	0,59	0,49	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,51	3,21	3,56
Интегральный показатель эффективности	7,64	6,55	3,56
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	2,15	1,84	1

Таким образом, основываясь на расчете интегральных показателей финансов, ресурсоэффективности и эффективности, можно сделать вывод, что разрабатываемый стенд физического подобия превосходит своих конкурентов. Это обусловлено тем, что несмотря даже на не самую низкую стоимость, разработанный проект обладает наибольшим функционалом и техническими возможностями.

9.7 Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

В ходе работы над разделом были определены сегменты рынка, на которые стоит обратить внимание при продвижении разрабатываемого стенда: ВУЗы и техникумы, промышленные предприятия, связанные с нефтегазовой отраслью.

Был проведён анализ конкурентных решений и SWOT-анализ. Основными конкурентами являются компании-производители учебных стендов. Их технические решения по некоторым критериям могут превосходить разрабатываемый стенд, тем не менее в их большинстве разработка превосходит аналоги. По SWOT-анализу были определены направления развития: улучшение безопасности и надёжности, импортозамещение и периодический конкурентный анализ.

Также было проведено планирование научно-исследовательских работ. Длительность работ инженера составила 100 календарных дней, руководителя – 23 календарных дня. Из диаграммы Ганта видно, что наиболее сложными этапами работы, на которые было выделено больше всего календарных дней являются разработка релейно-контактных схем, разработка чертежа электрической части стенда, сборка и монтаж стенда, а также написание программного обеспечения.

Согласно расчётам, бюджет затрат НИР составляет 476995,21 рублей. Основной статьёй расходов составляют материальные затраты НТИ (около 47%). Следующими по величине идут расходы на заработную плату (около 29%).

По расчету интегральных показателей финансов, ресурсоэффективности и эффективности, можно также сделать вывод, что разрабатываемый стенд физического подобию превосходит своих конкурентов. Это обусловлено тем, что несмотря даже на не самую низкую стоимость, разработанный проект обладает наибольшим функционалом и техническими возможностями.

10 Социальная ответственность

Разрабатываемый стенд позволяет моделировать длинный трубопровод при помощи имитации перепада давления по его длине. Давление на входе трубопровода, по его длине и на выходе имитируется соответствующими гидроаккумуляторами. Давление в системе превышает атмосферное, что требует отдельного внимания при проектировании стенда.

Стенд позволит исследовать такие гидродинамические процессы, как утечка и запаздывание при изменении давления разных участках трубопровода. Утечки газонефтяной смеси на длинных трубопроводах приносят большой вред окружающей среде и приносят ощутимые финансовые потери, так как кроме своевременного устранения утечки необходимо определить место, в котором она произошла. Для этого можно использовать метод, по которому местоположение утечки определяется на стенде физического подобия.

Пользователями разрабатываемого решения являются сотрудники научно-исследовательского института, а также студенты, при проведении лабораторных работ или других родов учебных занятий. Потенциально пользователями стенда могут стать сотрудники предприятий нефтегазового промысла, если на предприятии проводятся какие-либо обучающие занятия.

Работа по проектированию стенда физического подобия ведётся в лаборатории ОАР НИ ТПУ, площадь которой составляет 41,25 метров квадратных. В работе используется оборудование: персональный компьютер, аппарат для сварки металлопластиковых труб, настольная лампа, Ethernet-кабель. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне, включают: сварку ПП труб, разработку программного обеспечения для демонстрации работы стенда на языке программирования, описываемого в стандарте МЭК 61131-3.

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

10.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Правовые нормы, регулирующие взаимоотношения между сотрудником и организацией, включают положения по оплате труда, режиму рабочего времени.

Трудовой кодекс РФ содержит основные пункты отношений между сотрудником и организацией [12].

Количество часов рабочего времени нормировано, составляет 40 часов в неделю. В течение дня разработчик ПО (он же монтажник) должен иметь перерыв, составляющий не менее 30 минут и не более двух часов на принятие пищи и отдых.

10.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Работа над стендом поделена на две составляющие: составление проектной документации и написание программного обеспечения, монтаж стенда. В первом случае работа ведётся сидя и регламентируется ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» [13]. Такие работы ведутся с помощью персонального компьютера.

Монтаж стенда предполагает работу с компонентами стоя, что регламентируется ГОСТ 12.2.033-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования» [14]. Кроме того, предполагается, что работа с уже собранным и полностью рабочим стендом может вестись как стоя, так и сидя, что также будет регулироваться указанными стандартами.

Во время монтажа стенда создаётся слаботочная система, работа над которой должна полностью соответствовать принципам, описываемым в ГОСТ Р 58471-2019 «Слаботочные системы. Кабельные системы. Создание и эксплуатация кабельных систем помещений заказчиков».

10.2 Производственная безопасность

Список вредных и опасных факторов, характерных для производственной среды, приведены в таблице 10.2.1.

Таблица 10.2.1 – Возможные опасные и вредные факторы на рабочем месте

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы	
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Поправкой) ГОСТ Р 58471-2019 «Слаботочные системы. Кабельные системы. Создание и эксплуатация кабельных систем помещений заказчиков». ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация»	
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемые разницей потенциалов, под действие которого попадает рабочий		
Действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение твёрдых, сыпучих, жидких объектов на работающего		
Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твёрдых объектов		
Повышенный уровень шума;		
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.		

10.2.1 Производственные факторы

В составе производственных факторов представлены связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека, а также связанные с электрическим током, вызываемые разницей потенциалов, под действие которых попадает рабочий.

Возникновение первых факторов связано с тем, что монтаж стенда физического подобию производится при помощи сварочного аппарата для

полипропиленовых и поливинилхлоридных труб. Также возможен нагрев комплектующих, однако в данном случае нагрев будет совсем незначителен (в пределах 45°C).

Наиболее типичными травмами при работе с аппаратом для сварки ПП и ПВХ труб являются ожоги разной степени тяжести. Для того, чтобы снизить вероятность появления травмы рабочему необходимо: пройти инструктаж по работе со сварочным аппаратом; применять средства защиты, необходимые для работы с аппаратом (в данном случае защитные перчатки и очки).

Производственные факторы, связанные с разницей электрических потенциалов, также могут навредить рабочему. Для безопасной работы со слаботочными системами, в соответствии с ГОСТ Р 58471-2019 [15], необходимо пройти инструктаж по работе с соответствующими типами оборудования, приборами и технологиями. Источниками возникновения фактора являются токопроводящие части стенда.

Средствами защиты от напряжения являются изолирующие устройства, устройства автоматического отключения (автоматический выключатель) и другое [16]. Также необходимо провести правильное заземление, которое позволит обеспечить безопасность.

Проектируемый стенд работает при напряжении 24 В и токе от 0 до 20 мА, что является безопасными показателями электрической цепи, даже при контакте с кожей человека.

10.2.2 Действие силы тяжести при падении предметов на рабочего

Причиной возникновения этого фактора является наличие тяжёлых (более 1 кг) комплектующих, которые необходимы для работы стенда. Среди них можно выделить компрессор, как самый тяжёлый компонент (20 кг). Как ранее уже было описано, для уменьшения вероятности возникновения травм (таких как ушибы, царапины, порезы и пр.) перед работой с оборудованием рабочему необходимо пройти инструктаж по работе с ним, а также ознакомиться с правилами эксплуатации каждого компонента. Также рабочему необходимо носить спецодежду.

10.2.3 Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твёрдых предметов

Источниками фактора являются острые кромки некоторых компонентов автоматизированного стенда, а также инструменты для его монтажа, включающие резак для металлопластиковых труб, отвёртки и пр. Так как эти инструменты необходимы для монтажа стенда, невозможно снизить опасность их использования во время процесса сборки стенда.

Таким образом, ввиду специфики работы над стендом, наиболее эффективным вариантом защиты от упомянутых предметов будет применение спецодежды, а именно:

- средств защиты глаз (защитные очки);
- средств защиты рук (перчатки, полуперчатки).

На этом рассмотрение опасных факторов окончено. Далее перейдём к вредным факторам производства, которые возникают при работе над монтажом стенда и во время работы на нём.

10.2.4 Повышенный уровень шума

Во время монтажа и последующей работы стенда возникает шум от работы некоторых компонентов. Шум может привести к нарушениям слуха, при длительном воздействии является фактором стресса, снижающего производительность труда работника. Источником шума в разрабатываемом стенде являются компоненты сборки.

В производственных помещениях при выполнении работ уровни шума не должны превышать предельно допустимые значения, описанные в действующих санитарно-эпидемиологических нормативах [16]. Данные о допустимых значениях звукового давления в соответствии с санитарными нормами приведены ниже.

Таблица 10.2.4 – Допустимые уровни звукового давления

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
99	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для снижения уровня шума, который будет сопровождать процесс сборки и работы автоматизированного станда был принят ряд решений:

- при подборе комплектующих было отведено внимание подбору комплектующих, издающих минимум шума (так был подобран малошумный компрессор, громкость работы которого соответствует громкости человеческого разговора);

- для комфортной работы с автоматизированным стандом работнику предписано иметь индивидуальные средства защиты (беруши, противозумные вкладыши, наушники), которые способны защитить от шума работы насосов и прочих комплектующих.

В качестве средств коллективной защиты могут быть использованы оградительные устройства, глушители шума, звукопоглощающие устройства и материалы.

10.2.5 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

При разработке ПО для обеспечения работы станда, а также при сварке полипропиленовых труб недостаток искусственного освещения может быть довольно ощутимым, так как работа в первом случае ведётся за персональным компьютером, во втором же ведётся работа, требующая определённой точности и аккуратности. При несоблюдении норм искусственного освещения у работника отмечается чрезмерное напряжение глаз, снижение работоспособности, головные боли и прочее. Поэтому необходимо следить за тем, чтобы работу сопровождал достаточный уровень освещения.

Ниже в таблице 10.2.5 приведены требования к освещённости на рабочих местах.

Таблица 10.2.5 – Требования к освещенности на рабочих местах

Освещённость на рабочем столе	(300 - 500) лк
Освещённость на экране ПК	не выше 300 лк
Блики на экране	не выше 40 кд/м ²
Показатель ослеплённости	не более 20
Показатель дискомфорта	не более 15
Отношение яркости: - между рабочими поверхностями - между поверхностями стен и оборудования - коэффициент пульсации	- (3:1 – 5:1) - 10:1 - не более 5%

В случае недостаточного уровня освещенности можно предложить к исполнению такие мероприятия, как: введение дополнительных источников искусственного света, организация помещений для отдыха.

10.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматриваются особенности воздействия процесса проектирования и эксплуатации стенда на окружающую среду, определяются источники загрязнения.

При проектировании и разработке стенда физического подобия используется персональный компьютер. Для расширения возможностей ПК осуществляется замена его деталей при выходе из строя или при необходимости улучшения технических характеристик устройства. Возникает необходимость утилизации неисправных (устаревших) деталей. При этом известно, что комплектующие создаются с использованием драгоценных металлов. Радиоэлектронный лом комплектующих ПК необходимо сдавать на

аффинажные заводы – предприятия, получающие высокочистые драгоценные металлы.

Также следует отметить, что рабочей жидкостью, которая используется для заполнения системы станда, является масло, которое, тем не менее, безвредно для экологии.

10.3.1 Влияние объекта исследования на гидросферу

Если осуществлять утилизацию отходов классическими способами, например, захоронениями отходов на полигонах, то в случае близости таких полигонов к водоемам, отходы от утилизации деталей могут оказаться в речных водах. Для того, чтобы минимизировать влияние утилизируемых комплектующих персонального компьютера, их необходимо сдавать в специальные приёмные организации по переработке. Таким образом, расположенные вблизи водоёмов полигоны захоронения отходов, будут меньше влиять на гидросферу.

Поскольку трубы, формирующие контур для соединения компонентов системы автоматизированного станда, сделаны из полипропилена, при демонтаже станда их необходимо сдавать в приёмочные центры. В этих центрах на основе сданных пластиковых материалов получают вторсырьё, которое потом используют для изготовления различного рода изделий.

10.3.2 Влияние объекта исследования на литосферу

Захоронение твердых бытовых отходов производится на полигонах. Для минимизации ущерба комплектующие станда и персонального компьютера сдаются на переработку. Для переработки отходов может использоваться высокотемпературный пиролиз. В результате процесса высокотемпературного пиролиза образуются твёрдые продукты в виде шлака и золы, т.е. непиролизуемые остатки. Технологическая схема этого метода утилизации включает в себя четыре последовательных этапа, описанных в источнике [17]. Высокотемпературный пиролиз позволяет экологически чисто, экономически выгодно и технически довольно просто перерабатывать твердые бытовые отходы без их предварительной подготовки, т.е. сортировки, сушки и т.д.

10.3.3 Влияние объекта исследования на атмосферу

Во время работы стенда рабочая жидкость забирается из открытого сосуда, который перед началом работы стенда заполняется минеральным маслом. В нормальных условиях работы стенда, предусмотренных техническим заданием, испарение масла не происходит, так как температура испарения минерального масла составляет минимум 100°C, тогда как стенд и все его компоненты по техническому заданию не подвергаются воздействию высоких температур вне системы и не нагреваются сами. То есть, их температура остаётся на уровне температуры лабораторного помещения.

Тем не менее, из-за больших объёмов масла, при возникновении искры в результате, например, короткого замыкания, минеральное масло может начать гореть, что продлится непродолжительное время, однако некоторая часть масла может испариться и попасть в атмосферу.

Для того, чтобы вероятность возгорания масла во время работы стенда была минимальной, нужно отделить электрическую часть стенда от части, непосредственно работающей с рабочей жидкостью. С этой целью стенд был спроектирован таким образом, что даже при выливании масла из системы, оно не попало на электрическую часть стенда. Это стало возможным с помощью позиционирования электрической части в металлическом распределительном щите. Необходимо также обеспечить герметичность сосуда, наполненного рабочей жидкостью, чтобы избежать испарения масла и в нерабочем состоянии стенда. С этой целью был подобран резервуар с плотно закрывающейся крышкой.

Кроме того, необходимо использовать такой вариант минерального масла, который даже при возгорании будет минимально вреден окружающей среде и человеку.

10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

10.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

При проектировании автоматизированного стенда, его сборке, а также эксплуатации могут возникать различные ЧС. Среди таких ЧС могут быть относящиеся к природным ЧС, а также к антропогенным. Из всех вариантов ЧС наиболее вероятным является пожар.

Пожар может произойти из-за короткого замыкания, которое может произойти в электрических компонентах стенда из-за неправильного монтажа, персональном компьютере. Также причиной может стать неумелое пользование сварочным аппаратом для труб. Категория помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, в соответствии с [21], является категорией «Г» (умеренная пожароопасность). Класс возможного пожара – Е (горение электроустановок). Первичными средствами пожаротушения является углекислотный огнетушитель.

10.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

В случае возникновения пожара тушение горящего электрооборудования должно производиться огнетушителями ОУ-5 или ОУ-10 (углекислотные) и огнетушителями типа ОП-10 (порошковые).

Во избежание пожара необходимо соблюдать ряд правил:

- соблюдать чистоту в помещении, вовремя выносить мусор;
- план эвакуации из здания следует располагать на видном месте;
- работать только при наличии исправного оборудования;
- по окончании работы на оборудовании проверить выключены ли

электроприборы.

При этом необходимо также обеспечить:

- присутствие наглядных пособий, для предотвращения пожара;
- содержание помещения в чистоте;
- противопожарный инструктаж сотрудников.

При возникновении пожара необходимо позвонить по номеру 101 в пожарную охрану, сообщив о пожаре и месте его возникновения, а затем покинуть помещение в соответствии с планом пожарной эвакуации.

10.5 Вывод по разделу «Социальная ответственность»

В данном разделе были рассмотрены вопросы социальной ответственности при разработке автоматизированного стенда физического подобия трубопровода с имитацией утечек, а также процесса его монтажа и эксплуатации. Также были рассмотрены организационные и правовые вопросы обеспечения безопасности, проанализированы нормативные документы.

Помещение, согласно ПУЭ [18], относится к помещениям с повышенной опасностью. Группа электробезопасности, в соответствии с Приказом от 15 декабря 2020 [19] – первая (I). Категория тяжести труда по СанПиН 1.2.3685 [16] является второй (IIб). Категория помещений по взрывопожарной и пожарной опасности, в соответствии с [20], является категорией «Г» (умеренная пожароопасность). Также определена категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2398 [21]. Данная категория является второй (II).

Установлено, что наиболее вероятно чрезвычайной ситуацией является пожарная опасность. Были разработаны организационные мероприятия по её предотвращению и ликвидации.

Заключение

Результатом выполнения выпускной квалификационной работы стал проект автоматизированного исследовательского стенда физического подобия трубопровода с имитацией утечек.

Был рассмотрен метод определения местоположения и объёма утечки по изменению профиля давления вдоль трубопровода, базирующийся на фиксации понижения давления в случае возникновения утечки на контролируемом участке.

Были определены необходимые точки автоматизации. В ходе работы были составлены основные технические документы автоматизации, такие как: функциональная схема автоматизации, структурная схема автоматизации, а также схема соединений внешних проводок.

Был произведён подбор и выбор элементной базы, в результате чего был составлен список контрольно-измерительных приборов, рассмотрено их подключение к ПЛК Modicon M580 ePAC. Также были подобраны исполнительные механизмы и материалы для изготовления стенда.

Была разработана трёхмерная модель стенда физического подобия, учитывающая достоверный размер подобранных элементов сборки

Таким образом, был разработан стенд физического подобия, предусматривающий возможность имитации утечек и исследования этого гидродинамического процесса.

Conclusion

The result of the graduate work was the project of an automated research stand of the physical similarity of the pipeline with simulated leaks.

The method of determining the location and volume of leakage by changing the pressure profile along the pipeline was considered, based on fixing the pressure drop in the location of a leak in the controlled area.

The necessary automation points have been identified. In the course of the work, the main technical documents of automation were compiled, such as the functional scheme of automation, the block diagram of automation, the wiring diagram of external wiring.

The selection of the element base was made, as a result of which a list of control and measuring devices was compiled, their connection to the Modicon M580 ePAC PLC was considered. The actuators and materials for the production of the stand were also selected.

Thus, a physical similarity stand was developed, providing for the possibility of simulating leaks.

Список литературы

1. Степанченко Т.Е., Шкляр В.Н. Разработка и исследование алгоритмов обнаружения утечек в магистральных трубопроводах на основе их гидродинамических моделей // Известия Томского политехнического университета, 2006. – Т. 309 - №7. С. 70-73.

2. Ефимов С.В. Программное обеспечение автоматизированных систем управления технологическими процессами: учебное пособие [Электронный ресурс] / С.В. Ефимов, М.И. Пушкарёв, А.С. Фадеев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – 1 компьютерный файл (pdf; 2.4 MB). – Томск: Изд-во ТПУ, 2020. – Заглавие с титульного экрана. – Электронная версия печатной публикации. – Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ..

3. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016. Контроллеры программируемые. Часть 3. Языки программирования. Дата введения 2017-04-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200135008> (дата обращения: 24.04.2022). – Текст: электронный.

4. Кран шаровой латунный с электроприводом DN20 G3/4" SMART QT730623 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shop-watervalve.ru/59777> - свободный (дата обращения 05.05.2022).

5. Контроллер Modicon M580 ePAC. Modicon M580 ePAC – контроллер ePAC со встроенной технологией Ethernet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.se.com/ru/ru/product-range/62098--modicon-m580-epac/> - свободный (дата обращения 05.05.2022).

6. G3/4'' Water Flow Sensor, Датчик расхода воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.chipdip.ru/product/g3-4-water-flow-sensor> - свободный.

7. Бесшумный компрессор Pegas pneumatic PG-802 проф 6620 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kompresory.vseinstrumenti.ru/porshnevye/bezmaslyanye/pegas-pneumatic/pg-602-prof-6620/> - свободный (дата обращения 05.05.2022).

8. Клапан электромагнитный SMART SG55325 DN20 G3/4" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shop-watervalve.ru/59183/> - свободный (дата обращения 05.05.2022).

9. Помповый насос перекачки топлива 24V БелАК «Стандарт» БАК.11024 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.vseinstrumenti.ru/avtogarazhnoe-oborudovanie/smazochnoe-i-zapravochnoe/toplivnye-nasosy/dlya-benzina/belak/pompovyj-24v-standart-bak-11024/> - свободный (дата обращения 06.05.2022).

10. Преобразователь давления ОВЕН ПД100-ДИ 0,1-171-0,5 1,0 атм (100 кПА) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tomsk.specarmatura.ru/catalog/preobrazovateli_davleniya_mikroprotsessornye_pd_100di_m/preobrazovatel_pd100_di_0_1_171_0_5/ - свободный (дата обращения 22.04.2022).

11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова – Томск: изд-во ТПУ, 2014. – 73с.

12. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 05.02.2018) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002.

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

14. ГОСТ 12.2.033-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.

15. ГОСТ Р 58471-2019. Слаботочные системы. Кабельные системы. Создание и эксплуатация кабельных систем помещений заказчиков. Планировка и установка (монтаж).

16. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2021. – 822 с.

17. Утилизация и переработка твёрдых бытовых отходов : учебное пособие / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В.

Шашков. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 100 экз. – 188 с.

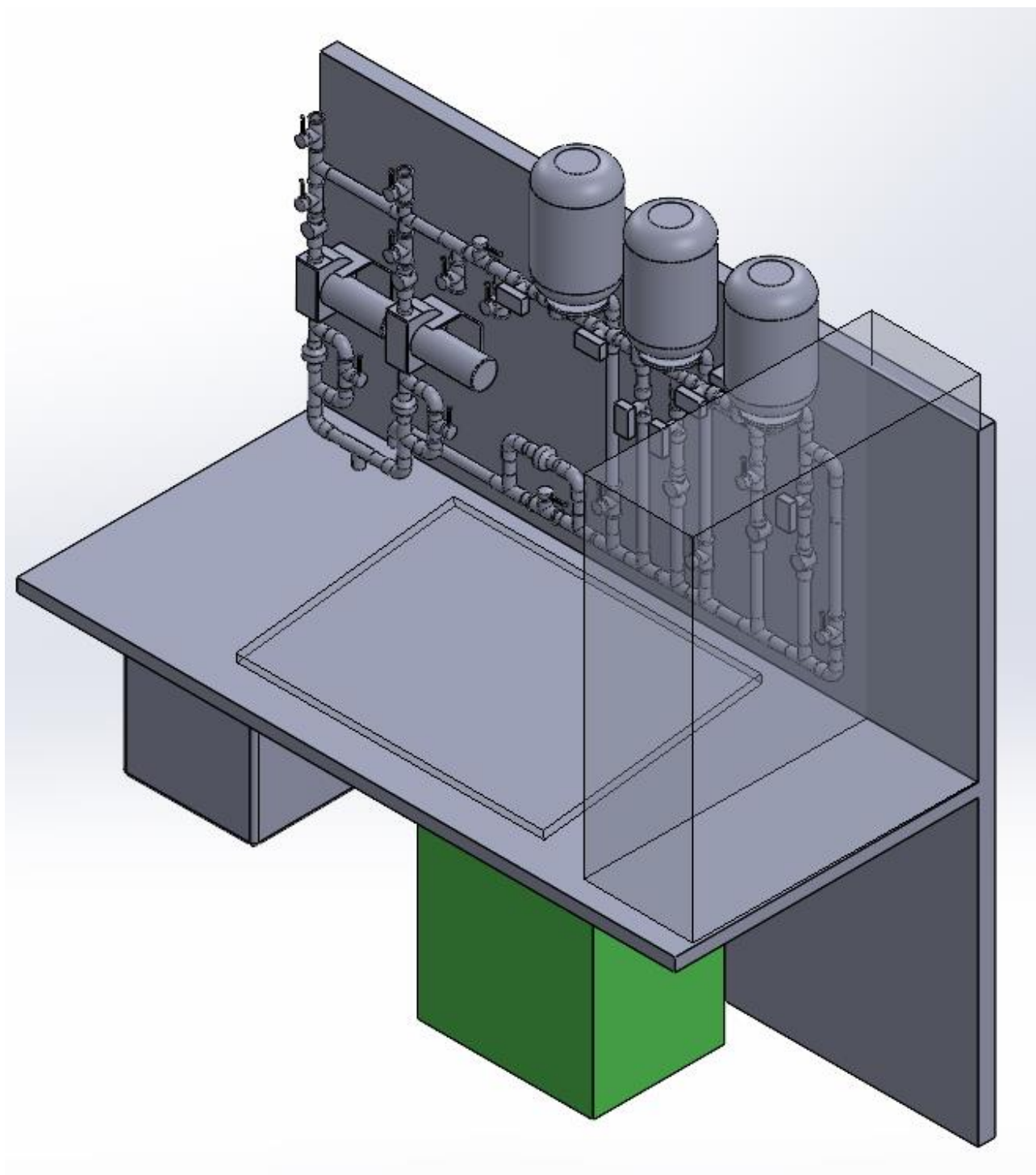
18. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК Седьмое издание
Раздел 1 ОБЩИЕ ПРАВИЛА Глава 1.1 ОБЩАЯ ЧАСТЬ.

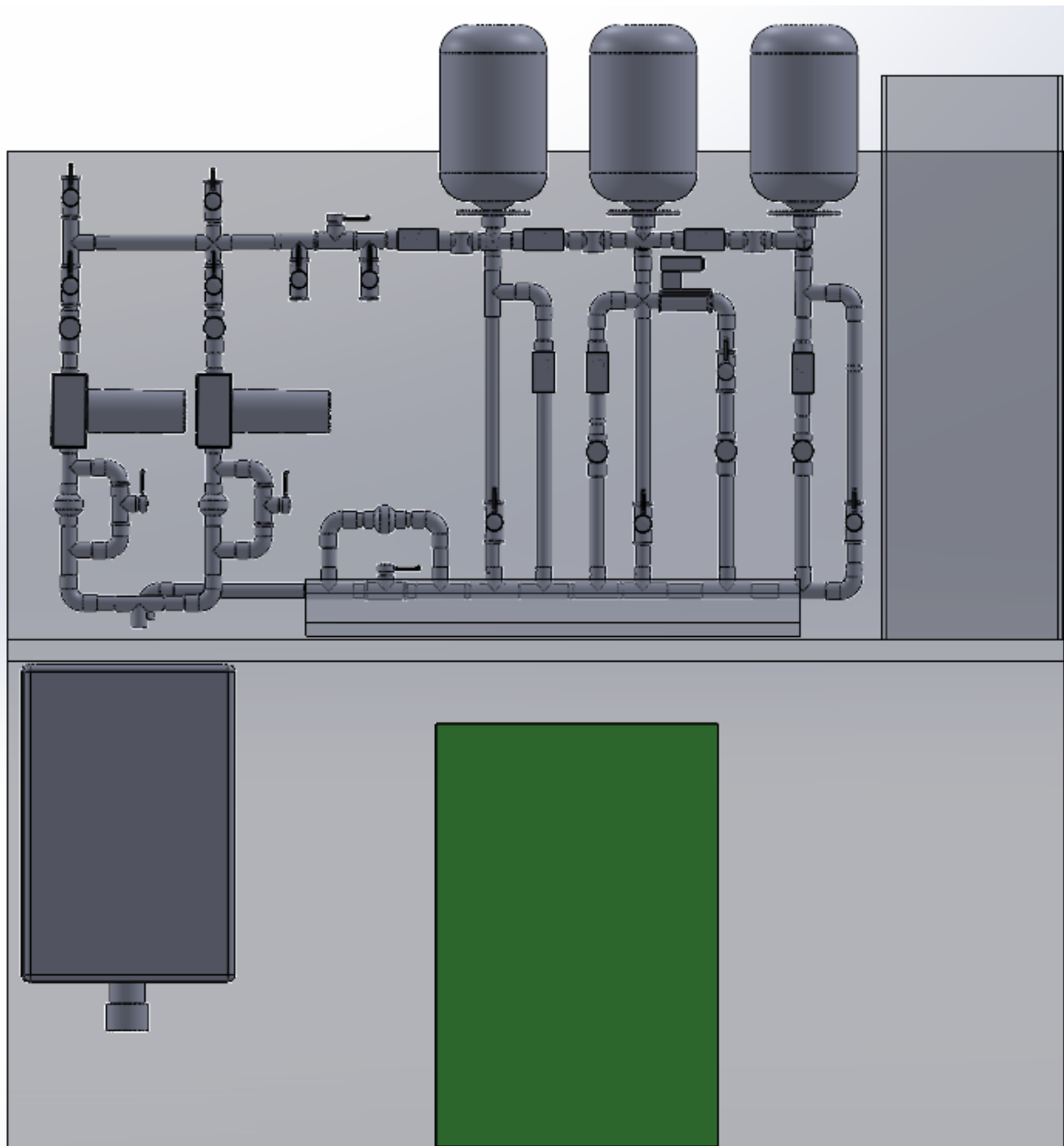
19. ПРИКАЗ от 15 декабря 2020 года N 903н Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок.

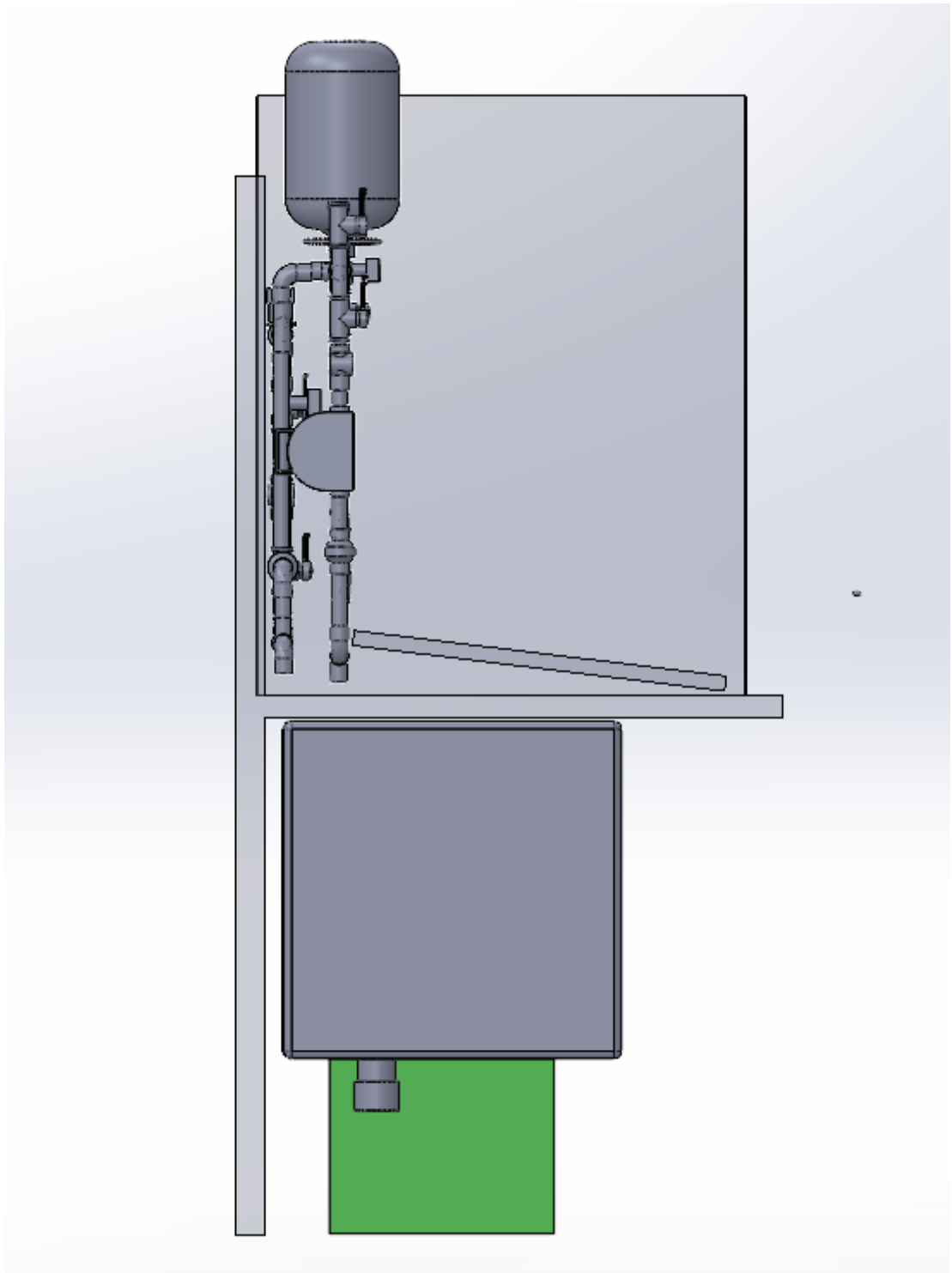
20. СП 12.13130.2009 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАТЕГОРИЙ ПОМЕЩЕНИЙ, ЗДАНИЙ И НАРУЖНЫХ УСТАНОВОК ПО ВЗРЫВОПОЖАРНОЙ И ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ.

21. Постановление Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. N 2398 «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий».

Приложение А (обязательное) Виды трёхмерной модели

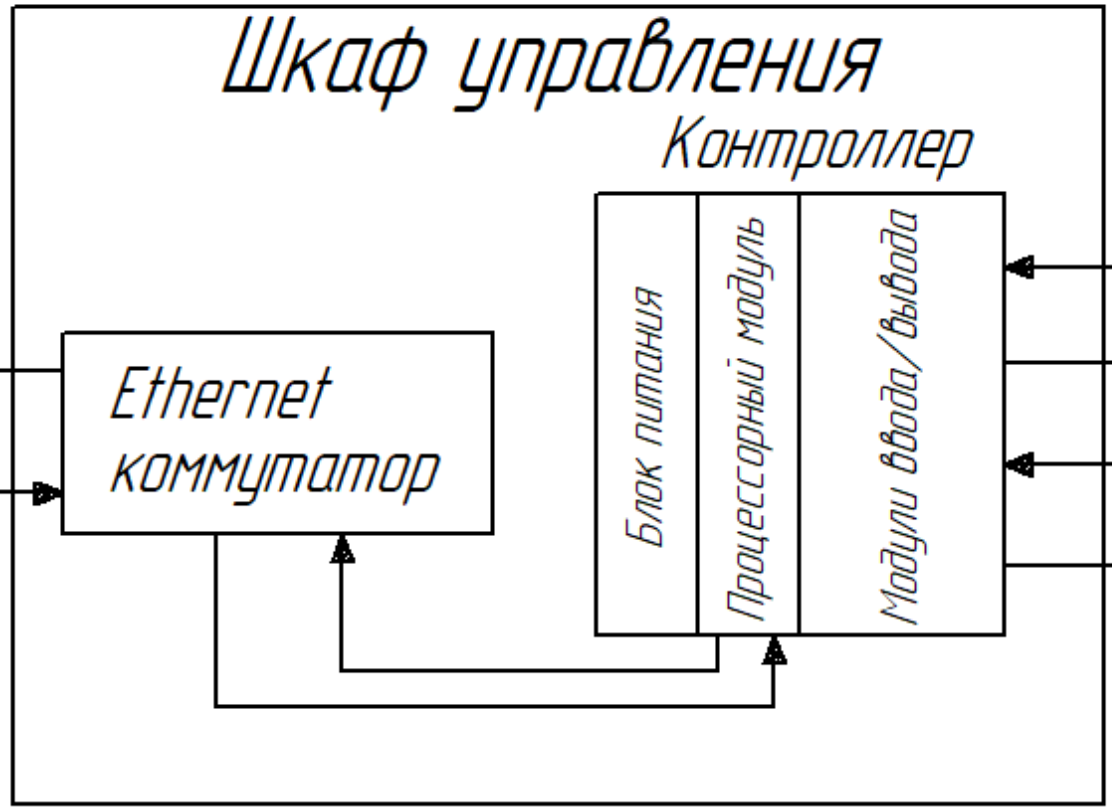






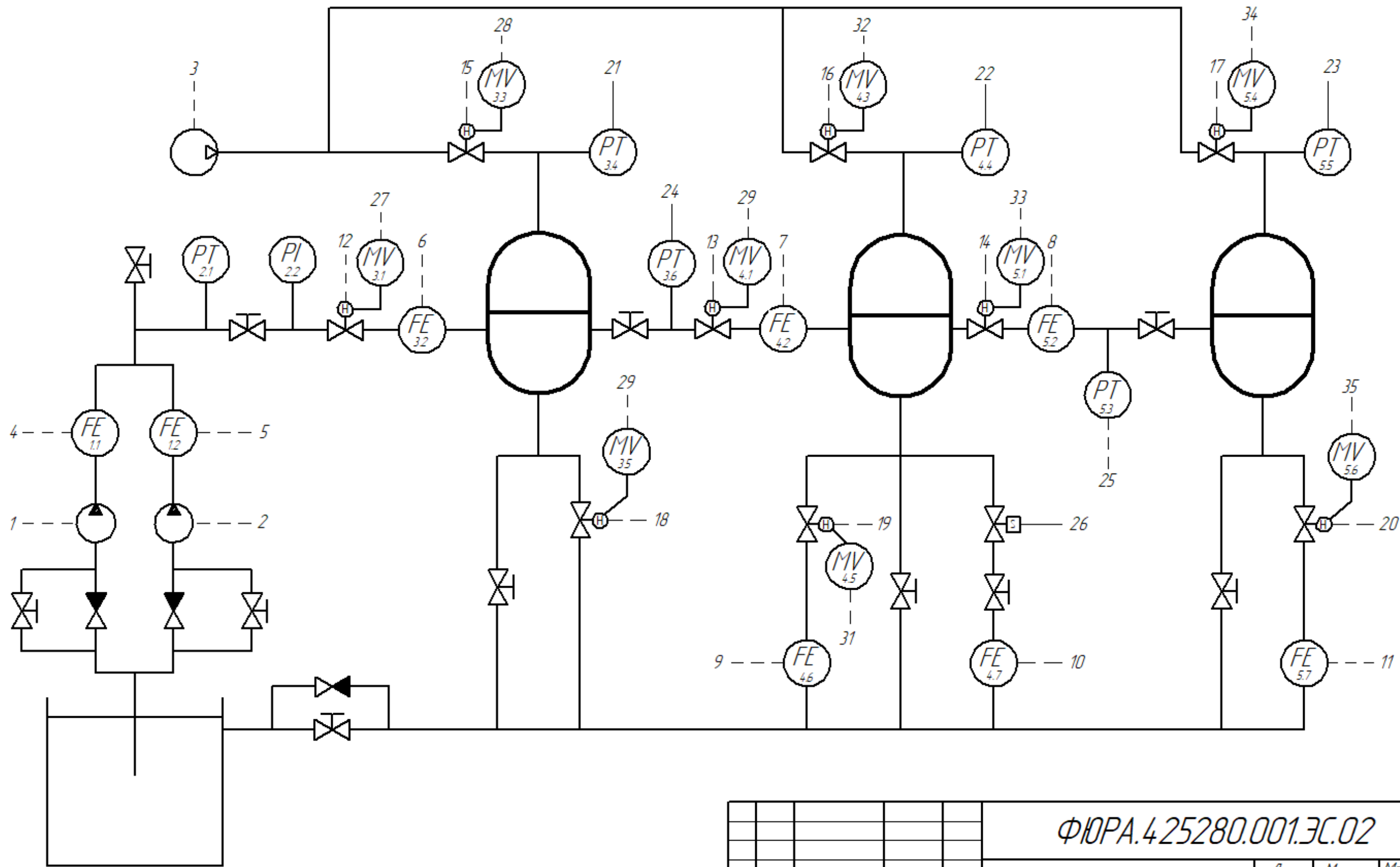
АРМ оператора

ОРС-сервер



Датчики и исполнительные устройства

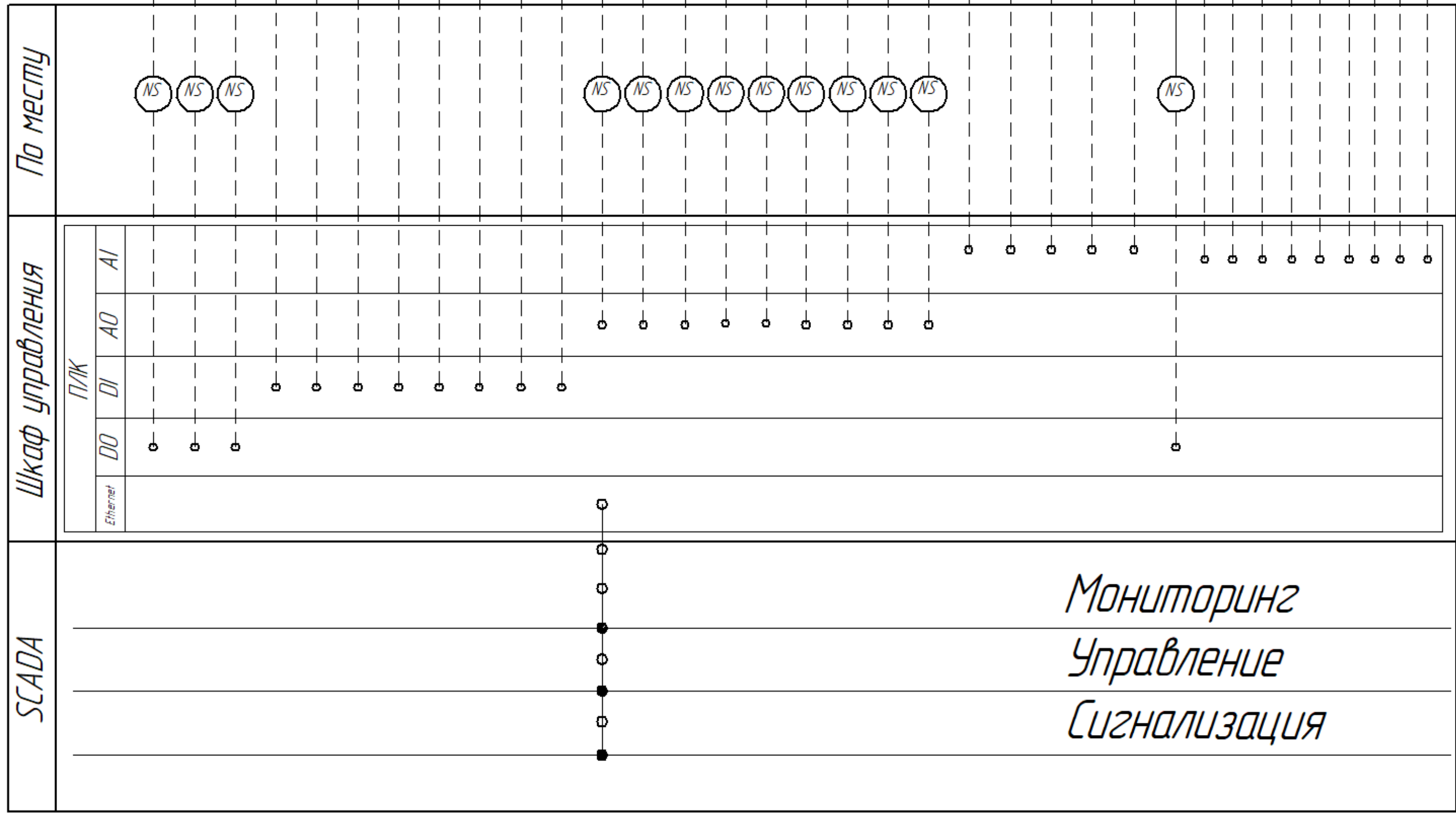
					ФЮРА.4.25280.001.ЭС.01			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизированный стенд физического подобия трубопровода	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Федотов А.Д.				У		1:1
Проб.		Зедзеев А.Г.						
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.								
Утв.					Структурная схема автоматизации	ТПУ ОАР ИШИТР группа 8Т8Б		
					Копировал	Формат А3		



				ФЮРА.4.25280.001.ЭС.02					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизированный стенд физического подобия трубопровода с имитацией утечек	Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.	Федотов А.Д.					у		1:1	
Проб.	Зедзеев А.Г.					Лист	1	Листов	2
Т.контр.						ТПУ ОАР ИШИТР группа 8Т8Б			
Н.контр.					Функциональная схема автоматизации				
Утв.					Копировал				
						Формат А3			

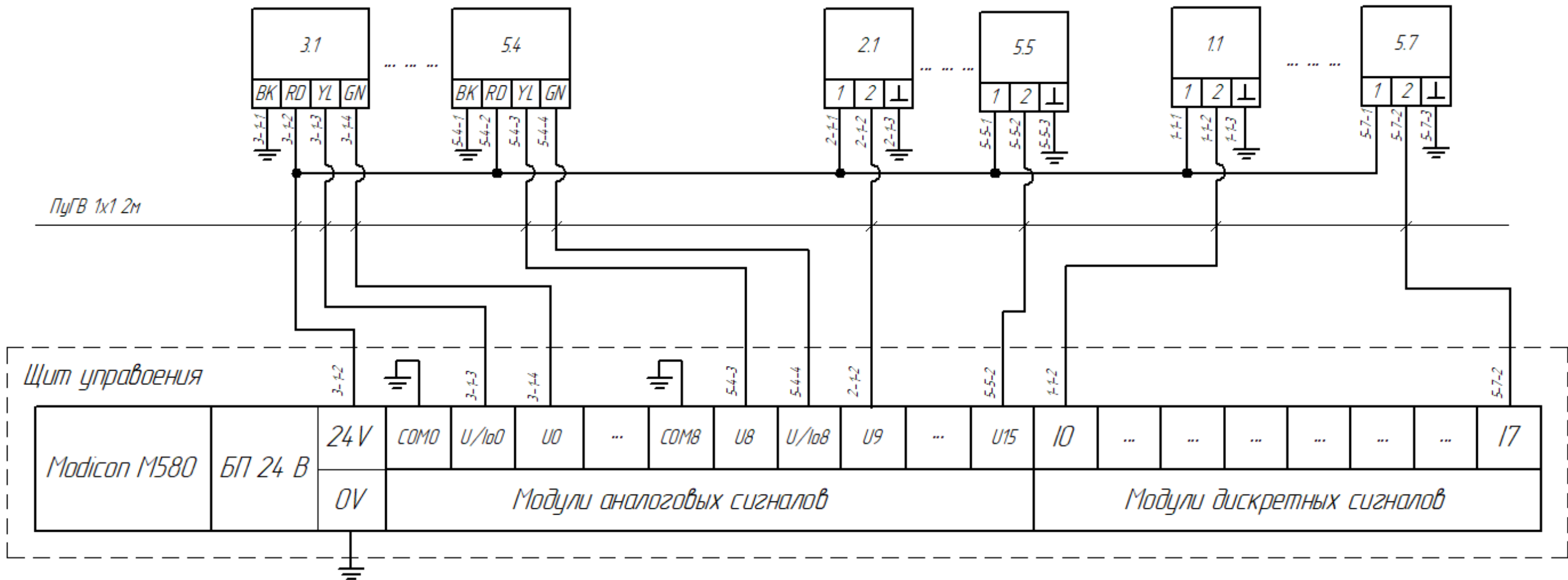
КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.
 Инв. № подл. Подп. и дата
 Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата
 Справ. №

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Наименование параметра	Положение регулирующего элемента									Давление					Поток								
	Регулирующий кран QT7306									ОВЕН ПД100-ДИО,1-171-0,5					G3&4" Water Flow Sensor								
Среда	Жидкость				Газ					Жидкость		Газ			Жидкость								
Позиция	3.1	3.5	4.1	4.5	5.1	5.6	3.3	4.3	5.4	2.1	3.6	5.3	3.4	4.4	5.5	1.1	1.2	3.2	4.2	4.6	4.7	5.2	5.7



ФЮРА.4.25280.001.ЭС.03								
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Автоматизированный стенд физического подобия трубопровода	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Федотов А.Д.					У		1:1
Проб.	Зедзеев А.Г.							
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.					ТПУ ОАР ИШИТР группа 8Т8Б			
Утв.					Копировал Формат А3			

КОМПАС-3D v19 Учебная версия © 2021 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.
 Инв. № подл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата.

Перв. примен.

Справ. №