

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

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<b>Тема работы</b>
Модернизация АСУ блочной кустовой станции

УДК 004.896-048.35:622.276.53.054

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5А	Афанасьев Андрей Анатольевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	к.т.н.		

Консультант

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

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	к.х.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Винокурова Галина Федоровна	к.т.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Громаков Евгений Иванович	к.т.н., ДОЦЕНТ		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Запланированные результаты обучения по направлению «Автоматизация  
технологических процессов и производств»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P1	Использовать основные знания в области математических и естественных наук для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств. Уметь сочетать теоретические и практические навыки и методы решения инженерных задач.
P2	Применять полученные знания для определения, формулирования и решения инженерных задач при разработке, производстве и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств с использованием передовых научно–технических знаний и достижений мирового уровня, современных инструментальных и программных средств.
P3	Уметь выбирать и применять соответствующие аналитические методы проектирования систем автоматизации технологических процессов и обосновывать экономическую целесообразность решений.
P4	Иметь представление о передовом отечественном и зарубежном опыте в области теории, проектирования, производства и эксплуатации систем автоматизации технологических процессов и производств.
P5	Уметь находить необходимую литературу, базы данных и другие источники информации для автоматизации технологических процессов и производств.
P6	Уметь выбирать и использовать подходящее программно–техническое оборудование, оснащение и инструменты для решения задач автоматизации технологических процессов и производств.
P7	Уметь планировать и проводить эксперимент, интерпретировать данные и их использовать для ведения инновационной инженерной деятельности в области автоматизации технологических процессов и производств.
<b>Универсальные компетенции</b>	
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы. Быть готовым нести ответственность за риски в работе коллектива при решении инженерных задач в области автоматизации технологических процессов и производств, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам.
P10	Иметь широкую эрудицию, в том числе знание и понимание современных общественных и политических проблем, вопросов безопасности и охраны здоровья сотрудников, ответственности за инженерную деятельность, влияния инженерных решений на социальный контекст и окружающую среду, юридических аспектов.
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.

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

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

Уровень образования – бакалавриат

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – осенний / весенний семестр 2018 / 2019 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.19
------------------------------------------	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.19	Техническое задание	10
08.04.19	Основная часть	40
06.05.19	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	25
27.05.19	Социальная ответственность	25

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	К.Т.Н.		

**Консультант**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

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

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

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

**УТВЕРЖДАЮ:**  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ 22.04.19 Громаков Е. И.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Т5А	Афанасьеву Андрею Анатольевичу

Тема работы:

Модернизация автоматизированной системы управления блочной кустовой станции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 3488/с от 06.05.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.19
------------------------------------------	----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объектом исследования является блочная кустовая насосная станция. Режим работы непрерывный. Блочная кустовая насосная станция осуществляет закачивание подготовленной воды в пласт для поддержания пластового давления.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Описание технологического процесса; Разработка структурной схемы автоматизированной системы; Разработка функциональной схемы автоматизации; Разработка схемы информационных потоков автоматизированной системы;

	Выбор средств реализации автоматизированной системы; Разработка схемы соединения внешних проводок; Разработка алгоритмов управления автоматизированной системы; Моделирование работы системы управления;
<b>Перечень графического материала</b>	Структурная схема; Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208–2013; Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-S 5.1–2009; Схема информационных потоков; Схема соединения внешних проводок; Алгоритм пуска системы; Алгоритм останова системы;
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Винокурова Галина Федоровна

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	14.01.19
-------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	к.т.н.		
Старший преподаватель ОАР ИШИТР	Тутов Иван Андреевич	—		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Т5А	Афанасьев Андрей Анатольевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т5А	Афанасьеву Андрею Анатольевичу

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

Тема ВКР:

Модернизация АСУ блочной кустовой станции

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</li> <li>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</li> <li>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</li> </ol>	<p>Бюджет – 221241руб.  Материальные затраты – 37080  Затраты на заработную плату – 125549 руб.  Прочие расходы – 1324 руб.  Тариф на электроэнергию – 5,8 кВт/ч  Налог во внебюджетные фонды 27,1%  Районный коэффициент – 1,3  Накладные расходы – 16%</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)</li> <li>2. Формирование плана и графика разработки инженерного решения</li> <li>3. Формирование бюджета инженерного проекта</li> <li>4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности инженерного решения и потенциальных рисков</li> </ol>	<p>Оценка потенциальных потребителей исследования, анализ конкурентных решений, SWOT – анализ.  Планирование этапов работ, определение трудоемкости и построение календарного графика.  Планирование бюджета проекта.  Оценка эффективности исследования.  Интегральный показатель эффективности – 4,25  Сравнительная эффективность проекта – 1,115</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оценка конкурентоспособности ИР</li> <li>2. Матрица SWOT</li> <li>3. График разработки и внедрения инженерного решения</li> <li>4. Материальные затраты</li> <li>5. Баланс рабочего времени</li> <li>6. Бюджет затрат на НИИР</li> <li>7. Основные показатели эффективности инженерного проекта</li> </ol>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	12.03.2019
-------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т5А	Афанасьев Андрей Анатольевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8Т5А	Афанасьеву Андрею Анатольевичу

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

Тема ВКР:

Модернизация АСУ блочной кустовой станции	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования и области его применения	Рабочее место оператора представляет собой помещение закрытого типа, в котором установлен персональный компьютер.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– ГОСТ 12.2.032-78 – ГОСТ 12.0.003-2015 – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 – СанПиН 2.2.4.548-96 – СН 2.2.4/2.1.8.562-96 – СанПиН 2.2.4.1191-03 – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 – НПБ 105-03
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные факторов при разработке и эксплуатации объекта: – освещенность; – микроклимат; – уровень шума; – электромагнитное излучение. Опасных факторов при разработке и эксплуатации объекта: – электрический ток.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Воздействие на атмосферу и гидросферу не происходит. В качестве воздействия на литосферу могут быть бытовые отходы.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Типичной чрезвычайной ситуацией для рабочего места оператора является – пожар.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	12.03.2019
------------------------------------------------------	------------

Задание выдал консультант:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ООД ШБИП	Винокурова Галина Федоровна	к. т. н.		

Задание принял к исполнению студент:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8Т5А	Афанасьев Андрей Анатольевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 101 страницу, 31 рисунок, 42 таблицы, 46 использованных источников, 7 приложений.

Ключевые слова: блочная кустовая станция, автоматизированная система управления, программируемый логический контролер, ПИД-регулятор.

Объектом исследования является блочная кустовая насосная станция.

Цель работы – повышение производительности блочной кустовой насосной станции.

В процессе разработки была получена математическая модель системы управления блочной кустовой насосной станции, настроены параметры регулятора, проведен анализ поведения системы при возмущающем воздействии, анализ поведения системы при шумах в обратной связи, анализ системы на робастность.

В результате разработки была модернизирована система автоматизированного управления блочной кустовой насосной станцией, основанная на контроллере ОВЕН ПЛК 160.

Система управления может быть внедрена в реальную блочную кустовую насосную станцию для управления насосом.

В будущем планируется улучшить работу системы за счет анализа параметров двигателя насоса и предотвращения отказа его работы.

Пояснительная записка выполнена с помощью текстового редактора Microsoft Word 2010. Графический материал выполнен в Microsoft Visio 2013. Моделирование алгоритма автоматического регулирования производилось в Matlab Simulink 6.1.

## Содержание

Термины и определения .....	12
Обозначения и сокращения .....	13
Введение .....	14
1 Техническое задание .....	15
1.1 Назначение и цели создания системы .....	15
1.2 Требования к автоматике .....	15
1.3 Требования к техническому обеспечению .....	16
1.4 Требования к информационному обеспечению .....	17
1.5 Требования к программному обеспечению .....	17
1.6 Требования к метрологическому обеспечению .....	17
2 Основная часть.....	18
2.1 Описание технологического процесса.....	18
2.2 Структурная схема АС .....	19
2.3 Функциональная схема автоматизации .....	19
2.4 Разработка схемы информационных потоков .....	20
2.5 Выбор средств реализации АС .....	22
2.5.1 Выбор ПЛК .....	22
2.5.2 Выбор датчиков .....	24
2.5.2.1 Выбор датчиков давления .....	24
2.5.2.2 Выбор датчика перепада давления .....	26
2.5.2.3 Выбор датчика пластового давления .....	26
2.5.2.4 Выбор уровнемера .....	27
2.5.2.5 Выбор датчика температуры .....	29
2.5.2.6 Выбор датчика расхода .....	30
2.5.2.7 Выбор датчика вибрации .....	31
2.5.2.8 Выбор датчика тока .....	33
2.5.2.9 Выбор датчика напряжения .....	35
2.5.3 Выбор исполнительных механизмов .....	36
2.5.3.1 Выбор насосного агрегата .....	36

2.5.3.2	Выбор преобразователя частоты .....	37
2.5.3.3	Выбор насоса маслосистемы .....	39
2.6	Разработка схемы внешних проводок .....	40
2.7	Разработка алгоритмов управления .....	41
2.7.1	Разработка алгоритма пуска .....	41
2.7.2	Разработка алгоритма останова .....	42
2.7.3	Разработка алгоритма автоматического регулирования .....	42
2.7.3.1	Математическая модель системы .....	42
2.7.3.2	Настройка регулятора .....	47
2.7.3.3	Анализ поведения системы при возмущающем воздействии ..	51
2.7.3.4	Анализ поведения системы при шумах в канале обратной связи .....	53
2.7.3.5	Робастность системы .....	54
3	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ...	56
3.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	56
3.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	56
3.1.2	Анализ конкурентных технических решений .....	56
3.1.3	SWOT-анализ .....	57
3.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	59
3.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	59
3.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	59
3.2.3	Разработка графика проведения научного исследования .....	60
3.2.4	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	62
3.2.4.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	62
3.2.4.2	Основная заработная плата исполнителей темы .....	63
3.2.4.3	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	64
3.2.4.4	Отчисления во внебюджетные фонды .....	65
3.2.4.5	Прочие затраты .....	65

3.2.4.6 Накладные расходы .....	66
3.2.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	66
3.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования ....	67
4 Социальная ответственность .....	70
4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	70
4.2 Производственная безопасность .....	72
4.2.1 Освещенность .....	72
4.2.2. Микроклимат .....	75
4.2.3. Уровень шума .....	76
4.2.4. Электромагнитное излучение .....	77
4.2.5. Электрический ток .....	79
4.3 Экологическая безопасность .....	79
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	80
Заключение .....	83
Список источников .....	84
Приложение А Структурная схема .....	89
Приложение Б Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013	91
Приложение В Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-S5.1-2009 .....	93
Приложение Г Схема информационных потоков .....	95
Приложение Д Опросный лист для датчика давления Метран-150 .....	97
Приложение Е Схема внешних проводок .....	98
Приложение Ж Блок схема алгоритмов пуска / останова .....	100

## **Термины и определения**

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**автоматизированное рабочее место:** Программно-технический комплекс, предназначенный для автоматизации деятельности определенного вида» [1].

**автоматизированная система:** Комплекс аппаратных и программных средств, предназначенных для управления различными процессами в рамках технологического процесса. [2].

**интерфейс:** Это совокупность средств (программных, технических, лингвистических) и правил взаимодействия между элементами системы» [3].

**протокол:** Набор правил и действий, позволяющий осуществлять соединение и обмен данными между двумя и более включенными в сеть устройствами» [4].

**тег:** Идентификатор для категоризации, описания, поиска данных и задания внутренней структуры [5].

**техническое задание на АС:** Утвержденный в установленном порядке документ, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки автоматизированной системы [6].

## **Обозначения и сокращения**

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

**АРМ** – автоматизированное рабочее место;

**АС** – автоматизированная система;

**АСУ** – автоматизированная система управления;

**АСУ ТП** – автоматизированная система управления технологическим процессом;

**АЦП** – аналого-цифровой преобразователь;

**БКС** – блочная кустовая станция;

**ОСС** – операторно-структурная схема;

**ПЛК** – программируемый логический контроллер;

**ПЧ** – преобразователь частоты;

**ФСА** – функциональная схема автоматизации.

## Введение

Сегодня компании стремятся сократить издержки производства, повысить качество выпускаемой продукции и обеспечить безопасность производства. Для достижения этих показателей необходимо применением автоматизации.

Автоматизация – одно из важнейших направлений в научно-техническом прогрессе. Использование математических методов, саморегулирующих технических средств и систем управления, благодаря которым человек освобождается от участия в таких процессах как получение, преобразование, передача и использование энергии, материалов и информации является главной задачей автоматизации. Для построения автоматизированной системы требуется дополнительно применение датчиков (сенсоров), устройств ввода-вывода и управляющих устройств таких как контроллеры и исполнительные устройства.

Автоматизация производства позволяет осуществлять технологические процессы без участия обслуживающего персонала. Изначально осуществлялась лишь частичная автоматизация для отдельных операций. В дальнейшем, автоматизации распространилась на основные и вспомогательные операции. При полной автоматизации обслуживающий персонал лишь наблюдает за работой оборудования, настраивает и налаживает аппаратуру.

В настоящее время функции систем автоматизации непрерывно расширяются. В их задачу входит автоматическая перенастройка оборудования, если изменяются условия работы с целью получения наиболее эффективного, оптимального режима работы установок. Увеличилось количество установок, цехов и даже предприятий, работающих без участия обслуживающего персонала.

## **1 Техническое задание**

### **1.1 Назначение и цели создания системы**

Автоматизированная система управления блочной кустовой станцией (БКС) предназначена для:

- контроля состояния основного и вспомогательного технологического оборудования;
- управления исполнительными механизмами, как в автоматическом, так и в автоматизированном режиме;
- определения аварийных ситуаций и защиты насосного агрегата и вспомогательного оборудования;
- поддержания пластового давления на заданном уровне, путем закачивания воды в нагнетательные скважины;
- визуального представление информации о состоянии технологического процесса.

Цели создания автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП):

- увеличение производительности системы;
- обеспечение контроля технологических параметров процесса;
- обеспечение безопасности работы основного и вспомогательного оборудования;
- сокращение числа аварий технологического оборудования.

### **1.2 Требования к автоматике**

АСУ ТП БКС должна обеспечить следующее:

#### **1. Измерение:**

- давления воды на входе насоса;
- давления воды в линии нагнетания;
- давления среды в пласте;
- перепада давления на водяном фильтре;
- перепада давления на масляном фильтре;

- расхода воды;
- температуры подшипников насоса;
- температуры подшипников электропривода насоса;
- уровня масла в резервуаре;
- напряжения питания электропривода насоса;
- потребляемого тока электропривода насоса;
- вибраций насосного агрегата в трех измерениях.

## 2. Управление:

- электродвигателем насоса;
- насосом маслосистемы.

## 3. Индикацию:

– измеряемых параметров на дисплее автоматизированного рабочего места (АРМ);

- аварийных ситуаций на дисплее АРМ.

## 4. Сигнализацию:

– снижения уровня масла в резервуаре ниже критической отметки;

– превышения максимальной допустимой температуры подшипников;

– превышения максимального допустимого перепада давления на фильтрах;

– превышения максимального допустимого тока потребления электродвигателя.

### **1.3 Требования к техническому обеспечению**

Элементы датчиков, должны быть выполнены из коррозионностойких материалов, поскольку соприкасаются с агрессивной средой.

Оборудование на объекте должно быть устойчивым к воздействию температур (минус 40 – 50) °С и влажности не менее 80 % при 35 °С.

Электрические цепи должны быть искробезопасными.

Контроллеры должны иметь необходимые интерфейсы передачи данных на верхний уровень АСУ ТП [7].

#### **1.4 Требования к информационному обеспечению**

Информационное обеспечение должно включать в себя:

- состав, структуру и способы организации данных в АС;
- структуру процесса сбора, обработки, передачи информации в АС;
- порядок информационного обмена между компонентами и составными частями АС;
- информацию по визуальному представлению данных и результатам мониторинга [7].

#### **1.5 Требования к программному обеспечению**

Программное обеспечение должно:

- обеспечивать управление исполнительными механизмами;
- обеспечить реализацию требуемых алгоритмов контроля, регулирования, защиты и отображения информации;
- быть совместимым с существующими на объектах программными обеспечениями;
- иметь возможность создавать и вести базу данных по параметрам системы [7].

#### **1.6 Требования к метрологическому обеспечению**

Метрологическое обеспечение должно охватывать все стадии создания системы и ее эксплуатацию.

В измерительные каналы системы входят: датчики, преобразователи, контроллеры, прошедшие государственную поверку на соответствие их нормативно-технической документации.

На стадии внедрения должна производиться метрологическая аттестация измерительных каналов системы и метрологических характеристик в целом в соответствии с ГОСТ 8009-84.

В процессе эксплуатации должна производиться периодическая поверка измерительных каналов системы и метрологических характеристик [7].

## 2 Основная часть

### 2.1 Описание технологического процесса

Технологический процесс, функциональная схема которого представлена на рисунке 1, подразумевает под собой автоматическое поддержание давления в пласте на заданном уровне.

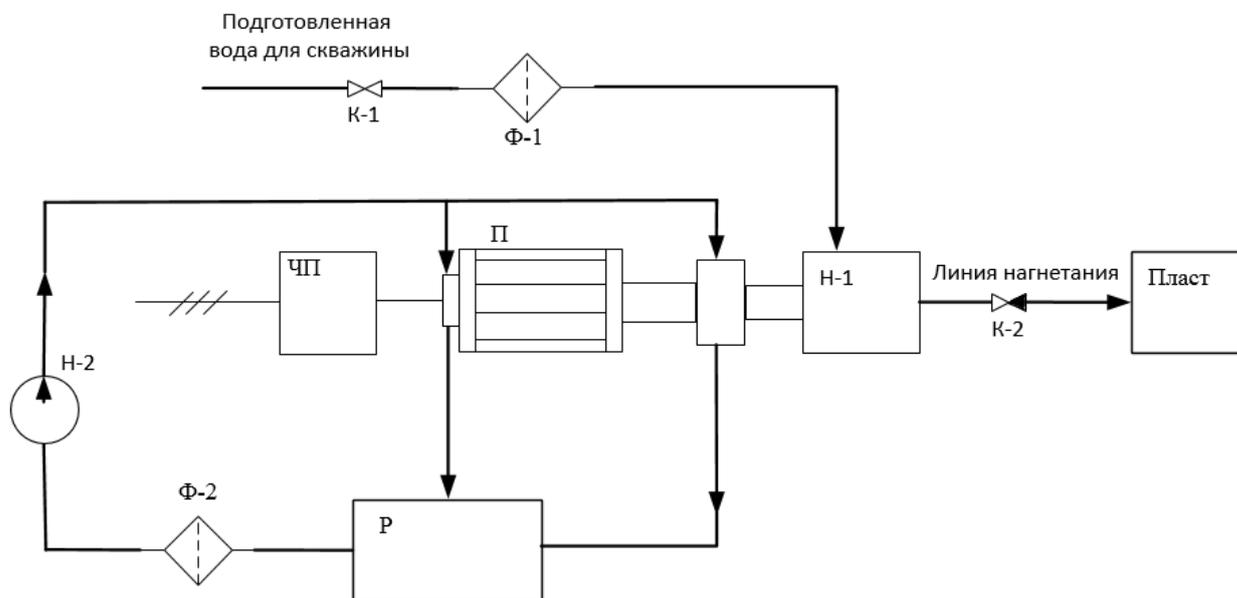


Рисунок 1 – Упрощенная функциональная схема технологического процесса

Жидкость поступает по трубопроводу через клапан (К-1) на линию всасывания насосного агрегата (Н-1), проходя при этом фильтр (Ф-1). После прохождения насосного агрегата жидкость поступает на линию нагнетания через обратный клапан (К-2), по которой отправляется в пласт. Заданное значение давления поддерживается изменением скорости вращения привода (П) через частотный преобразователь (ЧП).

Для поддержания рабочей температуры привода и уменьшения трения подшипников предусмотрена система охлаждения и смазки. Масло подается из резервуара (Р) через фильтр (Ф-2) маслонасосом (Н-2) к трущимся деталям. Из подшипников по сливному трубопроводу масло сливается в резервуар, где происходит его охлаждение.

## **2.2 Структурная схема АС**

Объектом управления является центробежный насосный агрегат. Управление технологическим процессом сводится к управлению электроприводом насоса. Централизованное управление реализуется командами включить/выключить. Управление на полевом уровне заключается в автоматическом регулировании давления в пласте.

В нижний уровень (полевой) входят датчики (измерительные преобразователи) для сбора данных о параметрах технологического процесса, и исполнительных устройств, которые реализует управляющее воздействия. Исполнительными устройствами являются электропривод насосного агрегата и насос маслосистемы.

Средний уровень (контроллерный) состоит из программируемого логического контроллера (ПЛК), который производит:

- сбор и первичную обработку информации о состоянии оборудования и параметрах технологического процесса;
- исполнение команд верхнего уровня;
- обмен информацией с верхним уровнем;
- автоматическое регулирование.

Верхний уровень (информационно-вычислительный) состоит из компьютера, который соединен с ПЛК сетью Ethernet, в качестве передающей среды используется медная витая пара.

Разработанная трехуровневая архитектура представлена в приложении А.

## **2.3 Функциональная схема автоматизации**

Функциональная схема автоматизации (ФСА) предназначена для отображения основных технических решений, принимаемых при проектировании систем автоматизации технологических процессов (ТП).

ФСА представляет собой технический документ, в котором определена функционально-блочная структура отдельных узлов автоматического контроля,

управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации.

На функциональной схеме содержится упрощенное изображение технологической схемы автоматизируемого процесса, где элементы системы управления представлены условными изображениями, объединёнными в единую систему с помощью линий функциональной связи [8].

Разработаны функциональные схемы автоматизации согласно ГОСТ 21.208-2013, представленная в приложении Б, и согласно стандарту американского общества приборостроителей ANSI/ISA-5.1-2009, представленная в приложении В.

## **2.4 Разработка схемы информационных потоков**

Схема информационных потоков состоит из трех уровней сбора и хранения информации:

- нижний уровень (сбор и обработка);
- средний уровень (текущее хранение);
- верхний уровень (архивное хранение).

На нижнем уровне собираются данные с датчиков и данные, полученные в результате вычисления и преобразования.

Средний уровень является маршрутизатором информационных потоков от систем автоматики к экранным формам АРМ. На этом уровне формируются пакеты данных и отправляются на верхний уровень к SCADA-системам с помощью ПЛК.

Верхний уровень представляет базу данных АСУ ТП. Информация на данном уровне отображается в виде экранных форм или мнемосхем, которые видит оператор на своём мониторе. На форме выводятся различные информационные и управляющие элементы, а также отчеты.

Разработанная схема информационных потоков представлена в приложении Г.

Для того чтобы идентифицировать элементы контроля и управления используют идентификаторы (шифры). Структура идентификаторов имеет следующий вид: AAA\_BBBB\_CCC.

AAA – параметр, 3 символа, может принимать следующие значения:

- FLW – расход;
- PRS – давление;
- PRD – перепад давления;
- TMP – температура;
- LVL – уровень;
- VLT – напряжение;
- CUR – ток;
- VBR – вибрация.

BBBB – код технологического аппарата, максимум 4 символа, может принимать следующие значения:

- FTR1 – фильтр воды;
- FTR2 – фильтр масла;
- SCLN – линия всасывания;
- DCLN – линия нагнетания;
- PMP1 – насос водяной;
- PMP2 – насос маслосистемы;
- MTR1 – привод насоса;
- POOL – пласт;
- TNK1 – резервуар маслосистемы.

CCC – уточнение, 3 символ, может принимать следующие значения:

- WTR – вода;
- OIL – масло;
- SUP – питающая сеть;
- AXX – ось x;
- AXU – ось y;
- AXZ – ось z.

Кодировка тэгов показана в таблице 1.

Таблица 1 – Кодировка тэгов

Кодировка	Расшифровка
PRS _ SCLN _ WTR	Давление воды в линии всасывания
PRS _ DCLN _ WTR	Давление воды в линии нагнетания
PRS _ POOL _ WTR	Давление среды в пласте
PRD _ FTR1 _ WTR	Перепад давления на водяном фильтре
PRD _ FTR2 _ OIL	Перепад давления на масляном фильтре
FLW _ SCLN _ WTR	Расход воды
TMP _ PMP1 _ OIL	Температура подшипников насоса
TMP _ MTR1 _ OIL	Температура подшипников электропривода
LVL _ TNK1 _ OIL	Уровень масла в резервуаре
VLТ _ MTR1 _ SUP	Напряжение питания электропривода насоса
CUR _ MTR1 _ SUP	Потребляемый ток электропривода насоса
VBR _ PMP1 _ AXX	Вибрация насосного агрегата по оси x
VBR _ PMP1 _ AXY	Вибрация насосного агрегата по оси y
VBR _ PMP1 _ AXZ	Вибрация насосного агрегата по оси z

## 2.5 Выбор средств реализации АС

### 2.5.1 Выбор ПЛК

Произведем выбор контроллера из следующих видов: ОВЕН ПЛК 160, SIEMENS S7-300 CPU 314, DVP-SX2 (таблица 2) [9 – 11].

Таблица 2 – Технические характеристики ОВЕН ПЛК 160

Критерии выбора	ОВЕН ПЛК 160	SIEMENS S7-300 CPU 314	DVP-SX2
Напряжение питание	24 В	24 В	24 В
Дискретные входы	16 штук	16 штук	8 штук
Дискретные выходы	12 штук	16 штук	6 штук
Аналоговые входы	8 штук	–	4 штук
Аналоговые выходы	4 штук	–	2 штук
Интерфейсы	RS-232, RS-485, Ethernet	RS-485	RS-232, RS-485
Диапазон температур	(минус 40 – 55) °С	(0 – 60) °С	(0 – 55) °С
Цена	29280 руб.	113625 руб.	17000 руб.

Контроллер DVP-SX2 имеет недостаточное количество входов, в связи с этим необходимо использовать модули расширения входов. Также контроллер может работать только при положительной температуре, как и SIEMENS S7-300 CPU 314, к тому же контроллер фирмы SIEMENS имеет высокую стоимость и не содержит аналоговых входов и выходов.

Таким образом, будем использовать контроллер ОВЕН ПЛК 160 (рисунок 2).



Рисунок 2 – Контроллер ОВЕН ПЛК 160

Программирование контроллера осуществляется в среде CODESYS с поддержкой пяти языков программирования. Фирма ОВЕН занимается разработкой контроллеров для малых и средних систем автоматизации, контрольно-измерительных приборов, программных средств. Продукция компании используется в различных отраслях промышленности, в том числе и нефтехимической [9].

Схема подключения внешних цепей контроллера приведена на рисунке 3 [9].

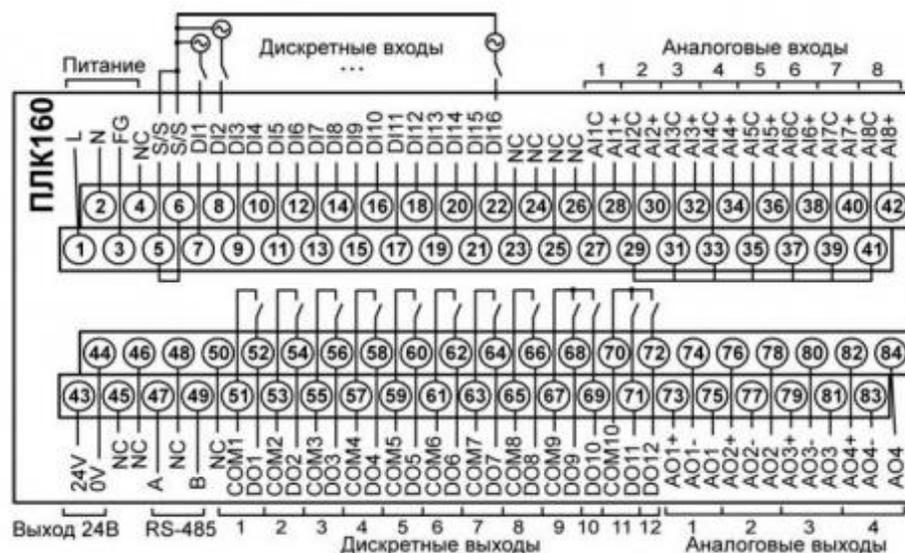


Рисунок 3 – Расположение контактов для подключения внешних цепей

## 2.5.2 Выбор датчиков

### 2.5.2.1 Выбор датчиков давления

Проведем сравнительный анализ следующих датчиков для измерения давления: ДМ5007Ех, Метран-150ТА, и сравним их с зарубежным Rosemount 3051С. Параметры датчиков сведены в таблицу 3 [12 – 14].

Таблица 3 – Обзор датчиков давления

Критерий выбора	ДМ5007Ех	Метран-150ТА	Rosemount 3051С
Среда измерения	Пар, газ, жидкость	Пар, газ, жидкость	Пар, газ, жидкость
Диапазон измерений	(0 – 25) МПа	(0 – 25) МПа	(0 – 27,58) МПа
Предел допустимой погрешности	± 0,25 %;	± 0,075 %;	0,065 %
Выходной сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА
Взрывозащищенность	+	+	+
Температура окружающей среды	(минус 55 – 70) °С	(минус 55 – 80) °С	(минус 57 – 85) °С
Средний срок службы	8 лет	12 лет	–
Напряжение питания	(17 – 42) В	(12 – 42) В	(10,5 – 55) В

Для измерения давления линии нагнетания был выбран датчик фирмы Метран-150ТА (рисунок 4) с диапазоном измерения (0,5 – 25) МПа, так как имеет малую относительную погрешность, обеспечивает безотказность работы

в жестких климатических условиях и при механических воздействиях. Датчик имеет большой срок службы. Также, возможность питания в широком диапазоне напряжений [13].



Рисунок 4 – Датчик давления Метран-150ТА

Опросный лист на датчик давления приведен в приложении Д.

Давление линии всасывания будем измерять датчиком давления с диапазоном (0 – 0,16) МПа.

В состав датчика давления входит сенсор и электронный преобразователь. Сенсор состоит из измерительного блока и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В камере измерительного блока деформируется чувствительный элемент (емкостная измерительная ячейка) и меняется электрический сигнал емкостей по обеим сторонам от измерительной мембраны под действием давления среды через разделительную мембрану на измерительную. Емкостной сигнал измеряет АЦП и преобразует в выходной сигнал датчика [13].

### 2.5.2.2 Выбор датчика перепада давления

В качестве датчика перепада давления возьмем датчик фирмы Метран модели 150CD (рисунок 5) [13].



Рисунок 5 – Датчик перепада давления Метран-150CD

Характеристики датчика представлены в таблице 4 [13].

Таблица 4 – Характеристика датчика перепада давления Метран-150CD

Параметр	Значение
Измеряемая среда	Газ, жидкость, пар
Диапазоны измерений	(0 – 0,25) МПа
Предел допустимой погрешности	$\pm 0,1 \%$ ;
Выходной сигнал	(4 – 20) мА
Взрывозащищенность	+
Температура окружающей среды	(минус 55 – 80) °С
Средний срок службы	12 лет
Напряжение питания	(12 – 42) В

Датчик имеет высокую точность, широкий диапазон температур и достаточно долгий срок службы.

### 2.5.2.3 Выбор датчика пластового давления

Для задачи измерения давления в пласте проведем сравнительный анализ следующих манометров: АМТ-10Л, АМТ-10В, КМТ-04.01. Результаты сравнения сведены в таблицу 5 [15].

Таблица 5 – Характеристики глубинных манометров

Критерий выбора	АМТ-10Л	КМТ-04.01	АМТ-10В
Диапазон пределов измерений	(0 – 25) МПа	(40 – 100) МПа	(0 – 25) МПа
Предел допустимой погрешности	± 0,15 %	± 0,25 %	± 0,15 %
Выходной сигнал	(4 – 20) мА, RS-485, Ethernet	(4 – 20) мА, RS-485, Ethernet	(4 – 20) мА, RS-485, Ethernet
Диапазон рабочих температур	(минус 40 – 85) °С	(минус 20 – 125) °С	(минус 40 – 85) °С

Для измерения давления скважины был выбран манометр АМТ-10В (рисунок 6), так как имеет малую погрешность и широкий диапазон температур [15].



Рисунок 6 – Глубинный манометр АМТ-10В

#### 2.5.2.4 Выбор уровнемера

Проведем сравнительный анализ следующих датчиков уровня: Сапфир-22МП-ДУ 2620, Метран-249, ВВ 25. Сравнение уровнемеров приведено в таблице 6 [16-18].

В качестве уровнемера будем использовать датчик уровня Сапфир-22МП-ДУ 2620 (рисунок 7), так как он имеет наилучший диапазон температур и высокую точность. Преимуществом датчика является возможность измерения уровня разделения двух сред [16].

Таблица 6 – Обзор уровнемеров

Критерии выбора	Сапфир -22МП-ДУ 2620	Метран-249	BW 25
Измеряемая среды	Жидкость	Жидкость	Жидкость
Диапазон измеряемых уровней	(0 – 10) м	–	(0,3 – 6) м
Предел допускаемой погрешности	$\pm 0,25 \%$	$\pm 0,25 \%$	$\pm 1,5 \%$
Выходной сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА
Взрывозащищенность	+	+	+
Напряжение питания	36 В	(12 – 30) В	(12 – 30) В
Температура окружающей среды	(минус 50 – 80) °С	(минус 40 – 80) °С	(минус 40 – 60) °С
Измерение уровня раздела двух сред	да	да	да



Рисунок 7 – Датчик уровня Сапфир-22МП-ДУ 2620

Буйковые уровнемеры работают на основе закона Архимеда. Буюк цилиндрической формы, плотность которого больше плотности жидкости, частично погружен в жидкость. При изменении уровня жидкости, масса буюка в жидкости меняется пропорционально изменению уровня. Вес буюка преобразуется в сигнал с помощью преобразователей «сила – давление» и «сила– ток».

Чем больше уровень жидкости, тем меньше вес буюка и тем меньше момент, создаваемый на рычаге буюком. Под действием момента происходит

поворот рычага вокруг оси и прикрывается заслонка сопла. В результате давление в линии сопла увеличивается. Выходной сигнал с пневматического усилителя этого давления является выходным сигналом уровнемера. Если сигнал поворота рычага передать на цифровой контроллер, то можно преобразовать угол поворота в электрический сигнал [17].

### 2.5.2.5 Выбор датчика температуры

Проведем сравнительный анализ следующих датчиков температуры: Метран-281, ТСМУ Метран-274-Ех1а и зарубежный Rosemount 248. Результаты сравнения сведены в таблице 7 [19].

Таблица 7 – Обзор датчиков температуры

Критерии выбора	Метран-281	Rosemount 248	ТСМУ Метран-274 -Ех1а
Изменяемые среды	Нейтральные и агрессивные среды	Нейтральные и агрессивные среды	Нейтральные и агрессивные среды
Температура окружающей среды	(минус 50 – 85) °С	(минус 40 – 85) °С	(минус 50 – 85) °С
Диапазон пределов измерений	(минус 50 – 500) °С	(минус 200 – 300) °С	(0 – 180) °С
Предел допустимой погрешности	± 0,4 %	± 0,1 %	± 0,25 %
Напряжение питания	(18 – 42) В	(12 – 42) В	(18 – 42) В
Выходной сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА
Потребляемая мощность	1 Вт	1 Вт	0,5 Вт
Взрывозащищенность	+	+	+
Средний срок службы	3 года	2 года	5 лет

Для измерения температуры привода и насоса выберем датчик ТСМУ Метран-274-Ех1а (рисунок 8). Данный термопреобразователь имеет низкую мощность потребления, всего 0,5 Вт, и значительный срок службы по сравнению с двумя другими, 5 лет. К тому же, у него высокая точность и широкий диапазон температур окружающей среды, при которой он будет эффективно работать [19].



Рисунок 8 – Датчик температуры ТСМУ Метран-274-Exia

В состав термопар входят термозонды и измерительные преобразователи с выходным сигналом (0 – 5) мА или (4 – 20) мА. Термозонды содержат чувствительный элемент (медный, платиновый). Воздействие температуры меняет сопротивление терморезистора в термозонде. Измерительный преобразователь преобразует напряжение с термочувствительного элемента, в токовый выходной сигнал [19].

#### 2.5.2.6 Выбор датчика расхода

Для измерения расхода воды проведем сравнительный анализ следующих расходомеров: ЭМИС-ВИХРЬ 200, ЭМИС-ДИО 230, ЭМИС-МАГ 270. Результаты сравнения сведены в таблице 8 [20 – 22].

Для измерения расхода воды выбираем расходомер ЭМИС-МАГ 270 (рисунок 9). Расходомер имеет подходящий диапазон температур и пределы измерения. В отличие от других расходомеров, электромагнитный является бесконтактным, что облегчает его установку и увеличивает срок службы [22].

Прибор работает по закону электромагнитной индукции. При пересечении магнитного поля в жидкости индуцируется электродвижущая сила, пропорциональная скорости движения жидкости.

Таблица 8 – Обзор расходомеров

Критерии выбора	ЭМИС-ВИХРЬ 200	ЭМИС-ДИО 230	ЭМИС-МАГ 270
Тип датчика	Вихревой	Роторный	Электромагнитный
Измеряемая среды	Жидкости с механическими примесями	Жидкости, вязкие жидкости	Электропроводные жидкости, агрессивные среды
Температура измеряемой среды	(минус 60 – 450) °С	(минус 20 – 250) °С	(минус 40 – 130) °С
Диапазон пределов измерений	(8 – 250) м <sup>3</sup> /ч	(8 – 280) м <sup>3</sup> /ч	(3 – 283) м <sup>3</sup> /ч
Предел допустимой погрешности	± 0,5 %	± 0,5 %	± 0,5 %
Выходной сигнал	(4 – 20) мА, Modbus RTU	(4 – 20) мА, Modbus RTU	(4 – 20) мА, Modbus RTU
Давление среды	(0 – 25) МПа	(0 – 6,3) МПа	(0 – 32) МПа
Взрывозащищенность	+	+	+



Рисунок 9 – Расходомер ЭМИС-МАГ 270

### 2.5.2.7 Выбор датчика вибрации

В качестве датчика вибрации выберем датчик ДВСТ по характеристикам таблицы 9 [23].

Таблица 9 – Обзор датчиков вибрации ДВСТ

Критерии выбора	ДВСТ-1	ДВСТ-2	ДВСТ-4
Температура измеряемой среды	(минус 40 – 80) °С	(минус 40 – 80) °С	(минус 40 – 80) °С
Диапазон рабочих частот	(10 – 1000) Гц	(10 – 1000) Гц	(10 – 1000) Гц
Диапазон амплитуд	(0 – 50) мм/с	(0 – 50) мм/с	(0 – 50) мм/с
Предел допустимой погрешности	± 5 %	± 5 %	± 5 %
Выходной сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА
Масса	0,25 кг	0,18 кг	0,1 кг

Для измерения вибраций вала электропривода выбираем датчик ДВСТ-4 (рисунок 10). В отличие от остальных датчиков данного типа, ДВСТ-4 имеет меньшую массу [23].



Рисунок 10 – Датчик вибрации ДВСТ-4

В основе работы датчика лежит явление пьезоэффекта, то есть при деформации пьезокристалла возникает разность потенциалов. В корпусе виброметра содержатся упругие элементы с пьезоэлектрическим материалом. К упругим элементам подвешено инертное тело (рисунок 11). Упругие элементы фиксируют колебания тела в виде электрического сигнала и передают для дальнейшей обработки [24].

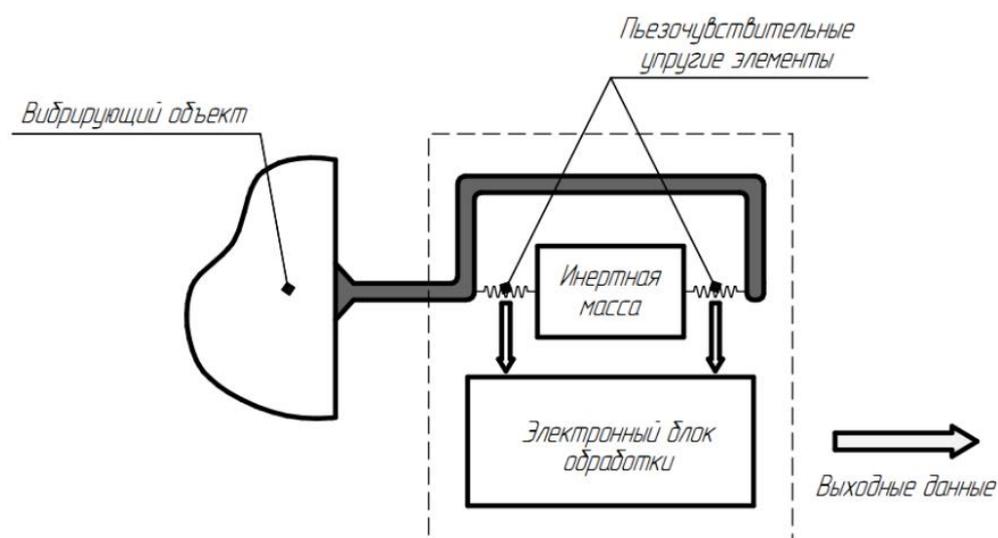


Рисунок 11 – Принцип работы датчика вибрации ДВСТ

### 2.5.2.8 Выбор датчика тока

Для задачи измерения тока проведем сравнительный анализ следующих датчиков: ДТР-01, ДТТ-03Т, ДТТ-09. Сравнение приведено в таблице 10 [25].

Таблица 10 – Обзор датчиков тока

Критерии выбора	ДТР-01	ДТТ-03Т	ДТТ-09
Диапазон измеряемых токов	(0 – 300) А	(0 – 300) А	(0 – 1000) А
Допустимая токовая перегрузка	150 %	150 %	–
Предел допускаемой погрешности	± 1,5 %	± 0,5 %	± 0,5 %
Напряжение питания	(8 – 30) В	(15 – 30) В	(15 – 30) В
Выходной сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА
Диапазон рабочих температур	(минус 20 – 80) °С	(минус 40 – 80) °С	(минус 40 – 80) °С

В качестве датчика тока будем использовать ДТТ-03Т (рисунок 12), так как он имеет малую погрешность измерений, работает в широком диапазоне температур и достаточно широкий диапазон измеряемых токов [25].



Рисунок 12 – Датчик тока ДТТ-03Т

Физика работы датчика, основана на эффекте Холла. Эффект Холла это явление, при котором возникает разности потенциалов при помещении проводника с постоянным током в магнитное поле.

Датчик тока состоит из магнитопровода 1 прямоугольного или кольцевого вида, в зазор которого помещен датчик Холла 2 (рисунок 13). В результате действия магнитной индукции  $B$ , создаваемой первичным током  $I_{вх}$ , у магниточувствительного датчика Холла 2 появляется выходной сигнал. Этот сигнал повторяет форму первичного тока и пропорционален его величине. Также в датчике содержится компенсационная обмотка, имеющая стопроцентную обратную связь. Такие датчики могут измерять постоянный, переменный ток и токи других форм [26].

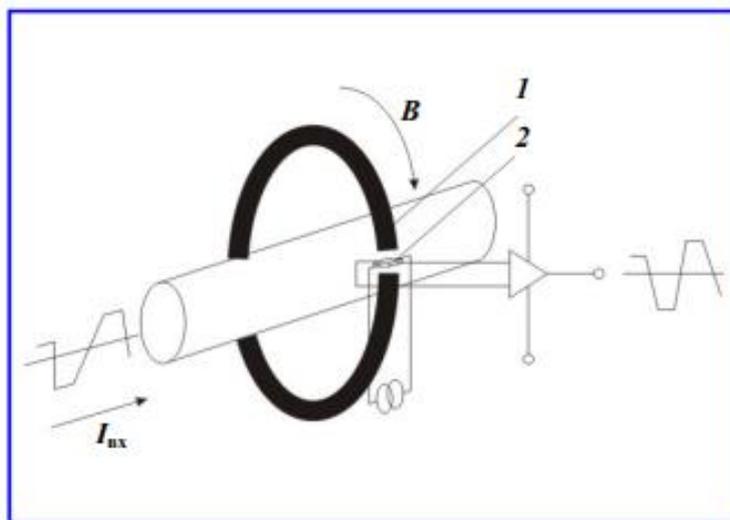


Рисунок 13 – Принцип работы датчика тока на основе датчика Холла

### 2.5.2.9 Выбор датчика напряжения

Для индикации высокого напряжения проведем сравнительный анализ следующих индикаторов напряжения: ИВА-02, ИВН-10, ИВНР-10. Результаты сравнения сведены в таблице 11 [27].

Таблица 11 – Обзор индикатор напряжения

Критерии выбора	ИВА-02	ИВН-10	ИВНР-10
Температура окружающей среды	(минус 40 – 60) °С	(минус 40 – 60) °С	(минус 40 – 60) °С
Диапазон пределов измерений	(6 – 35) кВ	(6 – 10) кВ	(6 – 10) кВ
Напряжение питания	(85 – 264) В	Не требуется	Не требуется
Выходной сигнал	Световая индикация, Modbus RTU	Световая индикация	Световая индикация
Релейный выход	+	–	+

Для индикации напряжения выбираем индикатор ИВА-02 (рисунок 14). Данный индикатор имеет релейный выход с функцией сигнализации или управления. Отличительной особенностью данного индикатора является способность передавать сигнал по интерфейсу RS-485 [27].



Рисунок 14 – Индикатор высокого напряжения ИВА-02

### **2.5.3 Выбор исполнительных механизмов**

Исполнительное устройство в системе управления реализуют управляющее воздействие со стороны регулятора на объект управления посредством механического перемещения регулирующего органа. Регулирующее воздействие изменяет процесс в необходимом направлении для поддержания давления в пласте.

В качестве исполнительного механизма будем использовать насосный агрегат, управляемый частотным преобразователем.

Также исполнительным устройством будет являться насос маслосистемы.

#### **2.5.3.1 Выбор насосного агрегата**

Для закачивания воды в пласт будем использовать насос ЦНС 240-1900 с электродвигателем СТДМ-1600. Агрегаты типа ЦНС представляют собой центробежные насосы для перекачивания химически нейтральных жидкостей. ЦНС 240 используется для работы с пресными, сточными и оборотными пластовыми водами, которые закачивают в нефтеносные пласты для поддержания пластового давления. Для изготовления этих насосов используют коррозионно-устойчивую сталь, которая гарантирует долговечность насоса.

Характеристики насоса и электродвигателя приведены в таблице 12 [28].

Таблица 12 – Технические характеристики насоса ЦНС 240

Наименование	ЦНС-240-1900
Напор	1900 м
Подача номинальная	240 м <sup>3</sup> /ч
Мощность насоса	1672 кВт
КПД	78 %
Электродвигатель насосного агрегата	СТДМ-1600
Мощность электродвигателя	1600 кВт
Напряжение номинальное	6000 В
Частота вращения номинальная	3000 об/мин

Изображение насоса представлено на рисунке 15 [28].



Рисунок 15 – Насос ЦНС 240-1900

### 2.5.3.2 Выбор преобразователя частоты

Для регулирования скорости вращения двигателя проведем сравнение параметров следующих частотных преобразователей: Эратон-В, ВПЧА-Т-06/192-УХЛ4, СТА-В9 НVI (таблица 13) [29 – 31].

Таблица 13 – Сравнение параметров преобразователей частоты

Критерии выбора	Эратон-В	ВПЧА-Т-06/192-УХЛ4	СТА-В9 HVI
Применение	Синхронный и асинхронный двигатель	Асинхронный двигатель	Синхронный и асинхронный двигатель
Выходное напряжение, кВ	3, 6, 10	3, 6, 10	3, 6, 10
Выходная частота, Гц	(0 – 50)	(0 – 80)	(0 – 50)
Мощность, кВт	1600	1600	1600
КПД, %	97	96	96
Входной сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА Modbus RTU	(4 – 20) мА Modbus RTU
Выходной сигнал	(4 – 20) мА	(4 – 20) мА Modbus RTU	(4 – 20) мА Modbus RTU

Для регулирования скорости вращения двигателя используем преобразователь частоты СТА-В9 (рисунок 16) [31]. Данный преобразователь подходит для синхронного двигателя и имеет аналоговое и цифровое управление.



Рисунок 16 – Преобразователь частоты СТА-В9

Подключение частотного преобразователя осуществляется без внешних трансформаторов, что является экономичным с точки зрения потери энергии. В ПЧ встроена защита от перегрузки по току и напряжению и перегрузки электродвигателя, защита от короткого замыкания.

### 2.5.3.3 Выбор насоса маслосистемы

Смазка и охлаждение подшипников электродвигателя и насоса обеспечивается маслосистемой, установленной в насосном блоке. Охлаждение масла воздушное. Масло подается из маслобаков через фильтры и маслоохладитель. Обрато в бак масло сливается самотеком.

Для маслосистемы используем насос НМШ 8-25 (рисунок 17) [32].



Рисунок 17 – Насос НМШ 8-25

Насосы данного типа предназначены для перекачивания смазывающих жидкостей. Технические характеристики насоса представлены в таблице 14 [32].

Таблица 14 – Технические характеристики НМШ 8-25

Наименование	НМШ 8-25
Подача	6,3 м <sup>3</sup> /ч
Давление нагнетания	0,25 МПа
Мощность насоса	1,5 кВт
Частота вращения	1450 об/мин
Вид перекачиваемого продукта	Масло, нефть, мазут
Напряжение питания	220 / 380 В
Частота питающей сети	50 Гц
Масса	47,7 кг

## 2.6 Разработка схемы внешних проводок

В процессе выполнения работы, разработали схему внешних проводок, приведенная в приложении Е. На схеме показаны проводки следующих датчиков: абсолютного давления, перепада давления, пластового давления, температуры, уровня, расхода, вибрации, тока и индикации высокого напряжения. Для передачи сигналов был выбран кабель КВВГЭнг (рисунок 18). Это защищенный экраном кабель в поливинилхлоридной оболочке. Жилы кабеля изготавливаются из меди или алюминия [33].



Рисунок 18 – Кабель КВВГЭнг

Расшифровка аббревиатуры кабеля КВВГЭнг:

- К означает, что кабель контрольный;
- В (первая) говорит, что проводники изготовлены из ПВХ-пластика;
- В (вторая) говорит, что скрутка жил помещена в ПВХ-оболочку;
- Г означает, что кабель не имеет внешнего защитного слоя;
- Э говорит о наличии защитного экрана.

Кабель КВВГЭнг предназначен для прокладки в помещениях и на открытом воздухе при отсутствии опасности механических повреждений при эксплуатации и защиты электрических цепей от влияния внешних электрических полей. Технические характеристики кабеля показаны в таблице 15 [33].

Таблица 15 – Технические характеристики КВВГЭнг

Наименование	КВВГЭнг
Диапазон рабочих температур	(минус 50 – 50) °С
Минимальная температура монтажа	минус 15 °С
Максимальная температура жилы	70 °С
Срок службы:	
– в грунте	15 лет
– в помещении	30 лет

Для соединения проводов с датчиков в кабель используем клеммную колодку КК42С фирмы ОВЕН.

## 2.7 Разработка алгоритмов управления

В автоматизированных системах используются различные алгоритмы, такие как:

- алгоритмы запуска / останов технологического процесса;
- ПИД-алгоритм, для автоматического управления технологическим процессом;
- алгоритмы централизованного управления.

При выполнении блок-схем алгоритмов использовались элементы согласно ГОСТ 19.701-90.

### 2.7.1 Разработка алгоритма пуска

Данный алгоритм запускает насосный агрегат. Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Проверка поступления команды от оператора, если нет, то ничего не происходит.
2. Проверяется давление всасывающей линии (наличие воды), если оно не в норме, то выдается сообщение о пониженном давлении.
3. Проверяется уровень масла в резервуаре, если он не в норме, то выдается сообщение о пониженном уровне масла в резервуаре.

4. Проверяется температура подшипников привода, если она не в норме, то выдается сообщение о повышенной температуре привода.
5. Проверяется температура подшипников насоса, если она не в норме, то выдается сообщение о повышенной температуре насоса.
6. Проверяется перепад давления на фильтрах 1, 2, если он не в норме, то выдается сообщение о загрязнении фильтра.
7. Команда на тиристорный преобразователь частоты для запуска привода.
8. Команда на запуск насоса маслосистемы.

Блок-схема данного алгоритма показана в приложении Ж.

### **2.7.2 Разработка алгоритма останова**

Данный алгоритм останавливает насосный агрегат. Алгоритм состоит из следующих шагов:

1. Проверка поступления команды от оператора, если нет, то ничего не происходит.
2. Команда на тиристорный преобразователь частоты для остановки привода.
3. Остановка насоса маслосистемы.

Блок-схема данного алгоритма показана в приложении Ж.

### **2.7.3 Разработка алгоритма автоматического регулирования**

#### **2.7.3.1 Математическая модель системы**

В качестве регулируемой величины выступает давление в пласте. В качестве алгоритма регулирования используется ПИД-закон. Формирование управляющего сигнала осуществляется на основании суммы трёх составляющих сигнала рассогласования: пропорциональной, интегральной, дифференциальной.

Схема автоматического регулирования (рисунок 19) состоит из: задающего устройства (уставка), ПЛК (реализующий функцию ПИД-

регулятора), преобразователя частоты (ПЧ), синхронного двигателя, центробежного насоса, трубопровода, объекта управления (пласта), датчика давления с масштабирующим звеном (является обратной связью).

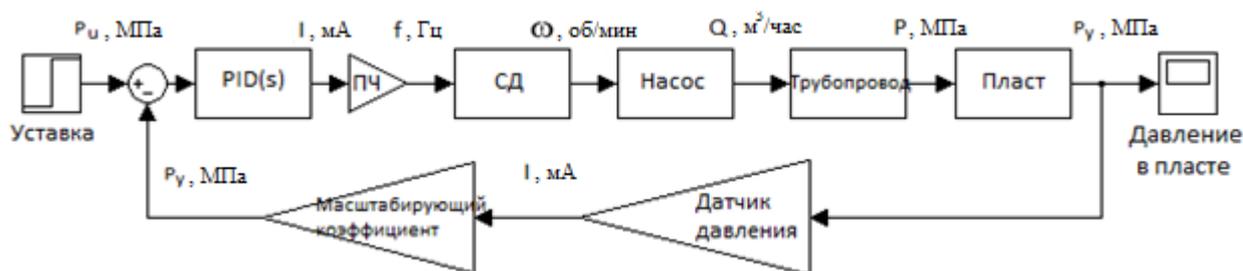


Рисунок 19 – Схема автоматического регулирования

Объектом управления является пласт. Оператор задает давление, которое необходимо поддерживать в пласте. Это значение подается в ПЛК, где происходит сравнение его со значением текущего давления, полученного с датчика. Затем происходит формирование выходного сигнала. Этот сигнал подается на тиристорный преобразователь частоты для задания необходимой скорости двигателя.

Рассмотрим передаточные функции звеньев, входящих в данную модель.

Преобразователь частоты формирует частоту для синхронного двигателя, поэтому его передаточная функция будет определяться коэффициентом преобразования:

$$W_{\text{ПЧ}} = \frac{f}{I} = \frac{50 \text{ Гц}}{16 \text{ мА}} = 3,125, \quad (1)$$

где  $W_{\text{ПЧ}}$  – передаточная функция преобразователя частоты;

$f$  – выходная частота преобразователя частоты, Гц;

$I$  – выходной токовый сигнал контроллера, мА.

Передаточную функцию синхронного двигателя опишем аperiodическим звеном первого порядка:

$$W_{\text{ДВ}} = \frac{k_{\text{ДВ}}}{T_{\text{ДВ}} \cdot s + 1}, \quad (2)$$

где  $W_{\text{ДВ}}$  – передаточная функция двигателя;

$k_{\text{ДВ}}$  – коэффициент передачи двигателя, об/сек·Гц;

$T_{\text{ДВ}}$  – постоянная времени двигателя, с;

$s$  – оператор Лапласа.

Коэффициент передачи двигателя определяется как отношение угловой скорости  $\omega_{дв}$  к частоте преобразователя  $f$ :

$$k_{дв} = \frac{\omega_{дв}}{f} = \frac{3000 \text{ об/мин}}{50 \text{ Гц}} = 60. \quad (3)$$

Постоянную времени двигателя примем равной  $T_{дв}$  равно 20 с и получим передаточную функцию двигателя:

$$W_{дв} = \frac{60}{20 \cdot s + 1}. \quad (4)$$

Насос представляет из себя апериодическое звено, которое преобразует скорость вращения вала в энергию, сообщаемую перекачиваемой жидкости:

$$W_{н} = \frac{k_{н}}{T_{н} \cdot s + 1}, \quad (5)$$

где  $W_{н}$  – передаточная функция насоса;

$k_{н}$  – коэффициент передачи насоса,  $\text{м}^3 \cdot \text{с/час} \cdot \text{об.}$ ;

$T_{н}$  – постоянная времени насоса, с.

Коэффициент передачи насоса определяется как отношение производительности (объем перекачиваемой жидкости в единицу времени)  $Q$  к скорости двигателя:

$$k_{н} = \frac{Q}{\omega_{дв}} = \frac{240 \text{ м}^3/\text{час}}{3000 \text{ об/с}} = 0,08. \quad (6)$$

Постоянную времени насоса примем равной  $T_{н}$  равно 18 с и получаем передаточную функцию:

$$W_{н} = \frac{0,08}{18 \cdot s + 1}. \quad (7)$$

Передаточная функция трубопровода описывается апериодическим звеном первого порядка:

$$W_{тр} = \frac{k_{тр}}{T_{тр} \cdot s + 1}, \quad (8)$$

где  $W_{тр}$  – передаточная функция трубопровода;

$k_{тр}$  – коэффициент передачи трубопровода,  $\text{МПа} \cdot \text{час/м}^3$ ;

$T_{тр}$  – постоянная времени трубопровода, с.

Коэффициент определяются по формуле (9):

$$k_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{тр}}}{Q} = \frac{25 \text{ МПа}}{240 \text{ м}^3/\text{ч}} = 0,1042, \quad (9)$$

где  $P_{\text{тр}}$  – давление в трубопроводе.

Постоянная времени трубопровода определяется по формулам (10-12):

$$T_{\text{тр}} = \frac{L}{v}; \quad (10)$$

$$v = \frac{Q}{S}; \quad (11)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}; \quad (12)$$

где  $L$  – длина участка трубопровода между точкой измерения и точкой регулирования;

$v$  – скорость потока;

$S$  – площадь сечения трубы;

$d$  – диаметр трубы.

Характеристики трубопровода приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Характеристики трубопровода

Характеристика	Значение
Диаметр трубы, $d$	0,2 м
Объемный расход, $Q$	0,067 м <sup>3</sup> /с
Длина участка, $L$	50 м

Произведем необходимые расчеты:

$$S = \frac{3,14 \cdot 0,04}{4} = 0,0314 \text{ м}^2; \quad (13)$$

$$v = \frac{0,067}{0,0314} = 2,134 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad (14)$$

$$T_{\text{тр}} = \frac{50}{2,134} = 23,43 \text{ с}. \quad (15)$$

Получаем передаточную функцию трубопровода:

$$W_{\text{тр}} = \frac{0,1042}{23,43 \cdot s + 1}. \quad (16)$$

Пласт представляет из себя аperiодическое звено, которое преобразует давление в трубопроводе в пластовое давление:

$$W_{\text{пл}} = \frac{k_{\text{пл}}}{T_{\text{пл}} \cdot s + 1}, \quad (17)$$

где  $W_{пл}$  – передаточная функция пласта;

$k_{пл}$  – коэффициент передачи пласта, МПа/МПа;

$T_{пл}$  – постоянная времени пласта, с.

Коэффициент передачи пласта определяется как отношение давления в пласте  $P_{пл}$  к давлению в трубопроводе  $P_{тр}$ :

$$k_{пл} = \frac{P_{пл}}{P_{тр}} = \frac{25 \text{ МПа}}{25 \text{ МПа}} = 1. \quad (18)$$

Постоянную времени пласта примем равной  $T_{пл}$  равно 30 минут и получаем передаточную функцию:

$$W_{пл} = \frac{1}{1800 \cdot s + 1}. \quad (19)$$

Датчик давления преобразует значение давления в токовый сигнал.

Передаточная функция датчика будет выглядеть:

$$W_{дд} = \frac{I}{P_{пл}} = \frac{16 \text{ мА}}{25 \text{ МПа}} = 0,64, \quad (20)$$

где  $W_{дд}$  – передаточная функция датчика давления.

Передаточная функция масштабирующего коэффициента будет обратной к передаточной функции датчика давление, т.к. с помощью данного коэффициента ПЛК восстанавливает значение давления из токового сигнала:

$$W_{масш} = \frac{P}{I} = \frac{25 \text{ МПа}}{16 \text{ мА}} = 1,5625, \quad (21)$$

где  $W_{масш}$  – передаточная функция масштабирующего коэффициента.

Нашли передаточные функции всех элементов системы, кроме регулятора. Также необходимо учесть, что максимальная скорость, вращения двигателя равна 3000 об/мин., поэтому надо добавить ограничение на скорость. Для этого поставим в модели после двигателя звено ограничения.

Получаем математическую модель системы (рисунок 20).

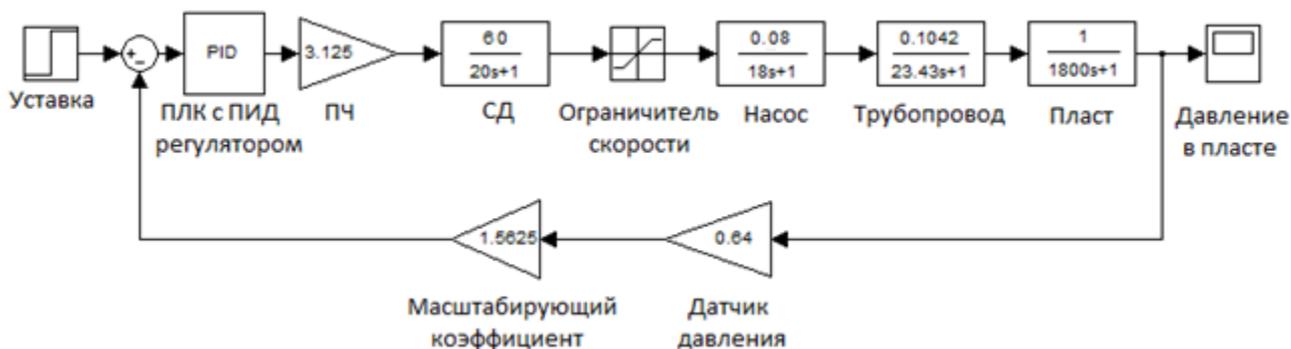


Рисунок 20 – Математическая модель системы автоматического регулирования

### 2.7.3.2 Настройка регулятора

Формирование управляющего воздействия ПИД-регулятора происходит в соответствии с разницей между уставкой и значением давления в пласте. Управляющее воздействие направляется на тиристорный преобразователь частоты, который изменяет скорость вращения двигателя насоса.

Настройка регулятора проводилась по методу Циглера-Никольса, основанного на реакции системы на ступенчатое воздействие, и метода Chien, Hrones и Reswick (CHR). Расчетные формулы для коэффициентов регулятора приведены в таблице 17, где  $\alpha$  и  $L$  расчетные параметры,  $K$  пропорциональный коэффициент,  $T_{и}$  и  $T_{д}$  интегральная и дифференциальная постоянные времени [34].

Таблица 17 – Формулы для расчета коэффициентов регулятора

	Метод Циглера-Никольса			Метод CHR		
Регулятор	$K$	$T_{и}$	$T_{д}$	$K$	$T_{и}$	$T_{д}$
П	$1/\alpha$	–	–	$0,3/\alpha$	–	–
ПИ	$0,9/\alpha$	$3L/K$	–	$0,35/\alpha$	$1,2L/K$	–
ПИД	$1,2/\alpha$	$0,9L/K$	$0,5L/K$	$0,6/\alpha$	$1,0L/K$	$0,5L/K$

Получаем характеристику объекта как отклик на входное воздействие. Входное воздействие представляет собой ступенчатое воздействие соответствующее 1 Мпа, но в токовом эквиваленте. Операторно-структурная схема (ОСС) приведена на рисунке 21.

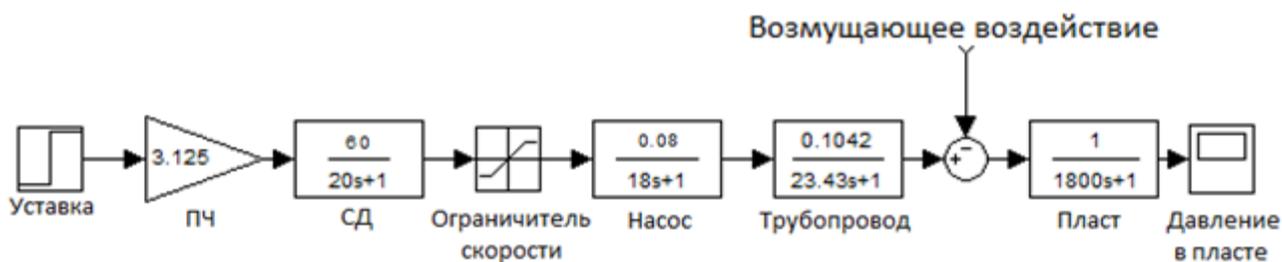


Рисунок 21 – ОСС для получения характеристики объекта  
Полученная характеристика объекта приведена на рисунке 22.

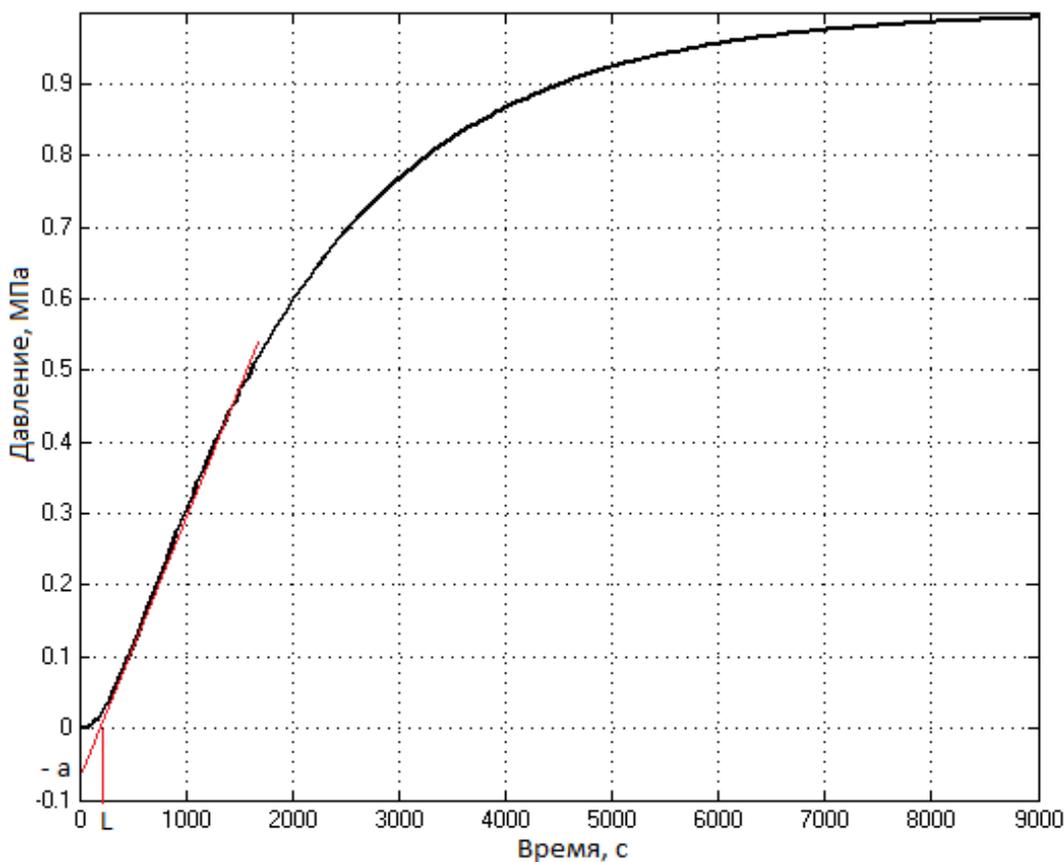


Рисунок 22 – Характеристика объекта

Из рисунка получаем  $\alpha$  равно 0,07 и  $L$  равно 200. Про масштабируем  $\alpha$  умножением на 25 и получаем  $\alpha$  равно 1,75. По формулам из таблицы 17 рассчитываем коэффициенты (таблица 18).

Таблица 18 – Коэффициенты регулятора

Регулятор	Метод Циглера-Никольса			Метод CHR		
	$K$	$K_i$	$K_d$	$K$	$K_i$	$K_d$
П	0,57	–	–	0,18	–	–
ПИ	0,51	0,00040	–	0,23	0,00023	–
ПИД	0,69	0,00026	100	0,34	0,00058	100

Подставляем полученные коэффициенты в регулятор и строим переходные характеристики (рисунок 24, 25). Операторно-структурная схема представлена на рисунке 23.

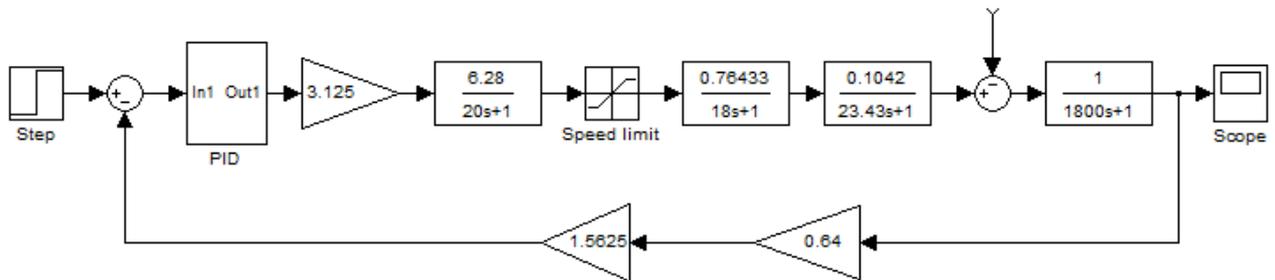


Рисунок 23 – ОСС с регулятором

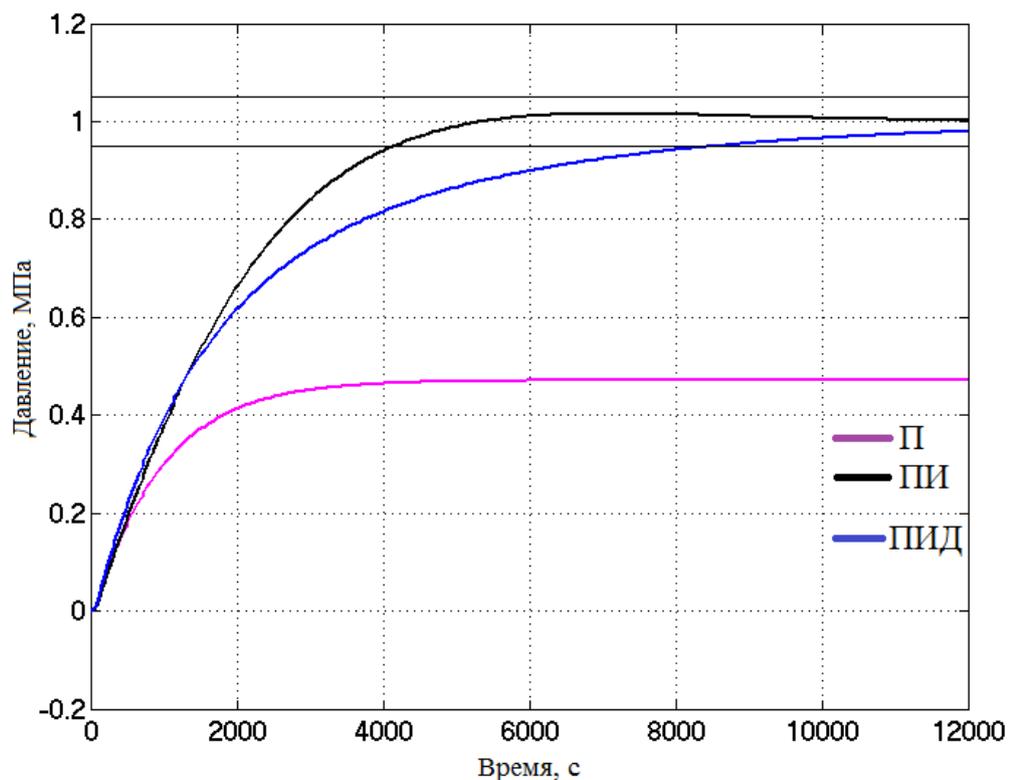


Рисунок 24 – Переходные характеристики по методу Циглера-Никольса

Показатели качества переходных процессов представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Показатели качества переходных процессов

Показатели качества	По методу Циглера-Никольса			По методу CHR			Ручная настройка
	П	ПИ	ПИД	П	ПИ	ПИД	
$t_{\text{ПП}}$	2800 с	4140 с	8550 с	4280 с	7155 с	5263 с	1807 с
$\sigma$	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
$\varepsilon_{\text{ст}}$	53 %	0 %	0 %	78 %	0 %	0 %	0 %

По методу Циглера-Никольса П-закон имеет статическую ошибку, но наименьшее время переходного процесса. Наилучшим является ПИ-закон регулирования, поскольку имеет переходный процесс без статической ошибки и время переходного процесса меньше, чем ПИД-закон.

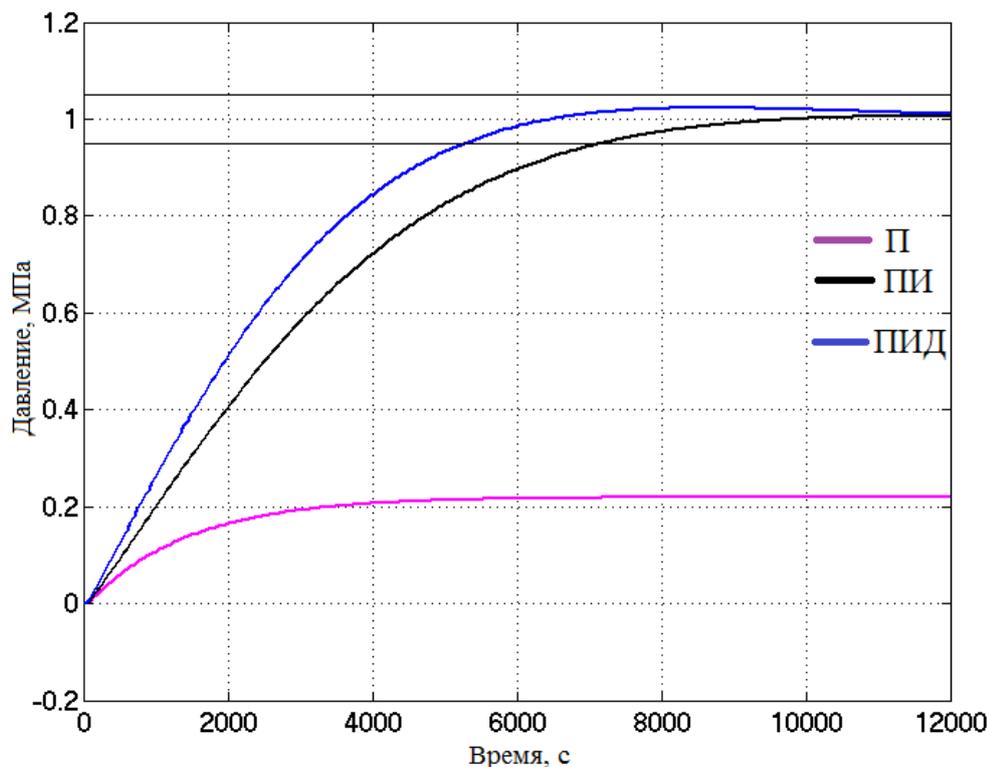


Рисунок 25 – Переходные характеристики по методу CHR

Показатели качества переходных процессов представлены в таблице 19.

По методу CHR П-закон регулирования имеет значительную статическую ошибку, но наименьшее время переходного процесса. ПИД-закон является наилучшим, поскольку не содержит статической ошибки и время переходного процесса меньше, чем у ПИ-закона.

Выполним ручную подстройку ПИ-регулятора на основе коэффициентов полученных методом Циглера-Никольса, так как они дали лучшие показатели качества и сравним её с ПИ-законом метода Циглера-Никольса и ПИД-закона метода CHR.

Дифференциальная составляющая не оказала влияния на переходный процесс, поэтому использовали ПИ-закон. Получили наилучший переходный процесс при коэффициенте:  $K$  равном 2 и  $K_i$  равном 0,001. Показатели

качества переходных процессов представлены в таблице 19. Путем ручной настройки удалось уменьшить время переходного процесса, тем самым улучшить качество переходного процесса (рисунок 26).

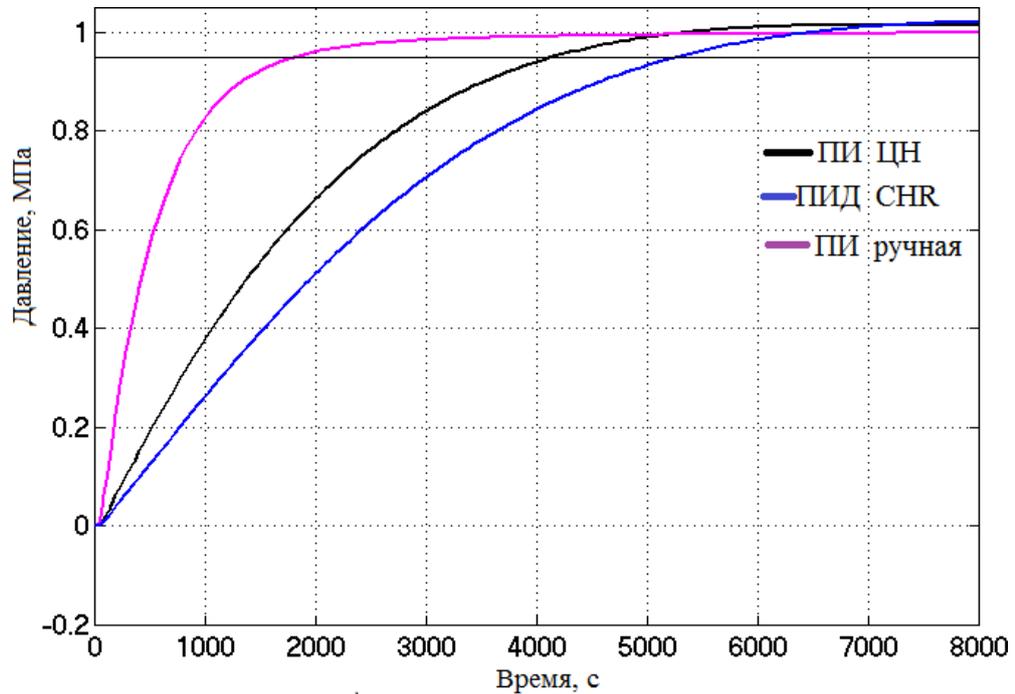


Рисунок 26 – Сравнение переходных характеристик

### 2.7.3.3 Анализ поведения системы при возмущающем воздействии

Смоделируем ситуацию, когда есть возмущающее воздействие. Возмущающим воздействием будет являться отключение соседней насосной станции, в результате чего снизится давление в пласте на 50 %. Операторно-структурная схема приведена на рисунке 27, переходная характеристика представлена на рисунке 28.

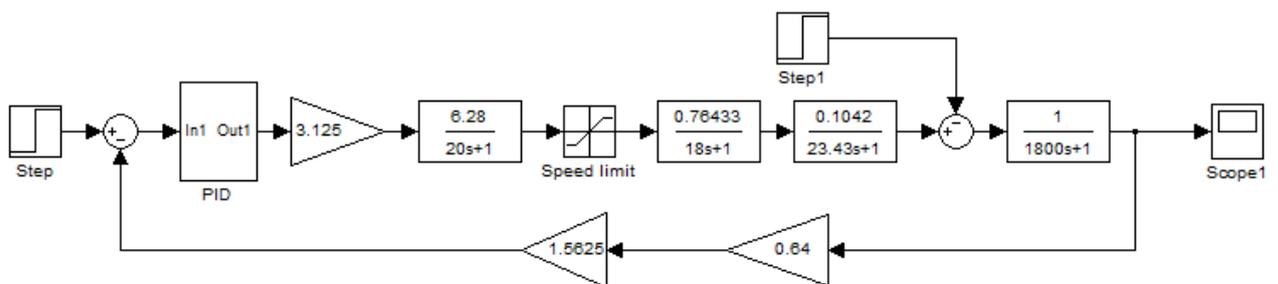


Рисунок 27 – Операторно-структурная схема системы с возмущением

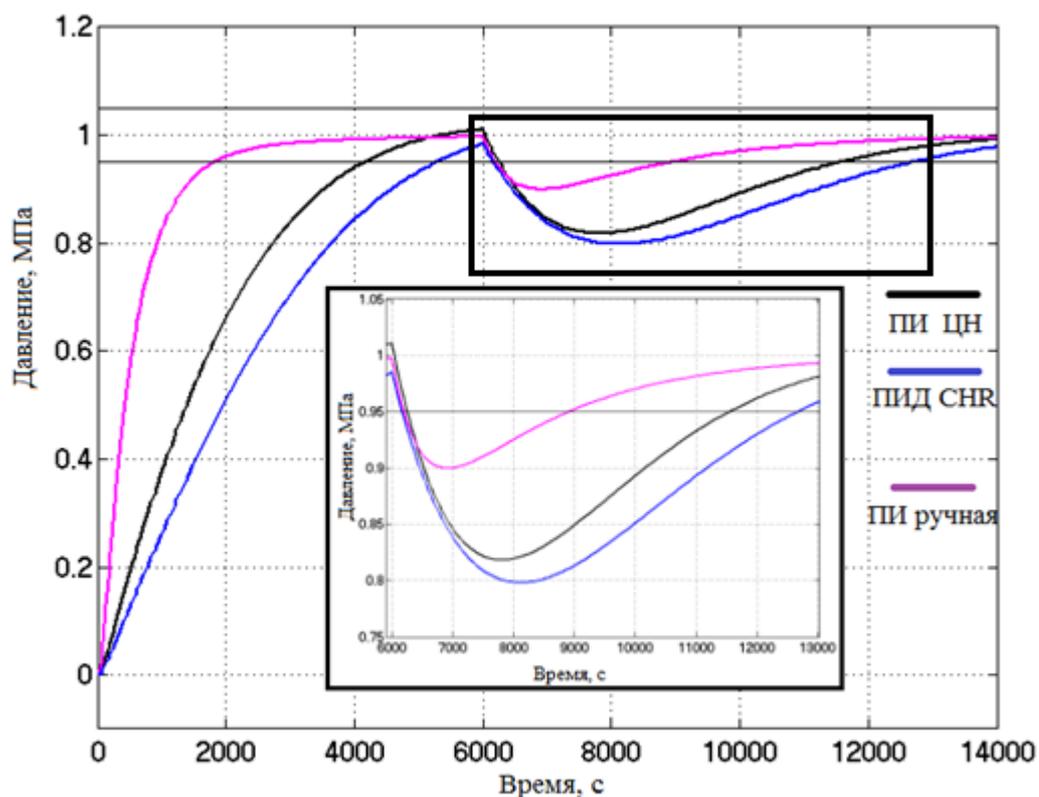


Рисунок 28 – Переходные процессы с возмущением

На графиках переходных процессов видно, что система обрабатывает возмущение и возвращает значение давления в линии нагнетания к исходному значению. Данную систему можно использовать в качестве системы стабилизации давления в пласте. Показатели качества по возмущающему воздействию представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Показатели качества переходных процессов

Показатели качества	ПИ-закон по методу Циглера-Никольса		ПИД-закон по методу СНР		ПИ-закон при ручной подстройке	
	По уставке	По возмущению	По уставке	По возмущению	По уставке	По возмущению
$t_{\text{пп}}$	4140 с	3752 с	5263 с	4574 с	1807 с	1970 с
$\sigma$	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
$\varepsilon_{\text{ст}}$	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Наилучшими показателями качества обладает переходный процесс при ручном способе настройки ПИ-регулятора. Данный метод дает наименьшее время переходного процесса по задающему воздействию и возмущению.

Дальнейшее исследование проводим при коэффициентах регулятора, полученных ручной настройкой.

### 2.7.3.4 Анализ поведения системы при шумах в канале обратной связи

#### СВЯЗИ

Смоделируем ситуацию, когда есть шум в канале обратной связи. В качестве источника шума в Simulink выбран генератор случайных чисел, который генерирует случайный сигнал с амплитудой 0,38 мА, что составляет 60 % от установившегося уровня сигнала. Операторно-структурная схема приведена на рисунке 29, переходная характеристика представлена на рисунке 30.

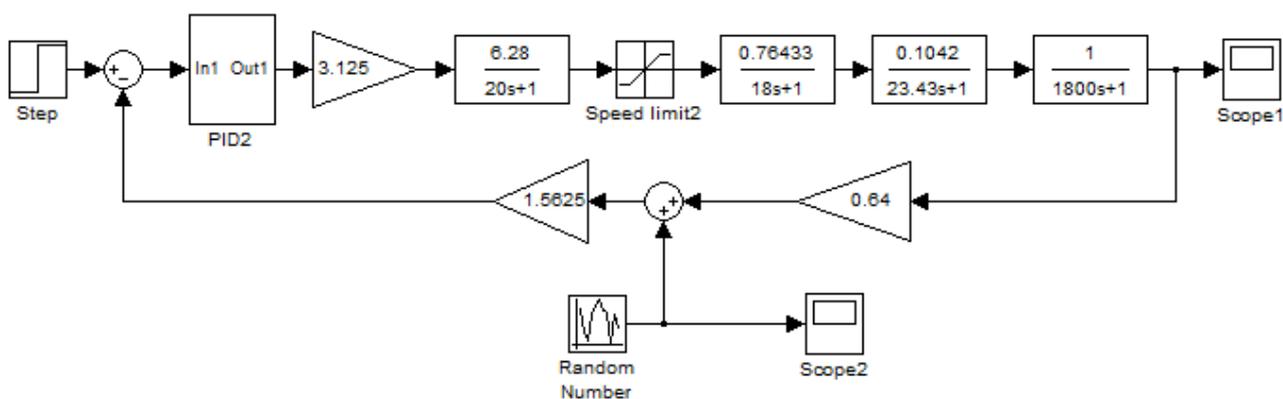


Рисунок 29 – Операторно-структурная схема системы с шумом в цепи обратной связи

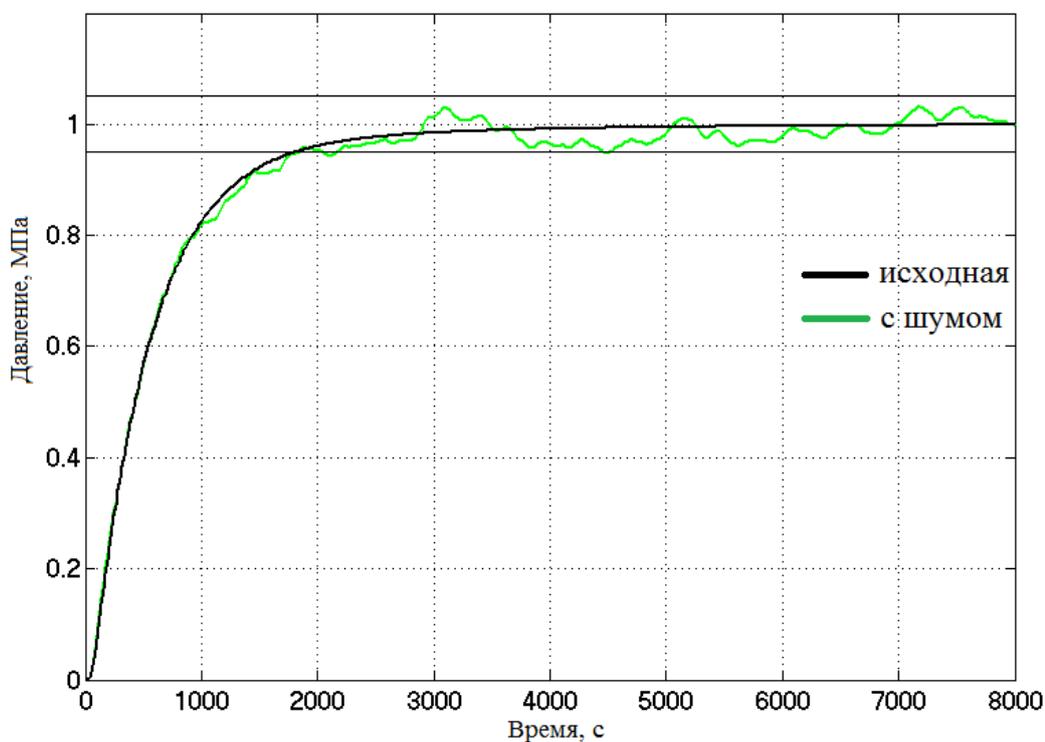


Рисунок 30 – Переходная характеристика системы с шумом в обратной связи

Из графика переходной характеристики можем увидеть, что шум не оказывает значительного влияния на регулируемую величину. Система обрабатывает шум и колеблется в допустимые отклонения от заданной величины.

### 2.7.3.5 Робастность системы

Анализ системы на робастность проводился при изменении параметров объекта управления (пласта) в большую и в меньшую сторону на 30 %. В таблице 21 приведены параметры пласта.

Таблица 21 – Отклонение параметров объекта управления

Отклонение	минус 30 %	0 %	30 %
$k_{пл}$	0,7	1	1,3
$T_{пл}$	1260 с	1800 с	2340 с

При изменении параметров объекта получаем переходные процессы на рисунке 31, а в таблице 22 показатели качества переходных процессов.

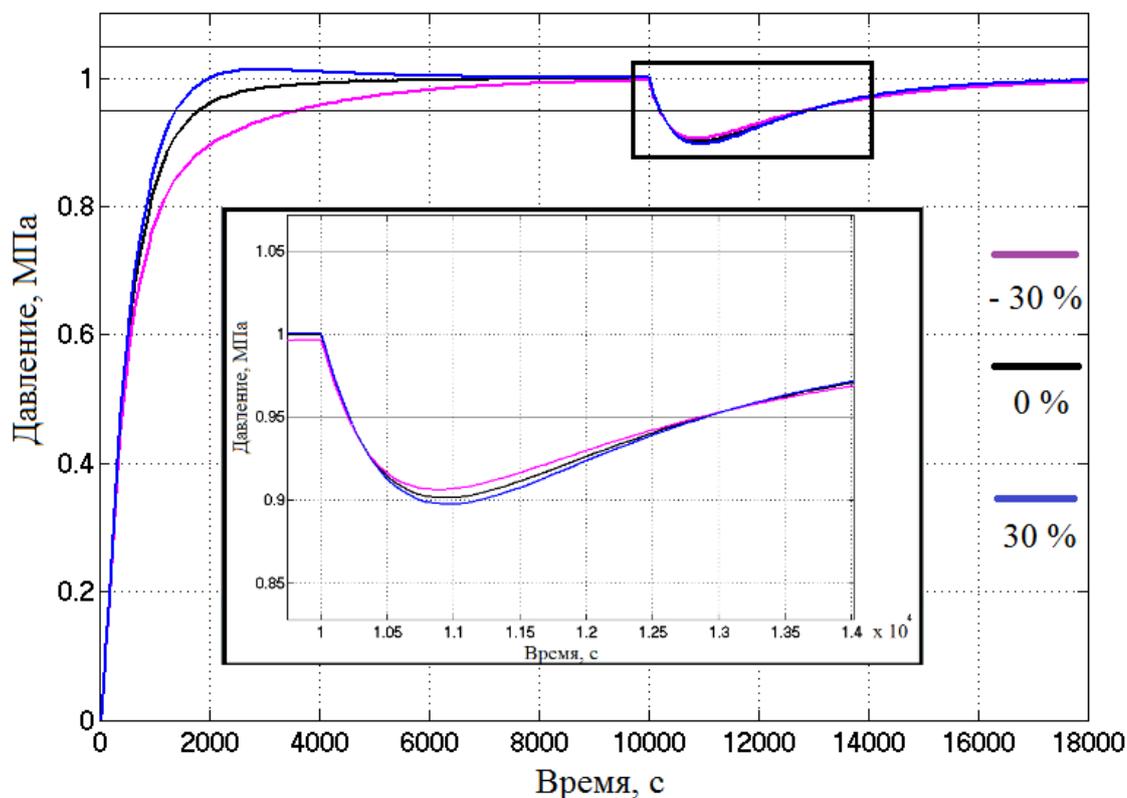


Рисунок 31 – Переходные процессы при исследовании робастности

Таблица 22 – Показатели качества переходных процессов

Отклонение	Показатели качества	По управлению	По возмущению
минус 30 %	$t_{пп}, c$	3600	1963
	$\sigma, \%$	0	0
	$\varepsilon_{ст}, \%$	0	0
0 %	$t_{пп}, c$	1807	1970
	$\sigma, \%$	0	0
	$\varepsilon_{ст}, \%$	0	0
30 %	$t_{пп}, c$	1402	1900
	$\sigma, \%$	0	0
	$\varepsilon_{ст}, \%$	0	0

Из полученных переходных процессов видно, что система не является грубой по задающему воздействию, т.к. при изменении параметров пласта время регулирования значительно отклоняются от исходного. По возмущающему воздействию система является грубой.

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

#### **3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

##### **3.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Потенциальными потребителями спроектированной системы автоматизированного управления блочной кустовой станцией являются коммерческие организации нефтегазовой отрасли, а именно организации, осуществляющие добычу нефти. Научное исследование направлено на крупные предприятия, которые внедряют или имеют автоматизированные системы контроля и управления технологическими процессами. Таковыми организациями являются: «Газпром нефть», «Сургутнефтегаз», «Роснефть», «Лукойл» и др.

##### **3.1.2 Анализ конкурентных технических решений**

Данный анализ проводится с помощью оценочной карты для сравнения конкурентных технических решений, приведенной в таблице 23. В качестве конкурента для проектируемой АСУ ТП БКС рассматривается существующая система управления БКНС (конкурент).

Существующая система управления представлена БКНС ООО «ПромНефтеГазАвтоматика» (конкурент). Компания имеет многопрофильную структуру бизнеса: разработка и производство оборудования, автоматизация и контроль технологических процессов, строительство зданий и сооружений. Система управления данной компании уже представлена на рынке, следовательно, обладает высоким уровнем и хорошими условиям проникновения на рынок. Достаточной низкой цена данной системы обусловлена, самостоятельным производством части оборудования.

Таблица 23 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к</sub>
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
Повышение производительности насосного агрегата	0,1	5	4	0,5	0,4
Удобство в эксплуатации	0,06	4	4	0,24	0,24
Помехоустойчивость	0,06	4	4	0,24	0,24
Энергосбережение	0,05	4	5	0,2	0,25
Надежность	0,1	5	4	0,5	0,4
Безопасность	0,1	4	4	0,4	0,4
Простота управления процессом	0,07	4	4	0,28	0,28
<b>Экономические критерии оценки ресурсоэффективности</b>					
Конкурентоспособность	0,07	4	3	0,28	0,21
Уровень проникновения на рынок	0,04	2	4	0,08	0,16
Цена	0,1	3	3	0,3	0,3
Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	5	4	1,0	0,8
Срок выхода на рынок	0,05	4	5	0,2	0,25
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>48</b>	<b>48</b>	<b>4,22</b>	<b>3,93</b>

Недостатком существующей системы является использование старого оборудования, что сказывается на общем повышении производительности.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, \quad (22)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки;

$V_i$  – вес показателя;

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Опираясь на полученные результаты, можно выделить следующие конкурентные преимущества разработки АСУ ТП БКС: повышение производительности насосного агрегата, повышение надежности, конкурентоспособность, длительный срок эксплуатации.

### 3.1.3 SWOT-анализ

SWOT представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 24.

Таблица 24 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>  С1. Экономичность за счет использования Российского оборудования;  С2. Повышение производительности насосного агрегата;  С3. Квалифицированный персонал по разработке проекта;  С4. Наличие бюджетного финансирования со стороны университета;  С5. Экологичность технологии.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>  Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для испытаний;  Сл2. Большой срок поставок комплектующих для научного исследования;  Сл3. Отсутствие практических знаний по обустройству системы;  Сл4. Отсутствие у потребителей квалифицированных кадров;  Сл5. Отсутствие компании, способной построить производство под ключ.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Использование инноваций инфраструктуры ТПУ;  В2. Использование существующего программного обеспечения;  В3. Появление спроса на новый продукт;  В4. Повышение стоимости конкурентных разработок;  В5. Использование Российского оборудования.</p>	<p>Создание конкурентоспособного проекта.  Использование доступного современного оборудования, способного повысить качество и производительность работы установки.</p>	<p>Замена необходимого оборудования на схожее по функциональности.  Прохождение практики на предприятии заказчика.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Развитая конкуренция технологии производства;  У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства;  У3. Несвоевременное финансирование научного исследования;  У4. Ограничение на импорт оборудования;  У5. Ограничение на экспорт технологии.</p>	<p>Улучшать качество работы системы;  Выявлять преимущества новой системы над существующей;  Применять разработку на внутреннем рынке.</p>	<p>Производить поиск и покупку оборудования заблаговременно;</p>

### 3.2 Планирование научно-исследовательских работ

#### 3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Разобьем процесс выполнения ВКР на этапы и работы, которые необходимо сделать для достижения результата. При реализации проекта рассматриваются два исполнителя: руководитель (Р), инженер (И). Выделенные этапы представлены в таблице 25.

Таблица 25 – перечень этапов, работ и распределения исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, инженер
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Консультант, инженер
	3	Изучение существующих систем	Инженер
	4	Календарное планирование работ	Консультант, инженер
Разработка системы и проектирование	5	Описание технологического процесса	Инженер
	6	Разработка структурной схемы	Инженер
	7	Разработка функциональной схемы автоматизации	Инженер
	8	Разработка схемы информационных потоков	Инженер
	9	Выбор средств реализации	Инженер
	10	Разработка схемы внешних проводок	Инженер
	11	Разработка алгоритмов управления	Инженер
	12	Получение математической модели системы	Инженер
	13	Моделирование	Инженер
	14	Снятие характеристик с модели	Инженер
15	Анализ данных	Инженер	
16	Разработка экранных форм	Инженер	
Оформление отчета	17	Составление пояснительной записки	Инженер

#### 3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения трудоемкости работ будем использовать такие показатели как ожидаемая трудоемкость, продолжительность выполнения  $i$  – ой работы в календарных днях, коэффициент календарности.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (23)$$

где  $t_{\min i}$  – минимальная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимальная трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Из расчета ожидаемой трудоемкости работ, определим продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_{pi}$  учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{\Psi_i}, \quad (24)$$

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

Рассчитанные значения представлены в таблице 26.

### 3.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения диаграммы Ганта, переведем длительность каждого из этапов работ в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (25)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (26)$$

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

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

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

Таблица 26 – Временные показатели проведения научного исследования

№ ра б.	Трудоёмкость работ									Ис пол нит ели	$T_{pi}$ , раб. дн.			$T_{ki}$ , кал. дн.		
	$t_{\min i}$ , чел.-дни			$t_{\max i}$ , чел.-дни			$t_{\text{ож} i}$ , чел.-дни				И	К	Р	И	К	Р
	И	К	Р	И	К	Р	И	К	Р							
1	5	–	5	7	–	7	5,8	–	5,8	2	2,9	–	2,9	4	–	4
2	10	6	–	15	9	–	12	7,2	–	2	6	3,6	–	7	4	–
3	5	–	–	7	–	–	5,8	–	–	1	5,8	–	–	7	–	–
4	2	2	–	4	4	–	2,8	2,8	–	2	1,4	1,4	–	2	2	–
5	4	–	–	5	–	–	4,4	–	–	1	4,4	–	–	5	–	–
6	3	–	–	5	–	–	3,8	–	–	1	3,8	–	–	5	–	–
7	6	–	–	8	–	–	6,8	–	–	1	6,8	–	–	8	–	–
8	3	–	–	5	–	–	3,8	–	–	1	3,8	–	–	5	–	–
9	10	–	–	15	–	–	12	–	–	1	12	–	–	15	–	–
10	5	–	–	8	–	–	6,2	–	–	1	6,2	–	–	8	–	–
11	4	–	–	6	–	–	4,8	–	–	1	4,8	–	–	6	–	–
12	4	–	–	6	–	–	4,8	–	–	1	4,8	–	–	6	–	–
13	7	–	–	9	–	–	7,8	–	–	1	7,8	–	–	10	–	–
14	7	–	–	9	–	–	7,8	–	–	1	7,8	–	–	10	–	–
15	3	–	–	5	–	–	3,8	–	–	1	3,8	–	–	5	–	–
16	3	–	–	5	–	–	3,8	–	–	1	3,8	–	–	5	–	–
17	7	–	–	10	–	–	8,2	–	–	1	8,2	–	–	10	–	–
Итого											94	5	2,9	118	6	4

Коэффициент календарности (2019 год):

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365-52-14} = \frac{365}{299} = 1,22. \quad (27)$$

Все рассчитанные значения приведены в таблице 26.

На основании таблицы 26 построим диаграмму Ганта (таблица 27), представляющую из себя ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Таблица 27 – Календарный план-график

№ работ	Исполнители	T <sub>ki</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
			Февраль			Март			Апрель			Май			
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Руководитель, Инженер	4													
		4													
2	Инженер, Консультант	7													
		4													
3	Инженер	7													
4	Консультант, Инженер	2													
		2													
5	Инженер	5													
6	Инженер	5													
7	Инженер	8													
8	Инженер	5													
9	Инженер	15													
10	Инженер	8													
11	Инженер	6													
12	Инженер	6													
13	Инженер	10													
14	Инженер	10													
15	Инженер	5													
16	Инженер	5													
17	Инженер	10													

Руководитель       Инженер

### 3.2.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

#### 3.2.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Для расчета материальных затрат воспользуемся следующей формулой:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{рас\ xi}, \quad (28)$$

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

$N_{рас\ xi}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Для научного проекта необходимы следующие материальные ресурсы: ноутбук, мышь, принтер, печатная бумага, канцелярские товары (таблица 28).

Таблица 28 – Материальные затрат

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, $Z_m$ , руб.
Ноутбук	Шт.	1	25000	30000
Мышь	Шт.	1	500	600
Канцелярские товары	Шт.	1	150	180
Принтер	Шт.	1	5000	6000
Печатная бумага	Пачка	1	250	300
Итого				37080

### 3.2.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

Основная заработная плата студента и руководителя за выполнение НИИ, рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (29)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Среднедневная заработная плата  $Z_{дн}$  рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (30)$$

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

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

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

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

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (рабочих днях) таблица 29.

Таблица 29 – Баланс рабочего времени

Показатель рабочего времени	Руководитель	Инженер	Консультант
Календарное число дней	365	365	365
Количество нерабочих дней			
– выходные дни	52	52	52
– праздничные дни	14	14	14
Потери рабочего времени			
– отпуск	48	48	48
– невыходы по болезни			
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (31)$$

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

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

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

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

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 30.

Таблица 30 – Основная заработная плата

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	33664	0,3	0,2	1,3	65645	2720	2,9	7888
Инженер	12663	0,3	0,2	1,3	24693	1023	94	96162
Консультант	24960	0,3	0,2	1,3	48672	2017	5	10085

### 3.2.4.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \cdot k_p, \quad (32)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принять равным 0,1).

Полученные значения дополнительной заработной платы приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$Z_{\text{осн}}$ , руб.	$Z_{\text{доп}}$ , руб.	$Z_{\text{внеб}}$ , руб.
Руководитель	7888	789	2351
Инженер	96162	9616	28666
Консультант	10085	1009	3006
Итого	114135	11414	34023

#### 3.2.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), k_p, \quad (33)$$

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

На 2019 г.  $k_{\text{внеб}}$  для образовательных и научных учреждений составляет 27,1 %.

Рассчитанная величина отчислений во внебюджетные фонды представлена в таблице 31.

#### 3.2.4.5 Прочие затраты

К данному виду затрат относятся затраты на электроэнергию. Энергопотребление ноутбука составляет 0,28 кВт · час. Считаем рабочий день восьмичасовым и, зная количество дней, рассчитываем потребленную мощность ноутбука:

$$P_H = 0,28 \cdot 8 \cdot 101,9 = 228,3 \text{ кВт. } k_p, \quad (34)$$

Стоимость 1 кВт составляет 5,8 руб. Затраты на энергопотребление ноутбука составит:

$$Z_{\text{эл}} = 228,3 \cdot 5,8 = 1324 \text{ руб. } k_p, \quad (35)$$

### 3.2.4.6 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, k_p, \quad (36)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы (принимается равным 16%).

$$Z_{\text{накл}} = (37080 + 114135 + 1141 + 1324) \cdot 0,16 = 24589 \text{ руб.} \quad (37)$$

### 3.2.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в таблице 32.

Таблица 32 – Бюджет затрат на НИР

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
Материальные ресурсы	37080	Пункт 3.2.4.1
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	114135	Пункт 3.2.4.2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11414	Пункт 3.2.4.3
Отчисления во внебюджетные фонды	34023	Пункт 3.2.4.4
Накладные расходы	24589	Пункт 3.2.4.5
Бюджет затрат НИИ	221241	Сумма статей (1 – 5)

Бюджет затрат НИИ составил 221241 рублей, большую часть финансировал Томский политехнический университет. Финансирование осуществлялось путем предоставления оборудования, а именно студенты могут воспользоваться персональными компьютерами, которые размещены в учебных аудиториях, со всем необходимым программным обеспечением.

Непосредственные затраты студента складываются из затрат на: канцелярские товары, печатную бумагу и принтер.

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (38)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Исполнение 1 соответствует разработанной системе. Исполнение 2 принимаем за существующий вариант разработки.

Принимаем значение интегрального финансового показателя равным единице для обоих вариантов исполнения.

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

$$I_{pi} = \sum \alpha_i \cdot b_i, \quad (39)$$

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

$\alpha_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки.

Сравнение вариантов проекта представлено в таблице 33.

Таблица 33 – Сравнительная оценка вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исполнитель 1	Исполнитель 2
1. Способствует росту производительности труда системы	0,15	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,1	4	4
3. Помехоустойчивость	0,1	3	3
4. Энергосбережение	0,09	4	5
5. Надежность	0,18	4	3
6. Безопасность	0,18	4	4
7. Срок эксплуатации	0,2	5	4
ИТОГО	1		

$$I_{p-исп1} = 5 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,09 + 4 \cdot 0,18 + 4 \cdot 0,18 + 5 \cdot 0,2 = 4,25; \quad (40)$$

$$I_{p-исп2} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,09 + 3 \cdot 0,18 + 4 \cdot 0,18 + 4 \cdot 0,2 = 3,81. \quad (41)$$

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

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр1}}, \quad I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр2}}. \quad (42)$$

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

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (43)$$

Сравнение эффективности представлено в таблице 34.

Путем сравнения вариантов исполнения приходим к выводу, что исполнение 1 является более эффективным решением задачи с позиции ресурсной эффективности.

Таблица 34 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исполнение 1	Исполнение 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	3,81
3	Интегральный показатель эффективности	4,25	3,81
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,115	1

## **4 Социальная ответственность**

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

Объектом исследования является рабочее место оператора. В процессе осуществления трудовой деятельности на оператора могут оказывать воздействие производственные факторы, такие как: шум, влажность воздуха, температура воздуха, электромагнитное излучение, недостаточная освещенность. Для сохранения здоровья работника предусмотрен ряд мер, обеспечивающих безопасность трудовой деятельности.

Рабочее место оператора представляет собой закрытое, отапливаемое, вентилируемое помещение площадью 20 м<sup>2</sup>, в котором установлен персональный компьютер.

Рабочее место должно быть организовано в соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 [35].

Рабочие места с персональными компьютерами по отношению к световым проемам должны располагаться так, чтобы естественный свет падал сбоку, желательно слева. Стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики. Целесообразно применение столов, имеющих отдельную от основной столешницы специальную рабочую поверхность для размещения клавиатуры. Используются рабочие столы с регулируемой и нерегулируемой высотой рабочей поверхности. При отсутствии регулировки высота стола должна быть в пределах (680 – 800) мм [36].

Глубина рабочей поверхности стола должна составлять 800 мм (допускаемая не менее 600 мм), ширина – соответственно 1 600 мм и 1 200 мм. Рабочая поверхность стола не должна иметь острых углов и краев, иметь матовую или полуматовую фактуру. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм [36].

Клавиатура должна располагаться на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, обращенного к пользователю [36].

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600 – 700 мм), но не ближе 500 мм [36].

Для обеспечения физиологически рациональной рабочей позы, создания условий для ее изменения в течение рабочего дня применяются подъемно-поворотные рабочие стулья с сиденьем и спинкой, регулируемые по высоте и углам наклона, а также расстоянию спинки от переднего края сидения [36].

Конструкция стула должна обеспечивать:

- ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм;
- поверхность сиденья с закругленным передним краем;
- регулировку высоты поверхности сиденья в пределах (400 – 550) мм и углом наклона вперед до  $15^\circ$  и назад до  $5^\circ$ ;
- высоту опорной поверхности спинки ( $300 \pm 20$ ) мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости 400 мм;
- угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах ( $0 \pm 30$ )  $^\circ$ ;
- регулировку расстояния спинки от переднего края сидения в пределах (260 – 400) мм;
- стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной (50 – 70) мм;
- регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах ( $230 \pm 30$ ) мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах (350 – 500) мм;
- поверхность сиденья, спинки и подлокотников должна быть полумягкой, с нескользящим не электризующимся, воздухопроницаемым покрытием, легко очищаемым от загрязнения [36].

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до  $20^\circ$

градусов. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм [36].

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности. При 8-часовой рабочей смене и работе на ПК регламентированные перерывы следует устанавливать через 2 часа от начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый [36].

## **4.2 Производственная безопасность**

Анализ опасных и вредных факторов, которые оказывают влияние на оператора, работающего за компьютером, проводился согласно ГОСТ 12.0.003-2015, результаты приведены в таблице 35 [37].

### **4.2.1 Освещенность**

Освещение рабочего места оператора является особенно важным. Недостаточное освещение является вредным фактором, который приводит к ухудшению зрения и вызывает утомление, поэтому освещение должно быть таким, чтобы работник мог выполнять свою работу без напряжения. Показатели естественного, искусственного и совместного освещения указаны в таблице 36 [38].

Из показателей видно, что освещенность рабочего места должна составлять (200 – 400) лк при общем освещении, а коэффициент естественного освещения (КЕО) должен быть не ниже 1,2 %.

В помещении используется комбинированное освещение. Произведем расчёты естественного и искусственного освещения согласно СНиП 23.05-95 «Естественное и искусственное освещение» [38].

Таблица 35 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этап работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Недостаточная освещенность рабочего места;		+	+	Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [26]; Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [31]; Электромагнитные поля в производственных условиях СанПиН 2.2.4.1191-03 [32]; Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96 [30]; Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты ГОСТ Р 12.1.019-2009 [38];
2. Повышенный уровень шума на рабочем месте;	+	+	+	
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений;	+		+	
4. Повышенная или пониженная влажность воздуха;	+	+	+	
5. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;	+	+	+	
6. Повышенный уровень статического электричества.	+		+	
7. Электрический ток	+		+	

Таблица 36 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

Помещения	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Г - горизонтальная, В - вертикальная) и высота плоскости над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение				
		КЕО $e_n$ , %		КЕО $e_n$ , %		освещенность, лк		показатель дисконтности $M$ , не более	коэффициент пульсации освещенности, Кп, % не более	
		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении	при общем освещении			
Помещения для работы с дисплеями и видео терминалами, залы ЭВМ	Г-0,8 Экран монитора: В-1,2	3,5 –	1,2 –	2,1 –	0,7 –	500 –	300 –	400 200	15 –	10 –

Операторная имеет размеры  $4 \times 5 \times 2,5$  м, в которой установлено 2 окна размером  $1,6 \times 1,8$  м. Освещение является боковым, односторонним.

Рассчитаем эквивалентную площадь световых проемов  $S_{\text{экв}}$  по формуле:

$$S_{\text{экв}} = N \cdot S_{\text{окна}} = 2 \cdot 1,6 \cdot 1,8 = 5,76 \text{ м}^2, \quad (44)$$

где  $N$  – количество окон, штук;

$S_{\text{окна}}$  – площадь окна,  $\text{м}^2$ .

Вычислим площадь помещения  $S$  по формуле:

$$S = 4 \cdot 5 = 20 \text{ м}^2. \quad (45)$$

Для расчета коэффициента естественного освещения понадобятся следующие величины:

а)  $n_0$  равная 9 – световая характеристика окна, зависящая от глубины помещения, выступа окна и соотношения длин сторон;

б)  $K_{\text{зд}}$  равная 1,2 – коэффициент, учитывающий уменьшение КЕО от затемнения противостоящим зданием;

в)  $r_1$  равная 3 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отраженному от внутренних поверхностей;

г)  $t_0$  – общий коэффициент светопропускания равен 0,27.

Рассчитаем коэффициент естественного освещения по формуле:

$$\text{КЕО} = \frac{S_{\text{экв}} \cdot t_0 \cdot r_1 \cdot 100}{S \cdot n_0 \cdot K_{\text{зд}}} = \frac{5,76 \cdot 0,27 \cdot 3 \cdot 100}{20 \cdot 9 \cdot 1,2} = 2,16. \quad (46)$$

Получили, что КЕО соответствует нормам согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [35].

В качестве источников искусственного освещения используются лампы ЛБ-40 в количестве  $N$  равное 8 штук. Световой поток лампы  $F$  равный 2800 лм. Коэффициент запаса  $k$  равный 1,5, данный коэффициент учитывает запыленность светильников. Коэффициент  $z$  равный 1,1, этот коэффициент отражает неравномерность освещения.

Рассчитаем индекс помещения по формуле:

$$i = \frac{S}{(h-h_c-h_{p,п}) \cdot (a+b)}, \quad (47)$$

где  $S$  – площадь помещения;

$a$  и  $b$  – длина и ширина помещения;

$h$  – высота помещения;

$h_c$  равно 0,2 м – расстояние от перекрытия до светильника;

$h_{p,п}$  равно 0,8 м – расстояние от пола до рабочей поверхности.

Индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(h-h_c-h_{p,п}) \cdot (a+b)} = \frac{20}{(2,5-0,2-0,8) \cdot (4+5)} = 1,48. \quad (48)$$

По соответствующей таблице [39] определяем коэффициент использования светового потока (исходя из индекса помещения)  $n$  равен 0,55.

Вычислим освещенность по формуле:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n}{S \cdot z \cdot k} = \frac{2800 \cdot 8 \cdot 0,55}{20 \cdot 1,1 \cdot 1,5} = 373,3 \text{ лк}. \quad (49)$$

Используемая система искусственного освещения удовлетворяет нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [39].

#### 4.2.2 Микроклимат

Микроклимат помещения – это комплекс физических факторов внутренней среды помещения, которые оказывают влияние на здоровье человека [40].

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 показателями, характеризующими микроклимат в помещениях, являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения [41].

Следует отметить что работа оператора относится к категории легких работ (1а). Оптимальные и допустимые значения параметров микроклимата,

согласно СанПиН 2.2.4.548-96 для категории работа (1а) отражены в таблицах 37, 38 [41].

Таблица 37 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	(22 - 24)	(21 - 25)	(60 - 40)	0,1
Теплый	Ia (до 139)	(23 - 25)	(22 - 26)	(60 - 40)	0,1

Таблица 38 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категории работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	(20,0 - 21,9)	(24,1 - 25,0)	(19,0 - 26,0)	(15 - 75)	0,1	0,1
Теплый	Ia (до 139)	(21,0 - 22,9)	(25,1 - 28,0)	(20,0 - 29,0)	(15 - 75)	0,1	0,2

Для поддержания параметров микроклимата в диапазоне оптимальных на рабочем месте применяются следующие мероприятия: устройство систем вентиляции, кондиционирование воздуха и отопление помещения.

#### 4.2.3 Уровень шума

На рабочем месте специалиста может быть подвергнут вредному производственному фактору – шуму, источниками являются: осветительные приборы, кондиционер, вентиляция и звуки, доносящиеся с улицы. Шум оказывает влияние на органы слуха, а также на всю нервную систему, тем самым ослабляя внимание работника.

Предельные уровни звукового давления и предельные уровни звука согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 приведены в таблице 39 [42].

Таблица 39 – Предельные уровни звукового давления и предельные уровни звука

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рабочие места в помещениях дирекции, проектно-конструкторских бюро, расчетчиков, программистов в вычислительных машин.	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

В качестве средств коллективной защиты можно применять: звукопоглощающие материалы, звукоизоляцию, акустические экраны.

В качестве средств индивидуальной защиты работник может использовать специальные противoshумные наушники.

Одним из самых простых и действенных способов облегчения работы, является отдых, поэтому целесообразно устраивать кратковременные перерывы в течении рабочего дня при отсутствующих источниках шума.

#### 4.2.4 Электромагнитное излучение

В нашем случае основным источником электромагнитных излучений является дисплей компьютера. Рассмотрим нормы напряженностей магнитного и электрического полей согласно СанПиН 2.2.4.1191-03 (таблица 40) [43].

Таблица 40 – Предельно допустимые уровни постоянного магнитного поля

Время воздействия за рабочий день, минуты	Условия воздействия			
	Общее		Локальное	
	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл	ПДУ напряженности, кА/м	ПДУ магнитной индукции, мТл
0-10	24	30	40	50
11-60	16	20	24	30
61-480	8	10	12	15

Предельно допустимый уровень напряженности электрического поля 50 Гц, на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м [43].

При напряженностях в интервале от 5 до 20 кВ/м включительно допустимое время пребывания в электрическом поле (час) рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{50}{E} - 2, \quad (50)$$

где  $E$  - напряженность ЭП в контролируемой зоне, кВ/м;

$T$  - допустимое время пребывания в электрическом поле при соответствующем уровне напряженности, час [43].

При напряженности от 20 до 25 кВ/м допустимое время пребывания в электрическом поле составляет 10 мин. Пребывание в электрическом поле с напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается [43].

Рассмотрим уровни электромагнитных полей (ЭМП), создаваемых ПЭВМ. Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 указаны в таблице 41 [44].

Таблица 41 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот (5 – 2) кГц	25 В/м
	в диапазоне частот (2 – 400) кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот (5 – 2000) Гц	250 нТл
	в диапазоне частот (2 – 400) кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

В качестве защиты от вредного воздействия электромагнитных полей проводятся следующие мероприятия:

- регламентированные перерывы;
- применение экранов и фильтров;
- увеличение расстояния от источника излучения;
- применение средств индивидуальной защиты.

#### **4.2.5 Электрический ток**

Рабочее помещение, где установлены персональные компьютеры, относится к помещениям без повышенной опасности, однако существует опасность поражения электрическим током в случае неисправности изоляции проводов и повреждении корпуса системного блока.

Одним из важных мероприятий для обеспечения безопасности является заземление оборудования, путем подключение заземляющего проводника к общей шине заземления.

Организационные мероприятия для защиты от поражения электрическим током:

- перед началом работы оператор должен убедиться в отсутствии висящих проводов, в целостности провода питания, а также в отсутствии видимых токоведущих частей;

- оператору запрещается прикасаться к задней панели системного блока при включенном питании;

- оператору запрещается самостоятельное вскрытие и ремонт оборудования;

- все работы по устранению неисправностей должен проводит квалифицированный персонал с исправным инструментом;

- оператор должен не допускать попадание влаги на поверхность устройств.

#### **4.3 Экологическая безопасность**

В наше время проблема, связанная с загрязнением окружающей среды, становится глобальной. Для того чтобы жить в чистом и безопасном мире человечество должно совершенствовать существующие и разрабатывать новые технические средства защиты окружающей среды. На текущий момент техника и технологии позволяют сократить выбросы токсичных и вредных веществ, но для обеспечения чистоты в долгосрочной перспективе, люди должны создавать

замкнутые, безотходные производств, а мусор и отходы должны подвергаться переработке.

В данном случае отходами будут являться части ПЭВМ, в частности электронные платы. Необходимо не просто выбрасывать электронные компоненты на свалки, а производить утилизацию и переработку.

Электронные отходы представляют собой большую опасность для окружающей среды, надо помнить, что на производство персональных компьютеров уходят значительные доли золота, серебра и палладия, добываемых ежегодно во всем мире. Конечно, в каждом отдельном компьютере драгоценных металлов содержится мизерное количество, но если рассматривать общемировое производство, то этим количеством уже пренебрегать неразумно. Следует отметить, что концентрация этих драгоценных металлов в печатных платах более чем в десять раз превышает их концентрацию в добываемой руде. Однако переработка печатных плат технологически сложный процесс из-за неоднородности материалов, ведь они состоят из множества разнородных компонентов [45].

Печатная плата является одним из наиболее важных компонентов электронного оборудования. Она представляет собой платформу, на которой устанавливаются и связываются между собой микроэлектронные компоненты, такие как полупроводниковые микросхемы и конденсаторы. Переработка плат включает в себя три типа обработки: предварительная обработка, физическая переработка и химическая переработка. Предварительная обработка включает в себя демонтаж многоразовых и токсичных элементов, измельчение или разделение. Затем следует физическая переработка. Потом материалы извлекают путем химического процесса переработки [45].

#### **4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д [42].

Операторная относится к категории «В1-В4». Краткая характеристика категории приведена в таблице 42 [46].

Таблица 42 – Характеристика категории

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
В1 – В4 пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б

Причинами возгорания могут стать короткое замыкание и перегрузка электросети, поэтому необходим правильный монтаж электрической сети, а также соблюдение режима эксплуатации электрических приборов. Рассмотрим подробнее противопожарные мероприятия.

Организационные мероприятия:

- издание планов эвакуации, плакатов, инструкций;
- обучение персонала правилам противопожарной безопасности и контроль знаний;
- проведение противопожарного инструктажа персонала.

Эксплуатационные мероприятия:

- свободный проход к оборудованию;
- поддержание исправности изоляции проводников;
- соблюдение эксплуатационных норм.

Технические мероприятия:

- в помещении установлен углекислотный огнетушитель ОУ-8, на входной двери находится план эвакуации в случае пожара, а также на досягаемом расстоянии находится пожарный щит;
- световая индикация;
- звуковое оповещение в виде громкоговорителя;
- пассивные датчики задымленности;
- профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

В случае возникновения ЧС – пожар, необходимо действовать в соответствии со следующим распоряжением:

– убедиться в срабатывании системы пожаротушения, если по каким-то причинам система не сработала и не включила оповещение, включить ручную; если система не передала сигнал в службу пожаротушения, то сообщить по телефону 01.

– в случае отсутствия прямой угрозы здоровью и жизни произвести попытку самостоятельного тушения возгорания;

– при потере контроля над пожаром, необходимо эвакуироваться из здания в соответствии с планом эвакуации;

– ожидать приезда специалистов.

## Заключение

В результате выполнения работы была модернизирована система автоматизированного управления блочной кустовой насосной станции. Были разработаны техническое задание, структурная схема и функциональная схема автоматизации, позволяющие определить состав необходимого оборудования. Для автоматизации БКНС, были выбраны различные датчики. Все датчики обладают унифицированным выходным сигналом (4 – 20) мА. В качестве промышленного логического контроллера выбрал ОВЕН ПЛК 160. Исполнительные устройства: насос ЦНС 240 с синхронным электродвигателем СТДМ-1600, тиристорный преобразователь частоты ТПЧ-6/1600, насос маслосистемы НМШ 8-25 .

В данной работе была разработана схема внешних проводок, которая позволяет понять систему передачи сигналов от устройств нижнего уровня (полевого) на щит контрольно-измерительных приборов и автоматики и АРМ оператора. Для наглядности порядка сбора и хранения информации была также разработана схема информационных потоков. Для управления технологическим процессом были разработаны алгоритмы пуска/останова технологического оборудования. Разработана математическая модель системы и рассчитаны параметры настройки регулятора по методу Циглера-Никольса и Chien, Hrones, Reswick с последующим подбором параметров вручную. Провели анализ системы при возмущающем воздействии и шумах в цепи обратной связи. Проверили систему на робастность. Проведя все эти исследования, пришли к выводу, что система слабо реагирует на возмущения и шумы и практически не реагирует по возмущению на изменение параметров объекта управления в пределах 30%, то есть является робастной по возмущению. Таким образом, система может применяться для регулирования и стабилизации давления в пласте.

## Список использованных источников

1. Острогорский М. Автоматизированная система с точки зрения ГОСТ 34. Продолжение, 2008 [Электронный ресурс] – URL: <http://philosoft-services.com/gost34asconcept2.zhtml> – дата обращения: 20.04.2019.
2. Введение [Электронный ресурс] – URL: <https://studfiles.net/preview/5672533/> – дата обращения: 20.04.2019.
3. Интерфейс [Электронный ресурс] – URL: <https://vuzlit.ru/1025500/interfeys> – дата обращения: 20.04.2019.
4. Wikipedia: Протокол передачи данных [Электронный ресурс] – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Протокол\\_передачи\\_данных](https://ru.wikipedia.org/wiki/Протокол_передачи_данных) – дата обращения: 20.04.2019.
5. Тег [Электронный ресурс] – URL: <http://wp.wiki-wiki.ru/wp/index.php/%D0%A2%D0%B5%D0%B3> – дата обращения: 20.04.2019..
6. Техническое задание [Электронный ресурс] – URL: <https://studfiles.net/preview/5022556/> – дата обращения: 20.04.2019.
7. Стандарт компании. Автоматизированные системы управления технологическими процессами нефтегазодобычи. Требования к функциональным характеристикам. – М.: Роснефть, 2014.
8. Функциональные схемы автоматизации [Электронный ресурс] – URL: [https://studopedia.su/6\\_54445\\_funktsionalnie-shemi-avtomatizatsii.html](https://studopedia.su/6_54445_funktsionalnie-shemi-avtomatizatsii.html) – дата обращения: 20.04.2019.
9. ПЛК160 контроллер для средних систем автоматизации с AI/DI/DO/AO [Электронный ресурс] – URL: <https://www.owen.ru/product/plk160> – дата обращения: 5.05.2019.
10. Simatik market интернет-магазин техники автоматизации Siemens [Электронный ресурс] – URL: <http://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10000732/info> – дата обращения: 5.05.2019.
11. DVP-SX2 Программируемые логические контроллеры Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс] – URL: [https://cepra.ru/files/docs/plc/DVP-SX2\\_manual.pdf](https://cepra.ru/files/docs/plc/DVP-SX2_manual.pdf) – дата обращения: 5.05.2019.

12. ДМ5007Ех [Электронный ресурс] – URL: <http://www.manotom-tmz.ru/catalog/elektronnye/malogabaritnye-datchiki-davleniya/el/dm5007ex/> – дата обращения: 5.05.2019.
13. Интеллектуальные датчики давления Метран-150 [Электронный ресурс] – URL: [http://www.td-utr.ru/production/datchiki-davleniya-metran/intellektualnye-datchiki-davleniya-metran-150?yclid=7555603593318128\\_111](http://www.td-utr.ru/production/datchiki-davleniya-metran/intellektualnye-datchiki-davleniya-metran-150?yclid=7555603593318128_111) – дата обращения: 5.05.2019.
14. Датчики давления Rosemount 3051 [Электронный ресурс] – URL: [http://metr-k.ru/files/products/rosemount/rosemount-3051/Rosemount\\_3051\\_datchiki\\_davleniya.pdf](http://metr-k.ru/files/products/rosemount/rosemount-3051/Rosemount_3051_datchiki_davleniya.pdf) – дата обращения: 5.05.2019.
15. Группа компаний «ГРАНТ». Производство и разработка датчиков и приборов для нефтяной промышленности [Электронный ресурс] – URL: <http://www.grant-ufa.ru/products/amt/> – дата обращения: 5.05.2019.
16. САПФИР-22МП-ДУ [Электронный ресурс] – URL: <http://skbr.ru/catalog/preobrazovateli-urovnya/sapfir-22mp-du/> – дата обращения: 5.05.2019.
17. Лекция №9 "Технические средства измерения и контроля уровня среды" [Электронный ресурс] – URL: [http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/%40Elektricheskie\\_apparat%40i\\_i\\_%40element%40i\\_A%40EP/Teory/Modul2/Lection4.htm#BuykUravn](http://lib.kstu.kz:8300/tb/books/%40Elektricheskie_apparat%40i_i_%40element%40i_A%40EP/Teory/Modul2/Lection4.htm#BuykUravn) – дата обращения: 5.05.2019.
18. УРОВНЕМЕРЫ БУЙКОВЫЕ BW25 [Электронный ресурс] – URL: [https://krohne.com/fileadmin/content/Picture\\_Gallery/KROHNE\\_companies/Russia/Manuals/BW\\_25\\_Manual.pdf](https://krohne.com/fileadmin/content/Picture_Gallery/KROHNE_companies/Russia/Manuals/BW_25_Manual.pdf) – дата обращения: 5.05.2019.
19. Новейшие технологии и лучшие средства измерений для автоматизации Вашего предприятия от компании Emerson Process Management [Электронный ресурс] – URL: [http://metr-k.ru/files/catalogs/Datchiki\\_temperatury\\_2012.pdf](http://metr-k.ru/files/catalogs/Datchiki_temperatury_2012.pdf) – дата обращения: 5.05.2019.

20. Вихревой расходомер ЭМИС-ВИХРЬ 200. Измерение расхода газа, пара, жидкости [Электронный ресурс] – URL: [https://emis-kip.ru/ru/prod/vihrevoj\\_rashodomer/#teh](https://emis-kip.ru/ru/prod/vihrevoj_rashodomer/#teh) – дата обращения: 5.05.2019.

21. Роторный счетчик ЭМИС-ДИО 230 [Электронный ресурс] – URL: [https://emis-kip.ru/ru/prod/rotornyj\\_schetchnik/#teh](https://emis-kip.ru/ru/prod/rotornyj_schetchnik/#teh), – дата обращения: 5.05.2019.

22. Электромагнитный расходомер ЭМИС-МАГ 270 [Электронный ресурс] – URL: [https://emis-kip.ru/ru/prod/elektromagnitnyj\\_rashodomer/#teh](https://emis-kip.ru/ru/prod/elektromagnitnyj_rashodomer/#teh) – дата обращения: 5.05.2019.

23. Общее описание датчиков виброскорости с токовым выходом ДВСТ [Электронный ресурс] – URL: <http://vibroprbor.ru/products/datchiki-vibroskorosti/15/> – дата обращения: 5.05.2019.

24. Датчики вибрации [Электронный ресурс] – URL: [http://www.devicesearch.ru.com/article/datchiki\\_vibracii](http://www.devicesearch.ru.com/article/datchiki_vibracii) – дата обращения: 5.05.2019.

25. Датчики переменного тока [Электронный ресурс] – URL: <https://www.priborelektro.ru/product/catalog/datchiki-peremennogo-toka-77> – дата обращения: 5.05.2019.

26. Портной Г. Я. Общие вопросы электромеханики, 2010 [Электронный ресурс] – URL: <http://jurnal.vniiem.ru/text/116/3.pdf> – дата обращения: 5.05.2019.

27. Индикаторы высокого напряжения (ИВН) 6-10 кВ стационарные, производства ООО "НПО "Эковакуум" [Электронный ресурс] – URL: <http://ecovacuum.ru/ivn.html> – дата обращения: 5.05.2019.

28. ЦНС 240 1050 [Электронный ресурс] – URL: <https://tgmash.ru/produkcija/cns-240-1050> – дата обращения: 10.05.2019.

29. Высоковольтные многоуровневые преобразователи частоты «Эратон-В» [Электронный ресурс] – URL: <https://erasib.ru/produkcija/vysokokovoltnye-preobrazovateli/eraton-v> – дата обращения: 10.05.2019.

30. Высоковольтные преобразователи частоты «Л-Старт» серии ВПЧ [Электронный ресурс] – URL: [http://sibmech.ru/netcat\\_files/userfiles/doc/electroprivod/buklet\\_VPChA.pdf](http://sibmech.ru/netcat_files/userfiles/doc/electroprivod/buklet_VPChA.pdf) – дата обращения: 10.05.2019.

31. Высоковольтные частотные преобразователи серии СТА-В9.HVI (3 кВ, 6 кВ, 10 кВ) [Электронный ресурс] – URL: [http://www.gu-sta.ru/download/pdf\\_chp/sta-b9.hvi.pdf](http://www.gu-sta.ru/download/pdf_chp/sta-b9.hvi.pdf) – дата обращения: 10.05.2019.

32. Шестеренные насосы Ш, НМШ [Электронный ресурс] – URL: <http://www.1057567.ru/catalog.aspx?nid=749> – дата обращения: 10.05.2019.

33. Кабель контрольный КВВГЭнг [Электронный ресурс] – URL: <https://elektrika-ok.ru/tovary/elektricheskiy-kabel/kabel-kontrolnyj-kvvgeng> – дата обращения: 10.05.2019.

34. Расчет параметров [Электронный ресурс] – URL: [https://www.bookasutp.ru/Chapter5\\_5.aspx](https://www.bookasutp.ru/Chapter5_5.aspx) – дата обращения: 10.05.2019.

35. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении сидя. Общие эргономические требования [Электронный ресурс] – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/31970> – дата обращения: 15.05.2019.

36. Организация рабочего места при работе за компьютером [Электронный ресурс] – URL: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/organizaciya-raboty-za-kompyuterom.html> – дата обращения: 15.05.2019.

37. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные факторы. Классификация [Электронный ресурс] – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62075> – дата обращения: 15.05.2019.

38. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс] – URL: <https://www.internet-law.ru/stroyka/text/1898> – дата обращения: 15.05.2019.

39. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий [Электронный ресурс] – URL: <https://www.internet-law.ru/stroyka/text/11776> – дата обращения: 15.05.2019.

40. Понятие «микроклимат». Комплексное действие физических факторов окружающей среды на организм. Методы оценки

[Электронный ресурс] – URL: <https://megaobuchalka.ru/10/25585.html> – дата обращения: 15.05.2019.

41. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы [Электронный ресурс] – URL: <https://internet-law.ru/stroyka/text/5225> – дата обращения: 15.05.2019.

42. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки [Электронный ресурс] – URL: <https://www.internet-law.ru/stroyka/text/5212> – дата обращения: 15.05.2019.

43. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях [Электронный ресурс] – URL: <https://internet-law.ru/stroyka/text/39144> – дата обращения: 15.05.2019.

44. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [Электронный ресурс] – URL: <https://www.internet-law.ru/stroyka/text/39082> – дата обращения: 15.05.2019.

45. Как осуществляется переработка электроники [Электронный ресурс] – URL: <https://nature-time.ru/2015/03/kak-osushhestvlyaetsya-pererabotka-elektroniki> – дата обращения: 15.05.2019.

46. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс] – URL: <https://internet-law.ru/stroyka/text/11705> – дата обращения: 15.05.2019.

**Приложение А  
(обязательное)  
Структурная схема**

Верхний уровень

АРМ оператора



Ethernet

Средний уровень

Контроллер



Нижний уровень

4 – 20 мА



ФЮРА.425280.005.01

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Афанасьев А. А.		
Провер.		Тутов И. А.		
Т.контроль				
Н.контроль				
Утв.				

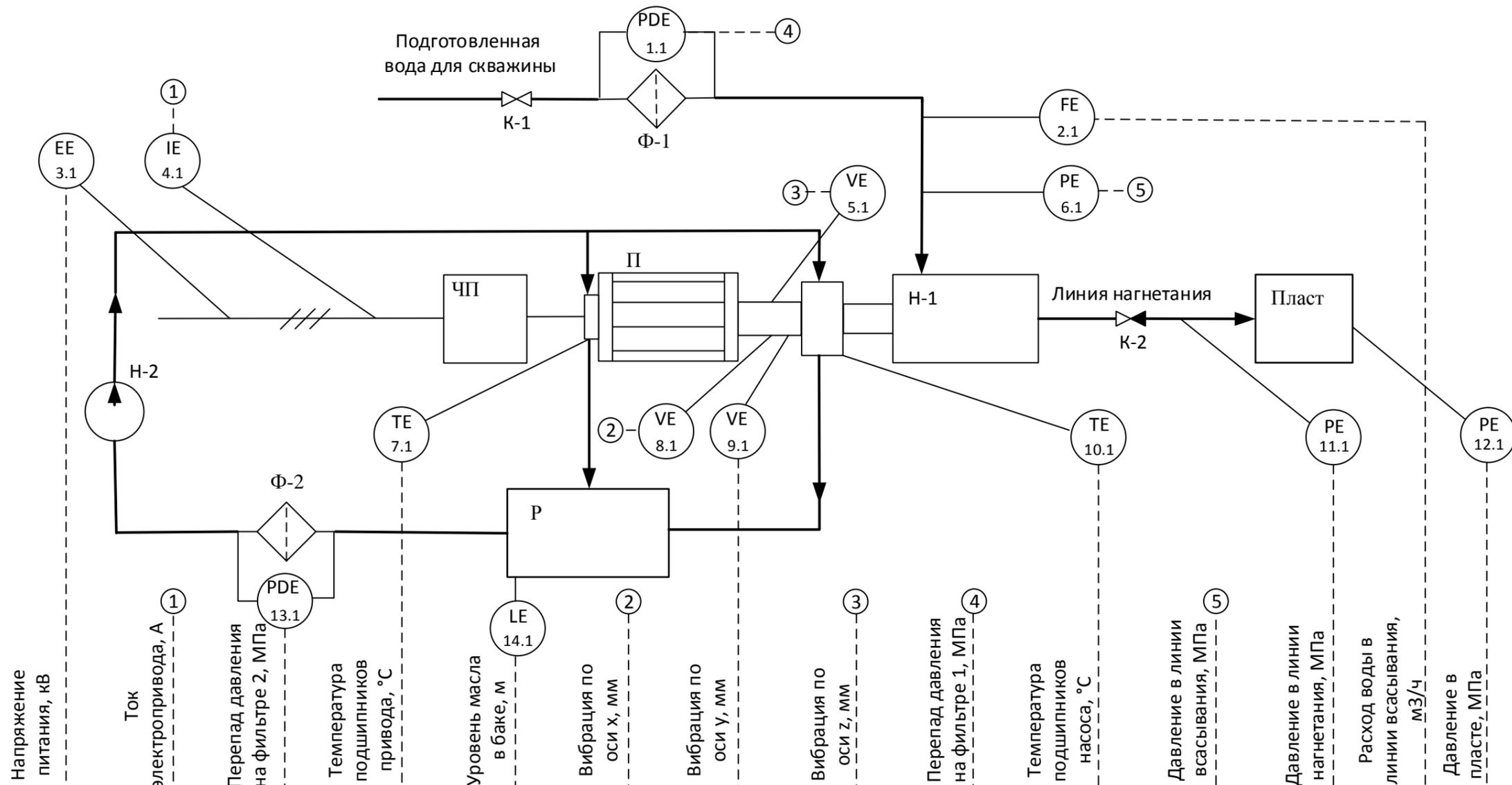
Модернизация АС  
управления БКС

Лит.	Масса	Масштаб
У		
Лист		Листов

Структурная схема

ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т5А

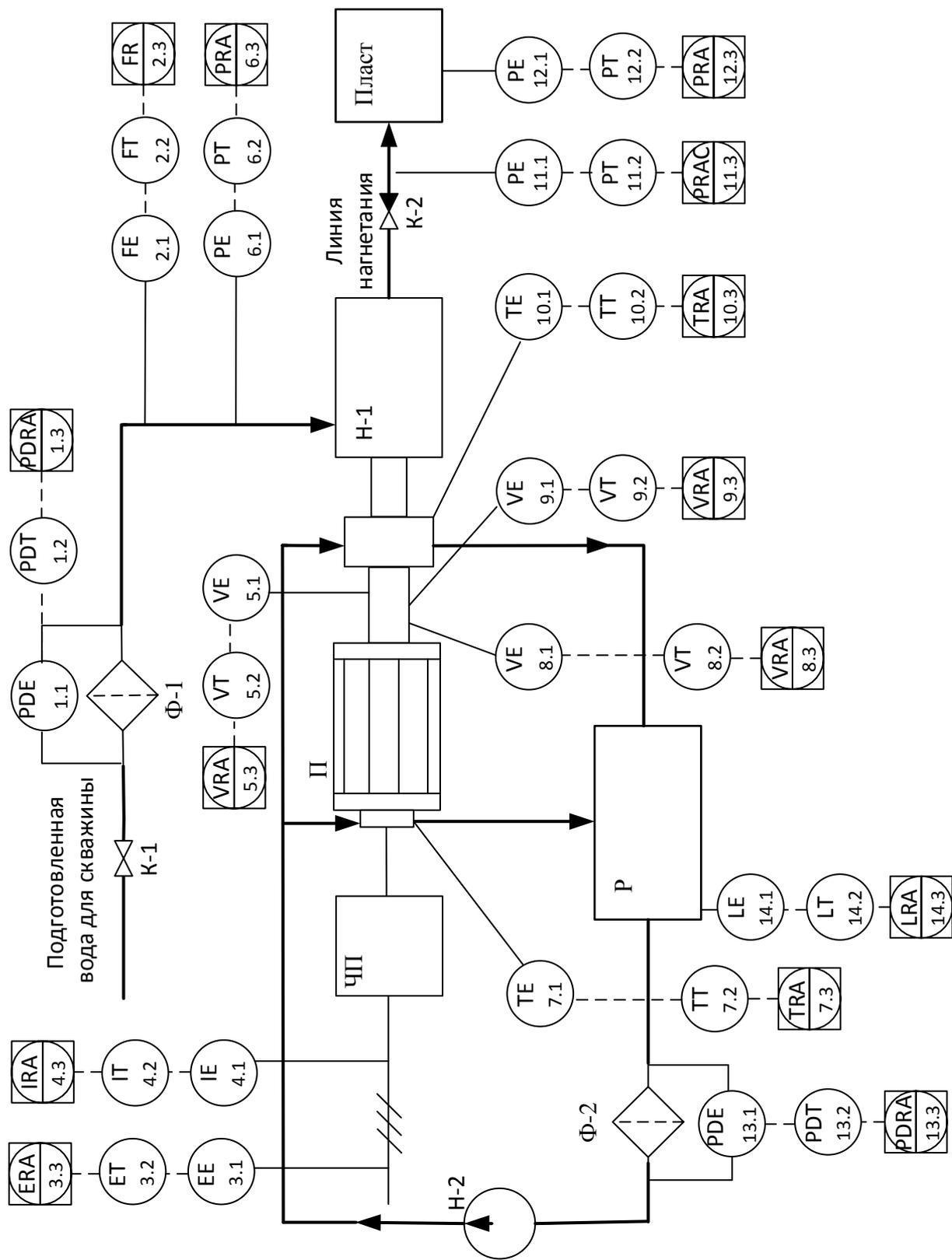
**Приложение Б**  
**(обязательное)**  
**Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013**



По месту	ET 3.2	IT 4.2	PDT 13.2	TT 7.2	LT 14.2	VT 8.2	VT 9.2	VT 5.2	PDT 1.2	TT 10.2	PT 6.2	PT 11.2	FT 2.2	PT 12.2
Щит оператора	ERA 3.2	IRA 4.2	PDRA 13.2	TRA 7.2	LRA 14.2	VRA 8.2	VRA 9.2	VRA 5.2	PDRA 1.2	TRA 10.2	PRA 6.2	PRA 11.2	PC 12.3	PRA 12.2
SCADA	измерение	сигнализация	управление											

					<b>ФЮРА.425280.005.02</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Модернизация АС управления БКС</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Афанасьев А. А.					у		
Провер.	Туттов И. А.					Лист	Листов	
Т.контроль								
Н.контроль					<b>Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.208-2013</b>			<b>ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т5А</b>
Утв.								

**Приложение В**  
**(обязательное)**  
**Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA-5.1-2009**



ФЮРА.425280.005.03

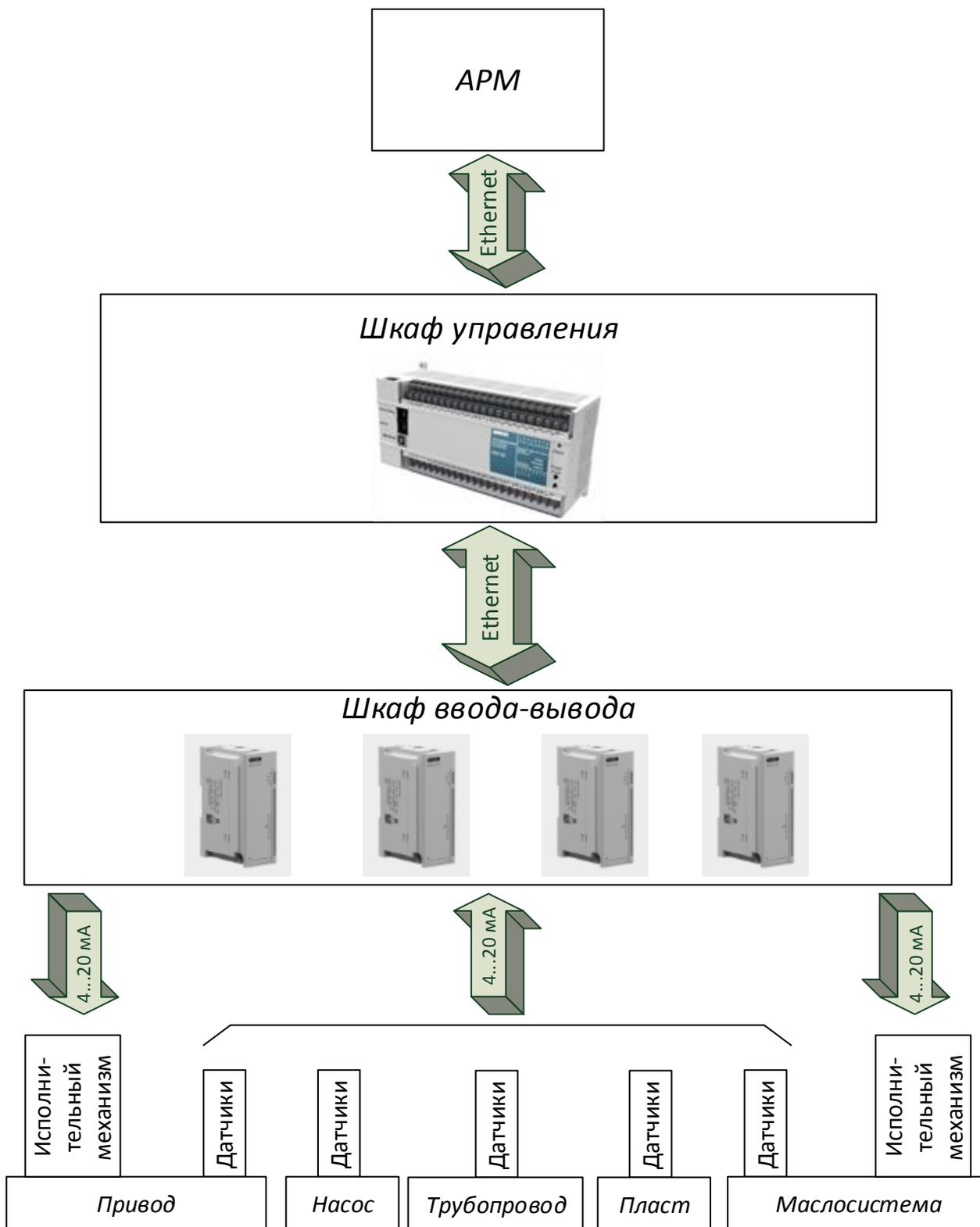
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Афанасьев А. А.		
Провер.		Тутов И. А.		
Т.контроль				
Н.контроль				
Утв.				

Модернизация АС  
управления БЭС

Функциональная схема  
автоматизации по ANSI/ISA-S  
5.1-2009

Лит.	Масса	Масштаб
У		
Лист	Листов	
ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т5А		

**Приложение Г**  
**(обязательное)**  
**Схема информационных потоков**



					<b>ФЮРА.425280.005.04</b>		
					<b>Модернизация АС управления БКНС</b>		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	У		
Разраб.		Афанасьев А. А.					
Провер.		Тутов И. А.					
Т.контроль						Лист	Листов
					<b>Схема информационных потоков</b>		
Н.контроль					ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т5А		
Утв.							

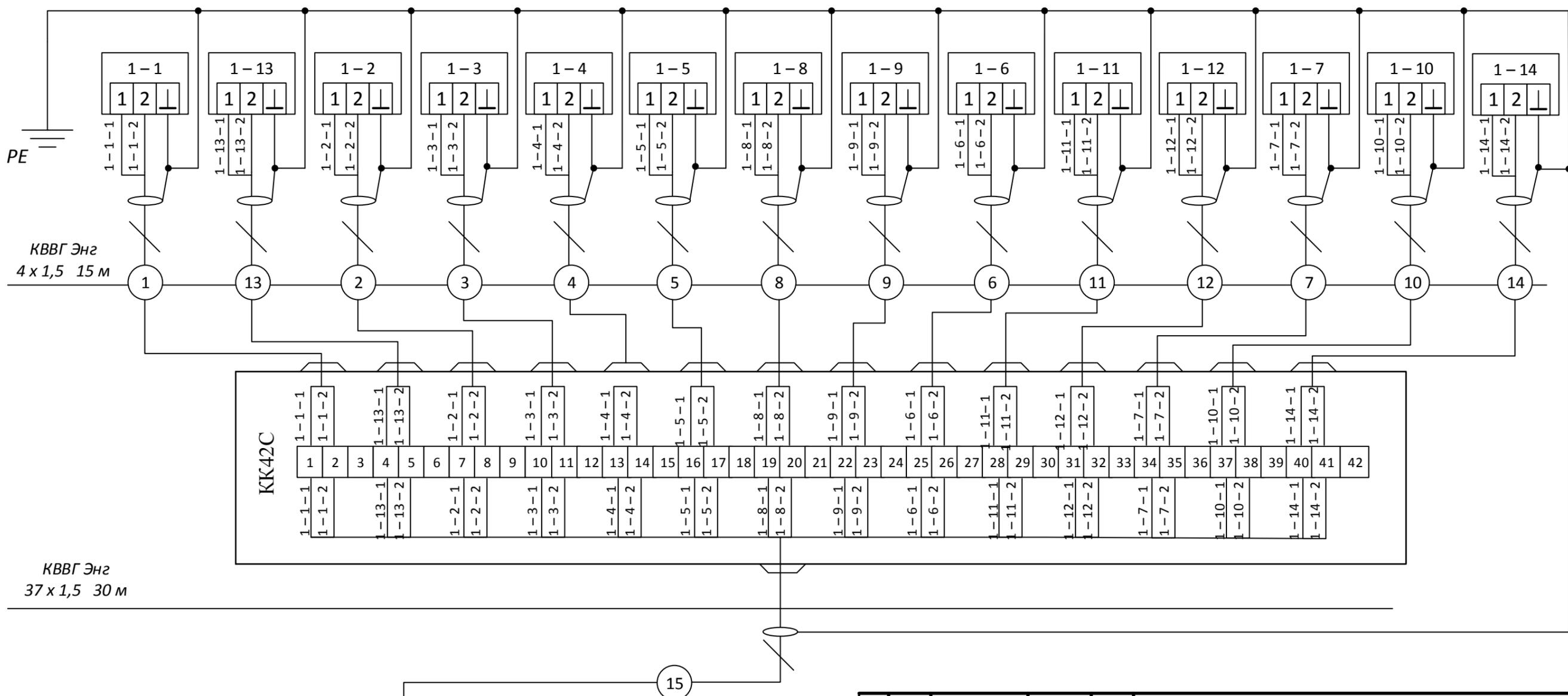
**Приложение Д**  
**(обязательное)**  
**Опросный лист для датчиков давления Метран-150**

\* - поля, обязательные для заполнения!

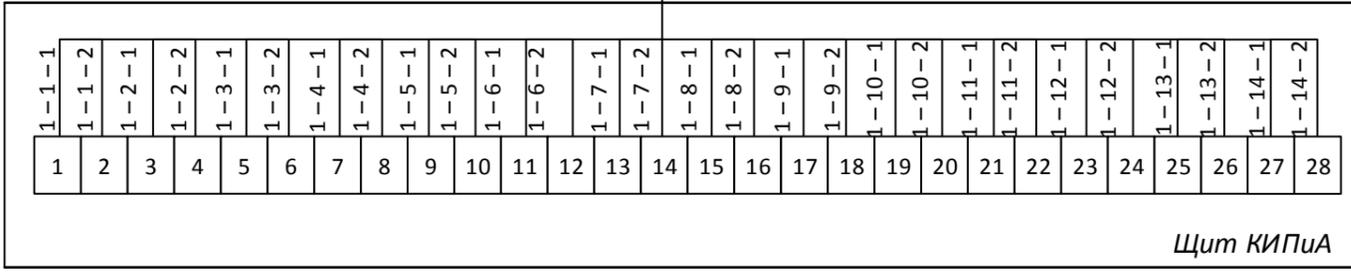
Общая информация		
Предприятие *:	ТПУ	Дата заполнения: 22.04.2019
Контактное лицо *:	Афанасьев А.А.	Тел. / факс *:
Адрес *:	Томск, пр. Ленина 2	E-mail:
Опросный лист №	1	Количество *:
	Позиция по проекту:	1
Требования к датчику		
Измеряемый параметр *	<input type="checkbox"/> Избыточное давление <input checked="" type="checkbox"/> Абсолютное давление <input type="checkbox"/> Перепад давления <input type="checkbox"/> Разрежение <input type="checkbox"/> Давление-Разрежение	
Измеряемая среда	Вода	
Диапазон измерения (шкала прибора) *	от 0,5 до 25 Мпа	
Требуемая основная приведенная погрешность измерения	0,075%	
Температура окружающей среды	от -55 до 80,0С	
Температура измеряемой среды	от 0 до 80,0С	
Рабочее избыточное давление (для датчиков перепада давления) *		
Требования к исполнению датчика		
Выходной сигнал *	<input checked="" type="checkbox"/> 4-20 мА с цифровым сигналом на базе HART-протокола <input type="checkbox"/> 0-5 мА <input type="checkbox"/> обратный: <input type="checkbox"/> 20-4 мА <input type="checkbox"/> 5-0 мА <input type="checkbox"/> квадратный корень (только для датчиков перепада давления)	
Резьбовое соединение с технологическим процессом:	<input checked="" type="checkbox"/> M20x1,5	<input type="checkbox"/> ниппель с накидной гайкой Материал ниппеля:
	<input checked="" type="checkbox"/> К 1/2" <input type="checkbox"/> К 1/4" <input type="checkbox"/> 1/2"-14 NPT <input type="checkbox"/> 1/4"-18 NPT	<input type="checkbox"/> наружная резьба <input checked="" type="checkbox"/> внутренняя резьба
Электрическое подключение	<input type="checkbox"/> электрический разъем (вилка 2РМГ14, розетка 2РМ14) <input type="checkbox"/> электрический разъем (вилка 2РМГ22, розетка 2РМ22) <input checked="" type="checkbox"/> штепсельный разъем DIN	
	Кабельный ввод: <input checked="" type="checkbox"/> полиамид <input type="checkbox"/> нержавеющая сталь <input type="checkbox"/> не требуется <input type="checkbox"/> никелированная латунь <input checked="" type="checkbox"/> небронированный кабель <input type="checkbox"/> бронированный кабель	
Исполнение по взрывозащите	<input checked="" type="checkbox"/> взрывонепр. оболочка (Ex d) <input type="checkbox"/> искробезопасная цепь (Ex i a) <input type="checkbox"/> общепромышленное	
Дополнительные опции		
<input checked="" type="checkbox"/> встроенный ЖК-индикатор <input checked="" type="checkbox"/> кронштейн для крепления датчика на трубе ø50 мм <input type="checkbox"/> кронштейн для установки датчика на плоской поверхности <input type="checkbox"/> в сборе с клапанным блоком	<input checked="" type="checkbox"/> клапанный блок	Серия <u>TA</u> Количество вентилей <u>1</u> <input checked="" type="checkbox"/> кронштейн для крепления клапанного блока на трубе ø50 мм
Поставка датчика с фланцами уровня (ГОСТ 12815, исп. 2), материал – нерж. сталь	<input checked="" type="checkbox"/> Ду50	<input type="checkbox"/> Ду80
Примечания:		

**Приложение Е**  
**(обязательное)**  
**Схема внешних проводок**

Наименование параметра	Перепад давления		Расход	Напряжение	Ток	Вибрация			Давление			Температура		Уровень
Место отбора импульса	Фильтр воды	Фильтр масла	Линия всасывания	Привод	Привод	Вал привода			Линия всасывания	Линия нагнетания	Пласт	Подшипники привода	Подшипники насоса	Резервуар масла
Тип датчика	Метран-150 CD	Метран-150 CD	ЭМИС-МАГ 270	ИВА-02	ДТТ-03Т	ДВСТ-4	ДВСТ-4	ДВСТ-4	Метран-150 ТА	Метран-150 ТА	АМТ-10В	ТСМУ Метран-274-Exia	ТСМУ Метран-274-Exia	Сапфир - 22МП-ДУ 2620
Позиция	1-1	1-13	1-2	1-3	1-4	1-5	1-8	1-9	1-6	1-11	1-12	1-7	1-10	1-14



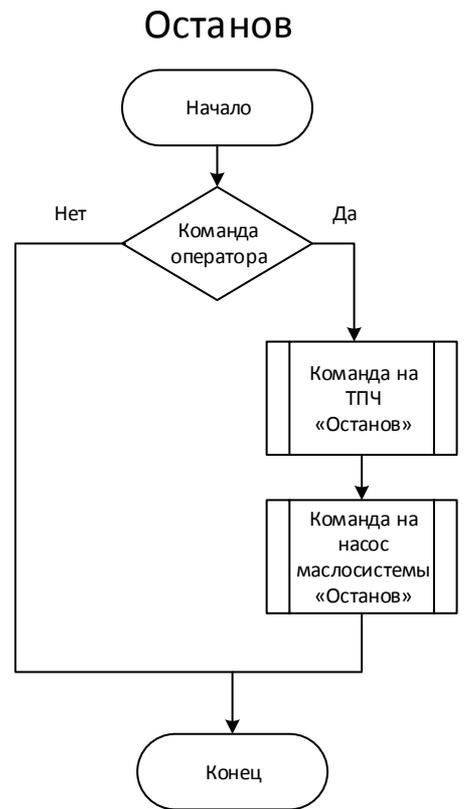
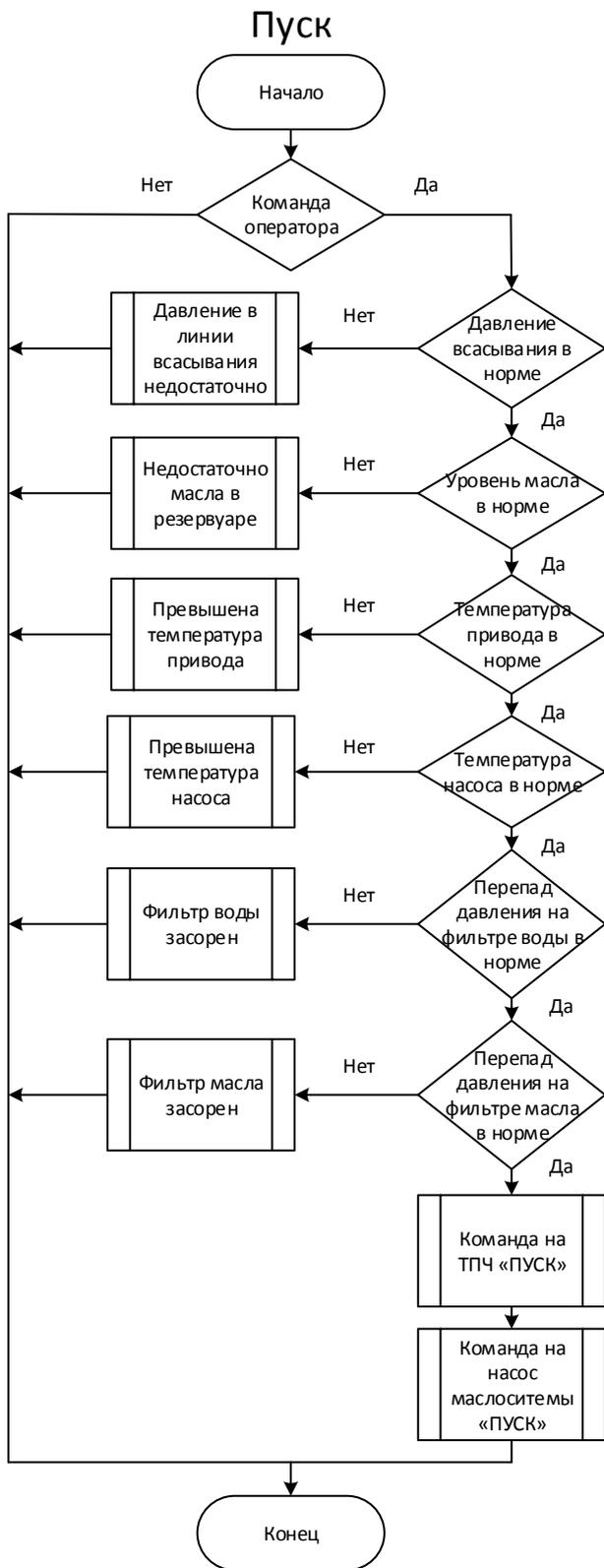
КВВГ Энг  
37 x 1,5 30 м



Щит КИПиА

					<b>ФЮРА.425280.005.05</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<b>Модернизация АС управления БКС</b>	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Афанасьев А. А.					У		
Провер.	Тутов И. А.							
Т. контроль						Лист	Листов	
Н. контроль					<b>Схема внешних проводов</b>			<b>ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т5А</b>
Утв.								

**Приложение Ж**  
**(обязательное)**  
**Блок – схема алгоритмов пуска / останова**



					ФЮРА.425280.005.06			
						Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Модернизация АС управления БКС	У		
	Разраб.	Афанасьев А. А.						
	Провер.	Туров И. А.						
	Т.контроль					Лист	Листов	
	Н.контроль				Блок – схема алгоритмов пуска / останова	ТПУ ИШИТР ОАР гр. 8Т5А		
	Утв.							