

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

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Автоматизация конечного сепаратора на установке подготовки нефти Буранного месторождения

УДК 681.51: 622.276.8

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т91	Стрельникова Виктория Анатольевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОАР ИШИТР	Семенов Н.М.			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГ ШИП	Жиронкин С.А.	Д.Э.Н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Мезенцева И.Л.			

Нормоконтроль (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОАР ИШИТР	Кучман А.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Скороспешкин М.В.	К.Т.Н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
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

Код компетенции	Наименование компетенции
	проектированию процессов изготовления продукции и указанных средств и систем с использованием современных информационных технологий, методов и средств проектирования
ПК(У)-2	способен выбирать основные и вспомогательные материалы для изготовления изделий, способы реализации основных технологических процессов, аналитические и численные методы при разработке их математических моделей, методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей материалов и готовых изделий, стандартные методы их проектирования, прогрессивные методы эксплуатации изделий
ПК(У)-3	Готов применять способы рационального использования сырьевых, энергетических и других видов ресурсов, современные методы разработки малоотходных, энергосберегающих и экологически чистых технологий, средства автоматизации технологических процессов и производств
ПК(У)-4	Способен участвовать в постановке целей проекта (программы), его задач при заданных критериях, целевых функциях, ограничениях, разработке структуры его взаимосвязей, определении приоритетов решения задач с учетом правовых и нравственных аспектов профессиональной деятельности, в разработке проектов изделий с учетом технологических, конструкторских, эксплуатационных, эстетических, экономических и управленческих параметров, в разработке проектов модернизации действующих производств, создании новых, в разработке средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации расчетов и проектирования
ПК(У)-5	Способен участвовать в разработке (на основе действующих стандартов и другой нормативной документации) проектной и рабочей технической документации в области автоматизации технологических процессов и производств, их эксплуатационному обслуживанию, управлению жизненным циклом продукции и ее качеством, в мероприятиях по контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации действующим стандартам, техническим условиям и другим нормативным документам
ПК(У)-6	Способен проводить диагностику состояния и динамики производственных объектов производств с использованием необходимых методов и средств анализа
ПК(У)-7	Способен участвовать в разработке проектов по автоматизации производственных и технологических процессов, технических средств и систем автоматизации, контроля, диагностики, испытаний, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством, в практическом освоении и совершенствовании данных процессов, средств и систем
ПК(У)-8	Способен выполнять работы по автоматизации технологических процессов и производств, их обеспечению средствами автоматизации и управления, готовностью использовать современные методы и средства автоматизации, контроля, диагностики, испытаний и управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством

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

Код компетенции	Наименование компетенции
	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

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

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Т91	Стрельникова Виктория Анатольевна

Тема работы:

Автоматизация конечного сепаратора на установке подготовки нефти Буранного месторождения	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 34-91/с от 03.02.2023 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2023 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p>	<p>Объект исследования: концевой сепаратор КС-1 двухфазный на установке подготовки нефти Буранного месторождения. Режим работы: постоянный. Вид сырья: скважинная продукция. Материал изделия: нержавеющая сталь 12Х18Н9. Данные КС-1: рабочее давление в сепараторе (0,04 – 0,05) МПа, контролируемая температура от плюс 30 до плюс 55 °С, уровень жидкости (800 – 1200) мм. Особые требования: Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности" (с изменениями на 19 января 2022 года).</p>
--	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ul style="list-style-type: none"> – Описание технологического процесса. – Разработка функциональной схемы технологического процесса. – Разработка структурной и функциональных схем автоматизированной системы. – Выбора контрольно-измерительных приборов и автоматики для управления концевым сепаратором. – Разработка алгоритма пуска и останова сепаратора. – Разработка экранной формы управления концевым сепаратором. – Математическое моделирование системы автоматического регулирования температуры сепаратора.
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> – Функциональная схема технологического процесса на установке подготовки нефти. – Структурная и функциональная схемы автоматизации (ГОСТ Р 21.1101-2013). – Трёхуровневая схема автоматизированной системы. – Схема алгоритма пуска и останова сепаратора. – Экранная форма SCADA-системы.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна, ст. преподаватель ОБД
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Жиронкин Сергей Александрович, профессор ОСГН ШИП, д.э.н.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОАР ИШИТР	Семенов Н.М.			03.02.2023 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т91	Стрельникова Виктория Анатольевна		03.02.2023 г.

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

Уровень образования – Бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – Весенний семестр 2022 /2023 учебного года

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
8Т91	Стрельникова Виктория Анатольевна

Тема работы:

Автоматизация конечного сепаратора на установке подготовки нефти Буранного месторождения
--

Срок сдачи студентом выполненной работы:	08.06.2023 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.05.2023 г.	<i>Основная часть ВКР</i>	60
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Социальная ответственность»</i>	20
30.05.2023 г.	<i>Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОАР ИШИТР	Семенов Н.М.			03.02.2023 г.

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Громаков Е.И.	К.Т.Н.		03.02.2023 г.

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т91	Стрельникова Виктория Анатольевна		03.02.2023 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 95 страниц, 12 рисунков, 29 таблицы, 25 источников литературы, 7 приложений.

Ключевые слова: установка подготовки нефти, нефтегазовый концевой сепаратор, автоматизация, система автоматического регулирования, SCADA-система, программируемый логический контроллер.

Объектом исследования является сепаратор концевой ступени сепарации КС-1 на установке подготовки нефти.

Цель работы заключается в проектировании автоматизированной системы управления сепаратором КС-1 и повышении качества процессов для обеспечения экономической выгоды.

Была разработана автоматизированная система управления нефтяным сепаратором на базе промышленных линейных контроллеров ЭЛСИ-ТМК с использованием распределённой системы управления.

Данная система может применяться в системах контроля, управления и сбора данных на нефтедобывающих предприятиях, что увеличит производительность, точность и надёжность измерений, уменьшив чрезвычайные ситуации на производстве.

Экономическая эффективность работы обоснована увеличением производительности труда и надёжностью в сравнении со сторонними компаниями. Преимуществом разработки является повышение уровня безопасности труда рабочего персонала.

Содержание

Обозначения, определения и сокращения	12
Введение.....	13
1 Функциональная схема технологического процесса на установке подготовки нефти Буранного месторождения	14
1.1 Установка подготовки нефти.....	14
1.2 Технологический регламент участка предварительной подготовки нефти	14
1.3 Описание функциональной схемы УПН	15
2 Техническое задание.....	16
3. Разработка объёма автоматизации	18
3.1 Технические характеристики сепаратора.....	18
3.2 Объём автоматизации.....	19
3.3 Средства автоматизации.....	19
4 Алгоритмы запуска и останова сепаратора.....	20
4.1 Алгоритм запуска УПН	20
4.3 Алгоритм останова сепаратора КС-1	21
5. Разработка схемы автоматизации сепаратора.....	23
5.1 Выбор средств автоматизации.....	23
5.1.1 Выбор датчика давления	23
5.1.2 Выбор датчика температуры.....	25
5.1.3 Выбор датчика уровня	26
5.1.4 Выбор расходомера.....	27
5.1.5 Выбор исполнительного устройства.....	29
5.1.6 Выбор контроллера.....	31
5.2 Трёхуровневая система АСУ ТП.....	33
5.3 Проектирование структурной схемы автоматизации.....	33
5.4 Проектирование функциональной схемы автоматизации	34
5.5 Разработка экранной формы мониторинга работы сепаратора.....	34
6. Моделирование САР уровня в сепараторе	35
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	42
7.1 Потенциальные потребители результатов исследования	42

7.2 Анализ конкурентных технических решений	42
7.3 Технология QuaD	44
7.4 SWOT-анализ.....	45
7.5 Планирование научно-исследовательских работ.....	48
7.5.1 Структура работ в рамках научного исследования	48
7.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ	50
7.5.3. Разработка графика проведения научного исследования	51
7.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	56
7.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	59
7.8 Выводы по разделу.....	62
8 Социальная ответственность	66
8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
8.2 Производственная безопасность.....	68
8.3 Экологическая безопасность.....	74
8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	75
8.5 Выводы по разделу.....	76
Заключение	78
Список использованной литературы.....	79
Приложение А (обязательное) Функциональная схема технологического процесса.....	82
Приложение Б (обязательное) Объём автоматизации.....	84
Приложение В (обязательное) Алгоритмы запуска и останова сепаратора .	86
Приложение Г (обязательное) Трёхуровневая система автоматизации.....	87
Приложение Г (обязательное) Трёхуровневая система автоматизации.....	88
Приложение Д (обязательное) Структурная схема автоматизации.....	90
Приложение Е (обязательное) Функциональная схема автоматизации сепаратора	92
Приложение Ж (обязательное) Мнемосхема сепаратора концевой ступени КС-1	94

Обозначения, определения и сокращения

В данной работе применены следующие сокращения:

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

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессом;

БИР – блок измерительно-регулирующий;

КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика;

НКПР – нижний концентрационный предел распространения;

ПИД-регулятор – пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПНГ – попутный нефтяной газ;

ПО – программное обеспечение;

ПФ – передаточная функция;

РСУ – распределенная система управления;

КС-1 – условное обозначение сепаратора концевой ступени на установке подготовки нефти Буранного месторождения;

САР – система автоматического регулирования;

УПН – установка подготовки нефти;

ФСА – функциональная схема автоматизации.

Введение

В настоящее время в сферах промышленности происходит непрерывное развитие технологических процессов, которое включает в себя модернизацию технологий, устройств и установок, и увеличение количества процессов и их качества. Для лучшего контроля производственных процессов используется автоматизация.

Автоматизация систем производства в нефтегазовой отрасли значительно оптимизирует процессы работы, повышает производительность труда и эффективность, а также надёжность производства. Благодаря этому происходит быстрое реагирование на изменения в производственных процессах, что позволяет предотвратить опасные ситуации на производстве и повысить безопасность работников.

В данной выпускной квалификационной работе проведён анализ технологического регламента для участка подготовки нефти Буранного месторождения. Представлены устройства и средства автоматизации нефтяного сепаратора. Разработаны структурная и функциональная схемы автоматизации и мнемосхема для мониторинга работы сепаратора в режиме реального времени с помощью программного комплекса TRACE MODE, а также реализовано моделирование работы сепаратора с помощью программы Matlab Simulink.

1 Функциональная схема технологического процесса на установке подготовки нефти Буранного месторождения

1.1 Установка подготовки нефти

Установка подготовки нефти (УПН) предназначена для приёма продукции нефтяных скважин, предварительного разделения на нефть, попутный нефтяной газ (ПНГ) и пластовую воду и последующей подготовки нефти до товарного качества. На УПН происходит учёт товарной нефти, учёт и утилизация ПНГ, откачка товарной нефти в нефтепровод

Нефтяная эмульсия, добываемая из скважин, содержит в себе примеси, пластовую воду и попутный нефтяной газ, что негативно влияет на транспортировку нефти по магистральным трубопроводам, поэтому после скважин нефть по трубопроводу направляется на УПН. Известно, что качество нефти влияет на эффективность и надёжность работы центробежных насосов и стоимость транспортировки нефти.

1.2 Технологический регламент участка предварительной подготовки нефти

Технологический регламент определяет правила и порядок ведения технологического процесса, режимные параметры, показатели качества продукции, безопасные условия эксплуатации установки подготовки нефти и перечень действующих нормативных документов. Ответственность за соблюдение требований технологического регламента возлагается на руководство и обслуживающий персонал эксплуатирующей организации. В документе описывается процесс работы установки и технологическая схема объекта.

Технологическая схема УПН обеспечивает безопасную эксплуатацию, возможность ремонта, проведения необходимых исследований, замер продукции скважин, её разгазирование, сбор нефти и выдачу потребителю. Для возможности сбора и сдачи добытой нефти предусмотрена сепарация и

подготовка нефти до параметров, соответствующих ГОСТ 6370-2018 (при обводнённости нефти до 90 %).

1.3 Описание функциональной схемы УПН

Чертеж функциональной схемы установки подготовки нефти представлен в приложении А.

Для доведения нефти по содержанию воды до товарного качества (до 0,5%) предусмотрен отстойник нефти ОН-1. В отстойнике нефти, работающем в режиме 80% заполнения, за счёт большого времени пребывания (до 1 часа) и создания условий повторного перемешивания жидкости обеспечивается достаточно полное отделение воды от нефти. Межфазный уровень «нефть–вода» регулируется клапаном КлР8. Давление в аппарате поддерживается клапаном КлР6 на уровне, необходимом для поддержания газовой подушки, обеспечивающей перекачивание подготовленной нефти в концевом сепараторе КС-1. Для возможности обессоливания нефти при содержании солей более требования ГОСТ, на вход ОН-1 предусмотрена подача пресной воды в количестве до 3% от количества нефти. Окончательное разгазирование нефти осуществляется в КС-1 (давление насыщенных паров равно не более 0,66 МПа) [1].

Давление в аппарате поддерживается минимально достаточным для вывода газов на факел низкого давления, но не более 0,05 кгс/см². Уровень в аппарате до 0,7 м поддерживается регулирующим клапаном. После клапана товарная нефть направляется через электрозадвижку 11ЭЗд в резервуарный парк. Обвязка резервуаров выполнена таким образом, что каждый резервуар может быть сырьевым и товарным. Далее товарная нефть через электрозадвижки ЭЗд13 или ЭЗд12 поступает в насосную внешней перекачки для подачи её насосами Н1/1, Н1/2 через оперативный узел учёта в нефтепровод для сдачи.

На факел низкого давления поступают постоянные и аварийные сбросы от КС-1, ОН-1.

2 Техническое задание

2.1 Назначение и цели создания АСУ ТП

В назначение АСУ ТП включают поддержание заданных режимов производственного процесса, выдачу команд исполнительными механизмами и визуальное отображение данных о процессе в реальном времени. Контроль и управление технологическим процессом происходит постоянно: от приёма пластовой нефти до её товарных характеристик. АСУ ТП должна обеспечивать безопасность технологического персонала и автоматический перевод технологического процесса в безопасное состояние при возникновении аварийных ситуаций.

Цель создания АСУ ТП заключается в том, чтобы оптимизировать работу объекта управления благодаря повышению качества технологического процесса, безопасности и оперативности действий рабочего персонала.

2.2 Характеристика объекта автоматизации

Конечный сепаратор находится на участке подготовки нефти Буранного месторождения [1], который предназначен для приёма продукции нефтяных скважин и подготовки для транспортировки с нефтепромысла. Объект расположен на территории Томской области, которая примерно на 40 % покрыта болотами, мелководными реками и озёрами, и лесом хвойных и мелколиственных пород. Континентальный климат с резкими перепадами температур. Длительная зима с морозами до минус 45 °С сменяются жарким летом с погодой до плюс 35 °С.

2.3 Требования к системе

Разрабатываемые схемы АСУ ТП и блок-схемы алгоритмов должны соответствовать требованиям ГОСТ 21.408-2013 [2] и ГОСТ 19.701-90 [3].

Датчики, используемые в системе, должны отвечать требованиям взрывобезопасности, а при их выборе следует использовать аппаратуру с искробезопасными цепями. Контроллеры должны иметь модульную

архитектуру, позволяющую свободную компоновку каналов ввода/вывода. При необходимости ввода сигналов с датчиков, находящихся во взрывоопасной среде, допускается использовать как модули с искробезопасными входными цепями, так и внешние барьеры искробезопасности, размещаемые в отдельном конструктиве.

Основная относительная погрешность измерения расходомера должна составлять не более 1 %. Основная относительная погрешность датчиков температуры и давления должна быть не более 0,2 %. Основная погрешность измерения уровня – не более 0,125 %.

Были сформированы технические и метрологические характеристики измерительных приборов, необходимых для функционирования автоматизированной системы, а также перечень входных и выходных сигналов, представленных в приложении Б.

2.4 Состав системы

Был произведён выбор средств автоматизации, созданы структурная и функциональная схемы автоматизации, описан алгоритм сбора данных измерительного канала, создан SCADA-экран для АРМ-оператора с помощью пакета программ TRACE MODE.

3. Разработка объёма автоматизации

Продукция, поступающая из нефтяных скважин, не является чистой нефтью. Вместе с ней из скважин также поступает пластовая вода, газ и твёрдые частицы.

Известно, что пластовая вода является источником коррозии труб и резервуаров. Твёрдые частицы могут оказывать отрицательное влияние на прочность оборудования. Поэтому поступающую нефть следует подвергать обработке для удаления механических частиц, обессоливания, обезвоживания и дегазации.

Именно поэтому в промышленности широкое применение получили нефтяные сепараторы – установки, используемые для разделения попутного газа и свободных жидкостей. В зависимости от количества разделяемых компонентов сепараторы разделяют на двухфазные и трёхфазные.

3.1 Технические характеристики сепаратора

На установке подготовки нефти Буранного месторождения в качестве конечного трёхфазного сепаратора используется горизонтальный конечный сепаратор НГС II-0,6-2000-2-И, технические характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики концевого сепаратора

Техническая характеристика	Значение
Объём сепаратора, м ³	25
Масса сепаратора, кг	7 530
Высота сепаратора, м	12,8
Диаметр условный, мм	3 000
Диапазон рабочего давления, МПа	0,04-0,05
Диапазон рабочих температур, °С	30-55
Уровень нефти в сепараторе, мм	800-1200
Расход пластовой воды, м ³ /ч	до 36

Продолжение таблицы 1

Расход нефтяной эмульсии, м ³ /ч	8-45
Сейсмичность, балл, по шкале MSK-64	до 9

Исходя из технических характеристик необходимо осуществить выбор средств автоматизации для проектирования схемы автоматизации сепаратора. Выбранные средства автоматизации должны удовлетворять метрологическим требованиям, находиться в Государственном Реестре средств измерения Российской Федерации [3] и быть допущенными к применению.

3.2 Объём автоматизации

Согласно техническим характеристикам сепаратора и техническому заданию, был разработан объём автоматизации нефтяного сепаратора концевой ступени, который представлен в приложении Б. Объём автоматизации включает в себя перечень входных и выходных сигналов, предаварийные и аварийные границы рабочего диапазона, необходимый класс точности используемых измерительных приборов.

3.3 Средства автоматизации

Исходя из технических параметров необходимы следующие средства автоматизации:

- датчик давления для контроля давления в сепараторе и передачи сигнала на средний уровень автоматизации;
- датчик уровня для контроля уровня нефти в сепараторе для дальнейшего транспортирования товарной нефти по трубопроводу;
- датчик температуры для контроля температуры в сепараторе и возможности предупреждения о выходе за установленные пределы;
- расходомер для контроля и регулирования потока нефти через клапан КлР8 в КС-1, потока пластовой воды через клапан КлР5 в отстойник очистки воды ОВ-1, и потока газа на факел через клапан К4;
- программируемый логический контроллер (ПЛК) для контроля и управления технологическими параметрами и электродвигателем.

4 Алгоритмы запуска и останова сепаратора

4.1 Алгоритм запуска УПН

Пуск и остановка выполняются на основании письменного распоряжения начальника цеха согласно соответствующих инструкций. К пуску допускается персонал, годный по возрасту и состоянию здоровья, обученный и аттестованный на знание технологического регламента, инструкций по рабочему месту, технологической схемы, технологии, норм технологического режима, устройства оборудования, систем сигнализации и блокировки, правил пуска и остановки, правил безопасного ведения техпроцесса и плана действия персонала в аварийной ситуации.

Пуск УПН и вывод на нормальный режим осуществляется в порядке:

- пуск узла сепарации 1-й ступени;
- пуск блока измерительно-регулирующего БИР;
- пуск факельной системы высокого давления;
- пуск факельной системы низкого давления;
- вывод на режим сепараторов первой ступени С-1 и концевой ступени КС-1;
- включение в работу технологического резервуара Р-1;
- пуск в работу насосов внутренней перекачки Н-2/1 (Н-2/2);
- пуск подогревателя нефти П-1, П-2;
- пуск и вывод на режим трехфазного сепаратора С-2;
- вывод на режим отстойников;
- включение в работу резервуара Р-2, Р-3;
- пуск насосов внешней откачки Н-1/1 (Н-1/2).

4.2 Порядок пуска и вывода на режим сепаратора КС-1

Для пуска на режим сепаратора КС-1 сначала пускают в работу блок БИР и подготавливают к приему нефти резервуар Р-2,3. Далее приступают непосредственно к выводу на режим:

- проверяется давление по манометру на линиях подачи нефтегазовой смеси от кустов скважин на площадке подключения и площадке фильтров;

- постепенным открытием задвижки 1ЭЗд начинают подавать нефтегазовую смесь в С-1, постепенно заполняя его. Количество нефтегазовой смеси поддерживают на уровне, чтобы уровень и давление в аппарате не превышали норму;

- открывают зд№ 114 на линии входа газа на газосепаратор ГС-1. Открыть зд№ 302 и зд№ 303 после регулирующего клапана КлР13 на трубопроводе выхода конденсата из газосепаратора ГС-1;

- открывают зд№ 115 на линии выхода газа из газосепаратора и зд№ 116 на входе в блок БИР;

- открывают зд№ 26; 27; 28; 31; 32 на линии входа жидкости в сепаратор КС-1, при этом задвижка зд№ 113 и 2Эз должны быть открыты;

- плавно набирают уровень в сепараторе КС-1 постепенным открытием клапана КлР9;

- после набора уровней в сепараторах С-1 и КС-1 нефть через клапан КлР9 поступает в резервуар Р-2,3. Клапан КлР1 сепаратора С-1 при соответствии уровня в сепараторе норме переводится в автоматический режим;

- производят необходимые настройки и регулировки регуляторов давления и уровня. При стабильной работе системы в ручном режиме в течение 1-1,5 часов процесс переводят в автоматический режим.

4.3 Алгоритм останова сепаратора КС-1

Остановка должна проводиться по согласованию с главным инженером предприятия. Останов сепаратора следует осуществлять в случаях, которые могут привести к возникновению аварийных ситуаций:

- при превышении давления выше разрешенного;

- при выходе из строя рабочего или резервного предохранительных клапанов;
- при обнаружении трещин, выпучен, значительного утолщения стенок, пропуска, потения в сварных швах;
- при неисправности манометра и невозможности определить давление по другим приборам;
- при неисправности (отсутствии) предусмотренных проектом контрольно-измерительных приборов и средств автоматики;
- при неисправности или неполном количестве крепежных деталей фланцевых соединений;
- при возникновении пожара, непосредственно угрожающего аппарату под давлением.

Блок-схемы алгоритмов запуска и останова сепаратора КС-1, выполненные в соответствии с ГОСТ 19.701-90, представлены в приложении В.

5. Разработка схемы автоматизации сепаратора

5.1 Выбор средств автоматизации

Выбор датчиков технологических параметров осуществляется согласно стандартам и требованиям регламента с учётом ряда факторов метрологического и режимного характера, а именно [4]:

- расстояние, на которое может быть передана информация, снимаемая с датчиков (интерфейс связи датчика);
- предельное значение измеряемой величины;
- допустимая для автоматизированной системы погрешность, определяющая подбор по классу точности датчика;
- влияние внешних факторов окружающей среды (температуры, давления) на нормальную работу датчиков;
- наличие у датчиков степеней пожаробезопасности и взрывобезопасности.

На основе технического задания, технических характеристик КС-1 и составленного списка средств автоматизации произведён выбор необходимого оборудования.

5.1.1 Выбор датчика давления

Для выбора датчиков давления был проведен сравнительный анализ следующих датчиков, исходя из списка ведущих производителей: ЭЛЕМЕР-АИР-30, Метран-150, САПФИР 22ЕМ, ОВЕН ПД200-ДИ. Исходя из технического задания, основными критериями выбора датчика давления являются предел допускаемой погрешности и диапазон измерений. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнительный анализ датчиков давления

Критерии сравнения \ Датчик	ЭЛЕМЕР-АИР-30	Метран-150	САПФИР-22ЕМ	ОВЕН ПД200-ДИ
Диапазон измерений, МПа	(0,4 – 60)	(0 – 68)	(0 – 16)	(0 – 6)
Предел допускаемой погрешности, %	± 0,075	± 0,065	± 0,1	± 0,1

Продолжение таблицы 4

Диапазон температур измеряемой среды, °С	от минус 40 до плюс 70	от минус 40 до плюс 85	от минус 40 до плюс 80	От минус 40 до плюс 100
Выходной сигнал постоянного тока	(4-20) мА, HART			
Средний срок службы, лет	15	15	12	12
Взрывозащищённость	ExiaIICT6X	0ExiaIICT5X	0ExiaIICT5X	1ExdIICT6 Gb
Степень защиты от внешних факторов	IP65	IP65	IP65	IP65
Цена, руб.	37 100	32 630	12 020	61 200

По итогам сравнительного анализа был выбран датчик САПФИР-22ЕМ, показанный на рисунке 1. Датчик имеет диапазон измерений, в который попадает рабочее давление по регламенту, имеет взрывонепроницаемую оболочку и продолжительный срок службы. Датчик обладает высокой степенью защиты от внешних факторов, а также HART-интерфейсом.

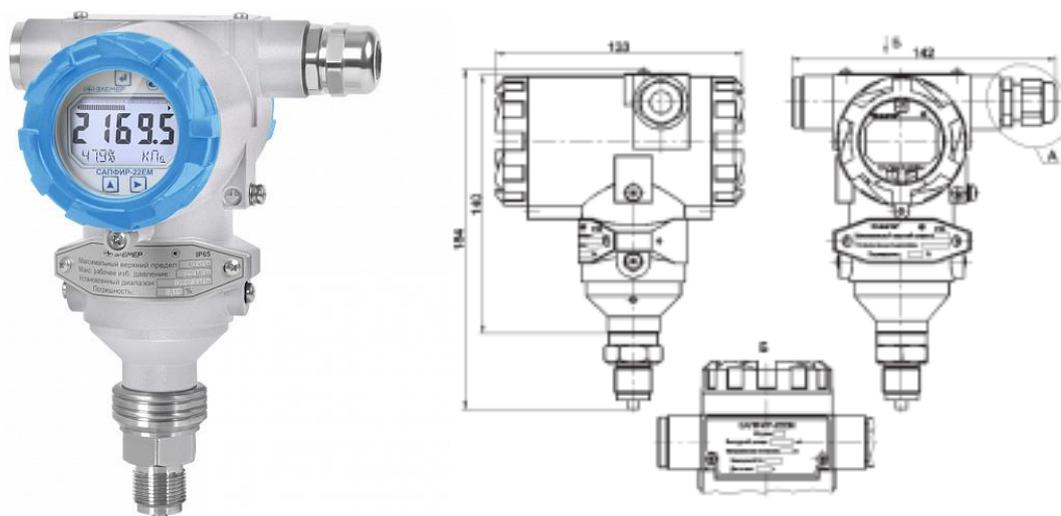


Рисунок 1 – Изображение датчика и закладная контракция САПФИР-22ЕМ

Прибор САПФИР-22ЕМ – датчик давления, предназначенный для измерения давления газов и жидкостей в различных промышленных процессах, а именно в нефтегазовой, химической и пищевой отраслях. На выход датчика давления передается аналоговый сигнал тока 4...20 мА и цифровые значения по HART-протоколу [5].

5.1.2 Выбор датчика температуры

Исходя из технического задания, основными критериями выбора датчика температуры являются предел допускаемой погрешности и диапазон измерений. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнительный анализ датчиков температуры

Датчик Критерии сравнения	Rosemount 0065	Метран-274-Exd	ОВЕН ДТС-И	Метран-270	ЭЛЕМЕР ПТ 0304-ВТ
Диапазон измерений, °С	от минус 50 до плюс 450	от минус 40 до плюс 600	от минус 40 до плюс 360	от минус 40 до плюс 500	от минус 50 до плюс 500
Предел допускаемой погрешности, %	± 0,08	± 0,25	± 0,75	± 0,25	± 0,05
Выходной сигнал постоянного тока	(4 – 20) мА, HART				
Средний срок службы, лет	15	10	4	8	20
Взрывозащищённость	1ExdIICT6 X	1ExdIICT5	0ExiaIICT6GaX	1ExdIICT5	0ExiaIICT6GaX
Степень защиты от внешних факторов	IP65	IP65	IP65	IP65	IP65
Цена, руб.	34 830	7 575	2 568	13 500	По запросу

В результате сравнительного анализа был выбран датчик температуры Метран-274-Exd, показанный на рисунке 2. Датчик обладает широким диапазоном измеряемых температур, высокой степенью устойчивости к низким температурам и хорошей степенью защиты от внешних факторов. Также датчик имеет достаточный предел допустимой погрешности, который соответствует техническому заданию, и длительный срок службы. Данные термометры применяются для измерения температуры во взрывоопасных зонах, в которых возможно образование взрывоопасных смесей газов, паров горючих жидкостей [6].

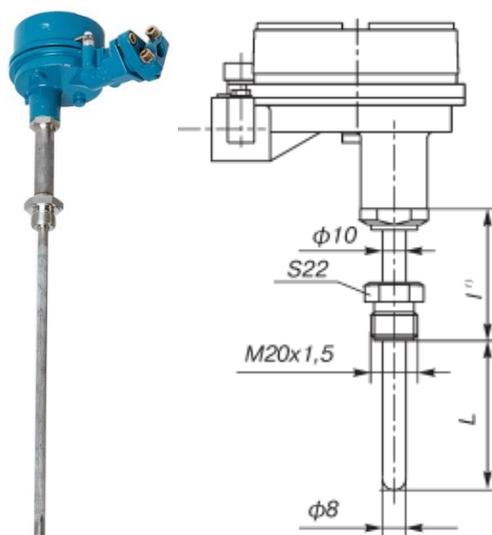


Рисунок 2 – Изображение датчика и закладная конструкция Метран-274-Exd

5.1.3 Выбор датчика уровня

Для получения сигнала о том, что уровень жидкости изменяется, необходим датчик измерения уровня жидкости – уровнемер. Исходя из технического задания, основными критериями выбора датчика являются предел допускаемой погрешности и диапазон измерений. Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнительный анализ датчиков уровня

Критерии сравнения \ Датчик	ДУУ2М	Rosemount 3300	ОВЕН ПДУ-И	Метран 150L
Диапазон измерений, м	(1,5–4)	(0,1–23,5)	(0,25-3)	(0,1–6)
Предел допускаемой погрешности, %	± 0,15	± 0,1	± 0,2	±0,075
Выходной сигнал постоянного тока	(4-20) мА, HART	(4-20) мА, HART	(4-20) мА	(4-20) мА, HART
Средний срок службы, лет	14	8	10	7
Диапазон температур измеряемой среды, °С	от минус 45 до плюс 75	от минус 40 до плюс 70	от минус 60 до плюс 125	от минус 40 до плюс 121
Взрывозащищённость	1ExibIIВТ4 X	1ExdIIСТ4	1ExdIIСТ4Gb	1ExdIIСТ4
Степень защиты от внешних факторов	IP68	IP66	IP65	IP66
Цена, руб.	38 720	37 300	17 850	35 000

Анализируя таблицу 6, заметим, что Метран 150L имеет меньшую погрешность, наличие HART-интерфейса и необходимый диапазон измерений уровня [7]. Датчик и его габаритные размеры представлены на рисунках 3 и 4 соответственно.



Рисунок 3 – Изображение датчика Метран 150L

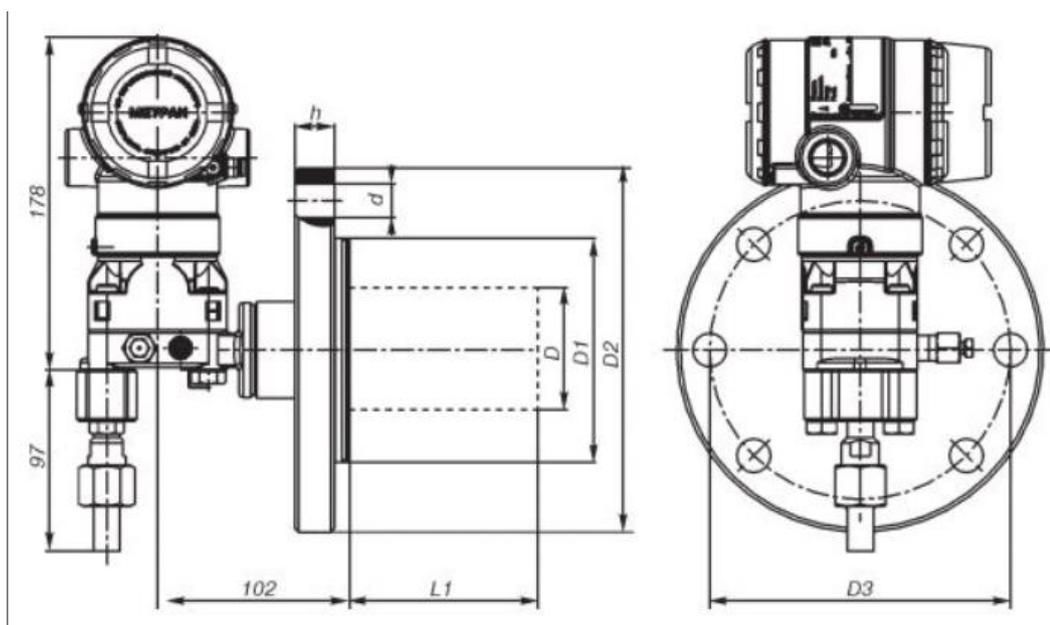


Рисунок 4 – Габаритные размеры датчика Метран 150L

5.1.4 Выбор расходомера

Исходя из технического задания, основными критериями выбора расходомера являются предел допускаемой погрешности и диапазон измерений. Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Сравнительный анализ расходомеров

Критерии сравнения \ Датчик	Rosemount 8800	Метран-300	ЭЛЕМЕР-РВ
Диапазон измерений, м ³ /ч	(0...90 000)	(0...2 000)	(0...107 000)
Предел допускаемой погрешности, %	± 0,25	± 1,0	± 0,5
Выходной сигнал постоянного тока	(4-20) мА, HART, RS-485	(4-20) мА, HART	(4-20) мА, HART
Температура измеряемой среды, °С	от минус 240 до плюс 427	от минус 290 до плюс 177	от минус 50 до плюс 350
Степень защиты от внешних факторов	IP65	IP65	IP67
Цена, руб.	80 500	7 500	По запросу

Наиболее подходящим расходомером является расходомер Метран-300, поскольку диапазон измерений этого датчика является допустимым для диапазона, заданного в технологическом регламенте объекта. Также выбранный датчик оснащён HART-интерфейсом, и температура измеряемой среды входит в пределы регламентированного диапазона.

Расходомер Метран 300, представленный на рисунке 5, предназначен для применения в системах коммерческого учёта тепловой энергии, горячего и холодного водоснабжения, а также для технологических измерений расхода воды, нефти и водных растворов в различных отраслях промышленности, в том числе в составе АСУ ТП [8].

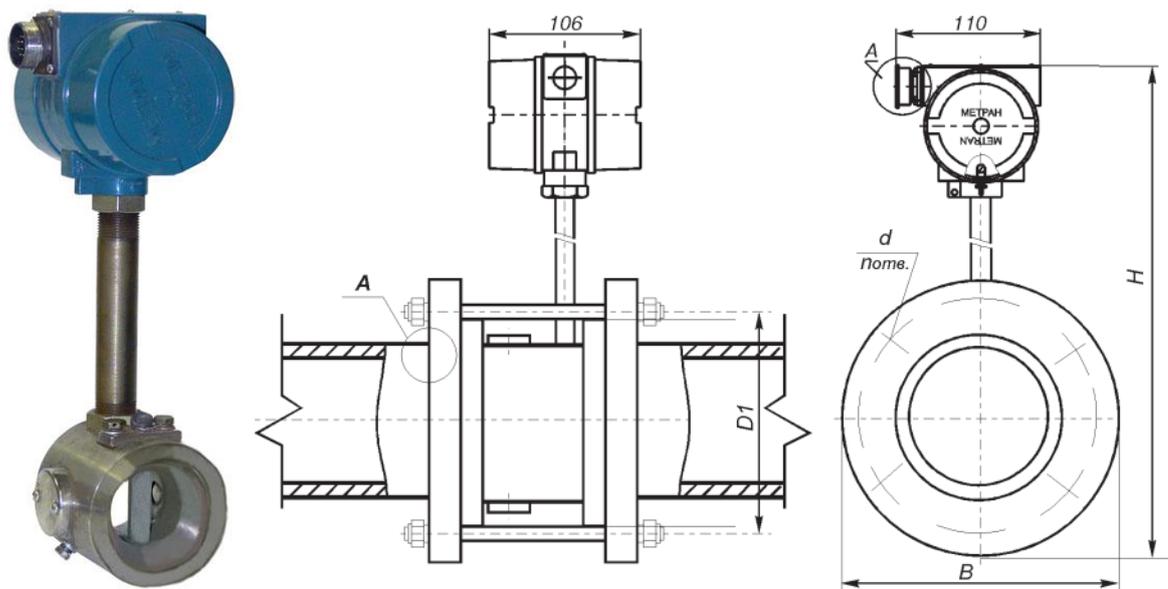


Рисунок 5 – Изображение датчика и закладная конструкция Метран 300

Из преимуществ датчика можно выделить высокую метрологическую стабильность, высокую ремонтпригодность за счёт съемного тела обтекания, эффект самоочищения проточной части и расширенные диагностические функции технологического процесса.

5.1.5 Выбор исполнительного устройства

Выбор исполнительного устройства (клапана) обусловлен показателями пропускной способности. Поскольку сепаратор КС-1 предназначен для подготовленной нефти, поступающей впоследствии в товарные резервуары, проведён расчёт пропускной способности для нефти. Формулы для расчёта взяты из РТМ 108.711.02-79 [9] «Методы определения пропускной способности регулирующих органов и выбор оптимальной расходной характеристики». Пропускная способность клапана рассчитывается по формуле:

$$K_{VY} = 10^{-2} \cdot Q_{MAX} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta P}}, \quad (1)$$

где K_{VY} – пропускная способность клапана;

Q_{MAX} – значение расхода при номинальном режиме работы оборудования;

ΔP – значение перепада давления;

ρ – плотность среды.

Подставляем технические характеристики сепаратора в (1) и получим расчётную формулу для нефти:

$$K_{vy} = 10^{-2} \cdot 32 \cdot \sqrt{\frac{860}{0,01}} = 93,84 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (2)$$

Для выбора подходящего клапана проведём сравнительную характеристику. Результаты представлены в таблице 8.

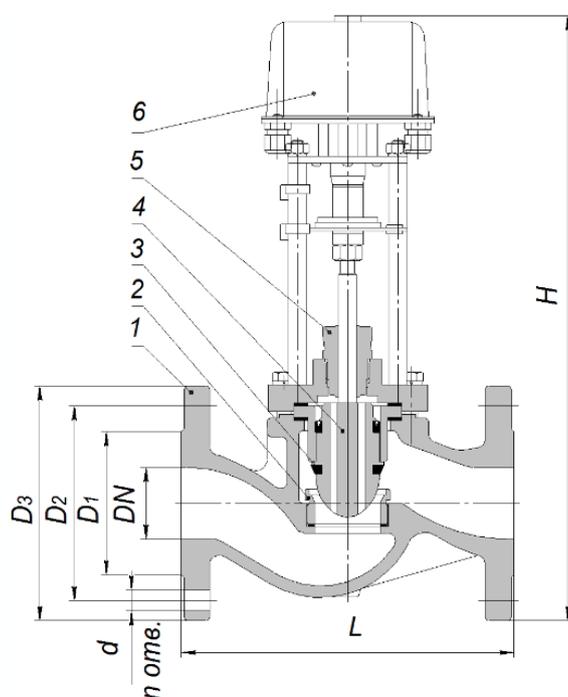
Таблица 8 – Сравнительная анализ исполнительных устройств

Критерии сравнения \ Клапан	Запорно-регулирующий клапан KR311	Запорно-регулирующий клапан KR310	Запорно-регулирующий клапан KR340
Рабочая температура, °С	от минус 20 до плюс 150		
Пропускная способность, м ³ /ч	(63,0 – 100,0)		
Давление, МПа	1,6		
Рабочая среда	Жидкая и газообразная		
Управление	АС 220В электропривод BELIMO	АС 220В электропривод Regada	АС 220В электропривод МИЭП
Среднее время наработки на отказ, ч	100 000		
Средний срок службы, лет	10		
Материал	Корпус – чугун, седло – сталь 12Х18Н10Т, уплотнение в затворе – фторопласт		
Цена, руб.	55 429	41 610	41 609

В результате сравнения был выбран запорно-регулирующий клапан KR340 [10], показанный на рисунках 6 и 7, поскольку имеет значение пропускной способности нефти, имеет более низкую цену в сравнении с конкурентами.



Рисунок 6 – Изображение запорно-регулирующего клапана KR340



1 - корпус, 2 - седло, 3 - плунжер, 4 - шток, 5 - сальниковый узел, 6 – электропривод МИЭП-1-1600.

Рисунок 7 – Закладная конструкция запорно-регулирующего клапана KR340

Регулирование потока рабочей среды осуществляется благодаря перемещению плунжера относительно седла, тем самым изменяя пропускную способность клапана по сигналу.

5.1.6 Выбор контроллера

В сепараторе конечной ступени сепарации КС-1 программируемый логический контроллер необходим для управления задвижками на выходах из сепаратора на основе команд оператора и данных.

Основным критерием выбора контроллера являются отечественное производство, тип конструкции и срок службы. Результаты сравнительного анализа приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Сравнительный анализ ПЛК

Критерии сравнения \ Контроллер	ОВЕН ПЛК210	Siemens S7-300	ЭЛСИ-ТМК
Интерфейсы	Ethernet, RS-485, RS-232, USB	Ethernet, RS-232/485, USB	Ethernet, RS-485, RS-232
Протоколы	Modbus TCP, MQTT, NTP, RSTP, CODESYS V3	PROFIBUS, PROFINET, Modbus	Ethernet TCP/IP, Modbus RTU, Modbus TCP/IP
Время выполнения операций	2,3 мкс	0,1 мс	1 мс
Рабочее напряжение питания, В	(16 – 48)	24	(16 – 28)
Среднее время наработки на отказ, ч	60 000	150 000	90 000
Средний срок службы, лет	8	10	20
Цена, руб.	64 620	87 570	Зависит от комплектации

На основе сравнительного анализа был выбран контроллер ЭЛСИ-ТМК, показанный на рисунке 8, так как в сравнении с остальными аналогами он имеет наибольший средний срок службы. Также ЭЛСИ-ТМК является контроллером модульного типа, что позволяет использовать определенную комплектацию модулей в зависимости от количества сигналов, что существенно экономит бюджет проекта.



Рисунок 8 – Контроллер ЭЛСИ-ТМК

Преимуществом ЭЛСИ-ТМК является наличие большого ассортимента модулей центрального процессора с различной производительностью, широкой гаммы модулей дискретного и аналогового ввода/вывода, коммуникационных модулей и источников питания для подключения к сетям постоянного и переменного тока [11]. Программирование контроллера осуществляется на пяти языках стандарта МЭК 61131-3 в открытой инструментальной среде CoDeSys V3.5.

5.2 Трёхуровневая система АСУ ТП

Выбранные средства автоматизации составляют трёхуровневую систему автоматизации, состоящую из полевого (нижнего), контроллерного (среднего) и информационно-вычислительного (верхнего) уровней. Трёхуровневая система автоматизации изображена в приложении Г.

Нижний уровень состоит из первичных средств автоматизации: датчиков уровня, температуры, давления и расходомеров. На полевом уровне происходит сбор и передача информации о ходе технологического процесса и состоянии технологического оборудования на средний уровень.

Средний уровень представляет коммуникационный интерфейс для сбора информации с полевого уровня и передачи этой информации на верхний уровень с помощью ПЛК.

Верхний (информационно-вычислительный) уровень состоит из коммуникационного модуля, а также АРМ оператора, оснащенного компьютерами, и сервера базы данных, объединенных в сеть Ethernet.

5.3 Проектирование структурной схемы автоматизации

На основе технического задания была составлена структурная схема автоматизации в соответствии с ГОСТ 21.408-2013, представленная в приложении Д.

На вход в сепаратор поступает нефть после первого этапа сепарации. Для контроля входной жидкости установлена задвижка, регулируемая по показаниям расходомера FE и уровнемера. Технологические параметры в

сепараторе регулируются датчиками температуры, давления и уровня. В случае отклонения показаний приборов от уставных значений активируется система оповещения. На выходе из сепаратора газ и нефть проходят по трубопроводам через электрозадвижки.

5.4 Проектирование функциональной схемы автоматизации

Функциональная схема автоматизации (ФСА), выполненная в соответствии с ГОСТ 21.408-2013, представлена в приложении Е.

С помощью каналов измерения №1, №2 и №3 происходит контроль технологических параметров в сепараторе: температуры, давления и уровня нефти соответственно. При отклонении показаний датчиков от уставных значений запускается сигнализация. Каналы измерения №4, №6 и №8 фиксируют значения расхода нефти на входе в сепаратор, газа, нефти и воды на выходе из сепаратора соответственно. Каналы измерения №5, №7, №9 и №11 приводят в действие пусковую аппаратуру для управления электродвигателем (открытие и закрытие задвижек). Все сигналы передаются в контроллер распределенной системы управления РСУ, который осуществляет передачу данных на АРМ оператора по протоколу Ethernet.

5.5 Разработка экранной формы мониторинга работы сепаратора

Мнемосхема мониторинга работы сепаратора, выполненная с помощью пакета программы TRACE MODE, представлена в приложении Ж. На экране оператора изображена схема работы сепаратора со входом и тремя выходами, а также с указанием наименований клапанов и задвижек, регулирующих технологический процесс. В правом верхнем углу отображаются дата и время.

6. Моделирование САР уровня в сепараторе

Для непрерывного регулирования рабочего уровня в сепараторе необходимо реализовать систему автоматического регулирования (САР).

Одним из самых эффективных методов управления является управление с помощью ПИД-регулятора. Преимуществами этого метода являются высокая точность управления параметрами, простота операций настройки регулятора, доступность и универсальность.

Для моделирования САР уровня необходимо составить структурную схему, которая изображена на рисунке 9. Структурная схема состоит из ПИД-регулятора, частотного преобразователя, электропривода, клапана, объекта управления (сепаратор) и датчика уровня.



Рисунок 9 – Структурная схема САР

Алгоритм управления температурой в нефтяном сепараторе осуществляется следующим образом:

- На вход ПИД – регулятора поступает сигнал, определяющий заданное значение уровня, а также текущий сигнал, формируемый датчиком уровня Метран 150L.
- Блок управления вычисляет рассогласование принятых сигналов, на основе которого вырабатывает управляющее воздействие, поступающее на вход преобразователя частоты.
- Преобразователь частоты, используя информацию, полученную с контроллера, выдает сигнал питания на привод. Изменяя частоту напряжения, подаваемого на электропривод, он также управляет его скоростью вращения.

– Электропривод обеспечивает прямое механическое воздействие на исполнительный орган – клапан, регулирующий уровень жидкости в сепараторе.

Опишем составляющие структурной схемы с помощью типовых звеньев для расчёта параметров и дальнейшего моделирования.

1. ПИД-регулятор описывается следующей передаточной функцией и будет реализован в среде MATLAB с помощью встроенных функций:

$$W_{\text{ПИД}} = K + \frac{1}{T_i s} + T_d s. \quad (3)$$

где K – пропорциональный коэффициент;

T_i – постоянная времени интегрирования;

T_d – постоянная времени дифференцирования регулятора.

Для автоматического подбора пропорционального, интегрального и дифференциального коэффициентов ПИД-регулятора воспользуемся функцией автонастройки в программе Simulink.

2. Электромеханические характеристики электропривода, установленного на выбранном исполнительном устройстве, были выбраны из официального каталога компании и приведены в таблице 10. Передаточная функция электропривода описывается апериодическим звеном первого порядка, в котором постоянная времени рассчитывается как отношение сопротивления якоря к индуктивности якоря:

$$W_{\text{ЭП}}(s) = \frac{\omega_{\text{НОМ}} / f_{\text{МАХ}}}{T_{\text{ЭП}} s + 1}, \quad (4)$$

$$T_{\text{ЭП}} = \frac{\omega_{\text{НОМ}} \cdot J}{M_{\text{НОМ}}}. \quad (5)$$

Таблица 10 – Электромеханические характеристики запорно-регулирующего клапана KR340

Параметр	Величина
Индуктивность якоря $L_{\text{ДВ}}$, мГн	2,1
Момент инерции двигателя J , кг·м ²	0,1

Номинальное значение выходного напряжения $U_{НОМ}$, В	220
Номинальное значение тока якоря $I_{НОМ}$, А	42,1
Номинальная частота вращения ω , рад/с	254

Продолжение таблицы 10

Частота управляющего сигнала f , Гц	(0 – 50)
Номинальный момент вращения двигателя $M_{НОМ}$, Н*м	38

Подставим значения и получим:

$$W_{ЭД}(s) = \frac{254/50}{\frac{254 \cdot 0,1}{38} \cdot s + 1} = \frac{5,08}{0,669 \cdot s + 1}. \quad (6)$$

Также необходимо включить статический коэффициент передачи двигателя, который определяется по характеристикам двигателя:

$$c = \frac{U_{НОМ} - I_{НОМ} \cdot R_{я}}{\omega_{НОМ}} = \frac{220 - 42,1 \cdot 0,169}{254} = 0,838 \quad (7)$$

3. Передаточная функция преобразователя частоты описывается апериодическим звеном первого порядка, где коэффициент $K_{ПЧ}$ рассчитывается как отношение частоты управляющего сигнала к управляющему токовому сигналу 4...20 мА, а постоянная времени $T_{ПЧ}$ – как постоянная времени электропривода, деленная пополам:

$$W_{ПЧ}(s) = \frac{K_{ПЧ}}{T_{ПЧ}s + 1}, \quad (8)$$

$$K_{ПЧ} = \frac{f_{МАХ}}{I_{УПР}}, \quad (9)$$

$$T_{ПЧ} = \frac{T_{ЭП}}{2}. \quad (10)$$

Подставив значения в формулу (8), получаем:

$$W_{ПЧ}(s) = \frac{50/20 \cdot 10^{-3}}{\frac{0,95}{2} \cdot s + 1} = \frac{2500}{0,475 \cdot s + 1}. \quad (11)$$

4. Исполнительный механизм (клапан) описывается интегральным звеном и не имеет коэффициентов в силу того, что клапан описывает лишь один физический процесс – перемещение исполнительного механизма и изменение степени закрытия задвижки, что является интегралом от скорости вращения двигателя:

$$W_{\text{кл}} = \frac{1}{s}. \quad (12)$$

5. В качестве объекта моделирования рассматривается нефтяной сепаратор. Его можно рассматривать как резервуар и описать как интегральное звено с передаточной функцией:

$$W_{\text{оу}} = \frac{1}{k \cdot s}, \quad (13)$$

где $k = S$ – площадь поперечного сечения сепаратора, равная:

$$S = \frac{V}{h} = \frac{25}{12,8} = 1,95 \text{ м}^2, \quad (14)$$

где V – объём сепаратора, равный 50 м^3 , а h – высота сепаратора, равная $12,8 \text{ м}$.

Для расчётов форма сепаратора была принята за параллелепипед. Параметры сепаратора взяты из технологического регламента. Подставив полученное значение, получим передаточную функцию сепаратора:

$$W_{\text{оу}} = \frac{1}{1,95 \cdot s}. \quad (15)$$

Используя программу MATLAB Simulink соберем структурную схему, изображенную на рисунке 10 и подберём коэффициенты ПИД-регулятора с помощью функции автонастройки Automated tuning.

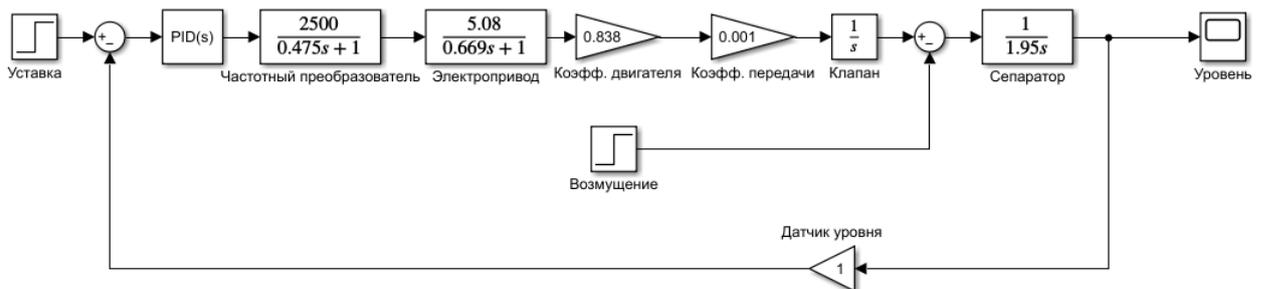


Рисунок 10 – Структурная схема системы

В результате автоподбора были получены следующие коэффициенты, показанные на рисунке 11.

Proportional (P): 0.0270524331045415
Integral (I): 2.28661937656084e-06
Derivative (D): 44.940364947808

Рисунок 11 – Результат выполнения функции Automated tuning

Далее зададим уставное значение уровня 0,7 м, снимем показания прибора Score и получим переходный процесс системы, представленный на рисунке 12.

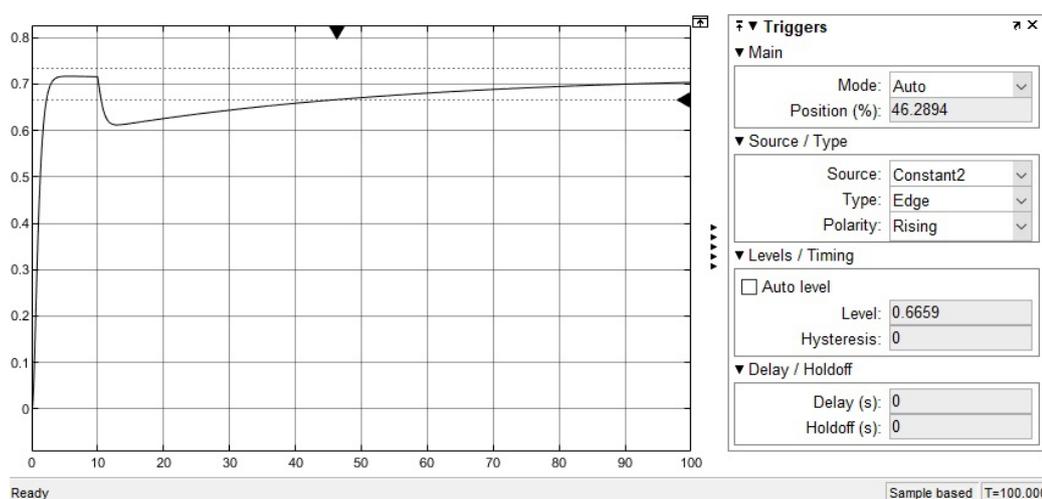


Рисунок 12 – Переходный процесс системы

На 10 секунде измерения в систему вводится возмущающее воздействие в виде падения уровня жидкости на 0.1 м, с которым система справляется за время, равное 46.2894 с. То есть за это время колебания регулируемой величины перестают превышать 5 % от установившегося значения.

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

Обучающемуся:

Группа	ФИО
8Т91	Стрельниковой Виктории Анатольевне

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники (ИШИТР)	Отделение	Химическая инженерия
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение трудоемкости работ для НИ, разработка графика проведения НИ, составление бюджета НИ
3. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной и экономической эффективности исследования.	Расчёт интегрального показателя ресурсной и финансовой эффективности для видов исполнения НИ.

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 НИ 4. Определение бюджета НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ
--

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШИП	Жиронкин Сергей Александрович	доктор экономических наук, профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т91	Стрельникова Виктория Анатольевна		

7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

7.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется наличием технических характеристик, превосходящих разработки конкурентов. Потенциальными потребителями результатов исследования являются нефтяные компании, занимающиеся добычей, переработкой, транспортировкой и экспортом нефти и нефтяных продуктов.

7.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для её будущего повышения. Для нефтедобывающих компаний разрабатывается модернизация существующих автоматизированных систем для установок подготовки нефти для эффективного разделения эмульсии на фракции.

В таблице 11 представлена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области проектирования АСУ ТП. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путём, в сумме должны составлять 1.

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценивания	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Исследовательский проект АСУ ТП	Существующая АСУ ТП	Разработка АСУ ТП сторонней компанией	Исследовательский проект АСУ ТП	Существующая АСУ ТП на	Разработка АСУ ТП сторонней компанией
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Безопасность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Энергоэкономичность	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2
Надежность	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Повышение производительности	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
Удобство в эксплуатации	0,03	5	2	4	0,15	0,06	0,12
Простота эксплуатации	0,05	5	2	4	0,25	0,1	0,2
Потребность в ресурсах памяти	0,05	4	2	3	0,2	0,1	0,15
Функциональная мощность	0,07	4	3	4	0,28	0,21	0,24
Экономические критерии оценки эффективности							
Уровень проникновения на рынок	0,07	1	5	4	0,07	0,35	0,28
Цена	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Финансирование научной разработки	0,05	2	1	1	0,1	0,05	0,05
Наличие сертификации разработки	0,08	1	4	4	0,08	0,32	0,32
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	2	4	0,4	0,2	0,4

Продолжение таблицы 11

Критерии оценивания	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Исследовательский проект АСУ ТП	Существующая АСУ ТП	Разработка АСУ ТП сторонней компанией	Исследовательский проект АСУ ТП	Исследовательский проект АСУ ТП	Существующая АСУ ТП
Конкурентоспособность	0,1	2	1	4	0,14	0,07	0,28
Срок выхода на рынок	0,04	2	3	3	0,08	0,12	0,12
Итого	1	48	42	51	3,4	2,73	3,31

Таким образом, благодаря оценочной карте выявлено, что разработка имеет конкурентное преимущество по сравнению с другими решениями.

7.3 Технология QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки и ее перспективность на рынке и позволяющие принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. Результат QuaD-анализа исследования представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Оценка критериев в соответствии с технологией QuaD

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Показатели оценки качества разработки					
Энергоэффективность	0,1	100	100	1	0,1
Помехоустойчивость	0,05	100	100	1	0,05
Безопасность	0,1	80	100	0,8	0,08
Инновационная привлекательность	0,15	90	100	0,9	0,135
Функциональность	0,1	100	100	1	0,1

Продолжение таблицы 12

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средневзвешенное значение
Простота эксплуатации	0,1	90	100	0,9	0,09
Ремонтопригодность	0,05	90	100	0,9	0,045
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
Конкурентоспособность	0,15	80	100	0,8	0,12
Уровень проникновения на рынок	0,1	100	100	1	0,1
Цена	0,05	80	100	0,8	0,04
Послепродажное обслуживание	0,05	80	100	0,8	0,04
Итого:	1	-	-	-	0,9

Средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки равен 0,9 (попадает в промежуток 0.8 – 1), то есть такая разработка считается перспективной.

7.4 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Его применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, чтобы показать сильные и слабые стороны проекта и эффективность использования. Это помогает выстраивать маркетинговые и управленческие стратегии.

В таблице 13 приведена упрощённая матрица SWOT-анализа, содержащая слабые и сильные стороны проекта, возможности и угрозы.

Таблица 13 – Упрощённая матрица SWOT-анализ проекта

<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Актуальность разработки.</p> <p>С2. Экономичность и энергоэффективность проекта.</p> <p>С3. Повышенная надёжность разработки.</p> <p>С4. Повышенная безопасность разработки.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие физической реализации.</p> <p>Сл2. Отсутствие сертификации разработки.</p> <p>Сл3. Низкий начальный уровень проникновения на рынок.</p>
--	---

Продолжение таблицы 13

<p>Возможности: В1. Использование существующего лицензионного ПО. В2. Использование инфраструктуры ТПУ. В3. Увеличение клиентской базы. В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии. У2. Конкуренция с другими компаниями. У3. Увеличение расходов на комплектующее оборудование из-за политической обстановки в стране. У4. Введение новых ГОСТ и требований сертификации.</p>
---	---

Из соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта построена интерактивная матрица, которая показана в таблице 14.

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта				Слабые стороны проекта		
		С1	С2	С3	С4	Сл1	Сл2	Сл3
Возможности проекта	В1	+	+	+	0	+	-	-
	В2	+	+	+	+	+	-	+
	В3	+	+	+	+	-	-	+
	В4	-	+	0	0	-	-	-
Угрозы проекта	У1	+	+	+	+	-	-	+
	У2	-	+	+	+	-	-	-
	У3	0	+	+	+	-	0	-
	У4	0	+	+	+	0	-	-

Анализируя интерактивную матрицу можно сделать вывод, что существует несколько коррелирующих между собой сильных сторон и

возможностей, а именно: В2С1-С4 и В3С1-С4. Обе записи являются траекториями реализации проекта. В случае, когда две возможности коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе.

На основе анализа интерактивной матрицы составим итоговую матрицу SWOT-анализа, представленную в таблице 15.

Таблица 15 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <p>С1. Актуальность разработки.</p> <p>С2. Экономичность и энергоэффективность проекта.</p> <p>С3. Повышенная надежность разработки.</p> <p>С4. Повышенная безопасность разработки.</p>	<p>Слабые стороны проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие физической реализации.</p> <p>Сл2. Отсутствие сертификации разработки.</p> <p>Сл3. Низкий начальный уровень проникновения на рынок</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Использование существующего лицензионного ПО.</p> <p>В2. Использование инфраструктуры ТПУ.</p> <p>В3. Увеличение клиентской базы.</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В2С1-С4. Инфраструктура ТПУ и компании-партнеры сотрудничают для реализации проекта.</p> <p>В3С1-С4. Актуальность, эффективность, надёжность и безопасность проекта позволяет увеличить клиентскую базу.</p>	<p>Сл3В3В4. При увеличении клиентской базы повышается уровень проникновения на рынок, что в свою очередь увеличивает стоимость конкурентных разработок.</p>

Продолжение таблицы 15

<p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии.</p> <p>У2. Конкуренция с другими компаниями.</p> <p>У3. Увеличение расходов на комплектующее оборудование из-за политической обстановки в стране.</p> <p>У4. Введение новых ГОСТ и требований сертификации.</p>	<p>У1С1-С4. Достоинства и преимущества проекта могут повысить спрос на новую технологию.</p> <p>У2С2-С4 Достоинства проекта превосходят автоматизированные системы конкурентов на рынке.</p> <p>У3С2-С4. Расходы на комплектующее оборудование могут быть выше, чем расходы других компаний.</p>	<p>СлЗУ2У3. Низкий уровень проникновения на рынок позволит изменить импортное оборудование на отечественное, что предоставит преимущество перед конкурентами.</p>
---	---	--

Таким образом, SWOT-анализ позволяет определить маркетинговые и управленческие стратегии развития. Данная научно-исследовательская работа обладает достаточными преимуществами перед нежелательными ситуациями, тенденциями, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для проекта в настоящем или будущем.

7.5 Планирование научно-исследовательских работ

7.5.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для проведения научно-исследовательской работы необходимо планирование, которое включает в себя определение полного перечня работ, а также их распределение между всеми исполнителями проекта. В данном случае, исполнителями проекта являются студент и руководитель.

Основная работа по разработке и проектированию системы закрепляется за студентом, в то время как руководитель устанавливает цели, задачи, а также контролирует выполнение проделанной студентом работы.

В таблице 16 представлен перечень работ, а также распределение исполнителей по ним.

Таблица 16 – Перечень этапов и работ распределения исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	Руководитель
Реализация и выбор направления	2	Подбор и изучение материалов по теме проекта	Студент
	3	Изучение технологического процесса и объектов проектирования	Студент
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент
Теоретические и экспериментальные исследования, моделирование процесса	5	Проведение обоснования математической модели, проведение теоретических расчётов	Студент
	6	Проектирование математической модели и проведение экспериментов	Студент
	7	Сопоставление результатов эксперимента с теоретическими расчётами	Студент
Оценка результатов исследования	8	Оценка эффективности и целесообразности проведения работы	Руководитель, студент
Разработка технической документации, проектирование	9	Разработка функциональной схемы технологического процесса	Студент
	10	Разработка структурной схемы автоматизации	Студент
	11	Разработка функциональной схемы автоматизации	Студент
	13	Разработка блок-схемы алгоритма сбора данных	Студент

Продолжение таблицы 16

Основные этапы	№	Содержание работы	Должность исполнителя
	14	Разработка трёхуровневой структурной схемы автоматизации	Студент
	15	Разработка экранной формы SCADA	Студент
	16	Реализация передачи данных между средним и верхним уровнями	Студент
Оформление отчёта	17	Составление пояснительной записки	Студент

7.5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важно определить трудоёмкость работ каждого из участников научного исследования.

Определение трудоёмкости выполнения работ осуществляется на основе экспертной оценки ожидаемой трудоёмкости выполнения каждой работы путём расчёта длительности работ в рабочих и календарных днях каждого этапа работы. Определено ожидаемое (среднее) значение трудоёмкости работ, используя следующую формулу 16:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{MINi} + 2t_{MAXi}}{5} \quad (16)$$

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

t_{MINi} – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы, чел./дн.;

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

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

параллельность выполнения работ несколькими исполнителями и рассчитываемая по формуле 17:

$$T_{Pi} = \frac{t_{OЖi}}{Ч_i} \quad (17)$$

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

$t_{OЖi}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

7.5.3. Разработка графика проведения научного исследования

Для наглядности и удобства выполнения научно-исследовательской работы воспользуемся диаграммой Ганта. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой 18:

$$T_{Ki} = T_{Pi} \cdot k_{КАЛ} \quad (18)$$

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 следующей формуле 19:

$$k_{КАЛ} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВЫХ} - T_{ПР}} = \frac{365}{365 - 51 - 15} = 1,22 \quad (19)$$

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

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

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

Рассчитаем значения в календарных днях по каждой работе, как показано в таблице 17.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

Наименование работ	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{MIN}	t_{MAX}	$t_{ож}$			
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	2	4	2,8	1	3	3
Подбор и изучение материалов по теме проекта	10	20	14	1	14	17
Изучение технологического процесса и объектов проектирования	4	7	5,2	1	5	7
Календарное планирование работ	3	4	3,4	2	2	2
Проведение обоснования математической модели, проведение теоретических расчётов	10	14	11,6	1	12	15
Проектирование математической модели и проведение экспериментов	3	5	3,8	1	3,8	5
Сопоставление результатов эксперимента с теоретическими расчётами	2	3	2,4	1	2,4	3
Оценка эффективности и целесообразности проведения работ	2	4	2,8	2	1,4	2
Разработка функциональной схемы технологического процесса	3	7	4,6	1	4,6	6

Продолжение таблицы 17

Наименование работ	Трудоёмкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{MIN}	t_{MAX}	$t_{ож}$			
Разработка структурной схемы автоматизации	2	4	2,8	1	2,8	4
Разработка функциональной схемы автоматизации	3	6	4,2	1	4,2	5
Разработка блок-схемы алгоритма сбора данных	2	4	2,8	1	2,8	4
Разработка трёхуровневой структурной схемы автоматизации	2	4	2,8	1	2,8	4
Разработка экранной формы SCADA	4	8	5,6	1	5,6	7
Реализация передачи данных между средним и верхним уровнями	4	8	5,6	1	5,6	7
Составление пояснительной записки	5	8	6,2	1	6,2	8
Итого	Руководитель				3,4	4
	Студент				79,7	101

Далее по таблице 17 составляем календарный график-план. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта. Календарный план-график, то есть диаграмма Ганта, представлен в таблице 18. Периоды времени в диаграмме разбиты по декадам.

Таблица 18 – Диаграмма Ганта

Вид работы	Исполнитель	Продолжительность выполнения работ												
		Фев.			Март			Апр.			Май			Июнь
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	Руководитель													
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер													
Изучение технологического процесса и объектов проектирования	Инженер													
Календарное планирование работ	Руководитель													
	Инженер													
Проведение обоснования математической модели, проведение теоретических расчетов	Инженер													
Проектирование математической модели и проведение экспериментов	Инженер													
Сопоставление результатов эксперимента с теоретическими исследованиями	Инженер													

Продолжение Таблицы 18

Вид работы	Исполнитель	Продолжительность выполнения работ												
		Фев.			Март			Апр.			Май			Июнь
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Оценка эффективности полученных результатов и целесообразности проведения работ	Руководитель													
	Инженер													
Разработка функциональной схемы технологического процесса	Инженер													
Разработка структурной схемы автоматизации	Инженер													
Разработка функциональной схемы автоматизации	Инженер													
Разработка блок-схемы алгоритма пуска и останова	Инженер													
Разработка трёхуровневой структурной схемы автоматизации	Инженер													
Разработка экранной формы SCADA	Инженер													

Продолжение таблицы 18

Вид работы	Исполнитель	Продолжительность выполнения работ												
		Фев.			Март			Апр.			Май			Июнь
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
Реализация передачи данных между средним и верхним уровнями	Инженер													
Составление пояснительной записки	Инженер													

7.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Расчёт материальных затрат НТИ

Данный раздел охватывает стоимость всех материалов, используемых при разработке и проектировании проекта. В таблице 19 рассмотрены материальные затраты на оборудование.

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
Датчик давления САПФИР-22ЕМ	шт.	2	12 020	24 040
Датчик температуры Метран-274-Exd	шт.	2	7 575	15 150
Датчик уровня Метран-150L	шт.	2	35 000	70 000
Расходомер Метран-300 ПР	шт.	2	7 500	15 000
Запорно-регулирующий клапан KR-310	шт.	3	40 961	122 883
Контроллер ЭЛСИ-ТМК	шт.	1	31 000	31 000
Итого				278 073

Расчёт затрат на специальное оборудование

В расчёт затрат на специальное оборудование включают затраты на приобретение лицензионного специализированного программного обеспечения для проектирования среднего уровня автоматизации, в данном

случае это CODESYS, и верхнего уровня автоматизации – MasterSCADA. Расчёты затрат приведены в таблице 20.

Таблица 20 – Расчёт бюджета затрат на специальное оборудование

Наименование	Количество единиц	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
CODESYS	1	4 800	4 800
MasterSCADA	1	27 000	27 000
Итого			31 800

Основная заработная плата исполнителей

В этот подраздел включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. Результат представлен в таблице 21.

Таблица 21 – Основная заработная плата

Исполнители	Оклад, руб.	кпр	кд	кр	Зм, руб.	Здн, руб.	Тр, раб. дн.	Зосн, руб.
Руководитель	32 800	0,3	0,4	1,3	72 488	8 376	3,4	28 478
Инженер	14 466		0,2		28 209	3 260	79,7	259 822
Итого:								288 300

Дополнительная заработная плата работников

Затраты по дополнительной заработной плате учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчёт дополнительной заработной платы ведется по следующим формулам 20 и 21:

$$Z_{\text{доп.рук}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 28\,478 = 4\,272 \text{ руб.} \quad (20)$$

$$Z_{\text{доп.исп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 259\,822 = 38\,973 \text{ руб.} \quad (21)$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Обязательные отчисления производят по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 22.

Таблица 22 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата
Руководитель	28 478 руб.	4 272 руб.
Инженер	259 822 руб.	38 973 руб.
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	30 %	30 %
Итого	86 490 руб.	12 973 руб.

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по формуле 22:

$$Z_H = (\text{Сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{НР}. \quad (22)$$

Отсюда:

$$Z_H = (278\,073 + 31\,800 + 288\,300 + 43\,245 + 99\,463) \cdot 0,16 = 118\,541 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. При формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Расчёт бюджета затрат НИИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Материальные затраты НИИ	278 073
2	Затраты на специальное оборудование	31 800
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей	288 300
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей	43 245
5	Отчисления во внебюджетные фонды	99 463
6	Накладные расходы	118 541
7	Бюджет затрат НИИ	8592

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трёх (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчёта, с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель определяется как показано в формуле 23:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{Pi}}{\Phi_{\text{МАХ}}}, \quad (23)$$

где Φ_{Pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{МАХ}}$ – максимальная скорость исполнения научно-исследовательского проекта.

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее

численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Для определения эффективности были рассмотрены следующие аналоги:

- **Аналог 1** – существующая система АСУ ТП, спроектированная компанией ЗАО «ЭлеСи». Система АСУ ТП разработана на базе контроллера Элсима.
- **Аналог 2** – существующая система АСУ ТП, спроектированная компанией ЗАО «Текон-Инжиниринг». Система АСУ ТП разработана на базе контроллера Теконик.

Смета бюджетов для рассмотренных аналогов приведена в таблице 24.

Таблица 24 – Смета бюджетов для рассмотренных аналогов

	Исследовательский проект АСУ ТП	Аналог 1	Аналог 2
Бюджет затрат, руб.	859 422	~ 1 450 000	~ 2 100 000

Рассчитаем интегральный финансовый показатель для трёх систем:

$$I_{\text{финРП}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{Pi}}{\Phi_{\text{МАХ}}} = \frac{859\,422}{2\,100\,000} = 0,409; \quad (24)$$

$$I_{\text{финА1}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{Pi}}{\Phi_{\text{МАХ}}} = \frac{1\,450\,000}{2\,100\,000} = 0,69; \quad (25)$$

$$I_{\text{финА2}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{Pi}}{\Phi_{\text{МАХ}}} = \frac{2\,100\,000}{2\,100\,000} = 1; \quad (26)$$

Далее определим интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта по формуле 27:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (27)$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения, устанавливается экспертным путем.

Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта приведена в таблице 25.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Реализованный проект	Аналог №1	Аналог №2
Безопасность	0,3	5	4	4
Надежность	0,2	4	4	5
Экономичность	0,2	5	4	3
Удобство в эксплуатации	0,05	4	5	5
Повышение производительности	0,25	5	4	5
Итого	1	4,6	4,2	4,4

Рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{РП} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,25 = 4,75; \quad (28)$$

$$I_{A1} = 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,05 + 4 \cdot 0,25 = 4,05; \quad (29)$$

$$I_{A2} = 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,25 = 4,3; \quad (30)$$

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

$$I_{ИСП1} = \frac{I_{РП}}{I_{финРП}^{исп.i}} = \frac{4,75}{0,409} = 11,61; \quad (31)$$

$$I_{ИСП2} = \frac{I_{A1}}{I_{финA1}^{исп.i}} = \frac{4,05}{0,69} = 5,87; \quad (32)$$

$$I_{ИСП3} = \frac{I_{A2}}{I_{финA2}^{исп.i}} = \frac{4,3}{1} = 4,3. \quad (33)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Результат сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлена в таблице 26 получены с помощью формулы 34:

$$\mathcal{E}_{\text{CP}} = \frac{I_{\text{ИСП1}}}{I_{\text{ИСП2}}} . \quad (34)$$

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель	0,409	0,69	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4,75	4,05	4,3
3	Интегральный показатель эффективности	11,61	5,78	4,3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,98	1	2,7

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами как по финансовой эффективности, так и по ресурсной эффективности.

7.8 Выводы по разделу

По данному разделу были решены следующие задачи:

- произведена оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследования, определены потенциальные потребители и выявлены преимущества разработки: повышение надёжности, безопасности и производительности, а также более низкая цена;
- составлен SWOT-анализ, в котором были определены стратегии по использованию возможностей и нивелированию угроз и слабых сторон;

- проведено планирование научно-исследовательских работ, расчёт трудозатрат и составлен календарный план-график проекта, определена ресурсная, финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективности исследования.

С учётом решенных задач можно сделать вывод о том, что проект является конкурентоспособным и более ресурсоэффективным по сравнению с имеющимися аналогами на рынке.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа		ФИО	
8Т91		Стрельникова Виктория Анатольевна	
Школа		Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Тема ВКР:

Автоматизация конечного сепаратора на установке подготовки нефти Буранного месторождения	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> сепаратор нефтегазовый трехфазный третьей ступени.</p> <p><i>Область применения:</i> нефтегазовая отрасль.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> полевые условия</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 20×30 м.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> датчики КИПиА, ПЛК, пульт диспетчера, блочный щит управления.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> учёт товарной нефти и утилизация попутного нефтяного газа, откачка товарной нефти в нефтепровод.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. ТК РФ Статья 91. Понятие рабочего времени. Нормальная продолжительность рабочего времени. 2. Федеральный закон от 28 декабря 2013 года N426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», статья 14 3. Федеральный закон от 14.07.2022 N 98-ФЗ «О коммерческой тайне», Статья 11. 4. ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ. Общие эргономические требования». 5. ГОСТ 22269-76 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места».
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Опасные факторы: Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.</p> <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень шума. 2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения.

	<p>3. Электромагнитное поле промышленной частоты (порядка 50-60 Гц).</p> <p>4. Повышенный уровень общей вибрации.</p> <p>5. Испарение лёгких углеводородов.</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: вентиляция, кондиционирование воздуха и отопление помещения, противοшумные наушники, поддержание чистоты поверхности искусственного освещения, специальные защитные костюмы и виброизолирующая обувь, перчатки, защитные ограждения.</p>
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	<p>Воздействие на селитебную зону: не оказывает.</p> <p>Воздействие на литосферу: разлив нефтепродуктов и промышленных отходов.</p> <p>Воздействие на гидросферу: разлив нефтепродуктов в близлежащие реки и водоёмы.</p> <p>Воздействие на атмосферу: выброс углеводородов.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	<p>Возможные ЧС: разлив нефтепродуктов и промышленных отходов, утечка углеводородов, пожар, взрыв.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар, взрыв.</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т91	Стрельникова Виктория Анатольевна		

8 Социальная ответственность

Нефтегазовая отрасль России является одной из крупнейших отраслей экономики страны. На территории страны находится свыше трёх тысяч месторождений, из которых добывают огромное количество полезных ископаемых. Использование автоматизированных систем управления позволяет повысить эффективность и уменьшить расходы на производство, а также повысить безопасность труда.

В данном разделе рассматриваются факторы, влияющие на рабочий персонал и окружающую среду при использовании сырья, энергии, потребляемой на установке, и технологического оборудования. Кроме того, описываются вероятные чрезвычайные ситуации и меры по их ликвидации, а именно правовые и организационные аспекты обеспечения безопасности.

Основные задачи охраны труда сводятся к тому, чтобы при максимальной производительности рабочего персонала обеспечить комфортные условия труда и свести к минимуму вероятность повреждений, заболеваний и производственных аварий. При работе с установками соблюдение техники безопасности поможет уберечь сотрудников от опасностей, которые могут возникнуть на рабочем месте. Особенно, если рабочий процесс может привести к разливу нефтепродуктов и промышленных отходов, утечке углеводородов, пожару и взрыву.

Объектом исследования научно-исследовательской работы является нефтегазовый сепаратор третьей ступени на установке подготовки нефти (УПН). Сепаратор применяется для учёта товарной нефти и утилизации попутного нефтяного газа, откачки товарной нефти в нефтепровод.

Целью данной работы является разработка автоматизированной системы управления сепаратором, которая позволит повысить безопасность и эффективность работы установки. Рабочими зонами являются полевые условия для сепаратора и диспетчерская размером 20×30 м. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: блочный щит управления, программируемый логический контроллер, датчики КИПиА, пульт

диспетчера. На разрабатываемой АСУ ТП будут работать операторы технологических установок.

8.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Создание благоприятных условий труда, защита прав и интересов работников и работодателей прописаны в трудовом кодексе РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 19.12.2022) (с изм. и доп., вступ. В силу с 01.03.2023) [12]. Согласно статье 91 нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. В свою очередь оператор имеет право на сокращённую продолжительность рабочего времени не более 35 часов в неделю, если его возраст составляет от шестидесяти до восьмидесяти лет. Поскольку режим работы установки непрерывен, существует ночная смена работы с 22 до 6 часов (ТК РФ, ст. 96), но работа в течение двух смен подряд запрещается (ТК РФ, ст. 103).

В статье 14 Федерального закона от 28 декабря 2013 года N426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» условия труда оператора АСУ ТП относится ко второму классу допустимых условий труда. То есть на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых не превышают уровни, установленные нормативами условий труда [13].

Кроме того, в статье 11 федерального закон от 14.07.2022 N 98-ФЗ «О коммерческой тайне» [14] указано, что работодатель обязан ознакомить под расписку работника с установленным режимом коммерческой тайны и с мерами ответственности за нарушение. В свою очередь работник обязуется не разглашать информацию, обладателями которой являются работодатель и его контрагенты, и не использовать её в личных целях в течение всего срока действия режима коммерческой тайны, в том числе после прекращения действия трудового договора.

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ. Общие эргономические требования» [15] конструкция рабочего места должна соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, характеру работы, а также зоне досягаемости моторного поля. Поскольку основная работа диспетчера заключается в управлении процессом с помощью SCADA-системы, тогда экран монитора должен быть расположен в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости. Часто используемые источники информации должны быть расположены под углами 30° , а редко используемые – 60° .

Исходя из ГОСТ 22269-76 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места» [16], при создании рабочего места необходимо учитывать:

- рабочую позу человека-оператора;
- пространство для размещения человека-оператора;
- возможность обзора элементов рабочего места;
- возможность обзора пространства за пределами рабочего места;
- возможность ведения записей, размещения документации и материалов, используемых человеком-оператором.

Расположение элементов на рабочем месте должны обеспечивать доступность всех необходимых движений и перемещений для работы оператора.

8.2 Производственная безопасность

Управление конечного сепаратора на установке подготовки нефти осуществляется оператором технологических установок с автоматизированного рабочего места. Перечень опасных и вредных факторов, которые могут возникнуть при работе оператора согласно ГОСТ 12.0.003-2015, представлен в таблице 27.

Таблица 27 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте в операторской АСУ ТП

Факторы (ГОСТ 12.0.003-215)	Нормативные документы
1. Повышенный уровень шума	СанПиН 2.2.4.3359-16. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
3. Электромагнитное поле промышленной частоты (50-60 Гц)	СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда».
4. Повышенный уровень общей вибрации	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (с изменениями на 30 декабря 2022 года).
5. Испарение лёгких углеводородов	Федеральный закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об охране атмосферного воздуха» [17]
6. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Поправкой) [18]

8.2.1 Повышенный уровень шума

При работе установки шум возникает при открытии и закрытии задвижек трубопровода, по которым течёт жидкость, а также из-за электродвигателя регулирующего клапана. Известно, что шум оказывает раздражающее влияние на работника, вызывает головные боли, а при повышенном воздействии шума понижаются возбудительные процессы в коре головного мозга.

Согласно п. 3.2.6 СанПиН 2.2.4.3359-16 [19] допускается эквивалентный уровень шума на рабочих местах от 80 до 85 дБА при условии подтверждения приемлемого риска здоровью работающих по результатам проведения оценки профессионального риска здоровью работающих, а также выполнения комплекса мероприятий, направленных на минимизацию рисков здоровью работающих.

Если обнаружится повышение уровня шума на рабочем месте выше 80 дБА, работодатель должен провести оценку риска здоровью работающих и подтвердить приемлемый риск здоровью работающих.

Работы в условиях воздействия эквивалентного уровня шума выше 85 дБА не допускаются. При воздействии шума в границах 80-85 дБА необходимо минимизировать возможные негативные последствия следующими действиями:

- подбор рабочего оборудования и обучение таким режимам работы, которые обеспечивает минимальные уровни генерируемого шума;
- использование защитных экранов, звукопоглощающих покрытий, изоляции;
- ограничение продолжительности и интенсивности воздействия до уровней приемлемого риска;
- проведение производственного контроля виброакустических факторов;
- ограничение доступа в рабочие зоны с уровнем шума более 80 дБА работающих, не связанных с основным технологическим процессом;

– обязательное предоставление работающим средств индивидуальной защиты органа слуха;

– ежегодное проведение медицинских осмотров для лиц, подвергающихся шуму выше 80 дБ.

8.2.2 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Недостаточное освещение рабочего места и помещения является вредным фактором для здоровья человека, вызывающее ухудшение зрения и возможное получение травм. При таком освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых ошибок. В помещении операторной в качестве искусственного освещения используются светильники с люминесцентными лампами. Нормы освещенности приведены в СП 52.13330.2016 [20], освещенность рабочего места оператора АСУ ТП должна составлять (200 – 300) Лк при общем освещении.

Коэффициент пульсации – это относительная величина и измеряется в процентах от разности максимального и минимального значений освещенности в люксах, приведённая к усредненному значению освещенности за период. Известно, что санитарными правилами установлен верхний лимит на параметр коэффициента пульсации, который не должен быть выше 20%. Если работник выполняет больше рабочих задач, то данный параметр должен быть ниже. В зимний период вследствие укороченного светового дня и недостаточного естественного освещения необходимо использовать искусственное освещение. Освещенность рабочего места в норму достигается периодическим мытьем окон, подстриганием веток деревьев.

8.2.3 Электромагнитное поле промышленной частоты

Оператор АСУ ТП осуществляет работу за персональным компьютером, который оказывает воздействие электромагнитного излучения, источниками которого являются системный блок и кабели, соединяющие электрические цепи. Электромагнитные излучения оказывают неблагоприятное влияние на

сердечно-сосудистую, нервную и эндокринную систему, а также в редких случаях могут привести к раковым заболеваниям. Согласно СанПиН 1.2.3685-21 предельно допустимые уровни электромагнитного поля частотой 50 Гц на рабочем месте – 5 кВ/м.

Для того чтобы избежать негативного воздействия от электромагнитного излучения необходимо следовать основным требованиям, описанным в СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» [21]. Для снижения воздействия данного типа излучения предпринимают меры, например, расстояние от монитора до работника должно составлять не менее 50 см.

8.2.4 Электрический ток, вызываемый разницей потенциалов

АРМ оператора не относится к помещениям повышенной опасности. Кроме того, существует опасность поражения электрическим током в случае неисправности изоляции проводов и повреждении корпуса системного блока, что может привести к короткому замыканию. Электрический ток оказывает на человека термическое, электролитическое, биологическое и механическое воздействие. Поражение током может привести к смерти работника.

В качестве защиты используются изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления и автоматического отключения питания. Также размещаются предупредительные знаки и плакаты безопасности «Опасно. Высокое напряжение».

8.2.5 Повышенный уровень общей вибрации

При внедрении автоматизированной системы управления нефтегазовым сепаратором вибрация может появиться вследствие наличия вибрации на участке с объектами управления, которая передаётся в операторное помещение. Воздействие вибрации может привести к снижению производительности труда, возникновению головных болей, а также онемению конечностей.

Анализ показателей норм вибрации определяется в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21. Исходя из этого, на рабочем месте оператора АСУ ТП

присутствует общая производственная вибрация, а именно технологическая вибрация на стационарных рабочих местах. Предельно допустимые значения вибрации для АРМ оператора представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Предельно допустимые значения вибрации рабочих мест для оператора АСУ ТП

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действий	Фильтр частотной коррекции	Эквивалентный корректированные уровни виброускорения	
				m/c^2	дБ
Общая	Технологическая вибрация на стационарных рабочих местах	Z_0	W_k	0,1	100
		Z_0, Y_0	W_k	0,071	97

Для снижения воздействия используются виброизолирующие рукавицы и виброизолирующая обувь.

8.2.6 Испарение лёгких углеводородов

Вследствие нарушений в эксплуатации оборудования или негерметичности фланцевых соединений может произойти выброс лёгких углеводородов, который может вызвать раздражение легких, сопровождающееся кашлем, удушьем, одышкой и неврологическими расстройствами, а также нарушение сердечного ритма и учащенное сердцебиение.

В число веществ, негативно влияющих на человека, вызывающих отравление, можно отнести: сероводород (ПДК 10 мг/м³), сероводород в смеси с углеводородами (ПДК 3 мг/м³), оксид азота (IV) (ПДК 5 мг/м³), метан (ПДК 300 мг/м³) и аммиак (ПДК 20 мг/м³) согласно ГОСТ 12.1.005-88. Для обеспечения безопасности на рабочем месте необходимо перекрыть подачу газа, проветрить помещение и проверить герметичность фланцевых

соединений. Средствами защиты органов дыхания являются респираторы. Для защиты кожи рабочих и профилактики кожных заболеваний, наряду с защитной одеждой и средствами личной гигиены, применяют различные защитные (барьерные) пасты, мази и специальные моющие и очищающие средства.

8.3 Экологическая безопасность

Загрязнение литосферы

Загрязнение почвы продуктами нефтепереработки может возникать в случае аварийных ситуаций, таких как разливов и утечек нефти вдоль трасс трубопроводов при ремонте оборудования или при зачистке трубопроводов. Загрязнённый грунт вывозят в специальные места, определённые санитарной инспекцией, для нейтрализации и дальнейшего закапывания.

Загрязнение гидросферы

Попадание нефти в водоёмы может произойти в случае аварий, утечек или ремонта. Все промышленные стоки, с целью охраны водоёмов, направляются по системе трубопроводов на очистные сооружения с последующей подачей их в систему поддержки пластового давления.

Загрязнение атмосферы

Известно, что при производстве в атмосферу попадают лёгкие фракции углеводородов, которые могут испаряться в окружающей среде при недостаточной герметичности частей установки. Необходимо своевременно устранять неполадки в конструкциях и соединительных швах резервуаров, проверять наличие прокладок во всех соединениях труб, контролировать качество используемой аппаратуры. Основным методом предупреждения – усовершенствование систем транспорта и поддержание их в рабочем состоянии благодаря постоянной проверке всех основных узлов системы: резервуаров, трубопроводов. Расчётные величины утечки и расчётная доля уплотнений нормируются руководящим документом РД 39.142-00 «Методика расчёта выбросов вредных веществ в окружающую среду от неорганизованных источников нефтегазового оборудования» [22].

Установленная норма содержания загрязнений в выбросах углеводородов указано в технологическом регламенте и составляет 218,2 мг/м³ [23].

8.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе эксплуатации конечного сепаратора на установке подготовки нефти возможны следующие чрезвычайные ситуации: утечка сырья, пожар, взрыв, геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории). Наиболее вероятным ЧС является пожар. На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», статья 8 определены классы возможного пожара: пожары горючих жидкостей (нефтепродукты) или плавящихся твердых веществ и материалов (В) и пожары горючих веществ и материалов электроустановок, находящихся под напряжением (Е).

Источником возникновения пожара может послужить:

- короткое замыкание электрической цепи приборов;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- нагрев резервуара в летний период.

Согласно требованиям, СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» [24] пожарная безопасность должна обеспечиваться за счёт:

- оснащения зданий, сооружений, помещений и оборудования складов нефти и нефтепродуктов установками автоматического пожаротушения;
- противоаварийной защиты, способной предотвратить аварийный выход нефти из резервуаров, оборудования, трубопроводов;
- организационных мероприятий по подготовке персонала, обслуживающего конечной делитель фаз трубный, к предупреждению, локализации и ликвидации аварий, аварийных утечек, а также пожаров и возгораний.

Управлять пожарной сигнализацией можно с операторской или в ручном режиме по месту. При возникновении пожара система пожаротушения срабатывает автоматически. В случае возникновения пожара необходимо:

- 1) покинуть место пожара;
- 2) прекратить подачу электроэнергии;
- 3) прекратить подачу нефтяной смеси в колонну;
- 4) руководствоваться инструкциями по противопожарной безопасности, разработанными на эксплуатирующем предприятии.

Основными огнетушащими веществами являются пенные составы, имеющие меньшую с нефтепродуктами плотность, покрывающие поверхность горячей жидкости и блокирующие поступление кислорода в среду горения.

8.5 Выводы по разделу

В результате выполнения данного раздела были определены меры обеспечения безопасности, которые снизят риски для оператора АСУ ТП и повысят его работоспособность. Было определено, что потенциально возможные факторы соответствуют нормативным значениям.

В Федеральном законе N426-ФЗ указано, что условия труда оператора АСУ ТП относится ко второму классу допустимых условий труда.

Согласно СП 12.13130.2009, помещение рабочей зоны относится к категории А (повышенная взрывопожароопасность) в связи с легковоспламеняющимися жидкостями, которые могут образовать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 определена IIб категория тяжести труда, это работы, связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения, диапазон температуры воздуха ниже оптимальных величин – 18-19,9°C, выше оптимальных величин – 22,1-27°C.

Согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 года, N2398 «Критерии отнесения объектов, оказывающих

негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий» (с изменениями на 7 октября 2021 года) объект (конечный сепаратор на установке подготовки нефти), оказывающий значительное негативное воздействие на окружающую среду относится ко II категории.

Согласно правилам устройства электроустановок, помещение по электробезопасности относится ко второй категории (помещение с повышенной опасностью), поскольку существует наличие угрозы поражения электрическим током при косвенном касании токопроводящих компонентов оборудования. В свою очередь, персонал по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок должна иметь III группу по электробезопасности, чтобы уметь освободить пострадавшего от действия электрического тока, оказать ему первую помощь, а также знать правила пользования средств защиты и специальных требований, касающихся выполняемой работы.

Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы была спроектирована система автоматизации нефтяного сепаратора концевой ступени. Подготовительный этап заключался в изучении технического регламента УПН Буранного месторождения, принципа работы концевого сепаратора, проектировании структурной и функциональной схем автоматизации, экранной формы работы сепаратора, составлении технического задания и объёма автоматизации, а также перечня средств автоматизации. Также разработан алгоритм пуска, вывода на режим работы и останова сепаратора, проведён сравнительный анализ средств автоматизации, в ходе которого выбраны наиболее подходящие датчики, удовлетворяющие технический регламент.

Выполнено моделирование системы управления сепаратора с помощью ПИД-регулятора в программе Matlab Simulink. В результате выяснено, что система имеет время переходного процесса 46.2894 с. То есть за это время колебания регулируемой величины перестают превышать 5% от установившегося значения

Таким образом, спроектированная АСУ ТП удовлетворяет требованиям к системе автоматизации, имеет высокую эффективность, что позволяет модернизировать процесс производства.

Список использованной литературы

1. Технологический регламент Участка предварительной подготовки нефти Буранного нефтяного месторождения – Томск, 2015.
2. ГОСТ 21.408-2013. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108005>.
3. Государственном Реестре средств измерения Российской Федерации – [Электронный ресурс] – URL: <http://www.rostest.ru/GosreestrSI.php>
4. ГОСТ 19.701-90 Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. – [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9041994>.
5. Проектирование автоматических систем управления нефтегазовыми производствами: учебное пособие / Е.И. Громаков, А.В. Лиепиньш; Томский государственный университет. – Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2019. – 370 с.
6. Высокоточный датчик давления САПФИР-22ЕМ с HART-интерфейсом – [Электронный ресурс] – URL: <https://www.elemer.ru/catalog/datchiki-davleniya-i-manometry/datchiki-davleniya/sapfir-22em/>.
7. Уровнемер Метран-274-Exd. – [Электронный ресурс] // URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/метран-274-ru-ru-4848882.pdf>.
8. Датчик уровня Метран 150L – [Электронный ресурс] // URL: <https://www.emerson.com/ru-ru/catalog/metran-150l-ru-ru>
9. Расходомер Метран-300 – [Электронный ресурс] // URL: <https://www.emerson.com/ru-ru/catalog/metran-300pr-ru-ru>
10. РТМ 108.711.02-79. Методы определения пропускной способности регулирующих органов и выбор оптимальной расходной

характеристики. – [Электронный ресурс] // URL:
<https://docs.cntd.ru/document/1200065012>

11. Запорно-регулирующий клапан 25ч945п ЗРК, чугунный, фланцевый с приводом МИЭП PN 16 бар расхода [Электронный ресурс] // URL: <https://www.techmarcet.ru/klapany-reguliruyushchie/klapany-s-ehlektroprivodami/zaporno-reguliruyushchiy-klapan-25ch945p-zrk-chugunnyu-flantsevyu-miep-pn-16-bar/>

12. Серийная продукция. ПЛК ЭЛСИ-ТМК. [Электронный ресурс] // URL: <https://elesy.ru/products/products/plc/elsy-tmk/properties.aspx#subpagesMenu>

13. Трудовой кодекс РФ от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. От 19.12.2022) (с изм. и доп., вступ. В силу с 01.03.2023) [Электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901807664>

14. Федерального закона от 28 декабря 2013 года N426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [Электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499067392>

15. Федеральный закон от 14.07.2022 N 98-ФЗ «О коммерческой тайне» [Электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901904607>

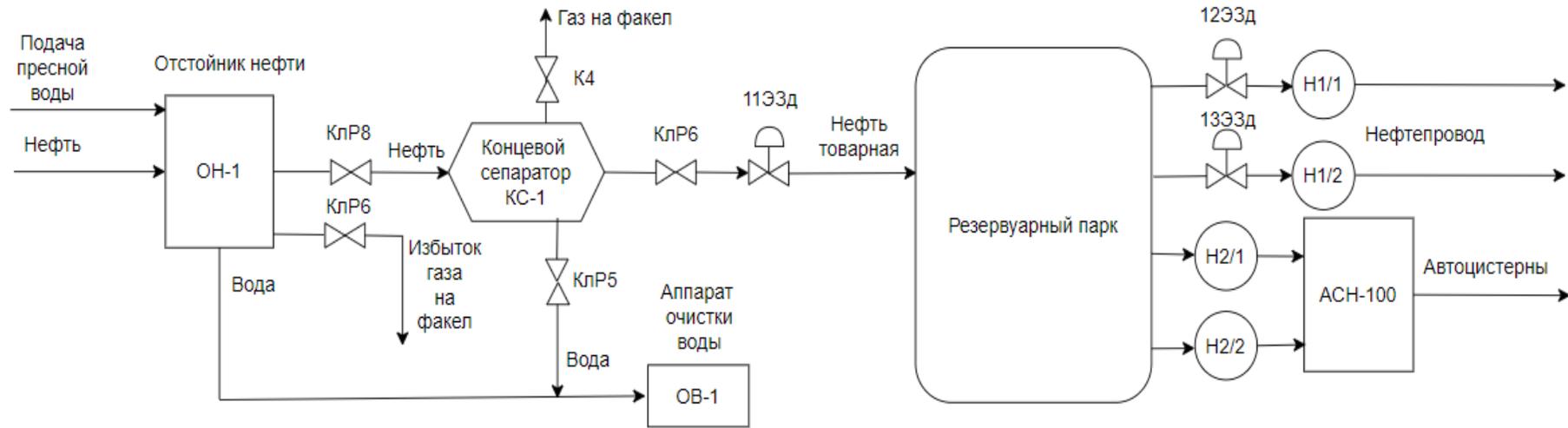
16. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования – [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003913>

17. ГОСТ 22269-76 Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места [Электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012834>

18. Федеральный закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ (ред. от 11.06.2021) «Об охране атмосферного воздуха» [Электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901732276>

19. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Поправкой) [Электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161238>
20. СанПиН 2.2.4.3359-16 п.3.2.6 [Электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420362948>
21. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [Электронный ресурс] – Режим доступа: – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197>
22. СП 2.2.3670-20. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда – [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573230583>
23. РД 39.142-00. Методика расчета выбросов вредных веществ в окружающую среду от неорганизованных источников нефтегазового оборудования – [Электронный ресурс] – URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4294846/4294846265.htm>
24. Технологический регламент Участка предварительной подготовки нефти Буранного нефтяного месторождения; ОАО «Норд Империял» – Томск, 2015.
25. СП 155.13130.2014 «Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности» [Электронный ресурс] – Режим доступа: –URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108948>

Приложение А
(обязательное)
Функциональная схема технологического процесса



					ФЮРА 425280.001			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Функциональная схема технологического процесса	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Стрельникова			2003		у		1:1
Проб.	Семенов Н.И.			2003				
Т.контр.								1
Н.контр.					ТПУ ИШИТР Группа 8Т91			
Чтб.					Формат А4			

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № дробл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

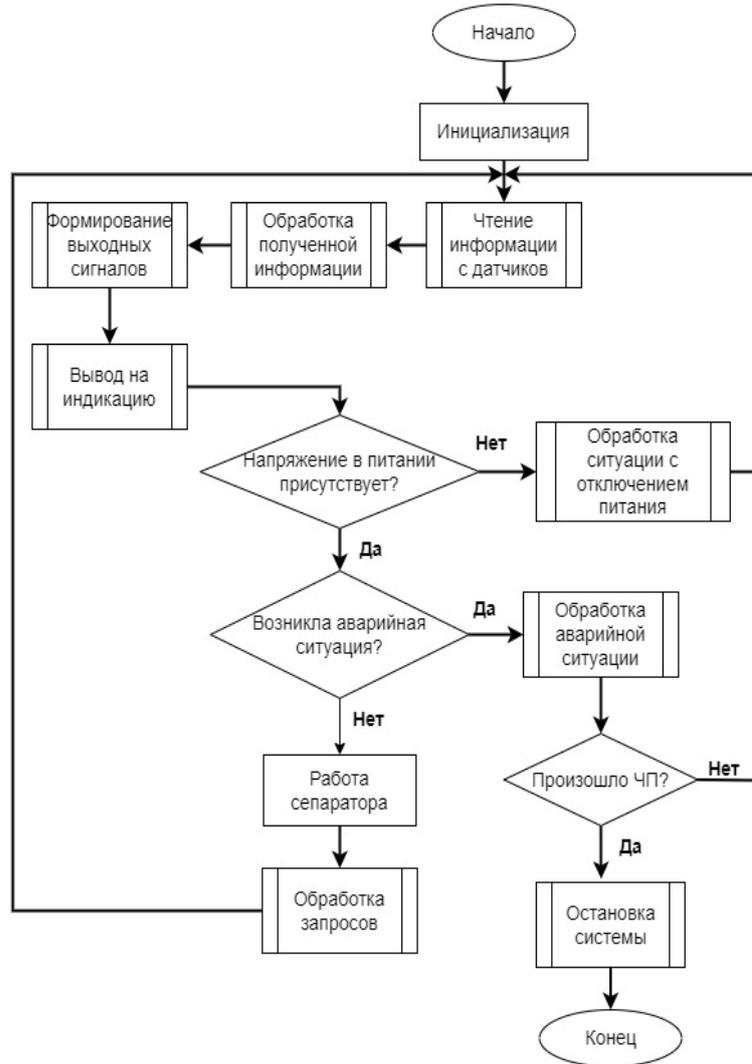
Инд. № подл.

**Приложение Б
(обязательное)
Объём автоматизации**

Таблица Б.1 – Объём автоматизации

№ п/п	Наименование параметра	Рабочий диапазон	Размер- ность	Требуемы й класс точности	Выходной сигнал	Блокировка		Сигнализация	
						LL	НН	L	H
1	Давление в сепараторе	0,04-0,05	кгс/см ²	0,5	(4 – 20) мА HART	–	0,3 кгс/см ²	–	0,25 кгс/см ²
2	Давление аварийное верхнее на выходе из сепаратора	0,05	кгс/см ²	0,5	(4 – 20) мА HART	–	0,05 кгс/см ²	–	–
3	Давление аварийное нижнее на выходе из сепаратора	0,04	кгс/см ²	0,5	(4 – 20) мА HART	0,04 кгс/см ²	–	–	–
4	Температура в сепараторе	30 – 40	°С	0,5	(4 – 20) мА HART	15 °С	50 °С	18 °С	45 °С
5	Уровень нефти в сепараторе	800 – 1200	мм	1,0	(4 – 20) мА HART	-	-	0,3 м	0,55 м
6	Уровень аварийный верхний	1200	мм	1,0	(4 – 20) мА HART	–	0,75 м	–	–

Приложение В
(обязательное)
Алгоритмы запуска и останова сепаратора



Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Изм. №

Взам. инв. №

Подп. и дата

Изм. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Стрельникова		18.03
Проб.		Семенов Н.М.		18.03
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

ФЮРА 425280.001 ЭС 12

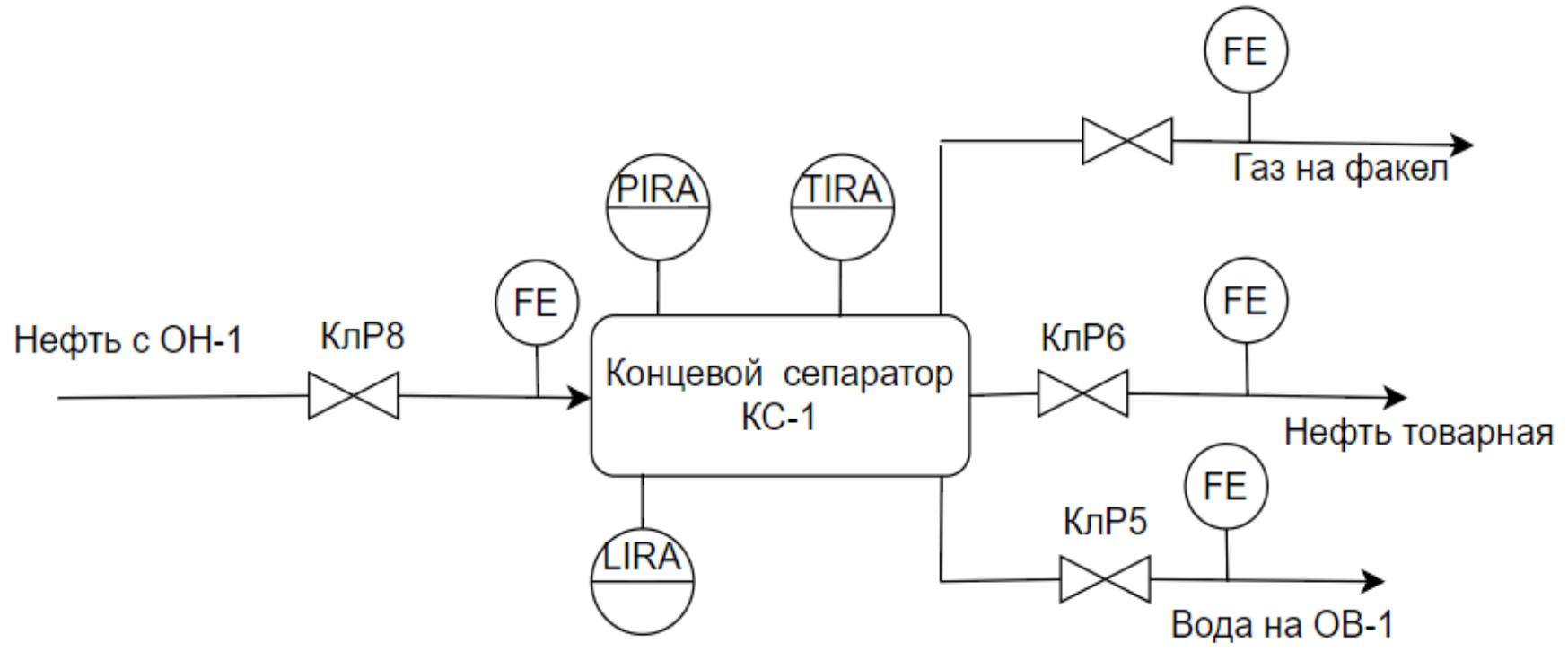
Алгоритмы пуска и
останова сепаратора

Лит.	Масса	Масштаб
У		1:1
Лист	Листов	1

ТПУ ИШИТР
Группа 8Т91

**Приложение Г
(обязательное)
Трёхуровневая система автоматизации**

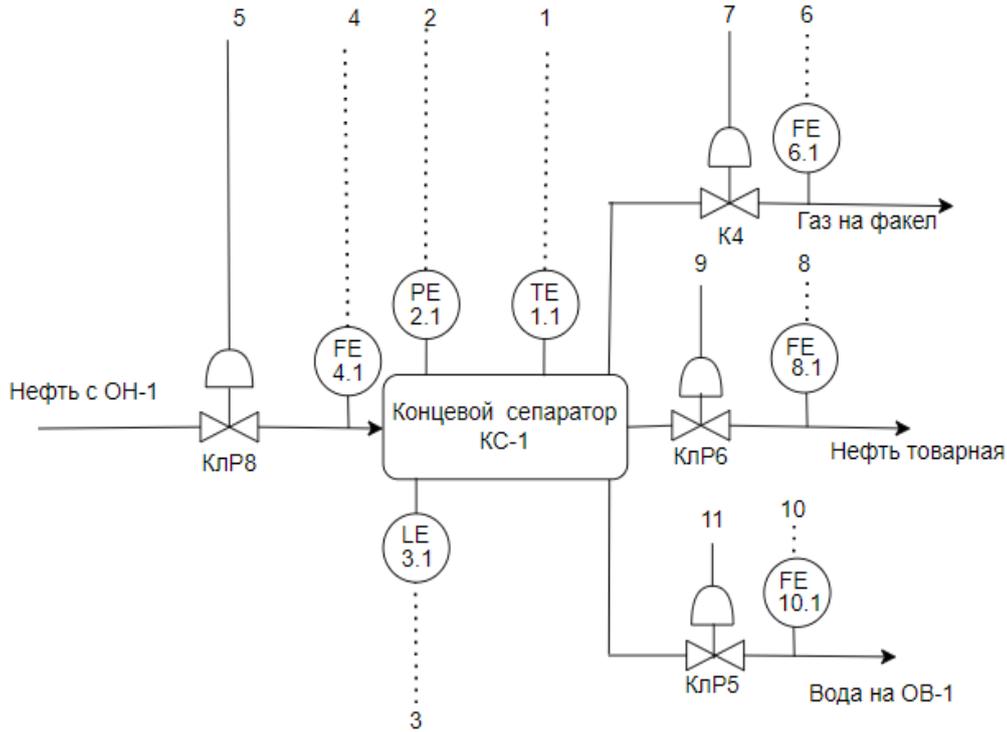
**Приложение Д
(обязательное)
Структурная схема автоматизации**



Лист № 1
 Стр. 1 из 1
 Дата: 18.04.2018
 Изм. № 1
 Разраб. Стрельникова
 Проверка Семенов Н.М.
 Т.контр.
 Н.контр.
 Утв.

					ФЮРА 425280.001 ЭС 07			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Структурная схема автоматизации нефтяного сепаратора	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.		Стрельникова		18.04		у		1:1
Проб.		Семенов Н.М.		18.04				
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.					ТПУ ИШИТР Группа 8Т91			
Утв.					Копировал Формат А4			

Приложение Е
(обязательное)
Функциональная схема автоматизации сепаратора



По месту	1 TT 1.2 °C	2 PT 2.2 МПа	3 LT 3.2 м	4 FT 4.2 м³/час	5 NS 5.2	6 FT 6.2 м³/час	7 NS 7.2	8 FT 8.2 м³/час	9 NS 9.2	10 FT 10.2 м³/час	11 NS 11.2
Шкаф управления	AI										
	AO										
	DI										
	DO										
Шкаф управления	Ethernet										
Операторский щит	TA 1.3	PA 2.3	LA 3.3								
SCADA	Мониторинг										
	Управление										
	Конфигурация										

ФЮРА 425280.001 ЭС 08

Функциональная схема автоматизации сепаратора

Лист	Масса	Масштаб
у		1:1
Лист	Листов 1	

ТПУ ИШИТР
Группа 8Т91

Формат А4

Копировал

Левб. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дудл

Взам инв. №

Подп. и дата

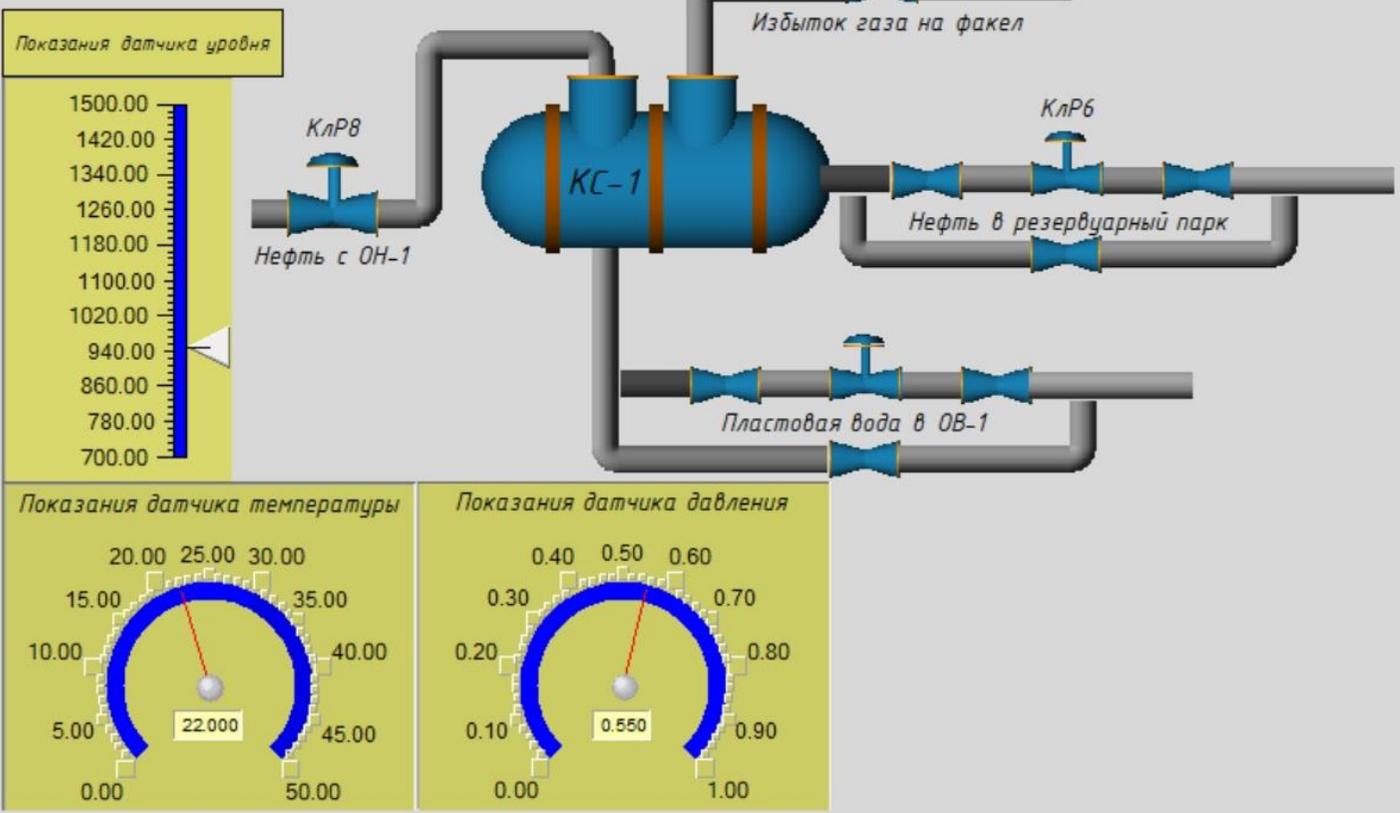
Инв. № подл

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Стрельникова		11.05
Проб.		Семенов Н.М.		11.05
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Приложение Ж
(обязательное)
Мнемосхема сепаратора концевой ступени КС-1

**Экранная форма
Концевого сепаратора КС-1**

22 Декабрь 2022, 22:44:06



Лист: проект

Стр.: №

Подп. и дата

Инд. №

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. №

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
		Стрельникова		22.12
		Семенов Н.М.		22.12

ФЮРА 425280.001 ЭС 14-ХХ		
Экранная форма АРМ оператора	Лит.	Масса
	Масштаб	1:1
	Лист	Листов 1
ТПУ ИШИТР Группа 8Т91		
Формат А4		