

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
Отделение автоматизации и робототехники

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Автоматизация установки подготовки нефти на Северо-Останинском месторождении</b>

УДК 681.586-043.61:622.276.8(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-8Т32	Верега Сергей Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н., доц.		
Руководитель ООП	Воронин Александр Васильевич	к.т.н., доц.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Наталья Владимировна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Рук. отделения ОАР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н., доц.		

Томск – 2018 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
Отделение автоматизации и робототехники

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

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-8Т32	Верега Сергею Андреевичу

Тема работы:

<b>Автоматизация установки подготовки нефти на Северо-Останинском месторождении</b>
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Установка подготовки нефти предназначена для приема продукции нефтедобывающих скважин и отделения попутного нефтяного газа и воды от нефти.</p>
--	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1 Описание технологического процесса  2 Функциональные схемы автоматизации  3 Выбор средств реализации АС  4 Разработка схемы соединения внешних проводок  5 Выбор (обоснование) алгоритмов управления АС  6 Разработка экранных форм АС.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1 Функциональная схема автоматизации (ГОСТ 21.408–13 и ANSI/ISA–S 5.1–84)  2 Схема соединения внешних проводок, выполненная в Visio  3 Алгоритм сбора данных измерений. Блок схема алгоритма  4 SCADA–формы экранов мониторинга и управления диспетчерского пункта</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>  <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Шаповалова Наталья Владимировна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Невский Егор Сергеевич</p>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мамонова Татьяна Егоровна	к. т. н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-8Т32	Верега Сергей Андреевич		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»  
Уровень образования бакалавр  
Отделение автоматизации и робототехники  
Период выполнения \_\_\_\_\_ весенний семестр 2017/2018 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.05.2018	Основная часть	60
04.06.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
04.06.2018	Социальная ответственность	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Мамонова Татьяна Егоровна	к.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Рук. ООП 15.03.04	Воронин Александр Васильевич	к.т.н., доц.		

## Реферат

Пояснительная записка содержит 80 страниц машинописного текста, 9 таблиц, 11 рисунков, 1 список использованных источников из 13 наименований, 11 приложений.

УСТАНОВКА ПОДГОТОВКИ НЕФТИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛОЩАДКА, СЕПАРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА, АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ТРЕХУРОВНЕВАЯ АРХИТЕКТУРА, ПРОГРАММИРУЕМЫЙ ЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЛЕР, ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ, SCADA, ВИДЕОКАДР, ЭКРАННЫЕ ФОРМЫ.

Объектом исследования является установка подготовки нефти.

Цель работы заключается в разработке автоматизированной системы управления установки подготовки нефти, включающей выбор структуры и архитектуры системы, выбор конкретных средств реализации: датчиков, контроллера и исполнительных механизмов, математическое моделирование и представление в виде экранных форм в SCADA-системе.

В данной работе была разработана система контроля и управления технологическим процессом функционирования установки подготовки нефти, выполненная на базе промышленного контроллера SIMATIC S7-300. Моделирование части системы осуществлялось в программе MATLAB, а визуализация происходящих процессов стала возможной благодаря SCADA системы TRASE MODE.

В ходе выполнения работы были разработаны приложения, содержащие функциональные схемы автоматизации, схему соединения внешних проводок, моделирование САР в MATLAB, дерево экранных форм со SCADA экранами конкретных объектов.

## Содержание

Глоссарий.....	9
<u>1 Техническое задание.....</u>	15
<u>1.1 Основные цели и задачи создания АСУТП.....</u>	15
<u>1.2 Назначение и состав УПН.....</u>	15
<u>1.3 Требования к автоматике сепарационной установки.....</u>	16
<u>1.4 Требования к техническому обеспечению.....</u>	18
<u>1.5 Требования к метрологическому обеспечению.....</u>	19
<u>1.6 Требования к программному обеспечению.....</u>	20
<u>1.7 Требования к математическому обеспечению.....</u>	20
<u>1.8 Требования к информационному обеспечению.....</u>	21
<u>2 Описание технологического процесса.....</u>	22
<u>2.1 Описание УПН как технологического объекта.....</u>	22
<u>2.2 Функциональная схема автоматизации.....</u>	24
<u>2.3 Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.404-85.....</u>	25
<u>2.4 Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA.....</u>	25
<u>2.5 Выбор средств реализации САУ сепарационной установки.....</u>	26
<u>2.5.1 Выбор контроллерного оборудования.....</u>	26
<u>2.5.2 Выбор датчика давления.....</u>	28
<u>2.5.3 Выбор датчика перепада давления.....</u>	30
<u>2.5.4 Выбор датчика уровня.....</u>	32
<u>2.5.5 Выбор датчика расхода.....</u>	33
<u>2.5.6 Выбор датчика температуры.....</u>	34
<u>2.5.7 Выбор исполнительных механизмов.....</u>	36

<u>2.6 Разработка схемы внешних проводок</u> .....	37
<u>2.7 Выбор алгоритмов управления АС сепарационной установки</u> .....	38
<u>2.7.1 Алгоритм сбора данных измерений</u> .....	39
<u>2.7.2 Алгоритм пуска/останова технологического оборудования</u> .....	39
<u>2.7.3 Алгоритм автоматического управления технологического параметра</u> ..	40
<u>2.8 Экранные формы АС сепарационной установки</u> .....	43
<u>3 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсоснабжения</u> .....	47
<u>3.1 Потенциальные потребители результатов исследования</u> .....	47
<u>3.2 Анализ конкурентных технических решений</u> .....	47
<u>3.3 Планирование научно-исследовательских работ</u> .....	49
<u>3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования</u> .....	49
<u>3.3.2 Разработка графика проведения научного исследования</u> .....	50
<u>3.4 Бюджет научно-технического исследования</u> .....	56
<u>3.4.1 Расчёт материальных затрат</u> .....	56
<u>3.4.2 Расчёт затрат на специальное оборудование</u> .....	56
<u>3.4.3 Основная заработная плата исполнителей проекта</u> .....	57
<u>3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей проекта</u> .....	58
<u>3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды</u> .....	59
<u>3.4.6 Накладные расходы</u> .....	59
<u>3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта</u> ...	59
<u>3.5 Определение эффективности исследования</u> .....	60
<u>4 Социальная ответственность</u> .....	62
<u>4.1 Надёжности системы</u> .....	62

<u>4.1.1 Выбор ПЛК</u> .....	63
<u>4.1.2 Выбор датчика давления</u> .....	63
<u>4.1.3 Выбор датчика перепада-давления</u> .....	64
<u>4.1.4 Выбор датчика уровня</u> .....	64
<u>4.1.5 Выбор расходомера</u> .....	64
<u>3.1.6 Выбор датчика температуры</u> .....	65
<u>3.1.6 Выбор исполнительного механизма</u> .....	65
<u>4.2 Передача данных</u> .....	66
<u>3.2 Интерфейс</u> .....	67
<u>Заключение</u> .....	68
<u>Список используемых источников</u> .....	69

## Глоссарий

Термин	Определение
Автоматизированная система	Комплекс технических, программных и других средств, а также обслуживающего персонала, предназначенный для автоматизации различных процессов.
Автоматизированное рабочее место	Программно-технический комплекс, предназначенный для автоматизации деятельности определенного вида.
Автоматизированная система управления технологическим процессом	Комплекс программных и технических средств, предназначенный для автоматизации управления технологическим оборудованием на предприятиях. Под АСУ ТП обычно понимается комплексное решение, обеспечивающее автоматизацию основных технологических операций на производстве в целом или каком-то его участке, выпускающем относительно завершенный продукт.
Архитектура АС	Набор значимых решений по организации системы программного обеспечения, набор структурных элементов и их интерфейсов, при помощи которых конструируется АС.
Видеокадр	Область экрана, которая служит для отображения мнемосхем, трендов, табличных форм, окон управления, журналов и т.п.
Интерфейс	Совокупность средств (программных, технических, лингвистических) и правил для обеспечения взаимодействия между различными программными системами, между техническими устройствами или между пользователем и системой.
Мнемосхема	Представление технологической схемы в упрощенном виде на экране АРМ.
Протокол	Набор правил, позволяющий осуществлять соединение и обмен данными между двумя и более включёнными в соединение программируемыми устройствами.

Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор	Устройство, используемое в системах автоматического управления для поддержания заданного значения измеряемого параметра. ПИД-регулятор измеряет отклонение стабилизируемой величины от заданного значения (уставки) и выдаёт управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально этому отклонению, второе пропорционально интегралу отклонения и третье пропорционально производной отклонения.
Система управления базами данных	Совокупность программных и языковых средств, предназначенных для управления данными в базе данных, ведения базы данных, обеспечения многопользовательского доступа к данным.
SCADA	Инструментальная программа для разработки программного обеспечения систем управления технологическими процессами в реальном времени и сбора данных.
Технологический процесс	Последовательность технологических операций, необходимых для выполнения определенного вида работ.
Техническое задание на АС	Утвержденный в установленном порядке документ, определяющий цели, требования и основные исходные данные, необходимые для разработки автоматизированной системы.
Тег	Метка как ключевое слово, в более узком применении идентификатор для категоризации, описания, поиска данных и задания внутренней структуры.

## Обозначения и сокращения

Аббревиатура	Краткая характеристика
ANSI/ISA	American National Standards Institute/ Instrument Society of America Американский национальный институт стандартов/ Американское общество приборостроителей
API	Application Program Interface Интерфейс прикладных программ
CM	Communication module Коммуникационный модуль
CPU	Central Processing Unit Центральный процессор
EEI	External Environment Interface Интерфейс внешнего окружения
EIA	Electronics Industries Association Ассоциацией электронной промышленности
FBD	Function Block Diagram Графический язык программирования
DAS	Direct-attached storage Система хранения данных с прямым подключением
ISO (ИСО)	International Organization for Standardization Международная организация по стандартизации
LAD	Ladder Diagram Язык лестничных диаграмм
LAN	Local Area Network Локальная вычислительная сеть
NACE	National Association of Corrosion Engineers Международная ассоциация инженеров-коррозионистов
OPC	OLE for Process Control Набор спецификаций стандартов, протокол взаимодействия
OSE/RM	Open System Environment Reference Model Эталонная модель среды открытых систем
PLC (ПЛК)	Programmable Logic Controllers Программируемый логический контроллер
RS	Recommended Standard Рекомендованный стандарт
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition Диспетчерское управление и сбор данных
TCP	Transmission Control Protocol Протокол управления передачей

АРМ	Автоматизированное рабочее место
АС	Автоматизированная система
АСУ	Автоматизированная система управления
ИМ	Исполнительный механизм
КИП и А	Контрольно-измерительные приборы и автоматика
КТС	Комплекс технических средств
ПИД	Пропорционально-интегрально-дифференциальный
ПО	Программное обеспечение
САР	Система автоматического регулирования
САУ	Система автоматического управления
СУБД	Система управления базами данных
ТЗ	Техническое задание
ТП	Технологический процесс
УПН	Установка подготовки нефти
ФСА	Функциональная схема автоматизации
ЭП	Электронный преобразователь

## Цвета, используемые при проектировании экранных форм

Цвет	Название	Назначение
	Синий	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Технологические параметры в момент пуска оборудования и вывода из эксплуатации;</li> <li>• Обозначение воды</li> </ul>
	Желтый	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нормально открытый клапан;</li> <li>• Предупредительная сигнализация</li> </ul>
	Зелёный	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нормально закрытый клапан;</li> <li>• Режим нормальной работы</li> </ul>
	Красный	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Аварийная сигнализация</li> </ul>
	Серый	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обозначение трубной обвязки</li> </ul>
	Чёрный	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обозначение электрических цепей;</li> </ul>
	Тёмно-серый	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обозначение технологических объектов</li> </ul>

## Введение

Современный рынок требует от производства всё большей производительности при минимальных издержках – это возможно только при комплексном подходе к автоматизации предприятия и модернизации рабочих мест.

Повышение степени автоматизации предприятия ведёт к повышению стабильности технологического процесса, уменьшению человеческого фактора, улучшению прозрачности производства, что в конечном итоге положительно сказывается на качестве готовой продукции и ведёт к снижению её себестоимости. Автоматизированное производство делает технологический процесс гибким, что позволяет предприятию меняться и подстраиваться под рынок, а это так актуально в период экономической нестабильности.

Техническое перевооружение предприятий стройиндустрии, ускоренное внедрение новых технологических прогрессов невозможно без использования высокотехнологического оборудования комплексной автоматизации.

## **1 Техническое задание**

### **1.1 Основные цели и задачи создания АСУ ТП**

Основная цель:

Осуществить систему мониторинга и управления технологического процесса установки подготовки нефти.

Основными задачами создания АСУ ТП являются:

- повысить уровень автоматизации технологического процесса;
- осуществить дистанционный контроль и управление всей системой с АРМ оператора;
- выбрать датчики;
- произвести моделирование.

### **1.2 Назначение УПН**

УПН предназначена, для сбора и подготовки продукции нефтедобывающих скважин путём обеспечения глубокого обезвоживания, обессоливания, снижения упругости паров нефти и достижения требуемого качества товарной нефти и перекачки нефти по нефтепроводу.

На УПН последовательно проводятся следующие технологические операции:

- ✓ приём нефтегазоводяной смеси;
- ✓ сепарация нефти в две ступени;
- ✓ обезвоживание и обессоливание, предварительно обезвоженной нефти в газонасыщенном состоянии с последующей её сепарацией на концевой ступени;
- ✓ сжигание аварийных и постоянных сбросов на факеле высокого и низкого давления;

- ✓ приём и учёт товарной нефти;
- ✓ подача товарной нефти в промысловый нефтепровод.

Для проведения вышеназванных операций предусмотрен следующий состав сооружений УПН:

- площадка подключения нефти с блоком подачи реагентов;
- технологическая площадка в составе:
  - 1) сепарационная установка;
  - 2) отстойник нефти и концевой сепаратор;
- площадка газосепараторов;
- площадка подогревателей;
- насосная внутренней и внешней перекачки с узлом учёта нефти;
- резервуарный парк;
- факельное хозяйство;
- блок УПТГ;
- насосная метанола с резервуарами;
- площадка подключения газа с входным газосепаратором;
- энергокомплекс;
- дренажные и аварийные ёмкости;
- ёмкости хранения запаса раствора глушения скважин;
- наливной стояк.

### **1.3 Требования к автоматике сепарационной установки**

Система автоматизации должна обеспечивать следующие основные функции:

1. Мониторинг всех измеряемых параметров;
2. Регистрацию и дистанционный контроль текущих значений основных технологических параметров;
3. Автоматический контроль, индикацию и сигнализацию предельных значений параметров;
4. Управление:

- Клапаном (закрытие клапана при уровне нефти в сепараторе 20%, открытие клапана при уровне 80%);
- Клапаном (закрытие клапана при давлении газа в сепараторе 0,3 МПа, открытие клапана при уровне 0,75МПа);
- Клапаном (закрытие клапана при уровне нефти в нефтяной ванне 20%, открытие клапана при уровне 80%);
- Клапаном (закрытие клапана при уровне нефти в сепараторе 20%, открытие клапана при уровне 80%);
- Клапаном (закрытие клапана при давлении газа в сепараторе 0,25МПа, открытие клапана при уровне 0,55МПа);

#### 5. Сигнализацию:

- При понижении рабочего давления в сепараторе С-1;
- При повышении рабочего давления в сепараторе С-1;
- При повышении перепада давления в сепараторе С-1;
- При понижении температуры в сепараторе С-1;
- При понижении уровня нефти в сепараторе С-1;
- При повышении уровня нефти в сепараторе С-1;
- При понижении рабочего давления в сепараторе С-2;
- При повышении рабочего давления в сепараторе С-2;
- При повышении перепада давления в сепараторе С-2;
- При понижении температуры в сепараторе С-2;
- При повышении температуры в сепараторе С-2;
- При понижении уровня нефти в нефтяной ванне С-2;
- При повышении уровня нефти в нефтяной ванне С-2;
- При понижении уровня нефти в сепараторе С-2;
- При повышении уровня нефти в сепараторе С-2;
- При понижении уровня раздела фаз в сепараторе С-2;
- При повышении уровня раздела фаз в сепараторе С-2;
- При понижении расхода воды из сепаратора С-2;

На АРМ оператора должна отображаться информация о работе сепарационной установки.

#### **1.4 Требования к техническому обеспечению**

АСУ ТП должна обеспечивать прием и обработку информации от средств автоматизации, поставляемых комплектно с технологическим оборудованием.

КТС совместно с программным обеспечением должен обеспечивать реализацию всех функций, оговоренных в настоящем техническом задании.

В состав комплекса технических средств (КТС) должны входить:

- датчики, исполнительные механизмы, контроллеры;
- средства дистанционного управления, программно-технические средства обработки, хранения и передачи информации, средства отображения и регистрации информации (вторичные приборы, видеомониторы, табло, индикаторы и т.п.)
- местные щиты с коммутационно-командными элементами.

Датчики, используемые в системе, должны отвечать требованиям взрывобезопасности. При выборе датчиков следует использовать аппаратуру с искробезопасными цепями. Чувствительные элементы датчиков, соприкасающиеся с агрессивной средой, должны быть выполнены из коррозионностойких материалов либо для их защиты необходимо использовать разделители сред.

Контроллеры должны иметь модульную архитектуру, позволяющую свободную компоновку каналов ввода/вывода. При необходимости ввода сигналов с датчиков, находящихся во взрывоопасной среде, допускается использовать как модули с искробезопасными входными цепями, так и внешние барьеры искробезопасности.

Контроль уровня в сепараторах должен производиться двумя датчиками (основной и дублирующий) с сигнализацией верхнего предельного уровня и нижнего предельного уровня.

## 1.5 Требования к метрологическому обеспечению

Измерительные каналы (ИК) системы должны обеспечивать получение результатов измерения с нормируемой точностью. В качестве нормируемой метрологической характеристики принимается предел допускаемой погрешности ИК в нормальных условиях эксплуатации. Форма представления метрологической характеристики ИК – приведенная погрешность, выраженная в процентах относительно диапазона измерения.

Метрологическое обеспечение осуществляется в целях создания основы обеспечения качества эксплуатации, сепарационной установки и получения результатов измерений, использование которых позволяет:

- эффективно вести технологический процесс при соблюдении условий безопасности;
- исключить или свести к минимуму риск принятия ошибочных решений и действий при управлении оборудованием;
- достоверно контролировать безопасность обслуживающего персонала и состояние окружающей среды.

Требуемые нормы погрешности измерения основных технологических параметров, включая всю цепь, начиная от датчика, приведены в таблице 1. Дополнительные погрешности, обусловленные условиями эксплуатации должны быть не более половины основной.

Таблица 1 – Требования к погрешности измерительных каналов

№	Наименование измеряемого параметра	Норма погрешности (не более)	Примечание
1	Температура	$\pm 1,0 \%$	Приведённая погрешность
2	Давление (разность давлений)	$\pm 1,0 \%$	Приведённая погрешность
3	Расход	$\pm 10 \text{ мм}$	Приведённая погрешность
4	Уровень	$\pm 2,0 \%$	Абсолютная погрешность

## 1.6 Требования к программному обеспечению

Программное обеспечение (ПО) АС включает в себя:

- системное ПО (операционные системы);
- инструментальное ПО;
- базовое прикладное ПО;
- специальное прикладное ПО.

Набор функций конфигурирования в общем случае должен включать в себя:

- ✓ создание и ведение базы данных конфигурации (БДК) по входным/выходным сигналам;
- ✓ конфигурирование алгоритмов управления, регулирования и защиты с использованием стандартных функциональных блоков;
- ✓ создание мнемосхем (видеокадров) для визуализации состояния технологических объектов;
- ✓ конфигурирование отчетных документов (рапортов, протоколов).

Средства создания специального прикладного ПО должны включать в себя технологические и универсальные языки программирования и соответствующие средства разработки (компиляторы, отладчики). Технологические языки программирования должны соответствовать стандарту ИЕС 61131-3.

Базовое прикладное ПО должно обеспечивать выполнение стандартных функций соответствующего уровня АС (опрос, измерение, фильтрация, визуализация, сигнализация, регистрация и др.).

Специальное прикладное ПО должно обеспечивать выполнение нестандартных функций соответствующего уровня АС (специальные алгоритмы управления, расчеты и др.).

## 1.7 Требования к математическому обеспечению

Математическое обеспечение АС должно представлять собой совокупность математических методов, моделей и алгоритмов обработки информации, используемых при создании и эксплуатации АС и позволять

реализовывать различные компоненты АС средствами единого математического аппарата.

### **1.8 Требования к информационному обеспечению**

По результатам проектирования должны быть представлены:

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

В состав информационного обеспечения должны входить:

- унифицированная система электронных документов, выраженная в виде набора форм статистической отчетности;
- распределенная структурированная база данных, хранящая систему объектов;
- средства ведения и управления базами данных.

## **2 Основная часть**

### **2.1 Описание установки подготовки нефти как технологического объекта**

Технологическая схема УПН обеспечивает безопасную эксплуатацию, возможность ремонта, подготовку нефти и выдачу её потребителю.

Нефть от эксплуатационных скважин кустовых площадок №1,2 по выкидным трубопроводам поступает на замерные установки типа «Мера», предназначенные для автоматического поочерёдного замера дебитов скважин по жидкости (нефть, газ, вода), далее по нефтесборным сетям подаётся на площадку УПН месторождения для разгазирования, сброса воды и подготовка до требований ГОСТ. На технологической площадке размещаются: сепарационная установка, отстойник нефти и концевой сепаратор. На сепарационной установке расположены нефтегазовые сепараторы первой ступени (позиция С-1) и второй ступени (позиция С-2). Сепаратор концевой ступени сепарации (позиция КС-1) расположен над отстойником нефти (позиция ОН-1) для обеспечения достаточного напора разгазированной нефти на входе в сырьевой РВС нефти.

Неразгазированная нефть вначале поступает в сепарационный блок нефтегазовых сепараторов на первую ступень через успокоительный коллектор и устройство предварительного отбора газа, где происходит успокоение и расслоение смеси нефти и газа, выделение попутного нефтяного газа из жидкости. Нефтегазовый поток поступает в сепаратор С-1.

Сепаратор С-1 представляет собой горизонтальный аппарат  $V=100 \text{ м}^3$ . В сепараторе С-1 происходит холодная сепарация нефти с выделением попутного нефтяного газа из жидкости, стабилизируя нефтегазоводяной поток.

Сепаратор С-1 служит для предварительного сброса газа, тем самым облегчая работу следующему за ним трехфазному сепаратору С-2. Давление в сепараторе С-1 поддерживается клапаном К-2 сбросом в газосепараторы. Уровень жидкости регулируется клапаном К-1.

Частично дегазированная нефть из сепаратора С-1, через задвижки и клапан К-1 поступает на площадку подогревателей.

Площадка подогревателей включает в себя подогреватели нефти ПП-1, ПП-2 и ПП-3, состоящих из корпуса нагревателя с промежуточным теплоносителем и блок-бокса с установленной внутри газовой горелкой.

Холодная нефть с первой ступени сепарации поступает на подогрев в печи ПП-1, ПП-2, ПП-3 и для улучшения процесса отделения воды от нефти нефтегазовая смесь нагревается до 50-55 °С.

Далее нагретая смесь от печей через задвижки направляется на вторую ступень сепарации для отделения от неё пластовой воды и дальнейшего разгазирования.

Трехфазный сепаратор С-2 представляет собой горизонтальный аппарат  $V=100$  м<sup>3</sup>. Внутри аппарата на уровне 1980 мм расположена перегородка, которая делит сепаратор на два отсека (технологический и буферный).

Процесс обработки нефти в аппарате регулируется автоматически: в нефтесбросном отсеке аппарата уровень нефти, в отстойном отсеке – уровень раздела «нефть-вода» регулируются клапанами К-3 и К-5. Давление в сепараторе С-2 поддерживается клапаном К-4 на сбросе газа в коллектор в газосепараторы. Обезвоживание нефти в С-2 обеспечивается до содержания воды в нефти не более 10%.

Для доведения нефти по содержанию воды до товарного качества проектом предусмотрен отстойник нефти (позиция ОН-1), нефть в который поступает из сепаратора С-2. Отстойник ОН-1 представляет собой горизонтальный аппарат  $V=100$  м<sup>3</sup>. Нефть в аппарат подаётся снизу через распределительный коллектор под слой воды. В отстойнике нефти обеспечивается достаточно полное отделение воды от нефти. Отделившаяся пластовая вода через задвижки и регулирующий клапан подаётся в усреднитель промстоков. Для интенсификации процесса обессоливания нефти предусмотрена подача пресной воды в отстойник от водозабора.

Окончательное разгазирование нефти осуществляется в концевом сепараторе КС-1. Обезвоженная нефть через запорную арматуру поступает в КС-1 из ОН-1.

Концевой сепаратор КС-1 представляет собой горизонтальный аппарат  $V=100 \text{ м}^3$ . Давление в аппарате поддерживается минимально достаточным для вывода газов на факел низкого давления. Уровень в аппарате поддерживается регулирующим клапаном.

Далее стабилизированная нефть через задвижки и клапан поступает на распределительную гребёнку резервуарного парка и через электрозадвижки направляется в один из резервуаров Р-1, Р-2, Р-3 или Р-4.

## **2.2 Функциональная схема автоматизации**

Функциональная схема автоматизации является техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации. На функциональной схеме изображаются системы автоматического контроля, регулирования, дистанционного управления, сигнализации.

Все элементы систем управления показываются в виде условных изображений и объединяются в единую систему линиями функциональной связи. Функциональная схема автоматического контроля и управления содержит упрощенное изображение технологической схемы автоматизируемого процесса. Оборудование на схеме показывается в виде условных изображений.

При разработке функциональной схемы автоматизации технологического процесса решены следующие задачи:

- ✓ задача получения первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;

- ✓ задача непосредственного воздействия на технологический процесс для управления им и стабилизации технологических параметров процесса;
- ✓ задача контроля и регистрации технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования.

### **2.3 Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.404-85**

Функциональная схема автоматизации выполнена согласно требованиям ГОСТ 21.404–85 и приведена в приложениях А1 и А2.

На объекте измеряются следующие параметры: температура, давление, расход, уровень.

Так же предусмотрено дистанционное управление задвижками.

Все измеряемые технологические параметры отображаются с помощью приборов индикации на операторском щите и в SCADA-системе.

Параметры, требующие регистрации, выносятся на экран оператора в SCADA.

### **2.4 Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA**

Функциональная схема автоматизации выполнена согласно требованиям ANSI/ISA S5.1 и приведена в приложении А3. Согласно этой схеме осуществляются следующие операции:

- измерение температуры в сепараторах и выдачу показаний на АРМ оператора;
- регулирование уровня нефти с помощью регулирующего клапана с пульта оператора;
- регулирование уровня воды с помощью регулирующего клапана с пульта оператора;
- регулирование давления газа с помощью регулирующего клапана с пульта оператора;

- измерение расхода газа на выходе и выдачу показаний на АРМ оператора;

## **2.5 Выбора средств реализации САУ сепарационной установки**

### **2.5.1 Выбор контроллерного оборудования**

В основе автоматизации УПН будем использовать ПЛК Siemens SIMATIC S7-300 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Контроллер Siemens SIMATIC S7-300

Сравнивали технические характеристики контроллеров Siemens SIMATIC S7-224XP, 314C-2DP, 416-3PN/DP.

Выбор контроллера исходил из его функциональных возможностей и стоимости. Для УПН выберем Siemens SIMATIC S7-314C-2 DP. В отличие от S7- 224XP, он обладает высоким быстродействием, как с логическими операциями, так и с фиксированной и плавающей точкой. Он имеет необходимый объем памяти для работы и хранения информации, большое количество флагов и каналов ввода-вывода. По сравнению с S7-416-3 PN/DP стоимость меньше в 6,5 раз.

Siemens Simatic S7-300 – модульный универсальный программируемый контроллер для решения задач автоматизации низкого и среднего уровня сложности, использующий распределенную структуру ввода-вывода и простое включение в сетевые конфигурации, удобную конструкцию и обеспечивающий работу с естественным охлаждением. Имеет высокую мощность благодаря наличию большого количества встроенных функций.

Области применения:

- автоматизация оборудования для производства технических средств управления;
- системы автоматизации судовых установок и систем водоснабжения;
- автоматизация машин специального назначения, текстильных и упаковочных машин, машиностроительного оборудования;
- автоматизация электротехнического оборудования и т.д.

#### Состав SIMATIC S7-300.

- CPU – модуль центрального процессора. В зависимости от степени сложности решаемых задач в программируемом контроллере могут использоваться более 20 типов центральных процессоров.
- PS – блоки питания контроллера от сети переменного или постоянного тока.
- SM – сигнальные модули, предназначенные для ввода и вывода дискретных и аналоговых сигналов и модули со встроенными Ex-барьерами.
- CP – коммуникационные процессоры – интеллектуальные модули, выполняющие автономную обработку коммуникационных задач в промышленных сетях AS-Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, PROFINET и системах PtP связи. Для организации модемной связи в составе S7-300 могут использоваться коммуникационные модули семейства SINAUT ST7;
- FM – функциональные модули – интеллектуальные модули, оснащенные встроенным микропроцессором и способные выполнять задачи автоматического регулирования, взвешивания, позиционирования, скоростного счета, управления перемещением и т.д.;
- IM – интерфейсные модули для подключения стоек расширения к базовому блоку контроллера, что позволяет использовать в системе локального ввода-вывода до 32 модулей различного назначения.

Центральный процессор S7-300 характеризуется следующими показателями:

- высокое быстродействие;
- загружаемая память в виде микрокарты памяти ММС емкостью до 8 Мб;
- развитые коммуникационные возможности, одновременная поддержка большого количества активных коммуникационных соединений;
- работа без буферной батареи.

Система команд центральных процессоров включает в свой состав более 350 инструкций и позволяет выполнять:

- логические операции, операции сдвига, вращения, дополнения, операции сравнения, преобразования типов данных, операции с таймерами и счетчиками;
- арифметические операции с фиксированной и плавающей точкой, извлечение квадратного корня, логарифмические операции, тригонометрические функции, операции со скобками;
- операции загрузки, сохранения и перемещения данных, операции переходов, вызова блоков, и другие операции[11].

### **2.5.2 Выбор датчика давления**

Для измерения давления в сепараторах необходимо использовать датчики давления, которые будут непрерывно преобразовывать входную величину в унифицированный токовый/цифровой выходной сигнал. Выберем датчик давления путем сравнения технических характеристик имеющихся датчиков Метран-150, Метран-100, Сапфир-22МПС, Rosemount 3051S, Rosemount 2051S.

Датчики имеют различие в таких основных показателях, как:

- диапазон измерения давления;
- диапазон окружающей среды;
- срок службы;

- наработка на отказ;
- межповерочный интервал.

В сепараторах давление газа находится в пределах 1 МПа. В районах Крайнего Севера очень суровые климатические условия. Зимой температура окружающей среды иногда опускается до -50 °С. Датчики Метран-150 и Rosemount 3051S имеют соответствующие этим требованиям технические характеристики. Интеллектуальный датчик Rosemount 3051S имеет преимущества в степени защиты оболочки. Поэтому его стоимость выше, чем у всех остальных. На нашем объекте нет необходимости в таком функциональном приборе, поэтому остановимся на выборе датчика Метран-150( рисунок 2).



Рисунок 2 – Метран-150TG

Интеллектуальный датчик давления предназначен для непрерывного преобразования в унифицированный токовый выходной сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART входной измеряемой величины : избыточного давления[5].

Управление параметрами датчика:

- с помощью HART-коммуникатора;
- удаленно с помощью программы HART-Master, HART-модема и компьютера или программных средств АСУ ТП;
- HART\_ модема и компьютера или программных средств АСУТП;

- с помощью клавиатуры и ЖКИ.

### **Принцип действия:**

Датчик состоит из сенсора и электронного преобразователя.

Сенсор состоит из измерительного блока и платы аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Давление подаётся в камеру измерительного блока, преобразуется в деформацию чувствительного элемента и изменение электрического сигнала. Электронный преобразователь преобразует электрический сигнал в соответствующий выходной сигнал.

В измерительном блоке используется тензорезистивный тензомодуль на кремниевой подложке. Чувствительным элементом тензомодуля является пластина из кремния с плёночными тензорезисторами. Давление через разделительную мембрану и разделительную жидкость передаётся на чувствительный элемент тензомодуля. Воздействие давления преобразуется в деформацию чувствительного элемента, вызывая при этом изменение электрического сопротивления его тензорезисторов и разбаланс мостовой схемы. Электрический сигнал, образующийся при разбалансе мостовой схемы, измеряется АЦП и подаётся в электронный преобразователь.

### **2.5.3 Выбор датчика перепада давления**

Как и в предыдущем выборе датчика давления, выбрали датчик перепада-давления серии Метран-150CD2.



Рисунок 3 – Метран-150CD

Интеллектуальный датчик давления предназначен для непрерывного преобразования в унифицированный токовый выходной сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART входной измеряемой величины: перепада-давления[5].

Управление параметрами датчика:

- с помощью HART\_коммуникатора;
- удаленно с помощью программы H\_Master,
- HART\_модема и компьютера или программных средств АСУТП;
- с помощью клавиатуры и ЖКИ.

**Принцип действия:**

Датчик состоит из сенсора и электронного преобразователя.

Сенсор состоит из измерительного блока и платы аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Давление подаётся в камеру измерительного блока, преобразуется в деформацию чувствительного элемента и изменение электрического сигнала. Электронный преобразователь преобразует электрический сигнал в соответствующий выходной сигнал. Измерительном блок датчика состоит из корпуса и ёмкостной измерительной ячейки.

Измеряемое давление передаётся через разделительные мембраны и разделительную жидкость к измерительной мембране, расположенной в

центре ёмкостной ячейки. Воздействие давления вызывает изменение положения измерительной мембраны. Изменение положения мембраны приводит к появлению разности ёмкостей между измерительной мембраной и пластинами конденсатора, расположенным по обеим сторонам от измерительной мембраны. Разность ёмкостей измеряется АЦП, преобразуется электронным преобразователем в соответствующий выходной сигнал.

#### **2.5.4 Выбор датчика уровня**

Выберем датчик уровня раздела сред, путем сравнения технических характеристик двух датчиков Rosemount 5302, Krohne BM 100[13].

Датчики, имеют различие в таких основных показателях, как:

- температуру окружающей среды;
- выходной сигнал;
- межповерочный интервал.

Уровнемер Rosemount 5302 имеет преимущества в выходном сигнале. Поэтому его стоимость выше, чем у Krohne BM 100. На нашем объекте нет необходимости в таком функциональном приборе, поэтому остановимся на выборе датчика Krohne BM 100. Уровнемер Krohne BM 100 имеет нужный нам диапазон температур окружающей среды и межповерочный интервал 3 года (рисунок 4).



Рисунок 4 – Krohne BM 100

### **Принцип действия:**

Измеритель уровня Reflex Radar BM 100 действует по принципу TDR (Измерение коэффициента отражения методом совмещения прямого и отраженного испытательных сигналов), который широко используется при тестировании повреждений в кабелях связи. Компания Krohne применила этот принцип для измерений уровня в промышленности. Маломощные электромагнитные импульсы наносекундной длительности посылаются вниз с помощью двух жестких или гибких проводников (А). При встрече волны с жидкостью (В) происходит частичное отражение волны (D). Чем больше будет диэлектрическая проницаемость верхнего слоя, тем сильнее будет это отражение (D). Для воды происходит полное отражение (E). Эти направляемые волны являются намного более сильными, чем все другие акустические или электромагнитные волны, и на них не оказывают воздействие такие факторы внешней среды, как пена, пар и т. д. Направляемая волна перемещается со скоростью света, а не со скоростью звука, которому свойственно рассеивание, на нее не оказывает влияние изменения давления и температуры, ни форма емкости. Колебания диэлектрической проницаемости также не оказывают влияния на измерение уровня. Для одновременных измерений уровня и границы раздела фаз оставшиеся волны (E) продолжают движение до отражения от границы раздела (С). Использование этой технологии позволяет расширить применение во многих областях, где ранее было сложно обеспечить точные измерения уровня.

### **2.5.5 Выбор расходомера**

Выбор расходомера проходил из следующих типов приборов: Кориолисов расходомер Micro Motion и Вихревой счетчик-расходомер YOKOGAWA DigitalYEWFL0. Расходомер Micro Motion предназначены для прямого измерения массового расхода, плотности, температуры, вычисления объемного расхода жидкостей, газов и взвесей. Так нам нужен расход воды из

сепаратора для сводки, для этого подходит вихревой счётчик YOKOGAWA DigitalYEWFLO.



Рисунок 5 – YOKOGAWA DigitalYEWFLO

Вихревые счетчики-расходомеры серии digitalYEWFLO — это интеллектуальные датчики расхода, предназначенные для измерения объемного расхода жидкости, пара или газа.

В основе принципа действия любого вихревого расходомера лежит широко известное природное явление — образование вихрей за препятствием, стоящим на пути потока. При скоростях среды выше определенного предела вихри образуют регулярную дорожку, называемую дорожкой Кармана. Частота образования вихрей при этом прямо пропорциональна скорости потока.

### **2.5.6 Выбор датчика температуры**

Выберем датчик температуры путем сравнения технических характеристик имеющихся датчиков: ТСП Метран-206, ТСП Метран-256, Метран-288, Метран-2700[5].

Метран-288, Метран-2700 называются интеллектуальными преобразователями температуры (ИПТ). Они имеют большой диапазон

измеряемых температур, наличие HART-протокола. В корпусе соединительной головки этих датчиков кроме первичного преобразователя, есть электронный преобразователь для выходного сигнала 4-20 мА. Они имеют высокий класс взрывозащиты и искробезопасности. Все эти показатели сказываются на высокой стоимости датчиков.

На сепараторах достаточно иметь взрывобезопасный датчик с диапазоном измеряемых температур от -50 до 500 °С, имеющий высокий срок службы и поверки, и недорогой по отношению к ИПТ. Этим требованиям удовлетворяет ТСП Метран-256.



Рисунок 6 – ТСП Метран 256

Термопреобразователи сопротивления платиновые взрывозащищенные ТСП Метран-256 предназначены для измерения температуры жидких и газообразных химически неагрессивных сред, а также агрессивных, не разрушающих материал защитной арматуры во взрывоопасных зонах и помещениях, в которых могут содержаться аммиак, азотоводородная смесь, углекислый или природный газы. Терморезистор - это полупроводниковый прибор (его изготавливают из полупроводниковых

материалов с большим отрицательным температурным коэффициентом), в котором используется зависимость электрического сопротивления полупроводников от температуры. Действие термометров сопротивления основано на свойстве проводников менять электрическое сопротивление при изменении температуры. В качестве материала для изготовления термометров сопротивления используют только чистые металлы: платину в виде тонкой проволоки диаметром 0,05- 0,07 мм для измерения температур до 630°C и медь, никель или железо в виде проволоки диаметром 0,1 мм для измерения температур 100-150 °С. Наиболее широко применяют платину и медь. Головка термометра сопротивления состоит из корпуса и крышки, соединенных болтами. Конструкция защитной арматуры сварная. Термометр виброустойчивый и ударопрочный.

### **2.5.7 Выбор исполнительных механизмов**

В качестве исполнительных механизмов возьмем блок управления ESD-VCX конструкцию многооборотного электропривода серии ГУСАР.



Рисунок 7 – ESD-VCX

Блок управления ESD-VCX предназначен для управления электроприводами запорной, запорно-регулирующей арматуры и шаровых кранов.

Микропроцессорный контроллер управления (МКУ) обеспечивает управление работой силового инвертора, обмен информацией с системой телемеханики по последовательному интерфейсу, по дискретным входам/выходам и аналоговому выходу, работу с МПУ и пультом дистанционного управления по инфракрасному каналу связи. МКУ производит анализ текущих параметров блока (токов, напряжений, положения выходного звена) и команд местного и дистанционного управления, формирует управляющие воздействия на силовой инвертор, определяет возникновение аварийных режимов блока, выдает информационные и аварийные сообщения на дискретные выходы, на индикатор блока, по последовательному интерфейсу RS-485 и по инфракрасному каналу связи.

## **2.6 Разработка схемы внешних проводок**

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой изображены электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом, инженерном оборудовании и коммуникациях (трубопроводах, воздухопроводах и т.д.), вне щитов и на щитах, а также связи между щитами, пультами, комплексами или отдельными устройствами комплексов.

Аналоговые сигналы 4 – 20 мА, приходящие со всех датчиков и исполнительных механизмов, по контрольным кабелям поступают в клеммные соединительные коробки, откуда они попадают на щит оператора.

Клеммная соединительная коробка (КЗП) предназначена для соединения кабелей при монтаже различного технологического оборудования. Выберем 2 коробки КЗП-24 на 24 контакта.

Для передачи сигналов используются 2 клеммы для исполнительных механизмов и датчиков.

Соединение датчиков с клеммными колодками используются кабели типа КВВГЭнг.

Количество жил в кабеле выберем равным 4 при соединении приборов с КЗП равным 10 и 14 при соединении КЗП с щитом КИПиА, неиспользуемые жилы являются резервными.

КВВГЭнг предназначен для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов электрических распределительных устройств.

К – кабель контрольный;

В – изоляция из ПВХ пластиката;

В - оболочка из ПВХ пластиката;

Г – не имеет бронированного покрова;

Э – экран из алюминиевой фольги;

Нг – изготовлен из негорючих материалов.

Полученные схемы соединения внешних проводок приведена в приложениях Б1 и Б2.

## **2.7 Выбор алгоритмов управления АС сепарационной установки**

В автоматизированной системе на разных уровнях управления используются различные алгоритмы:

- алгоритмы пуска/останова технологического оборудования (релейные пусковые схемы) (реализуются на ПЛК и SCADA-форме);
- релейные или ПИД-алгоритмы автоматического регулирования технологическими параметрами технологического оборудования (управление положением рабочего органа, регулирование расхода, уровня и т. п.) (реализуются на ПЛК);
- алгоритмы управления сбором измерительных сигналов (алгоритмы в виде универсальных логически завершенных программных блоков, помещаемых в ППЗУ контроллеров) (реализуются на ПЛК);

- алгоритмы автоматической защиты (ПАЗ) (реализуются на ПЛК);
- алгоритмы централизованного управления АС (реализуются на ПЛК и SCADA-форме) и др.

В данном бакалаврской работе разработаны следующие алгоритмы АС:

- алгоритм пуска/останова технологического оборудования;
- алгоритм сбора данных измерений;
- алгоритм автоматического регулирования технологическим параметром.

Для представления алгоритма пуска/останова и сбора данных будем использовать правила ГОСТ 19.002.

### **2.7.1 Алгоритм сбора данных измерений**

В качестве канала измерения выберем канал измерения давления внутри сепаратора. Для этого канала разработан алгоритм сбора данных измерений, который представлен в приложении В1.

Суть данного алгоритма в формировании аналогового сигнала внутри датчика давления, передача на местный щит управления в контроллер, выработка управляющих сигналов в случае превышения уставок и передача их на защитный клапан, передача сигнала измерения в SCADA систему TRACE MODE, где происходит мониторинг оператором, её запись в архив и построение трендов по полученной информации.

### **2.7.2 Алгоритм пуска/останова технологического оборудования**

В данной бакалаврской работе разработан алгоритм управления пуска/останова технологического оборудования, который представлен в приложении В2.

По результатам опроса датчиков формируем управляющие сигналы для открытия/закрытия задвижками. После выполнения алгоритма один раз все задвижки возвращаются в исходное положение.

### 2.7.3 Алгоритм автоматического управления технологическим параметром

В качестве регулируемого параметра технологического процесса выступает расход воды на выходе из сепаратора.

В качестве алгоритма регулирования будем использовать алгоритм ПИД регулирования. Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор устройство в цепи обратной связи, используемое в системах автоматического управления для формирования управляющего сигнала. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых, первое из которых пропорционально входному сигналу, второе — интеграл входного сигнала, третье — производная входного сигнала.

Обычно управления является участок трубопровода между точкой измерения расхода и регулирующим органом. Длина этого участка определяется правилами установки датчика (сужающих устройств) и регулирующих органов и составляет обычно несколько метров. Динамика канала «расход вещества через клапан — расход вещества через расходомер» приближенно описывается апериодическим звеном первого порядка с чистым запаздыванием. Время чистого запаздывания обычно составляет несколько секунд для жидкости; значение постоянной времени — несколько секунд.

Передаточная функция участка регулируемого объемного расхода жидкости трубопровода будет равна:

$$W(p) = \frac{Q_k(p)}{Q(p)} = \frac{1}{Tp + 1} \cdot e^{-\tau_0 p},$$

$$\text{где } T = \frac{2Lfc^2}{Q}, \tau_0 = \frac{Lf}{Q}, c = \frac{Q}{f} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{2\Delta p g}},$$

$Q_k(p)$  – объемный расход жидкости после клапана;

$Q(p)$  – измеряемый объемный расход жидкости (до клапана);

$\gamma$  - удельный вес жидкости (для нефти составляет 1000 кгс/м<sup>3</sup>);

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

$d$  – диаметр трубы;

$f$  – площадь сечения трубы;

$\Delta p$  – перепад давления на трубопроводе;

$\tau_0$  – запаздывание;

$T$  – постоянная времени.

Произведем дальнейшие расчеты:

$$L = 10 \text{ м}, d = 0,1 \text{ м},$$

$$\Delta p = 1 \text{ МПа} = 101971 \text{ кгс} / \text{м}^3,$$

$$Q = 200 \text{ м}^3 / \text{ч} = 0,0556 \text{ м}^3 / \text{с},$$

$$f = \frac{\pi \cdot r^2}{2} = \frac{\pi \cdot d^2}{8} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{8} = 0,00393 \text{ м}^2$$

$$T = \frac{2Lfc^2}{Q} = \frac{2Lf}{Q} \cdot \frac{Q^2}{f^2} \cdot \frac{\gamma}{2\Delta p g} = \frac{LQ\gamma}{\Delta p f g} = \frac{10 \cdot 0,0556 \cdot 800}{101971 \cdot 0,00393 \cdot 9,8} = 0,113,$$

$$\tau_0 = \frac{Lf}{Q} = \frac{0,1 \cdot 0,00393}{0,0556} = 0,007.$$

$$W(p) = \frac{1}{0,113p + 1} \cdot e^{-0,007p}.$$

Передаточная функция

Регулирующий орган описывается с помощью замкнутого контура. В прямой цепи этого контура стоит апериодическое звено первого порядка (электромеханическая составляющая), звено Rate Limiter, ограничивающее скорость изменения сигнала, интегратор, преобразующий угловую скорость в угол перемещения и звено ограничения Saturation, ограничивающее угол поворота, а также управляемый генератор Pulse Generator, который моделирует ШИМ.

Система имеет два контура – замкнутый контур электропривода и непосредственно внешний контур регулирования. На рисунке 8 показана схема модели системы, полученная в программе MATLAB.

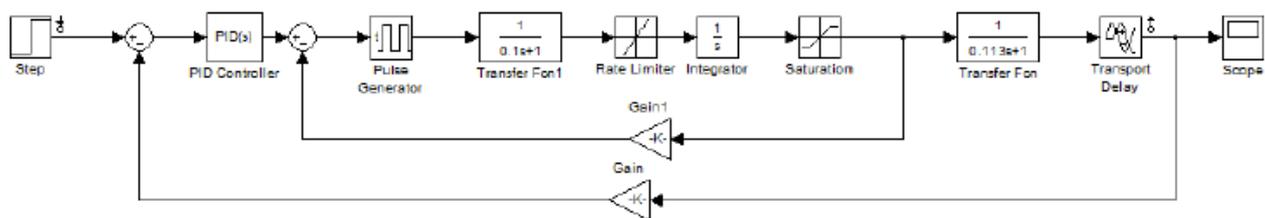


Рисунок 8 – Модель системы в программе MATLAB

Результаты моделирования системы до настройки ПИД-регулятора продемонстрированы на рисунке 10, где большая инерционность исходного объекта моделирования сказывается на величине времени регулирования, которое составляет 6,59 с. После автоматической настройки регулятора с помощью возможностей PID Tuner был получен переходный процесс, показанный на рисунке 10, время переходного процесса в этом случае уже составило 0,628 с, т.е. уменьшилось на порядок, а перерегулирование отсутствует.

При этом параметры самого регулятора показаны на рисунке 9 и составляют:

$$K_p = 2,150;$$

$$K_I = 11,841;$$

$$K_D = -0,108.$$

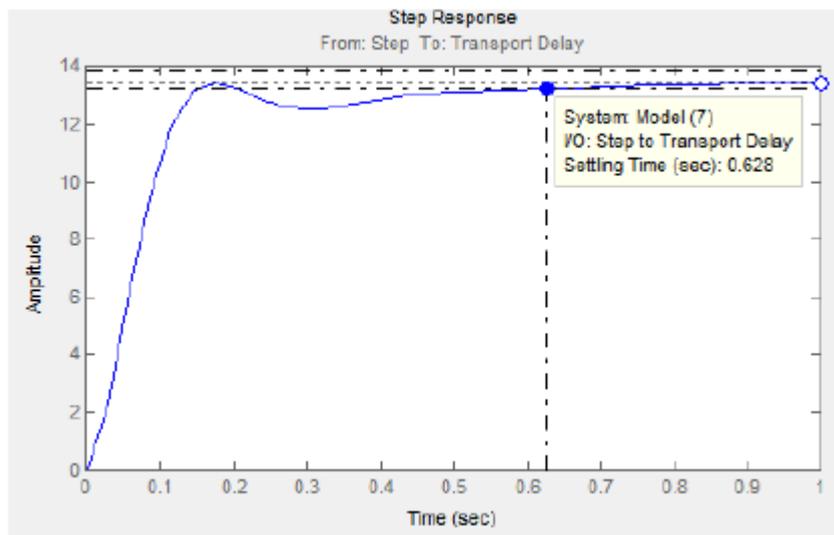


Рисунок 9 – График переходного процесса после настройки ПИД-регулятора

Main	PID Advanced	Data Types	State Attributes
Controller settings			
Controller form:	Parallel		
Proportional (P):	2.15047071839095		
Integral (I):	11.8407805152907		
Derivative (D):	-0.107665363280101	Filter coefficient (N):	18.6577673214042
			Tune...

Рисунок 10 – Параметры настройки ПИД-регулятора

## 2.8 Экранные формы АС сепарационной установки

SCADA система TRACE MODE по своей функциональности давно уже переросла рамки традиционной SCADA, и, тем не менее, SCADA это по-прежнему наиболее востребованная ее часть. Помимо обязательных для любой SCADA системы функций TRACE MODE 6 имеет ряд особенностей, которые выделяют ее из общей массы аналогичных программных продуктов класса SCADA/HMI.

Прежде всего, это единая интегрированная среда разработки, объединяющая в себе более 10 различных редакторов проекта АСУ ТП и АСУП. Функции SCADA/HMI в TRACE MODE 6 так органично слиты с

SOFTLOGIC системой программирования контроллеров и экономическими модулями T-FACTORY (MES-EAM-HRM), что зачастую трудно провести между ними четкую грань.

Для программирования алгоритмов управления технологическими процессами в SCADA системе TRACE MODE 6 поддерживаются все 5 языков международного стандарта IEC 61131-3 (визуальные и процедурные языки), снабженные средствами отладки. Такой широкий диапазон средств программирования позволяет специалисту любого профиля выбрать для себя наиболее подходящий инструмент реализации любых задач АСУ ТП и АСУП.

SCADA TRACE MODE 6 обладает собственной высокопроизводительной промышленной СУБД реального времени SIAD/SQL 6 оптимизированной на быстрое сохранение данных. Архивные данные SIAD/SQL 6 не только быстро сохраняются, но и подвергаются статистической обработке в реальном времени, а также могут отображаться на мнемосхемах SCADA и использоваться в программах наравне с данными реального времени. SCADA также имеет встроенный генератор отчетов.

Особое внимание в SCADA TRACE MODE 6 уделено возможностям интеграции с базами данных и другими приложениями. Поэтому в эту SCADA встроена поддержка наиболее популярных программных интерфейсов: ODBC, OPC, DDE. Для облегчения настройки взаимодействия с внешними базами данных в интегрированную среду разработки TRACE MODE встроен редактор SQL-запросов. Кроме того, существует возможность подключения компонентов ActiveX, что свидетельствует о высокой степени открытости SCADA-системы TRACE MODE 6.

Основные возможности SCADA-систем:

- сбор первичной информации от устройств нижнего уровня;
- архивирование и хранение информации для последующей обработки (создание архивов событий, аварийной сигнализации, изменения

технологических параметров во времени, полное или частичное сохранение параметров через определенные промежутки времени);

- документирование, как технологического процесса, так и процесса управления (создание отчетов), выдача на печать графиков, таблиц, результатов вычислений и др.;

Экранные формы сепарационной установки приведены в приложениях Г1, Г2, Г3, Г4.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-8Т32	Вереха Сергею Андреевичу

<b>Инженерная школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Отделение автоматизации и робототехники</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Автоматизация технологических процессов и производств</b>

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, ставки налоговых отчислений во внебюджетные фонды, районный коэффициент по г. Томску</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

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

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Потенциальные потребители результатов исследований, анализ конкурентных технических решений.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Разработка этапов выполнения работ, составление графика работ, расчет бюджета исследования</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Оценка эффективности исследования</i>

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

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *График проведения и бюджет НИ*

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Наталья Владимировна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-8Т32	Вереха Сергей Андреевич		

### **3 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсоснабжения**

#### **3.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Установка подготовки нефти (УПН), включающая площадку сепарации это современный комплекс, осуществляющий подготовку, транспортировку, хранение и переработку. Важную роль в этом процессе играет контроль и управление технологическими процессами.

Потенциальными потребителями результатов этого исследования являются предприятия нефтегазовой промышленности, расположенные на территории Российской Федерации, добывающие и транспортирующие нефть, такие как: ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Сургутнефтегаз».

#### **3.2 Анализ конкурентных технических решений**

Для проведения анализа составим оценочную карту и представим в таблице 1.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i * B_i$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 2 – Оценочная карта

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Проект АСУ ТП	Существующая система управления	Разработка АСУ ТП сторонней компанией	Проект АСУ ТП	Существующая система управления	Разработка АСУ ТП сторонней компанией
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Повышение производительности	0,16	3	1	4	0,48	0,16	0,64
Удобство в эксплуатации	0,04	5	2	3	0,2	0,08	0,12
Помехоустойчивость	0,05	2	3	3	0,1	0,15	0,15
Энергоэкономичность	0,05	3	4	2	0,15	0,2	0,1
Надежность	0,06	5	3	3	0,3	0,18	0,18
Уровень шума	0,03	1	3	2	0,03	0,09	0,06
Безопасность	0,06	5	2	4	0,3	0,12	0,24
Простота эксплуатации	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Качество интеллектуального интерфейса	0,12	5	1	4	0,6	0,12	0,48
Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,09	4	0	1	0,36	0	0,09
<b>Итого:</b>	<b>1</b>	<b>38</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>3,02</b>	<b>2,32</b>	<b>2,46</b>

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что автоматизация Установки подготовки нефти (УПН), является наиболее эффективной. Уязвимость конкурентов объясняется наличием таких причин, как меньшее увеличение производительности, помехоустойчивости, уровень шума, высокая эксплуатация, надёжность, безопасность и простота эксплуатации.

### 3.3 Планирование научно-исследовательских работ

#### 3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для реализации проекта необходимы два исполнителя – научный руководитель и студент проектировщик. Инженер непосредственно осуществляет разработку проекта. Перечень этапов работ и распределение исполнителей представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Изучение существующих объектов проектирования	Студент
	4	Календарное планирование работ	Руководитель, студент
Теоретическое и экспериментальное исследование	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Студент
	7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, студент
	9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель, студент

Разработка технической документации и проектирование	10	Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	Студент
	11	Составление перечня вход/выходных сигналов	Студент
	12	Составление схемы информационных потоков	Студент
	13	Разработка схемы внешних проводок	Студент
	14	Разработка алгоритмов сбора данных	Студент
	15	Разработка алгоритмов автоматического регулирования	Студент
	16	Разработка структурной схемы автоматического регулирования	Студент
	17	Проектирование SCADA-системы	Студент
Оформление отчета	18	Составление пояснительной записки	Студент

### 3.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

Чтобы определить трудоемкость выполнения работ необходимо экспертной оценки ожидаемой трудоемкости выполнения каждой работы рассчитать длительность работ в рабочих и календарных днях для каждого из вариантов исполнения работ последующим формулам:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{минi} + 2t_{маxi}}{5}$$

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

$3t_{минi}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

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

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}$$

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

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

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

$$T_{ki} = T_{Pi} + k_{\text{кал}}$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях (округляется до целых);

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

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

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

где  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности;

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

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

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

В расчетах учитывается, что календарных дней в 2018 году 365, сумма выходных дней составляет 118 дней. Используя эти данные рассчитаем коэффициент календарности который равен 1,48. Расчетные значения представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Временные показатели проведения работ

	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	t min	t max	t ож			
Составление и утверждение технического задания	2	3	2,4	Рук.	2,4	3,55
Подбор и изучение материалов по теме	1	6	3	Студ.	3	4,44
Изучение существующих объектов проектирования	2	4	2,8	Студ.	2,8	4,14
Календарное планирование работ	0,5	1	0,7	Рук. Студ.	0,35	0,51
Проведение теоретических расчетов и обоснований	2	4	2,8	Студ.	2,8	4,14
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	1	3	1,8	Студ.	1,8	2,66
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	0,5	1	0,7	Рук. Студ.	0,35	0,51
Оценка эффективности полученных результатов	0,5	1	0,7	Рук. Студ.	0,35	0,51
Определение целесообразности проведения ОКР	0,5	1	0,7	Рук. Студ.	0,35	0,51
Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	2	3	2,4	Студ.	2,4	3,55
Составление перечня вход/выходных сигналов	0,5	1	0,7	Рук. Студ.	0,35	0,51
Составление схемы информационных потоков	0,5	1	0,7	Рук. Студ.	0,35	0,51
Разработка схемы внешних проводок	2	4	2,8	Студ.	2,8	4,14
Разработка алгоритмов сбора данных	1	3	1,8	Студ.	1,8	2,66

	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
	t min	t max	t ож			
Разработка алгоритмов автоматического регулирования	0,5	1	0,7	Рук. Студ.	0,35	0,51
Разработка структурной схемы автоматического регулирования	1	5	2,6	Студ.	2,6	3,84
Проектирование SCADA-системы	1	4	2,2	Студ.	2,2	3,25
Составление пояснительной записки	2	3	2,4	Студ.	2,4	3,55
<b>Итого:</b>	<b>Руководитель</b>				<b>4,85</b>	<b>7,12</b>
	<b>Студент</b>				<b>27,05</b>	<b>39,94</b>

Рук. - руководитель, Студ. - студент.

На основе таблицы 4, построим календарный план-график. Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя	Начало	Конец	Дни
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	04.04.2018	06.04.2018	3
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	07.04.2018	12.04.2018	6
3	Изучение существующих объектов проектирования	Студент	13.04.2018	16.04.2018	4
4	Календарное планирование работ	Руководитель Студент	17.04.2018	17.04.2018	1
5	Проведение теоретических расчётов и обоснований	Студент	18.04.2018	21.04.2018	4

6	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Студент	22.04.2018	24.04.2018	3
7	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель Студент	25.04.2018	25.04.2018	1
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель Студент	26.04.2018	26.04.2018	1
9	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель Студент	27.04.2018	27.04.2018	1
10	Разработка функциональной схемы автоматизации по ГОСТ и ANSI/ISA	Студент	28.04.2018	30.04.2018	3
11	Составление перечня входных/выходных сигналов	Руководитель Студент	01.05.2018	01.05.2018	1
12	Составление схемы информационных потоков	Руководитель Студент	02.05.2018	02.05.2018	1
13	Разработка схемы внешних проводок	Студент	03.05.2018	06.05.2018	4
14	Разработка алгоритмов сбора данных	Студент	07.05.2018	09.05.2018	3
15	Разработка алгоритмов автоматического регулирования	Руководитель Студент	10.05.2018	10.05.2018	1
16	Разработка структурной схемы автоматического регулирования	Студент	11.05.2018	15.05.2018	5
17	Проектирование SCADA-системы	Студент	16.05.2018	19.05.2018	4
18	Составление пояснительной записки	Студент	20.05.2018	22.05.2018	3



Рисунок 11 – Диаграмма Ганта

### 3.4 Бюджет научно-технического исследования

#### 3.4.1 Расчёт материальных затрат

В данную статью включают стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Также при расчете материальных затрат учитываются транспортные расходы и расходы на установку оборудования, примем 2% от стоимости материалов. В таблице 5 приведены материальные расходы.

Таблица 5 – Материальные расходы

Наименование	Единицы измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Контроллер «Siemens S7-300»	шт.	2	103 018	247 243,2
Датчик давления «Метран-150TG2»	шт.	2	37 000	88 800
Датчик уровня «Krohne BM 100»	шт.	4	163 841	786 436,8
Датчик перепада-давления «Метран-150CD2»	шт.	2	45 000	108 000
Датчик температуры «ТСП Метран-256»	шт.	2	20 210	48 504
Расходомер «YOKOGAWA DigitalYEWFL0»	шт.	1	136 875	164 250
Электропривод «Гусар»	шт.	5	143 000	858 000
Итого:				2 301 234

#### 3.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование

В данной статье производится расчет затрат на приобретение специализированного программного обеспечения для контроллера фирмы Siemens S7-300. В таблице 6 приведен расчет затрат на приобретение программного обеспечения.

Таблица 6 – Расчет бюджета затрат на приобретение ПО

Наименование	Количество	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость, руб.
Siemens S7-300	1	428 000	428 000
Итого:			428 000

### 3.4.3 Основная заработная плата исполнителей проекта

Расчет заработной платы производится на основе отраслевой системы оплаты труда в ТПУ в соответствии с должностями. Руководитель – доцент, к.т.н., студент – учебно-вспомогательный персонал. Расчет осуществляется по следующим формулам:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_p$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m * M}{F_d}$$

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;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, 247 раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} * (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}} + k_{\text{р}}) + З_{\text{тс}}$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 30% (для Томска).

Таблица 7 – Основная заработная плата

Исполнители	Тарифная заработная плата, $З_{\text{тс}}$ , руб.	Районный коэффициент, $k_{\text{р}}$ , %.	Месячный должностной оклад работника, $З_{\text{м}}$ , руб.	Среднедневная заработная плата, $З_{\text{дн}}$ , руб.	Продолжительность работ, $T_{\text{р}}$ , Р.д.	Зарботная плата основная, $З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	33 664	30	43 763,2	1 984,40	4,85	9 624,34
Студент	9 489	30	12 335,7	559,35	27,05	15 130,41
<b>Итого:</b>						<b>24 754,75</b>

#### 3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей проекта

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{допР}} = k_{\text{доп}} * З_{\text{осн}} = 0,15 * 9 624,34 = 1 443,65 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{допС}} = k_{\text{доп}} * З_{\text{осн}} = 0,15 * 15 130,41 = 2 269,56 \text{ руб.}$$

### 3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Расчет отчислений во внебюджетные фонды представлен в таблице 7

Таблица 8 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	9 624,34	1 443,65
Студент	15 130,41	2 269,56
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды, %	30%	30%
Итого:	<b>7 426,42</b>	<b>1 113,96</b>

### 3.4.6 Накладные расходы

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

$$\begin{aligned} Z_{\text{накл}} &= (2\,301\,234 + 428\,000 + 24\,754,75 + 3\,713,21 + 8\,540,38) * 0,16 \\ &= 442\,598,77 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Где 0,16 - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

### 3.4.7 Формирование бюджета затрат научно–исследовательского проекта

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат НТИ

	<b>Наименование статьи</b>	<b>Сумма, руб.</b>
1	Материальные затраты	2 301 234
2	Затраты на специальное оборудование	428 000
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	24 754,75
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	3 713,21
5	Отчисления во внебюджетные фонды	8 540,38
6	Накладные расходы	442 598,77
7	<b>Итого:</b>	<b>3 208 841,11</b>

### **3.5 Определение эффективности исследования**

Автоматизация установки подготовки нефти требует порядка 3,3 млн. руб. Основываясь на определении финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя сравнительный анализ, можно сделать вывод об усовершенствовании выполненной работы над аналогами. В отличие от аналогов, автоматизация УПН отличается высокой эксплуатацией, надёжностью, безопасностью и простотой эксплуатации.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-8Т32	Верёга Сергею Андреевичу

<b>Инженерная школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение</b>	<b>Отделение автоматизации и робототехники</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Автоматизации технологических процессов и производств

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Нефтегазовый сепаратор; Нефть, газ; Нефтегазовая отрасль.
--	---

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

1. Надёжности системы	
2. Передача данных	
3. Интерфейс	

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент ИШХБМТ	Невский Егор Сергеевич			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-8Т32	Верёга Сергей Андреевич		

## **4 Социальная ответственность**

### **4.1 Надёжности системы**

Надежностью называют свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. Расширение условий эксплуатации, повышение ответственности выполняемых радиоэлектронными средствами функций, их усложнение приводит к повышению требований к надежности изделий.

Надежность является сложным свойством и формируется такими составляющими, как безотказность, долговечность, восстанавливаемость и сохраняемость. Основным здесь является свойство безотказности - способность изделия непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение времени.

Особенностью проблемы надежности является ее связь со всеми этапами «жизненного цикла» радиоэлектронных средств от зарождения идеи создания до списания: при расчете и проектировании изделия его надежность закладывается в проект, при изготовлении надежность обеспечивается, при эксплуатации - реализуется. Поэтому проблема надежности - комплексная проблема и решать ее необходимо на всех этапах и разными средствами. На этапе проектирования изделия определяется его структура, производится выбор или разработка элементной базы, поэтому здесь имеются наибольшие возможности обеспечения требуемого уровня надежности радиоэлектронных средств. Основным методом решения этой задачи являются расчеты надежности (в первую очередь - безотказности), в зависимости от структуры объекта и характеристик его составляющих частей, с последующей необходимой коррекцией проекта.

### 4.1.1 Выбор ПЛК

Siemens Simatic S7-300 – модульный универсальный программируемый контроллер для решения задач автоматизации низкого и среднего уровня сложности, использующий распределенную структуру ввода-вывода и простое включение в сетевые конфигурации, удобную конструкцию и обеспечивающий работу с естественным охлаждением. Имеет высокую мощность благодаря наличию большого количества встроенных функций.

Области применения:

- автоматизация оборудования для производства технических средств управления;
- системы автоматизации судовых установок и систем водоснабжения;
- автоматизация машин специального назначения, текстильных и упаковочных машин, машиностроительного оборудования;
- автоматизация электротехнического оборудования и т.д.

### 4.1.2 Выбор датчика давления

Выбор датчика давления проходил из следующих типов приборов: Метран-150TG2, Rosemount 3051TG, Метран-43ДИ. В результате анализа был выбран датчик избыточного давления Метран-150TG2, он более надёжный, имеет доступную цену, высокую точность измерений.

Обладает следующими техническими характеристиками:

- Измеряемые среды: пар, газ, газовые смеси, нефтепродукты, жидкости;
- Рабочие температуры окружающей среды:  $-40...+80$  °С;
- Основная приведённая погрешность  $\pm 0,075\%$ ;
- Диапазоны измерения: 0-0,025 кПа, 0-60 МПа;
- Выходные сигналы: 4-20мА с HART-протоколом, 0-5мА.

### **4.1.3 Выбор датчика перепада давления**

Выбор датчика перепада давления проходил из следующих типов приборов: Метран-150CD2, Rosemount 3051CD, Метран-44ДД. В результате анализа был выбран датчик избыточного давления Метран-150CD2, он более надёжный, имеет доступную цену, высокую точность измерений.

Обладает следующими техническими характеристиками:

- Измеряемые среды: пар, газ, газовые смеси, нефтепродукты, жидкости;
- Рабочие температуры окружающей среды: -40...+80 °С;
- Основная приведённая погрешность  $\pm 0,075\%$ ;
- Диапазоны измерения: 0-0,025 кПа, 0-60 МПа;
- Выходные сигналы: 4-20мА с HART-протоколом, 0-5мА.

### **4.1.4 Выбор датчика уровня**

Уровнемер Rosemount 5302 имеет преимущества в выходном сигнале. Поэтому его стоимость выше, чем у Krohne BM 100. На нашем объекте нет необходимости в таком функциональном приборе, поэтому остановимся на выборе датчика Krohne BM 100. Уровнемер Krohne BM 100 имеет нужный нам диапазон температур окружающей среды и межповерочный интервал 3 года.

### **4.1.5 Выбор расходомера**

Выбор расходомера проходил из следующих типов приборов: Кориолисов расходомер Micro Motion и Вихревой счетчик-расходомер YOKOGAWA DigitalYEWFL0. Расходомер Micro Motion предназначены для прямого измерения массового расхода, плотности, температуры, вычисления объемного расхода жидкостей, газов и взвесей. Так нам нужен расход воды из сепаратора для сводки, для этого подходит вихревой счётчик YOKOGAWA DigitalYEWFL0.

Вихревые счетчики-расходомеры серии digitalYEWFL0 — это интеллектуальные датчики расхода, предназначенные для измерения объемного расхода жидкости, пара или газа.

#### **4.1.6 Датчика температуры**

Выберем датчик температуры путем сравнения технических характеристик имеющихся датчиков: ТСП Метран-206, ТСП Метран-256, Метран-288, Метран-2700.

Метран-288, Метран-2700 называются интеллектуальными преобразователями температуры (ИПТ). Они имеют большой диапазон измеряемых температур, наличие HART-протокола. В корпусе соединительной головки этих датчиков кроме первичного преобразователя, есть электронный преобразователь для выходного сигнала 4-20 мА. Они имеют высокий класс взрывозащиты и искробезопасности. Все эти показатели сказываются на высокой стоимости датчиков.

На сепараторах достаточно иметь взрывобезопасный датчик с диапазоном измеряемых температур от -50 до 500 °С, имеющий высокий срок службы и поверки, и недорогой по отношению к ИПТ. Этим требованиям удовлетворяет ТСП Метран-256.

#### **4.1.7 Выбор исполнительного механизма**

В качестве исполнительных механизмов возьмем блок управления ESD-VCX конструкцию многооборотного электропривода серии ГУСАР.

Основные технические характеристики электропривода РэмТЭК-02:

- Класс защиты корпуса IP67;
- Сертификат взрывобезопасности Exd II BT4;
- Рабочие температуры окружающей среды: -50...+50 °С.

## 4.2 Передача данных

Система управления должна состоять из распределенной системы управления (PCY) и автоматической системы противоаварийной защиты (ПАЗ). Основной целью и назначением которых является обеспечение безопасного и эффективного управления технологическим процессом в реальном масштабе времени.

Связь между оборудованием нижнего и среднего уровней должна осуществляться при помощи проводных связей, посредством цифровых и унифицированных аналоговых, дискретных электрических сигналов через кроссовые шкафы.

Обмен данными между оборудованием среднего и верхнего уровней должен осуществляться при помощи резервированных специализированных промышленных компьютерных сетей высокой производительности. Для организации этих сетей должна быть предусмотрена проводка резервированных оптоволоконных кабелей и кабелей типа "витая пара" категории не ниже "5e" с применением специализированного сетевого оборудования.

Структура PCY и ПАЗ должна быть предусмотрена такой, чтобы исключить наличие узлов (единичных элементов и связей), отказ которых приведет к отказу PCY и ПАЗ в целом. Для обеспечения минимальной вероятности отказов должно быть предусмотрено резервирование ответственных элементов и сетей системы.

В системе должна быть предусмотрена сохранность информации:

- при нештатных технологических ситуациях, выходе из строя компонентов системы и нештатном отключении электропитания;
- сохранение системной конфигурации, прикладного программного обеспечения (ПО), трендов и журналов событий в случае выхода из строя компонентов системы, нештатного отключения электропитания либо некорректных действий технологического персонала.

### 4.3 Интерфейс

Весь технологический процесс отображается на АРМе оператора и диспетчерском пункте в виде мнемосхем. Наглядно отображая структуру системы, мнемосхема облегчает оператору запоминание схем объектов, взаимосвязь между параметрами, назначение приборов и органов управления. В процессе управления мнемосхема является для оператора важнейшим источником информации о текущем состоянии системы, характере и структуре протекающих в ней процессов, в том числе связанных с нарушением технологических режимов, авариями.

На мнемосхеме технологической площадки, рисунок – 2 изображены следующие объекты: сепараторы первой и второй ступени, отстойник нефти, концевой сепаратор, газовые сепараторы, трубопроводы: газовые, нефтяные, имеющиеся на оборудовании датчики и электроклапаны. Оператор так же с легкостью может перейти по вкладкам, выбрать нужные ему объекты для мониторинга технологических параметров.

Так же можно посмотреть тренды по каждому объекту и интересующий его параметр. На всей территории УПН получить информацию по насосам и приточным вентиляциям мото-часы , и их состояние: резерв, в работе, в ремонте. Рисунок -1. Посмотреть нужную уставку до датчикам, диапазон измерения, предупредительные и аварийные сигнализации. Как показано на рисунках – 3,4.

## **Заключение**

В ходе выполнения бакалаврской работы выполнена автоматизация установки подготовки нефти Северо-Останинского нефтегазоконденсатного месторождения.

Разработанная система имеет трехуровневую архитектуру: сигналы с датчиков полевого уровня поступают через контроллерное оборудование на АРМ оператора в виде экранных форм SCADA-системы.

При разработке САУ были детально проработаны структурная и функциональные, соответствующие ГОСТ и стандарту ANSI/ISA, схемы. В процессе работы были изучены все необходимые стандарты для разработки АСУ ТП, а также детально разобран процесс обессоливания и обезвоживания нефти внутри сепаратора.

Разработанная система автоматического управления отвечает всем заявленным в техническом задании требованиям к разным видам обеспечения и системе в целом.

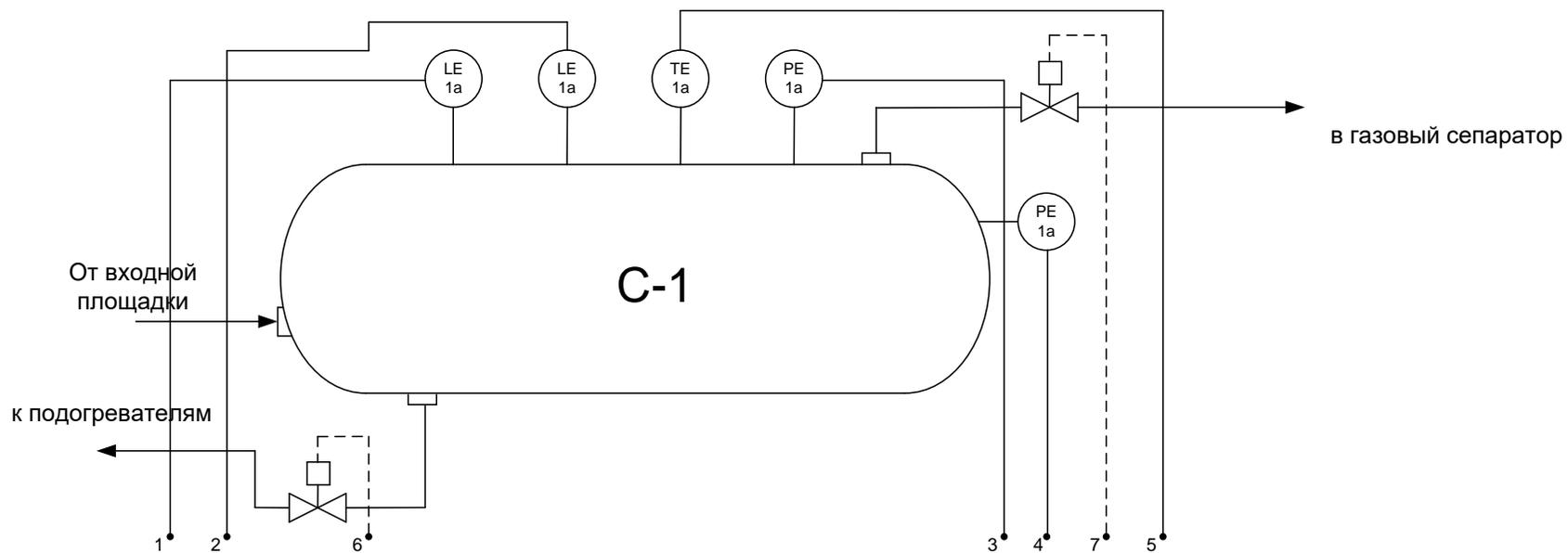
## Список использованных источников

1. Громаков Е. И., Проектирование автоматизированных систем. Курсовое проектирование: учебно-методическое пособие: Томский политехнический университет. — Томск, 2009.
2. ГОСТ 21.408-93 Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов М.: Издательство стандартов, 1995.– 44с.
3. Клюев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Клюев А. А.; под ред. А.С. Клюева. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
4. Федоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 с.
5. Каталог продукции промышленной группы Метран [Электронный ресурс]. / Метран / URL: [www.metran.ru/](http://www.metran.ru/) – Загл. с экрана – Яз. рус. Дата обращения: 25.05.2014 г.
6. ПРОСОФТ, 1996 - 2014 [Электронный ресурс]. / URL: <http://www.prosoft.ru/products/brands/ps/377308/> – Загл. с экрана – Яз. рус. Дата обращения: 25.05.2014 г.
7. ООО "СПЕЦЭЛЕКТРО" [Электронный ресурс]. / URL: <http://se33.ru/explosion-proof-motors.html> – Загл. с экрана – Яз. рус. Дата обращения: 25.05.2014 г.
8. Криницына З.В. Ресурсоэффективность отрасли: Учебное пособие /З.В.Криницына. – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2013. – 182 с.
9. Шепеленко Г.И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии: Учебное пособие / Г. И. Шепеленко.—2-е изд., доп. и перераб.—Ростов-на-Дону: МарТ, 2000.—544 с.—ISBN 5-241-00014-3.

10. <http://www.piezoelectric.ru/files/Conf2015Bogush.pdf>
11. <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-1200.htm>
12. <http://progressavtomatika.ru/katalog-tovarov/programmiruemye-logicheskie-kontrollery-plk-siemens-simatic-s7-1200.html>
13. <https://ru.krohne.com/ru/>

## Приложение А1

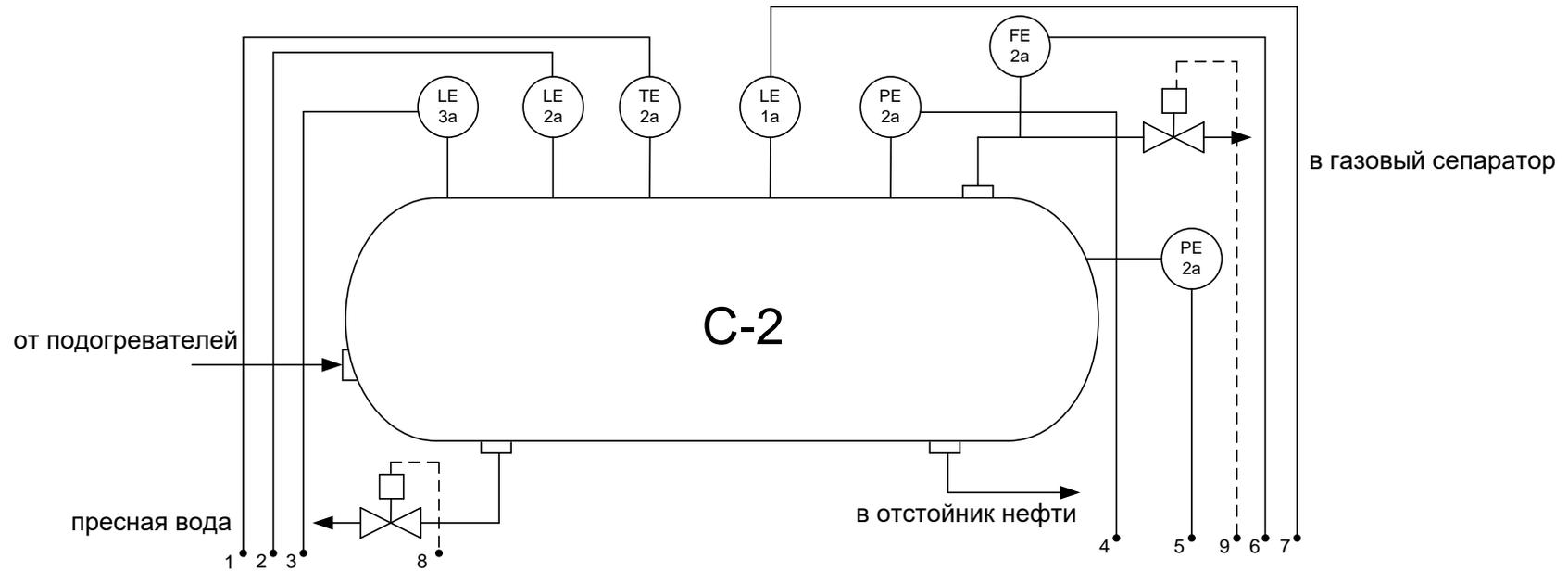
### Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.404-85 сепаратора С-1



	1 %	6	2 %	3 МПа	7	4 кПа	5 °C	
Шкаф блоков	LT 16		LT 16	PT 16		PT 16	TT 16	
Щит оператора	LI 1в    LC 1г		LI 1в    HL1	PI 1в    PC 1г		PI 1в    HL2	TI 1в    HL3	
SCADA	<div style="display: flex; justify-content: space-between; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> <span>— мониторинг</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; border-bottom: 1px solid black;"> <span>— регистрация</span> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>— управление</span> </div>							

## Приложение А2

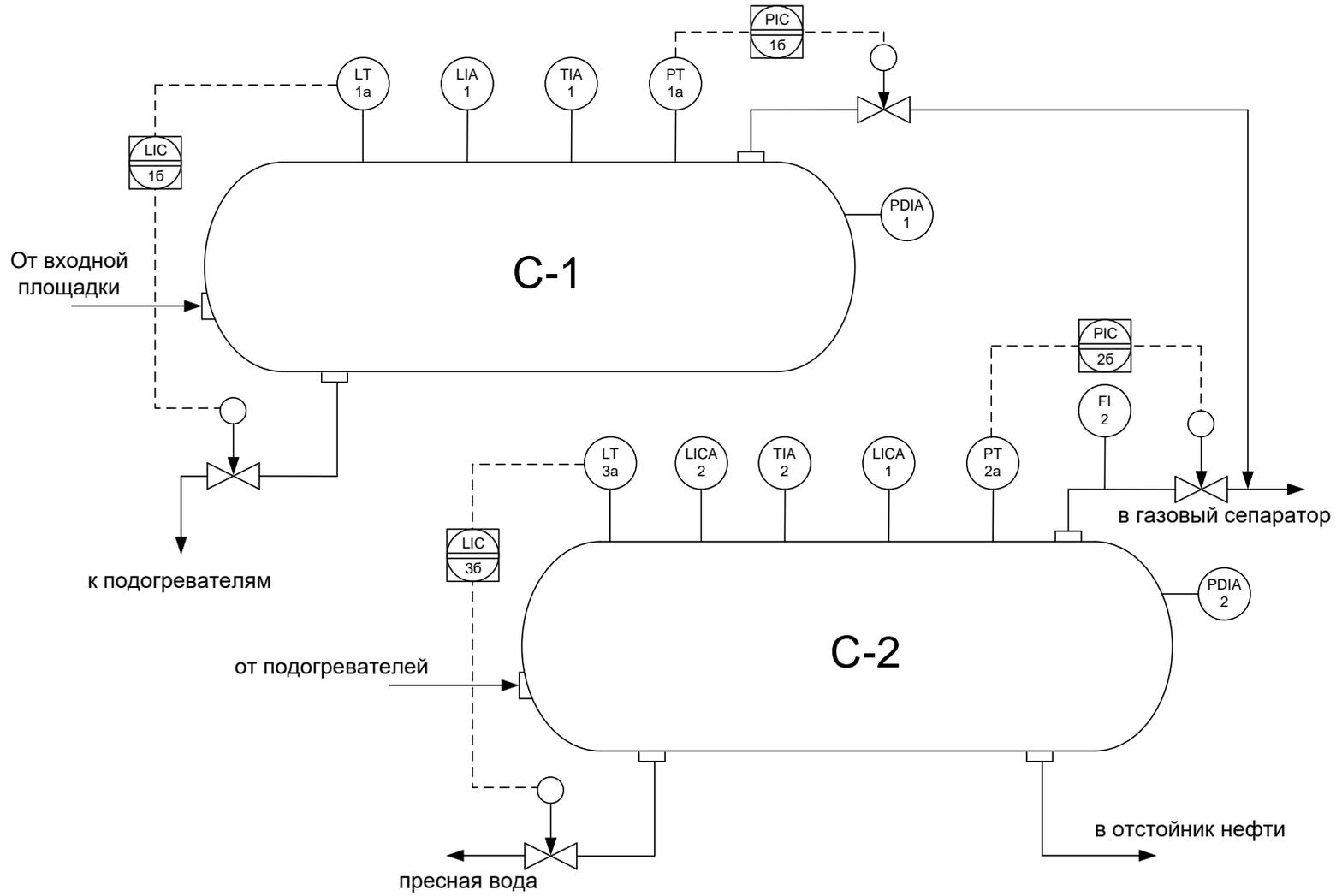
### Функциональная схема автоматизации по ГОСТ 21.404-85 сепаратора С-2



	1 °C	2 %	3 %	8	4 МПа	9	5 кПа	6 м3/ч	7 %
Шкаф блоков	ТТ 26	LT 26	LT 36		PT 26		PT 26	FT 26	LT 16
Щит оператора	TI 2в HL1	LI 2в HL2	LI 3в LC 3г		PI 2в PC 2г		PI 2в HL3	FI 2в FR 2г	LI 1в HL4
SCADA	—	—	—	—	—	—	—	—	—
									мониторинг регистрация управление

# Приложение А3

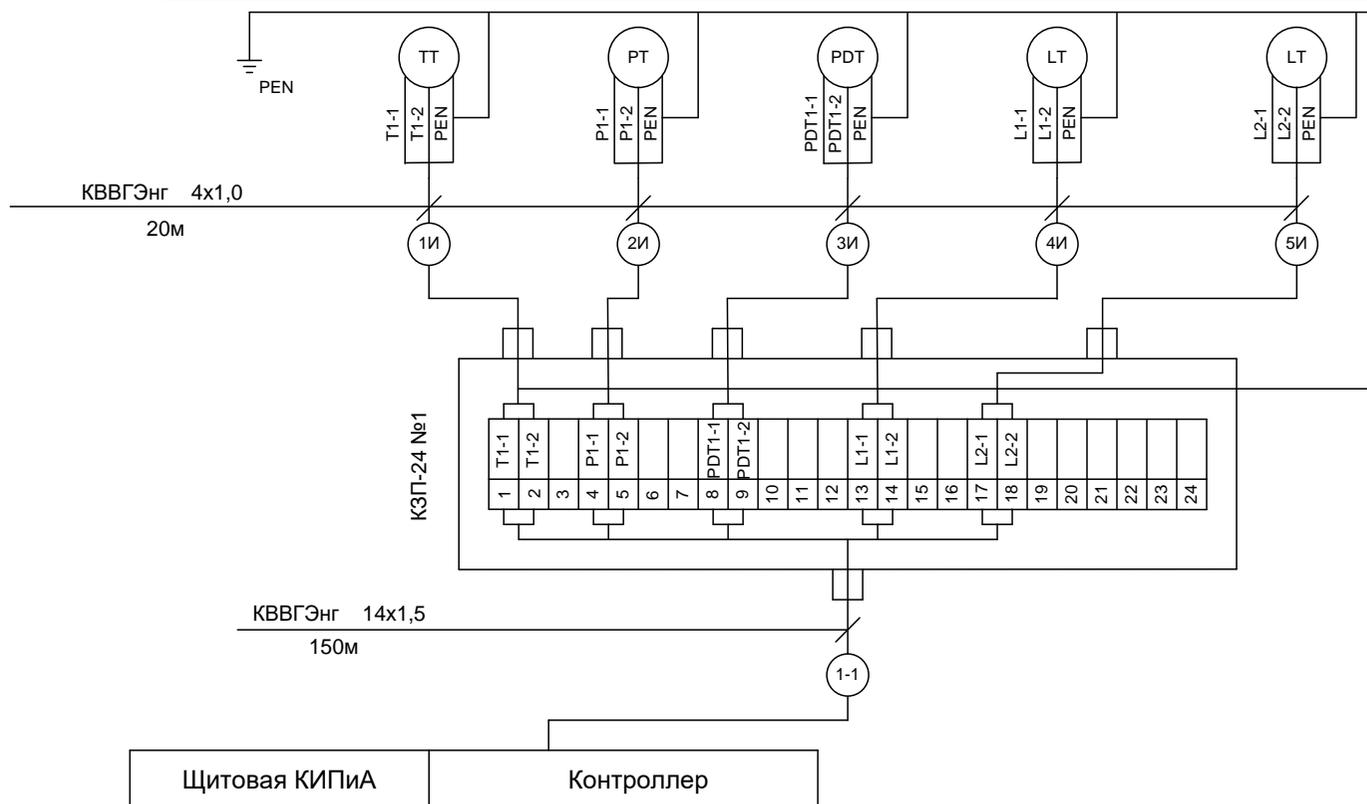
## Функциональная схема автоматизации по ANSI/ISA



## Приложение Б1

### Схема внешних проводок сепаратора С-1

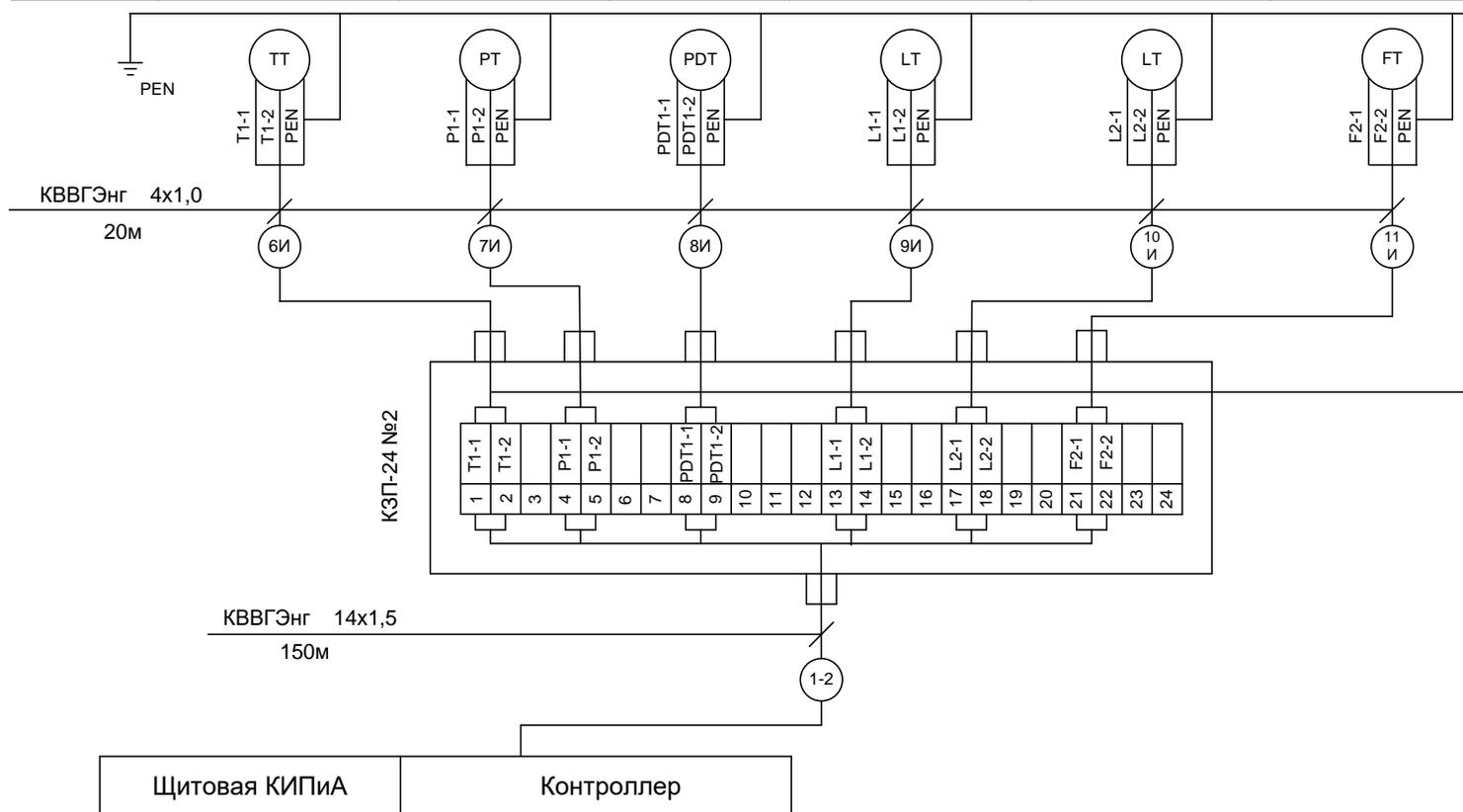
Место установки	СЕПАРАТОР С-1				
Параметр	Температура	Давление	Перепад давления	Уровень	Уровень
Тип прибора	ТСП Метран-256	Метран 150TG2	Метран 150CD2	Krohne BM 100	Krohne BM 100
Позиция	С1-Т1	С1-Р1	С1-РД1	С1-Л1	С1-Л2



## Приложение Б2

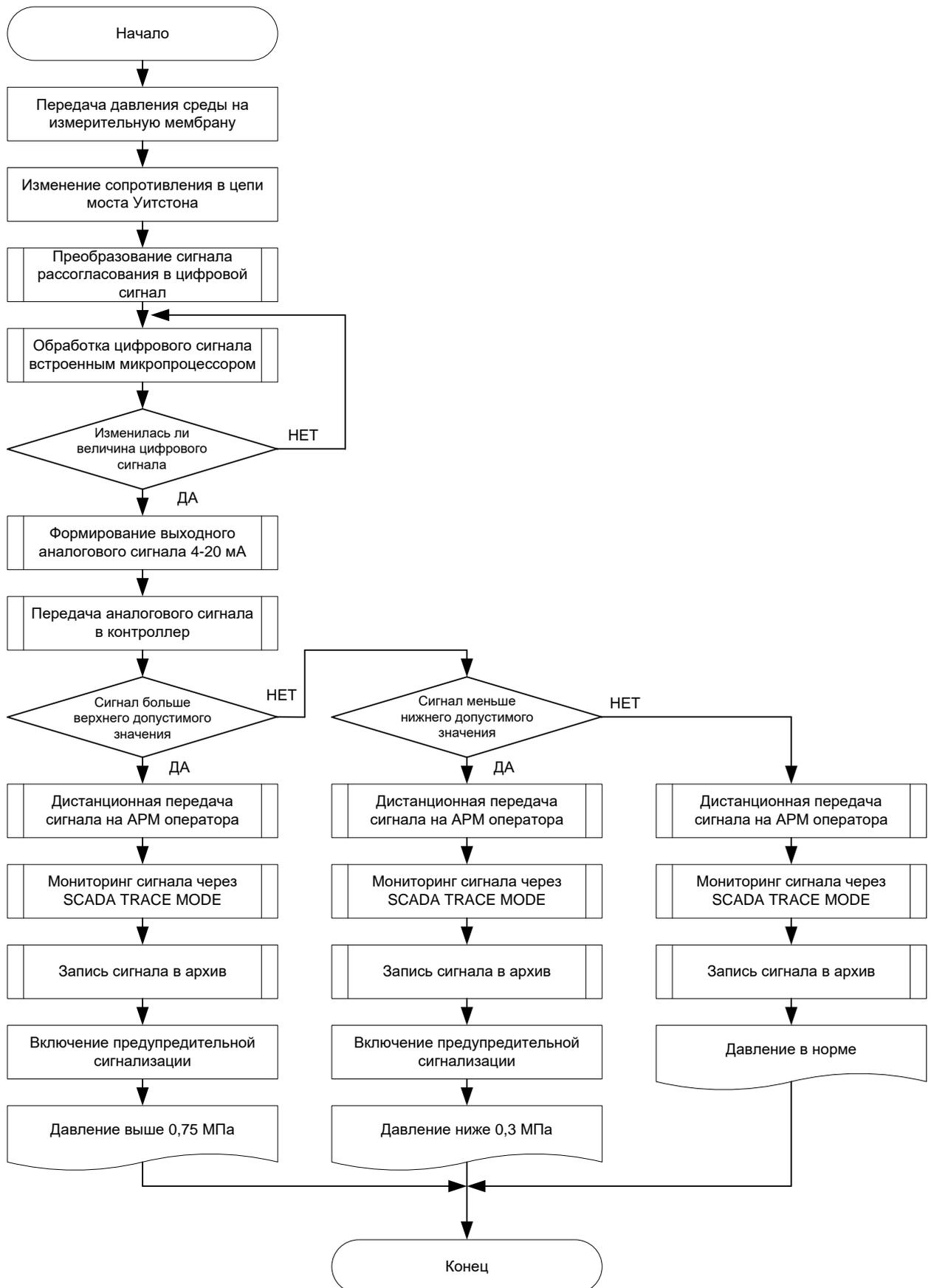
### Схема внешних проводок сепаратора С-2

Место установки	СЕПАРАТОР С-2					
Параметр	Температура	Давление	Перепад давления	Уровень	Уровень	Расход
Тип прибора	ТСП Метран-256	Метран 150TG2	Метран 150CD2	Krohne BM 100	Krohne BM 100	YOKOGAWA DigitalYEWFLO
Позиция	C2-T1	C2-P1	C2-PD1	C2-L1	C2-L2,L3	C2-F2



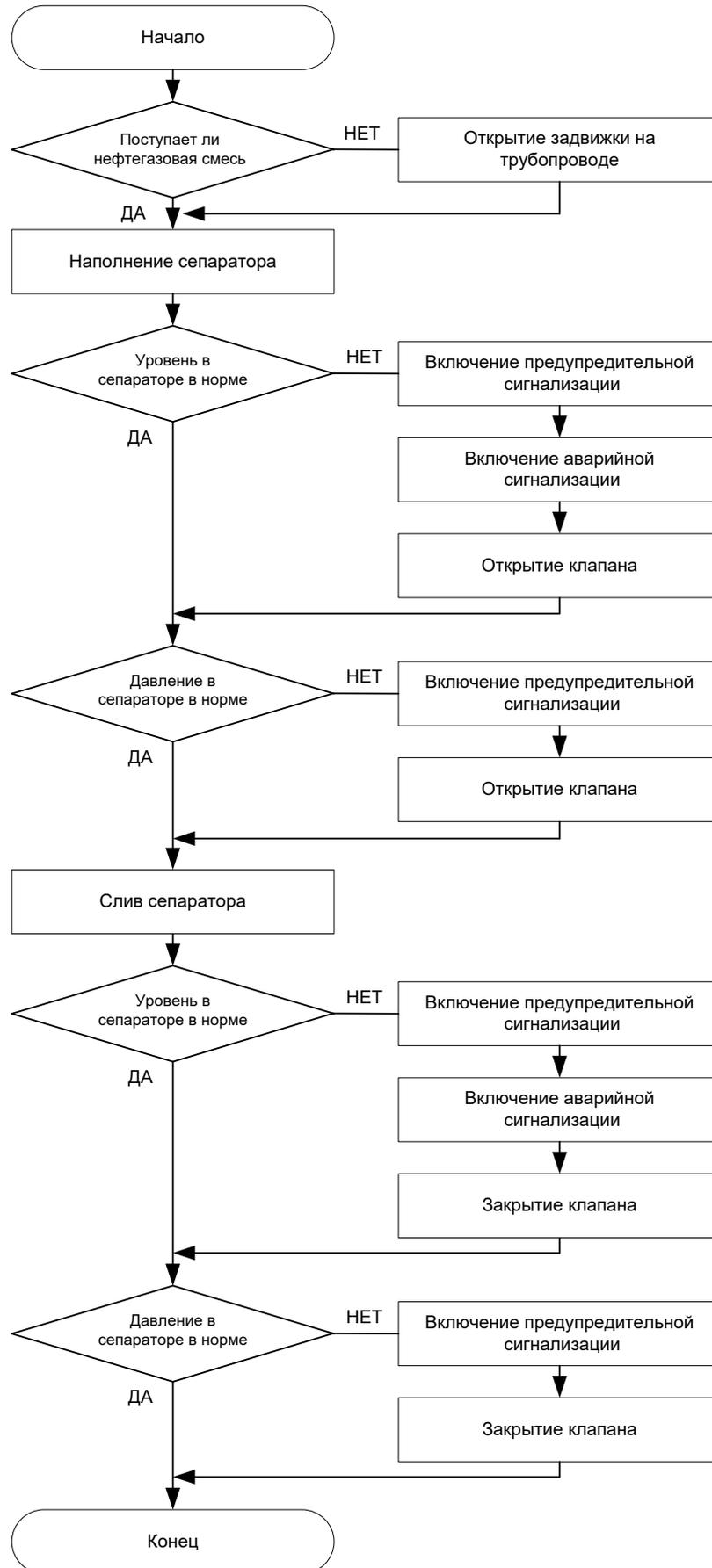
# Приложение В1

## Алгоритм сбора данных измерений



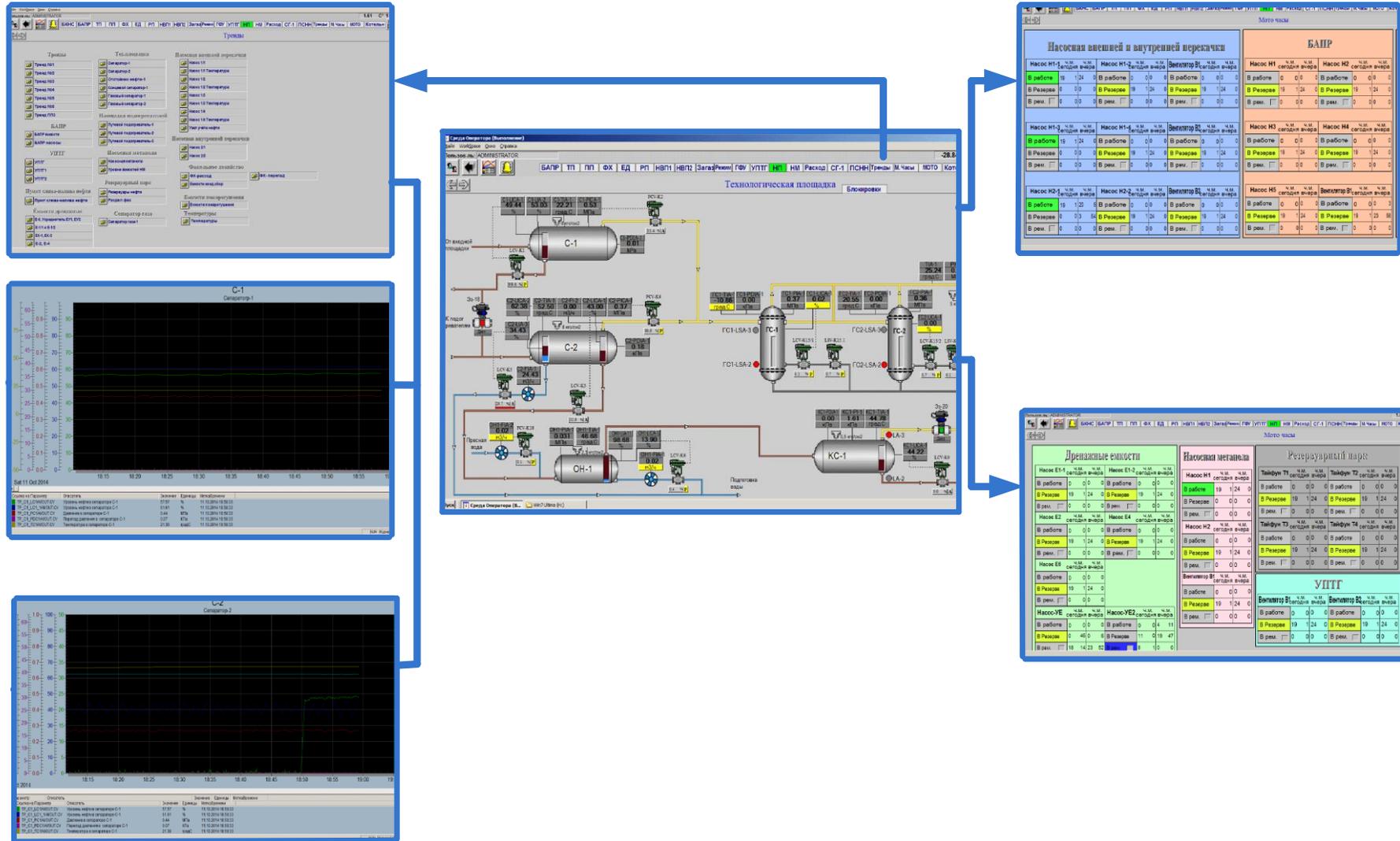
## Приложение В2

### Алгоритм пуска/останова технологического оборудования



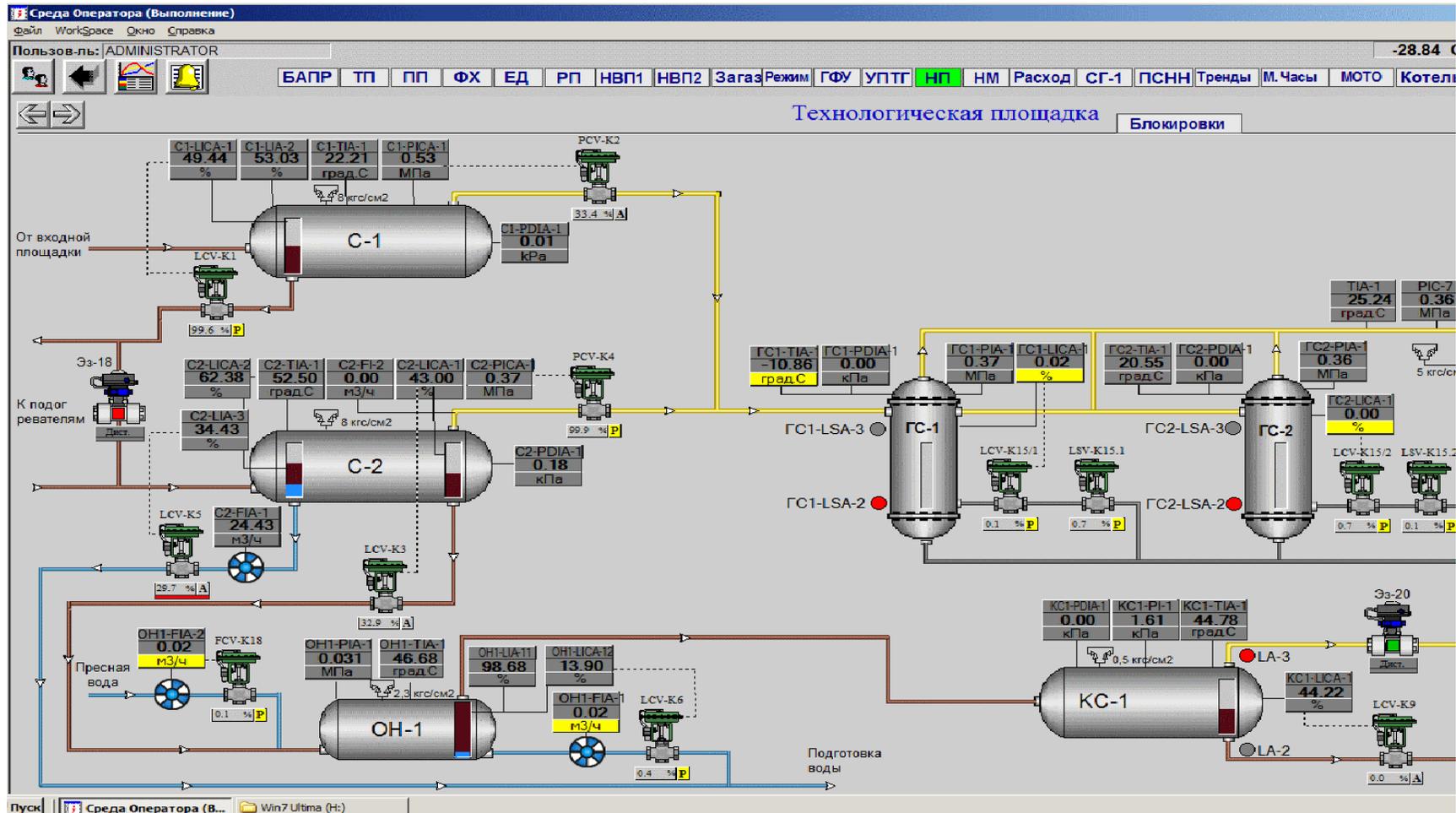
# Приложение Г1

## Дерево экранных SCADA-форм



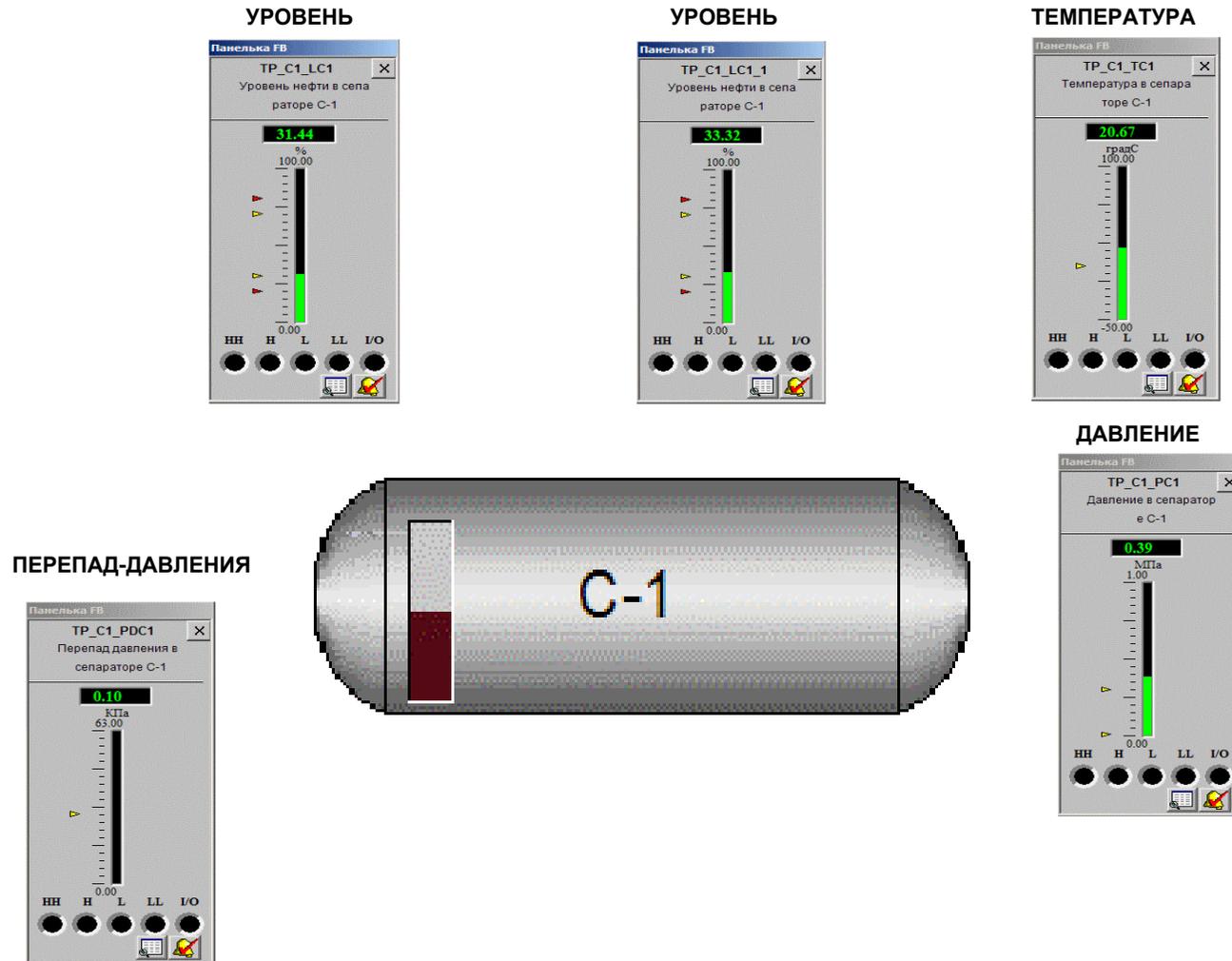
## Приложение Г2

### SCADA-форма экрана мониторинга САУ сепарационной установки



## Приложение ГЗ

### SCADA-форма экрана мониторинга технологических параметров, сепаратора С-1



## Приложение Г4

### SCADA-форма экрана мониторинга технологических параметров, сепаратора С-2

