

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологический процесс подготовки газа	8
2 Разработка структуры системы автоматизации	11
2.1 Определение структуры АСУТП	11
3 Разработка функциональной схемы автоматизации замерного сепаратора	13
3.1 Построение ФСА	13
3.2. Выбор оборудования	13
3.2.1 Выбор контроллера	13
3.2.2 Выбор датчиков расхода	15
3.2.3 Выбор датчиков давления	19
3.2.4 Выбор датчиков уровня	21
3.2.5 Выбор исполнительных механизмов	24
4 Специальная часть	27
4.1 Получение передаточной функции замерного сепаратора	27
4.2 Оценка качества переходного процесса ЗСАУ	27
4.3 Синтез типового регулятора	29
4.4 Составление уравнения динамики	32
4.5 Расчет производительности	34
5 Создание программы управления	37
5.1 Разработка алгоритма управления замером газа в сепараторе. Управление происходит за счет регулирования гидропривода	37
5.2 Разработка программы управления уровнем воды	38
Заключение	43
Список использованной литературы	44
Приложение А	45

## ВВЕДЕНИЕ

Природный газ – ископаемый источник энергии. Является наиболее экономичным и экологичным видом топлива, так как не выделяет вредные вещества при горении. Применяется в котельном, промышленном оборудовании, в бытовых условиях и служит топливом для автомобилей. Газ доставляется магистральными трубопроводными системами или морскими танкерами (сжиженный газ).

При транспортировке по трубопроводам газ осушается, очищается, сжимается и подается под давлением в трубопровод. При подаче в трубопровод размещается каскад турбокомпрессоров с газотурбинным приводом. Каскад станций располагается на одинаковом удалении для поддержания скорости движения газа, которое снижается из-за потери скорости и трения о стенки трубы.

Задачи дипломного проекта:

- Разработать структуру;
- Выполнить функциональную схему автоматизации;
- Выбрать техническо-аппаратную базу для системы автоматизации;
- Разработать математическую модель замерного сепаратора в среде Matlab;
- Произвести настройку параметров регулятора.

## 1 Технологический процесс подготовки газа

Газораспределительная станция служит для снижения давления газа до безопасного уровня для его использования потребителями. Кроме того, она обеспечивает очистку газа от твердых и жидких примесей, одоризацию (добавление запаха для обнаружения утечек) и учет количества газа, подаваемого потребителям. Существуют различные типы газорегуляторных пунктов в зависимости от размещения оборудования. Вот некоторые из них:

- Газовая станция с газовым обогревом (ГСГО): Оборудование размещается в шкафу из несгораемых материалов, и используется газовый обогрев для поддержания рабочих условий внутри станции;
- Газорегуляторный пункт шкафной (ГРПШ): Оборудование также размещается в шкафу из несгораемых материалов, но без газового обогрева;
- Шкафной регуляторный пункт (ШРП): Оборудование размещается в шкафу из несгораемых материалов, аналогично ГРПШ;
- Газорегуляторная установка (ГРУ): Оборудование устанавливается на раме и размещается в помещении, где находится газоиспользующая установка, или в смежном помещении с открытым проемом;
- Пункт газорегуляторный блочный (ПГБ): Оборудование размещается в одном или нескольких зданиях контейнерного типа;
- Стационарный газорегуляторный пункт (ГРП): Оборудование размещается в специально предназначенных зданиях, помещениях или на открытых площадках [1].

На рисунке 1 представлена схема ГРП.

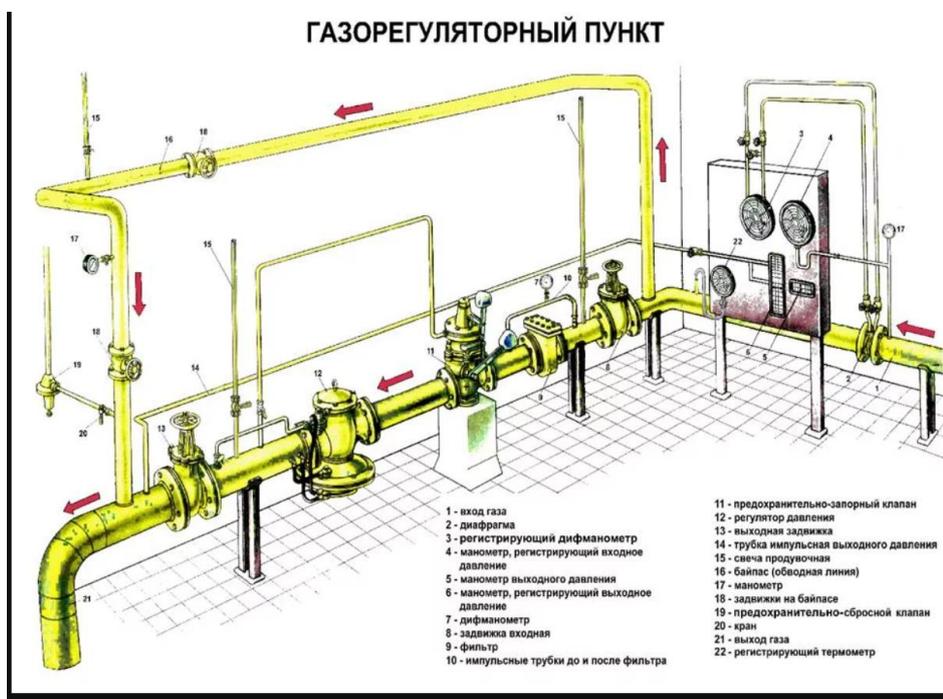


Рисунок 1 – Газорегуляторный пункт

Процесс сепарации газа и жидкости происходит внутри газораспределительной станции. Жидкость, протекая через емкость, отстаивается в секции сбора жидкости, чтобы увлеченные жидкостью пузырьки газа могли всплыть на поверхность и присоединиться к основному объему газа. Затем жидкость покидает емкость через клапан регулировки уровня, который управляется уровнемером.

Газ проходит через секцию вторичной сепарации, где мелкие капли жидкости оседают под действием силы тяжести и попадают на границу раздела фаз. Перед покиданием емкости газ проходит через коалесцирующую секцию или каплеотбойник, где улавливаются мелкие капли жидкости и помогаетеся им коагулировать и оседать.

Давление в емкости контролируется клапаном регулировки давления, который устанавливается на линии выхода газа. Датчик давления регистрирует отклонение давления в емкости от нормального и подает сигнал на открытие или закрытие клапана, чтобы поддерживать требуемое давление [2].

На рисунке 2 представлена схема горизонтального сепаратора.

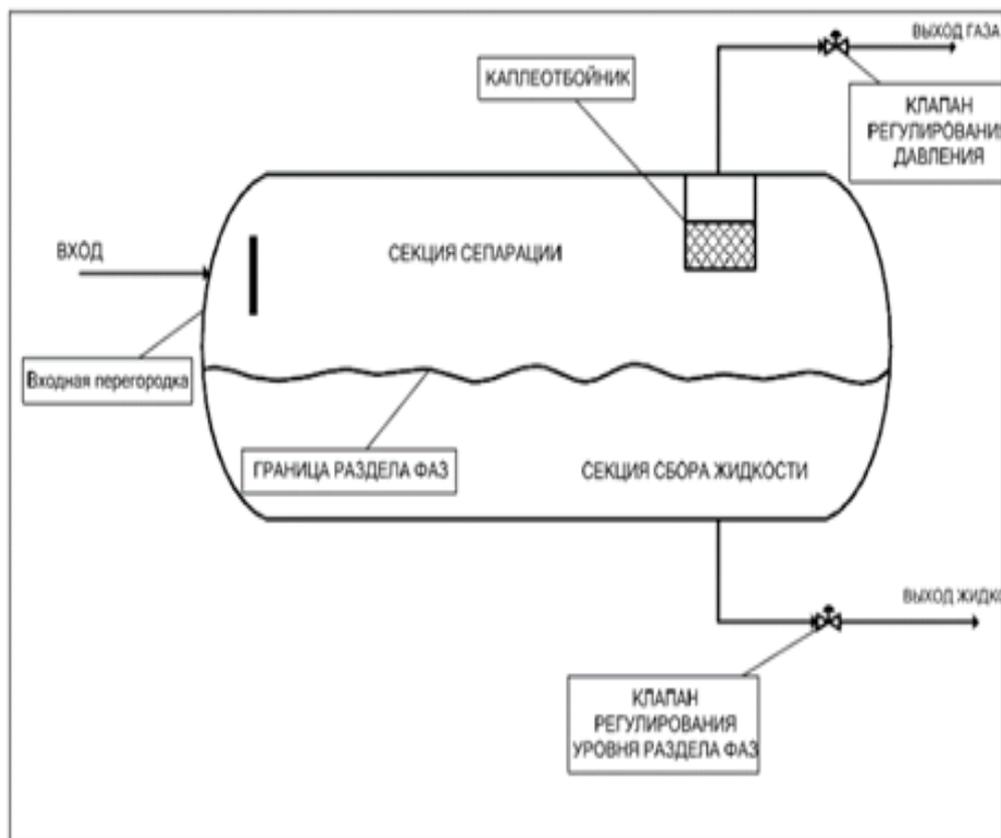


Рисунок 2 – Схема горизонтального сепаратора

Наименование производственного объекта: Установка комплексной подготовки газа (далее УКПГ). УКПГ Амангельды представляет собой единый технологический комплекс объектов добычи и подготовки газа и газового конденсата с получением товарного газа и стабильного конденсата.

Назначением этой установки является удаление тяжелых углеводородов и влаги из природного газа в целях достижения требуемой температуры точки росы. Это выполняется за счет охлаждения газа до температуры, при которой тяжелые углеводороды и влага конденсируются. Затем, полученная жидкость удаляется в низкотемпературном сепараторе. Газ, уходящий из низкотемпературного сепаратора, так называемый «товарный газ», нагревается перед тем, как уходит из установки. Температура точки росы сухого газа равна рабочей температуре в низкотемпературном сепараторе.

Номинальная проектная производительность установки комплексной подготовки газа месторождения составляет 700 млн.м<sup>3</sup> очищенного и осушенного товарного газа в год или 1 млн. 910 тыс.м<sup>3</sup> в сутки УКПГ.

Данная установка состоит из следующих систем:

- Входной манифольд;
- Система замерного сепаратора;
- Система низкотемпературной сепарации;
- Система теплообменного блока ПХУ;
- Система подогрева товарного газа;
- Система стабилизации конденсата;
- Система аварийной дегазации конденсата;
- Система впрыска и регенерации ингибитора (диэтиленгликоля);
- Система теплоносителя;
- Система измерения расхода газа;
- Резервуарный парк конденсата;
- Система топливного газа;
- Факельное хозяйство;
- Система компримирования воздуха;
- АГРС (автоматизированная газораспределительная станция);
- Узел приёма газового конденсата;
- Система подогрева сырого газа;
- Пропаново-холодильная установка.

Исходные данные системы подготовки газа приведены ниже:

- Газ на входе: Товарный газ;
- Температура: 7 °С-30 °С;
- Давление: до 8.6 МПа изб;
- Производительность: до  $2.08 \times 10^6$  ст. м<sup>3</sup> / сут.;
- Содержание влаги: Насыщено;
- Точка росы по влаге: не менее, летом минус 3 °С, зимой минус 5 °С (при абс. давлении 3,92 МПа), углеводородам менее минус 2°С (при абс. давлении от 2,5 до 7,5МПа).

## **2 Разработка структуры системы автоматизации**

### **2.1 Определение структуры АСУТП**

Автоматизированная система управления (АСУ) технологическим процессом (ТП) – это общий термин, который охватывает разнообразные компьютерные устройства и их комбинации, предназначенные для управления различными процессами. Изначально системы АСУ ТП были разработаны для применения в производственной сфере, однако сходство технологических процессов с другими видами деятельности, такими как транспорт, вооружение, инженерные системы зданий и другие, позволяет включать в АСУ ТП системы, применяемые в этих областях. АСУ ТП системы в производстве обычно имеют трехуровневую структуру.

Нижний уровень (полевой уровень) включает различные датчики и исполнительные механизмы.

Средний уровень (уровень контроллеров) состоит из программируемых логических контроллеров (ПЛК), которые принимают данные с полевого уровня и выдают команды управления. ПЛК управляются заранее разработанными алгоритмами, которые выполняются циклически.

Верхний уровень – это уровень визуализации, диспетчеризации и сбора данных. Он включает оператора или диспетчера, который контролирует процессы. Для контроля отдельных машин используется человеко-машинный интерфейс (HMI), а для диспетчерских систем, контролирующих распределенные системы машин и агрегатов, часто применяется термин SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Верхний уровень АСУ ТП отвечает за сбор и архивацию данных от ПЛК, их визуализацию и представление на экране в виде мнемосхем. Система также выполняет сравнение данных с граничными параметрами и оповещает оператора при нарушении. Оператор имеет возможность управлять процессом, запускать, останавливать и изменять режим работы агрегатов. Вся информация, включая действия оператора, записывается для анализа в случае аварийных ситуаций.

Системы управления реального времени (РВ) являются критическими для процесса и требуют мгновенного отклика. В большинстве случаев ПЛК используются в качестве систем РВ, где время цикла работы алгоритма управления является максимальным временем отклика.

Сети играют важную роль в АСУ ТП для передачи данных и команд управления. Часто нижний и средний уровни объединяются сетью "полевой шины" с гарантированным временем доставки пакетов, позволяющей создать распределенную систему управления (PCU - DCS). Верхний уровень обычно использует сеть Ethernet для интеграции с системами управления на уровне предприятия.

В целом, АСУ ТП представляет собой концепцию создания надежных систем прямого управления оборудованием, которые служат эффективным инструментом оперативного управления производством. Совокупность

программно-технических комплексов АСУ ТП реализует задачу выпуска продукции на предприятии, покрывая все технологические процессы [3].

На рисунке 3 представлена структурная схема АСУТП.

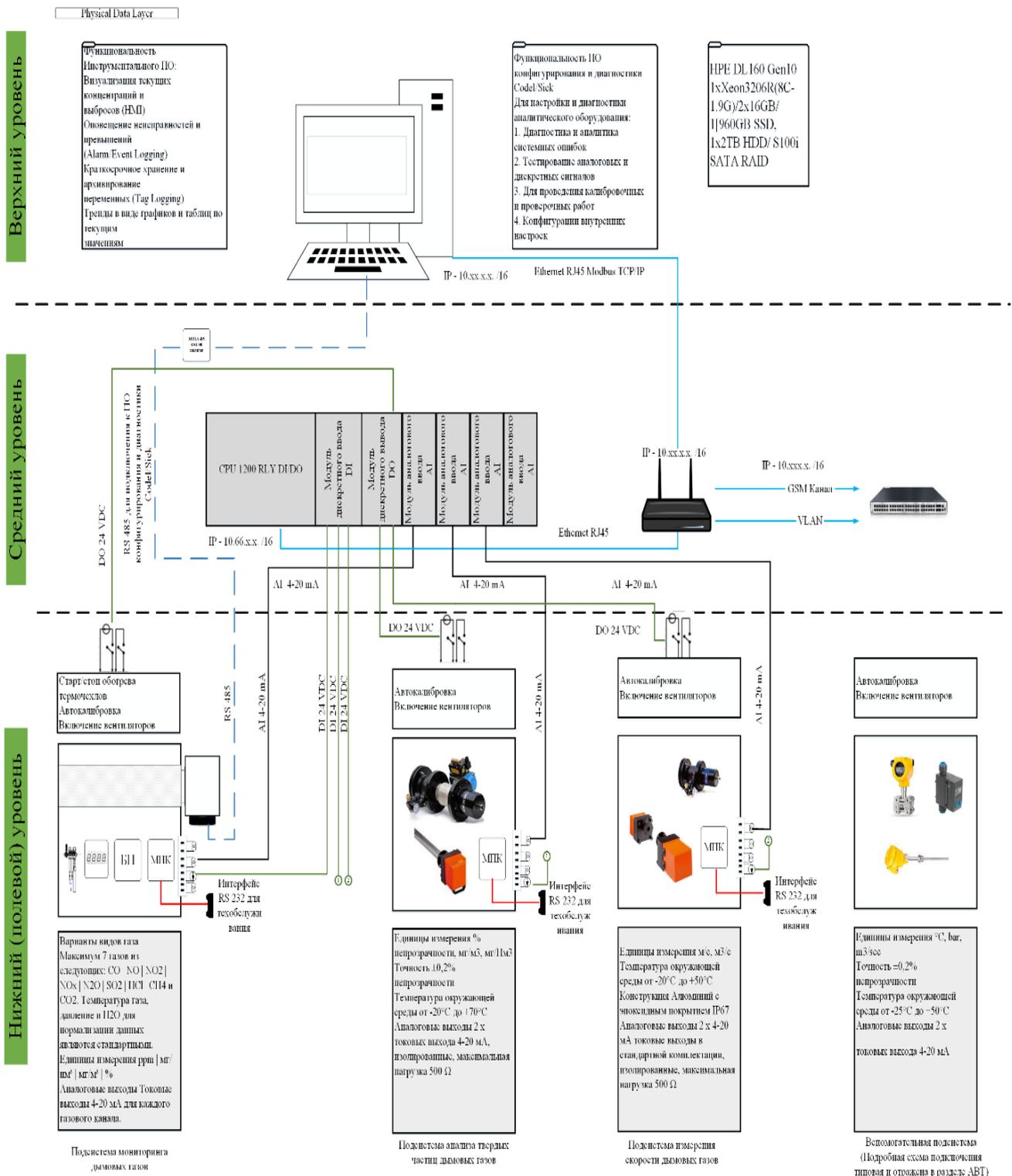


Рисунок 3 – Структурная схема АСУТП

## **3 Разработка функциональной схемы автоматизации замерного сепаратора**

### **3.1 Построение ФСА**

Функциональные схемы представляют собой важные технические документы, которые определяют функционально-блочную структуру отдельных компонентов системы автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса, а также оснащение объекта управления необходимыми приборами и средствами автоматизации. Функциональные схемы автоматизации ясно объясняют процессы, происходящие в системе, определяют уровень автоматизации, организацию контрольных, управляющих и защитных точек, а также определяют необходимые средства для сбора, обработки и передачи информации и другие важные аспекты.

Природный газ на входе в установку содержит некоторое количество свободной жидкости и твёрдых частиц. Газ отделяется от “свободной” жидкости (вода и/или жидкие углеводороды) во входном сепараторе (S-201/S-301). Вода и жидкие углеводороды, собранные во входном сепараторе, подаются в первый разделитель (S-205/S-305), через клапан регулятор уровня (LCV-201/LCV-301). Первый разделитель отделяет газ выветривания, конденсат и воду. Газ выветривания через клапан регулятор давления (PCV-205A/305A) поступает на вход низкотемпературного сепаратора (S-204/S-304) за дросселем PCV-203A/303A, в то время как вода через клапан регулятор уровня (LCV-205A/LCV-305A) сбрасывается на склад, а конденсат поступает через клапан регулятор уровня (LCV-205B/LCV-305B) на вход системы стабилизации.

### **3.2. Выбор оборудования**

#### **3.2.1 Выбор контроллера**

В разработанной модели УПКГ присутствуют три регуляторных контура: два для регулирования уровня и один для регулирования коэффициента перепада давления. В разделе "Выбор контроллера" будет произведен выбор необходимого контрольно-измерительного оборудования для реализации системы управления технологическим процессом. Контроллерное оборудование предназначено для сбора информации о состоянии технологического процесса и для управления исполнительным оборудованием путем подачи управляющих сигналов. Рынок контроллерного оборудования предлагает множество промышленных логических контроллеров (ПЛК) с различными характеристиками и возможностями. При выборе ПЛК были рассмотрены два ведущих производителя и следующие модели: Simatic S7-400 от Siemens, представлен на рисунке 4 с центральным процессором 416–2 и ControlLogix 1756 от Allen-Bradley, представлен на рисунке 5 с процессором 1756 L81E.

Характеристики центральных процессоров приведены в таблице 3.1 для сравнения.

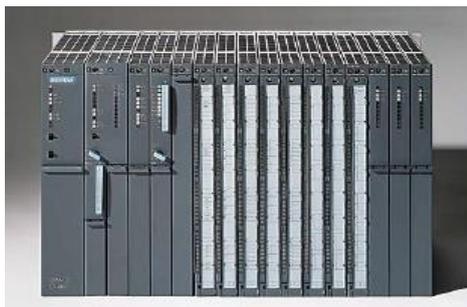


Рисунок 4 – Simatic S7-400 CPU416-2

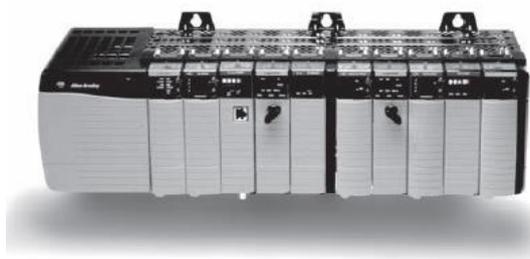


Рисунок 5 – ControlLogix 1756 CPU1756-L81E

Таблица 3.1 – Сравнение характеристик центральных процессоров

Характеристика		Simatic S7-400 CPU 416-2	ControlLogix 1756 CPU 1756-L81E
Память	рабочая	0,8 Мбайт	2 Мбайт
	энергонезависимая	да	да
Время выполнения операций	логические	0,08 мкс	Информация в спецификации отсутствует
	со словами	0,08 мкс	
	с числами с плавающей точкой	0,48 мкс	
Языки программирования		STEP 7 (LAD, STL, FBD), SCL	Relay Ladder Logic (RLL), ST, FBD, Sequential Function Chart (SFC)
Количество дискретных вводов/выводов, макс		131072	128
Количество аналоговых вводов/выводов, макс		8192	4000

При изучении документации на центральные процессоры было обнаружено, что спецификация на центральный процессор Allen-Bradley ControlLogix 1756 CPU 1756-L81E содержит значительно меньше подробной и информативной информации, чем спецификация Simatic S7-400 CPU 416-2. Спецификация на CPU 1756-L81E не содержит информации о быстродействии процессорного модуля, детальном описании интерфейсов и функций. Оба варианта имеют одинаковый объем рабочей памяти, и оба модуля обеспечивают энергонезависимость памяти благодаря встроенной батарее. Хотя стоимость Simatic S7-400 CPU 416-2 значительно выше, этот центральный процессор выбран из-за его предназначения для построения сложных систем автоматического управления, наличия спецификации с подробным описанием всех характеристик и функций, а также большего количества вводов/выводов, которые могут потребоваться.

### 3.2.2 Выбор датчиков расхода

Существует множество различных способов измерения расхода, и для каждого из них существуют соответствующие расходомеры, такие как вихревые, кориолисовые, электромагнитные, ультразвуковые, расходомеры переменного перепада давления и другие. В данном случае был выбран принцип измерения по переменному перепаду давления, который широко применяется в нефтегазовой промышленности. Для осуществления измерений по этому принципу используются различные типы измерительных диафрагм показаны на рисунке 6, а также другие сужающие устройства в качестве первичных элементов.



Рисунок 6 – Измерительные диафрагмы

Для достижения точных результатов измерений для всех стандартных измерительных диафрагм необходимо обеспечить стабильный поток измеряемой среды через диафрагму, то есть такой поток, у которого профиль будет симметричным в точке измерения. Часто рядом с точкой измерения находятся клапаны, которые создают возмущения в потоке, что приводит к несимметричности профиля потока в точке измерения и ухудшению точности измерений. Для решения этой проблемы увеличивают длину прямого участка трубопровода после точки возмущения (места установки клапана), чтобы

восстановить симметричность профиля потока. Однако реализация такого решения требует большого количества труб, что приводит к значительному увеличению экономических затрат. Например, если группа колен находится в одной плоскости показан на рисунке 7, для полного восстановления симметричности профиля потока необходимо установить прямой участок трубопровода после группы колен, длина которого составит 51 диаметр трубы. Если группа колен находится в разных плоскостях показан на рисунке 8, потребуется прямой участок трубы длиной 67 диаметров трубы. Однако реализация прямых участков такой длины на практике представляет значительные трудности [5].

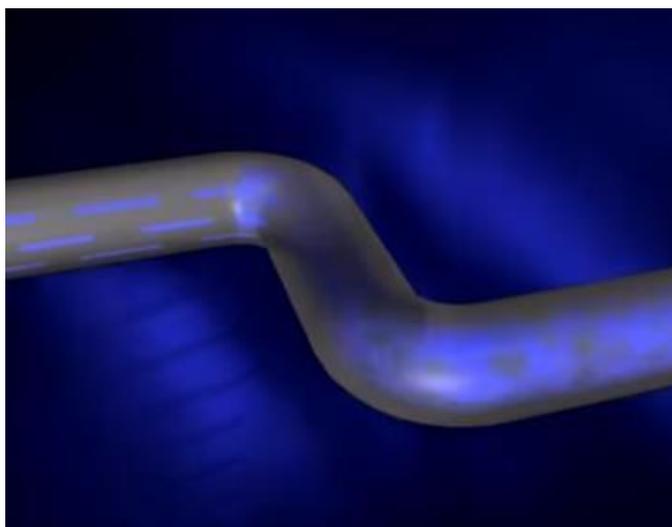


Рисунок 7 – Группа колен трубы в одной плоскости

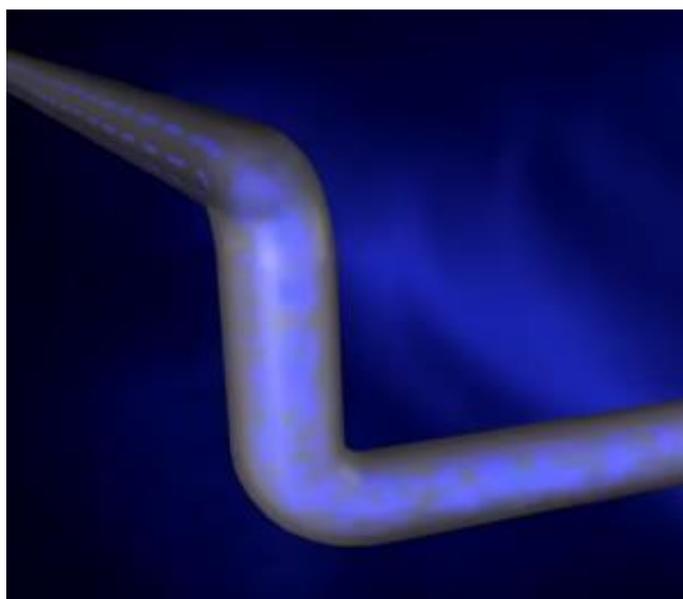


Рисунок 8 – Группа колен трубы в разных плоскостях

Решение этой проблемы было найдено компанией Emerson, которая разработала стабилизирующую диафрагму Rosemount, показан на рисунке 9.



Рисунок 9 – Расходомер со стабилизирующей диафрагмой

Стабилизирующая диафрагма обладает четырьмя равноудаленными отверстиями, которые стабилизируют поток, обеспечивая высокую точность и стабильность измерений. Основные особенности стабилизирующей диафрагмы включают:

- Сокращение прямого участка трубопровода от точки возмущения до точки установки датчика до 2 диаметров трубы;
- Погрешность измерений в пределах от -0,5% до +0,5%;
- Возможность прямого монтажа и наличие встроенных импульсных линий;
- Экономичность, сокращение затрат до 50% по сравнению со стандартными диафрагмами.

Именно поэтому для измерения расхода был выбран расходомер Rosemount 3051SFC, оснащенный стабилизирующей измерительной диафрагмой Rosemount 1595. Характеристики расходомера представлены в таблице 3.2, а характеристики диафрагмы приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.2 – Характеристики расходомера Rosemount 3051SFC

Характеристика	Значение
Диаметр трубопровода, мм	от 15 до 300
Погрешность, %	от 0,75% до 0,8%
Диапазон статического давления, МПа (избыточное давление)	от -0,098 до 25
Диапазон перепада давления, кПа	от 0 до 248

Выходные сигналы	4-20 мА с цифровым сигналом на базе HART-протокола; Foundation Fieldbus; Wireless
Долговременная стабильность измерений, лет	до 15 лет
Гарантия, лет	15 лет
Защита от переходных процессов	есть
Уровень полноты безопасности	SIL3
Наличие взрывозащищенного исполнения	Ex d IIC T6..T4
Степень защиты	IP66
Стоимость	35 000 руб.

Таблица 3.3 – Характеристики диафрагмы Rosemount 1595

Наименование параметра	Значение
Погрешность, %	±0,5 %
Диаметр трубопровода, мм	от 50 до 600
Диапазон температуры, °С	от -196 до 427°С (при дифференциальном давлении до 200 кПа (2 бар))
	от 427 до 649 °С (при дифференциальном давлении до 100 кПа (1 бар))
Материал	Нерж. сталь/сплав С-276/сплав 400

Производитель датчика также предоставляет возможность корректировки погрешностей измерений путем учета температуры окружающей среды.

Расходомер переменного перепада давления работает на основе принципа зависимости расхода среды от разности давлений, создаваемой измерительной диафрагмой, установленной в пути потока среды. Разность давлений и расход взаимосвязаны уравнением Бернулли.

$$Q = V \cdot f, \text{ причем} \quad (1)$$

$$V = c \cdot 2 \frac{\Delta p}{\rho} \quad (2)$$

где V – скорость жидкости;  
c < 1 – коэффициент расхода;  
ρ – плотность жидкости;

$\Delta p$  – перепад давления в трубопроводе.

Выбранный расходомер работает по следующему принципу: в трубопровод устанавливается измерительная диафрагма в качестве первичного элемента расходомера. Диафрагма создает разность давлений, вызывая сужение потока при прохождении через нее, что приводит к понижению давления после диафрагмы по сравнению с давлением перед ней. Таким образом, возникает перепад давления. Давление передается через импульсные линии на измерительную мембрану измерительного преобразователя. Мембрана деформируется в зависимости от разности давлений на обеих сторонах и служит чувствительным элементом, способным обнаружить даже небольшие изменения давления. Зная значение перепада давления и используя уравнение Бернулли, можно вычислить объемный расход вещества.

На рисунке 10 представлены элементы расходомерного узла, основанного на расходомере Rosemount 3051 SFC.

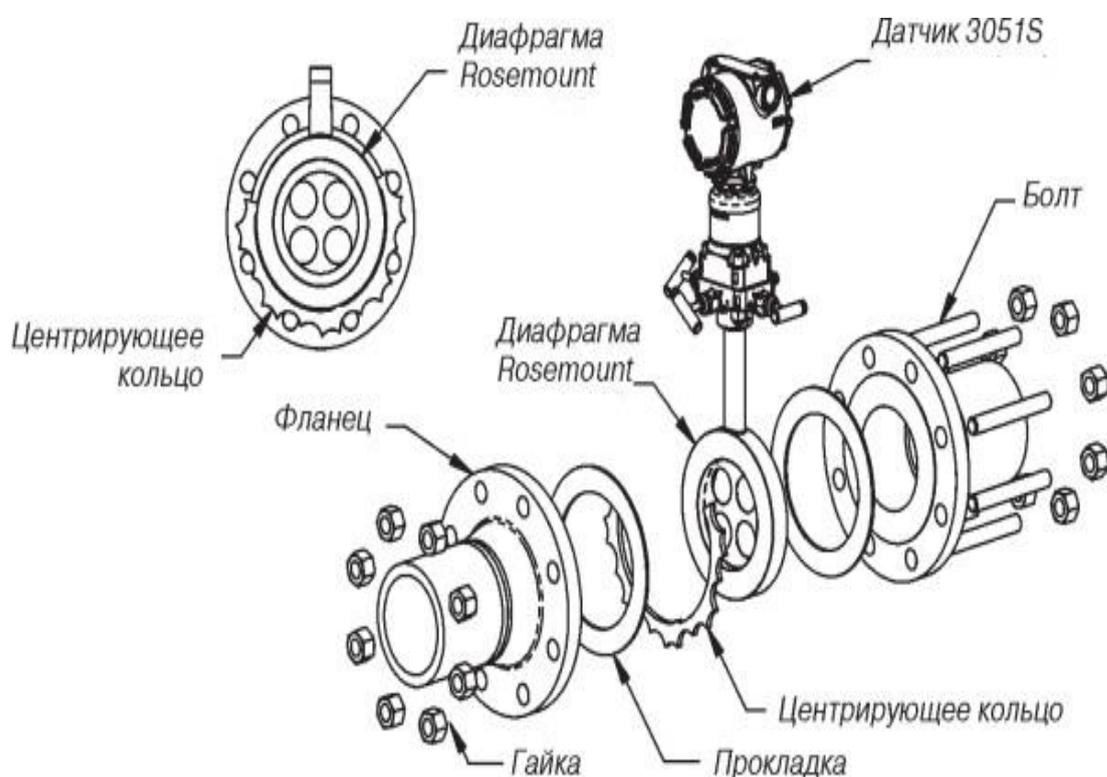


Рисунок 10 - Элементы расходомерного узла на базе расходомера Rosemount3051 SFC

### 3.2.3 Выбор датчиков давления

Датчик давления был выбран на основании анализа характеристик двух вариантов датчиков избыточного давления: Yokogawa EJX530A показан на рисунке 11 и Rosemount 3051CG Coplanar показан на рисунке 12.



Рисунок 11– Yokogawa EJX530A



Рисунок 12 – Rosemount 3051CG

Оба датчика избыточного давления нацелены на измерение давления жидкости, газа или пара. Выходной сигнал датчиков соответствует величине измеренного давления. Характеристики датчиков представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Технические характеристики датчиков давления

Характеристика	Yokogawa EJX530A	Rosemount 3051CG
Измеряемая среда	Газ, жидкость, пар	
Сенсорный модуль	монокристаллический кремниевый резонансный чувствительный элемент	Coplanar
Основная приведенная погрешность	$\pm 0,04\%$	$\pm 0,065\%$
Нестабильность нулевого значения	$\pm 0,1\%$ (за 10 лет в реальных условиях эксплуатации)	$\pm 0,125\%$ (за 5 лет в реальных условиях эксплуатации)

Выходные сигналы	4-20 мА, протоколы Brain, HART FSK, FOUNDATION Fieldbus и PROFIBUS PA	4-20 мА протоколы HART; Foundation Fieldbus; Profibus; WirelessHART
Диапазон измерений	-100...50000 кПа	Min -101...206,84 кПа, Max -101...68947 кПа
Температура окружающей среды	-40...+85°C	-40...+85°C
Наличие взрывозащищенного исполнения	Ex ia IIC T4	Ex ia IIC T4,
Степень защиты	IP66/IP67	IP66
Стоимость	32 000 руб.	35 000 руб.

После анализа представленных датчиков избыточного давления был выбран датчик Yokogawa EJX530A. Этот выбор обоснован его более низкой стоимостью, более низкой погрешностью измерений и более низкой нестабильностью нулевого значения. Хотя диапазон измерений этого датчика меньше, чем у датчика Rosemount 3051CG, для его применения на УПН этот диапазон значений будет достаточным.

Уникальным принципом измерения датчика давления Yokogawa EJX530A является использование кремниевого механического резонатора как чувствительного элемента. Резонатор представляет собой интегрированный в силиконовую подложку монокристалл кремния. Два чувствительных резонатора размещены на кремниевой диафрагме, их деформации имеют разные знаки при разности давлений, приложенных к сенсору. Кремниевый резонатор сжимается или растягивается в зависимости от знака приложенного давления, что приводит к изменению его собственной частоты колебаний. Изменение частоты резонаторов прямо пропорционально приложенному давлению [4].

### 3.2.4 Выбор датчиков уровня

Для решения задачи выбора датчиков-измерителей уровня была разделена на две подзадачи: выбор датчика уровня для измерения уровня технологической среды в сепараторе ВД и выбор датчика уровня для измерения уровня раздела сред газ-вода в сепараторе СД. Для проведения сравнительного анализа были рассмотрены три типа датчиков уровня: ультразвуковой, волноводный радарный и радарный.

Для измерения уровня технологической среды в сепараторе ВД был рассмотрен ультразвуковой датчик уровня Rosemount 3102 показан на рисунке 13. Для измерения уровня раздела сред газ-вода в сепараторе СД был рассмотрен радарный датчик уровня Rosemount 5600 показан на рисунке 14. Кроме того,

волноводный радарный датчик уровня Rosemount 5301 показан на рисунке 15 также был рассмотрен в качестве варианта для измерения уровня раздела сред газ-вода.



Рисунок 13 – Ультразвуковой уровнемер Rosemount 3102



Рисунок 14 – Радарный уровнемер Rosemount 5600



Рисунок 15 – Волноводный радарный уровнемер Rosemount 5301

Характеристики уровнемеров представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Характеристики датчиков уровня

Характеристика	Ультразвуковой уровнемер Rosemount 3102	Радарный уровнемер Rosemount 5600	Волноводный радарный уровнемер Rosemount 5301
----------------	---	-----------------------------------	---

Предназначение	измерение уровня, расстояния до поверхности жидкости, объема и расхода в открытых каналах с двумя встроенными сигнальными реле	измерение уровня твердых веществ, жидкостей, суспензий, в условиях быстрого изменения уровня и избыточных условиях процесса	измерение уровня практически любых жидкостей и сыпучих сред и измерение уровня границы раздела жидкостей
Диапазон измерения	от 0,3 до 11 м	от 0,5 до 30 м	от 0,4 до 50 м
Погрешность в опорных условиях (о.у.)	±3 мм (до 1 м), ±0,25% (более 1 м)  (о.у.:20°C,0,13МПа, влажность 50%)	±5 мм  (о.у.:20°C, 0,0960-0,1060 МПа, влажность 25-75%)	±3 мм или 0,03%  (о.у.: 25°C в воде, при давлении окр.ср. в 4-дюймовой трубе с исп.функции подстройки в ближнейзоне)
Электропитание	2-проводное по сигнальному контуру, 40В пост.тока	24-240 В пост./перем. тока при частоте 0-60 Гц	8-30 В пост. тока
Выходной сигнал	4-20 мА, HART	4-20 мА, HART	4-20 мА, HART, FOUNDATION fieldbus, Modbus, Rosemount 2410
Вес	1,0 – 1,5 кг (в зависимости от материала)	9 кг	2,0 – 4,9 кг (в зависимость и от материала)
Температура окружающей среды	-40 ... +70°C	-40 ... +400°C (зависят от антенны, уплотнений резервуара и уплотнительных колец)	Стандартное исполнение: до 150°C(*)

Давление процесса	-0,025 ... 0,3 МПа	-0,1 ... 1 МПа (зависят от антенны, уплотнений резервуара и уплотнительных колец)	Стандартное исполнение: -0,1 ... 4МПа (*)
Пылевлаго защита	IP66/67	IP66/67	IP66/67
Сертификация для работы в опасных зонах	ATEX, IECEx, CSA	ATEX, IECEx, CSA	FM, CSA, ATEX, INMETRO, NEPSI, X, TIS, IECEx
Электромагнитная совместимость	EN61326 (Класс В)	Излучение и помехоустойчивость: Директива об ЭМС 204/108/ЕС. EN 61326-1:2006. Помехоустойчивость 50081-2. Излучение 50081-1.	Излучение и помехоустойчивость: Директива по ЭМС 2004/108/ЕС, EN61326-1:2006 и EN61326-3-1:2006. Рекомендации NAMUR NE21

Все три представленных типа датчика имеют схожие характеристики, за исключением возможности использования только у датчика Rosemount 5301 для измерения уровня раздела сред. Кроме того, этот тип датчика также способен измерять общий уровень вещества в емкости. Поэтому именно он был выбран для применения в сепараторе СД, где необходимо измерять уровень раздела сред газ-вода. Важно отметить, что максимальное давление в сепараторе ВД составляет 2,586 МПа, и только датчик Rosemount 5301 способен функционировать при таком давлении. Именно поэтому этот тип датчика был выбран и для применения в сепараторе ВД [5].

### 3.2.5 Выбор исполнительных механизмов

Существует множество различных типов задвижек, таких как клиновые, шаровые, дисковые и другие. Задвижки играют важную роль в системе трубопроводов, поскольку они выполняют функцию исполнительных механизмов, которые принимают и осуществляют команды регулятора. При выборе задвижки необходимо обратить внимание на такие явления, как вскипание и кавитация, которые могут привести к разрушению материала. Внутри клапана происходит сужение потока, что может привести к снижению

давления жидкости до значения насыщенного пара. В этом случае жидкость частично переходит в паровое состояние, что называется вскипанием. Кавитация, в свою очередь, представляет собой локальное вскипание жидкости, которое приводит к эрозии поверхности материала. Сужение также вызывает увеличение скорости жидкости в исполнительном механизме и снижение давления. Точка с максимальной скоростью и минимальным давлением называется "vena contracta". В результате понижения давления до уровня насыщенного пара образуются пузырьки в жидкости, которые впоследствии всхлопываются при восстановлении давления, и жидкость возвращается в жидкое состояние. Кавитация может привести к разрыву пузырьков и возникновению локальных волн давления до 700 МПа. Это может привести к серьезному повреждению важных частей клапана, таких как седло, плунжер и корпус. Кавитация также вызывает избыточный шум и вибрации. Возможны ситуации, когда качество регулирования ухудшается или процесс становится неконтролируемым из-за кавитации. Однако не всегда кавитация приводит к повреждениям. Вероятность повреждений зависит от интенсивности кавитации, материала клапана, продолжительности воздействия, размера клапана, конструкции и присутствия протечки при закрытом клапане. Конструкция клапана и его внутренних элементов играет важную роль в этом вопросе. Шаровые и дисковые клапаны наиболее подвержены кавитации из-за высокой степени восстановления давления после запорного механизма. Компания Emerson нашла решение проблемы кавитации, используя более твердые материалы для втулок клапанов и применяя ступенчатое дросселирование. Это было реализовано в специальной разработке под названием Трим Fisher Cavitrol III, который позволяет контролировать и устранять кавитацию, продлевая срок службы регулирующего клапана и снижая экономические потери от простоя оборудования при техническом обслуживании. Такой тип трима может быть применен в различных типах клапанов по запросу [6].



Рисунок 16 – Трим Cavitrol III

Так как шаровые и дисковые клапаны наиболее подвержены явлению кавитации, было решено использовать клапан с поступательным движением штока – регулирующий клапан Baumann 24000SVF из нержавеющей стали показан на рисунке 17.



Рисунок 17 – Регулирующий клапан Baumann 24000SVF с цифровым контроллером клапана

Материал корпуса изготовлен из нержавеющей стали 316L, расходная характеристика равнопроцентная или линейная. Данный клапан может снабжаться электроприводом, специально разработанным для клапанов Baumann серии 24000.

## 4 Специальная часть

### 4.1 Получение передаточной функции замерного сепаратора

Регулирование уровня жидкости в сепараторе является важнейшей задачей, так, как предельные уровни жидкости снижает качество сепарации и повышает количество воды в газе, либо к выходу оборудования из строя [7].

Собрав данные полученные с производства Приложение А, таблица-, была проведена идентификация данных в результате чего получена передаточная функция в среде Identtool показан на рисунке 18.

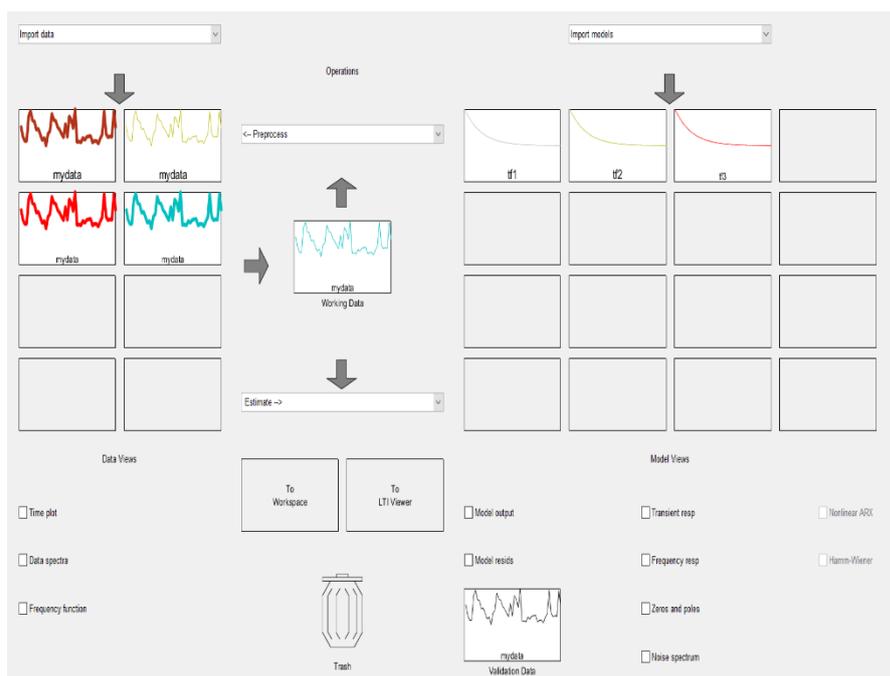


Рисунок 18 – Идентификация данных

### 4.2 Оценка качества переходного процесса ЗСАУ

Получив ПФ моделируем замкнутую систему автоматического управления в среде Simulink Matlab.

Структурная схема в среде Simulink Matlab представлена на рисунке 19.

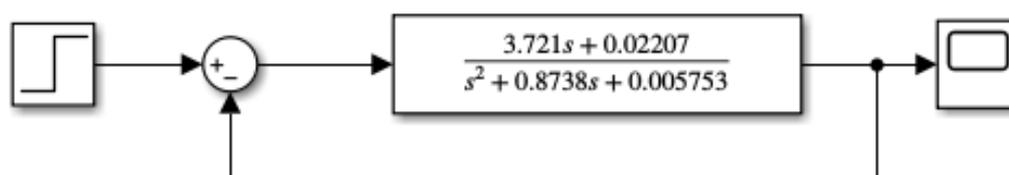


Рисунок 19 – Структурная схема ЗСАУ в Matlab

## Результаты моделирование структурной схемы рисунок 20, 21.

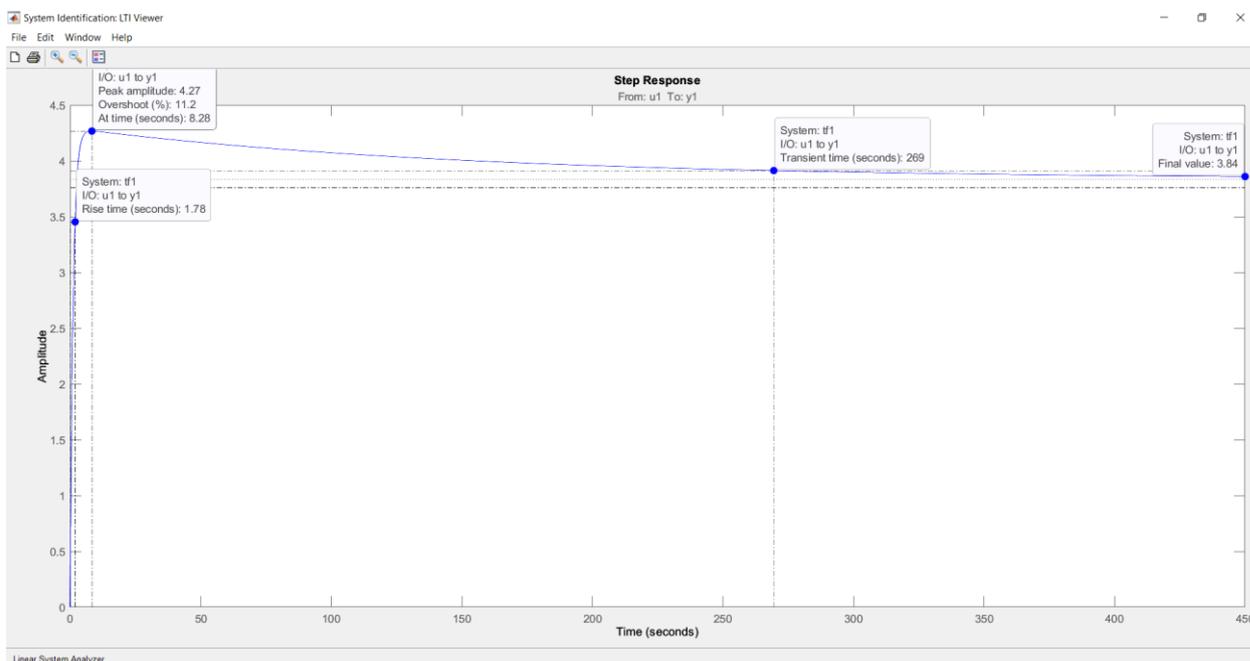


Рисунок 20 – Переходной процесс замкнутой системы

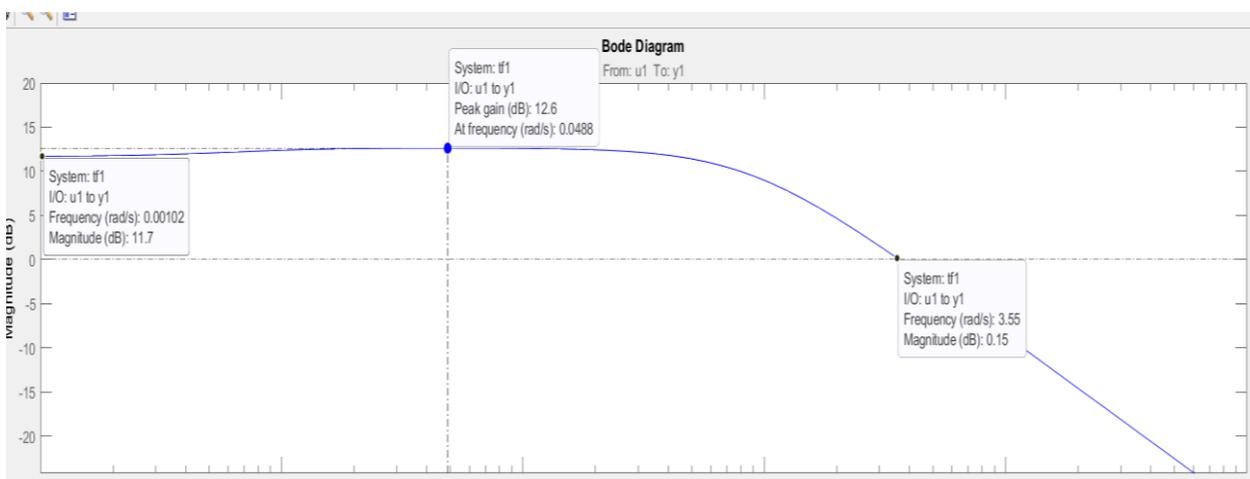


Рисунок 21 – Косвенные оценки качества

Данные прямых и косвенных оценок качества представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Оценки качества

№	Оценка качества		Прямые	Косвенные	Соответствие требованиям
1	Время регулирования	$T_{set}$	270	221	Не соответствует

2	Перерегулирование	$P_{ov}$	11.2%	9%	Соответствует
3	Число колебаний	$n$	1	1	Соответствует
4	Колебательность	$\mu$	5%	4,45%	Соответствует
5	Частота колебаний	$w$	10,33	11,2	Не соответствует
6	Установившаяся ошибка	$e$	3.64	0	Не соответствует
7	Время достижения первого максимума	$T_{1max}$	10	8	
8	Время нарастания	$T_r$	1.78	-	
9	Декремент затухания	$\chi$		-	

### 4.3 Синтез типового регулятора

ПИД регулятор — это устройство, предназначенное для автоматического управления, регулирования процессов, увеличения точности и получение необходимых оценок качества. Находится в контуре с обратной связью выдавая необходимые управляющие сигналы. Расчет параметров осуществлен метод CHR (Chien, Hrones, Reswick) [8].

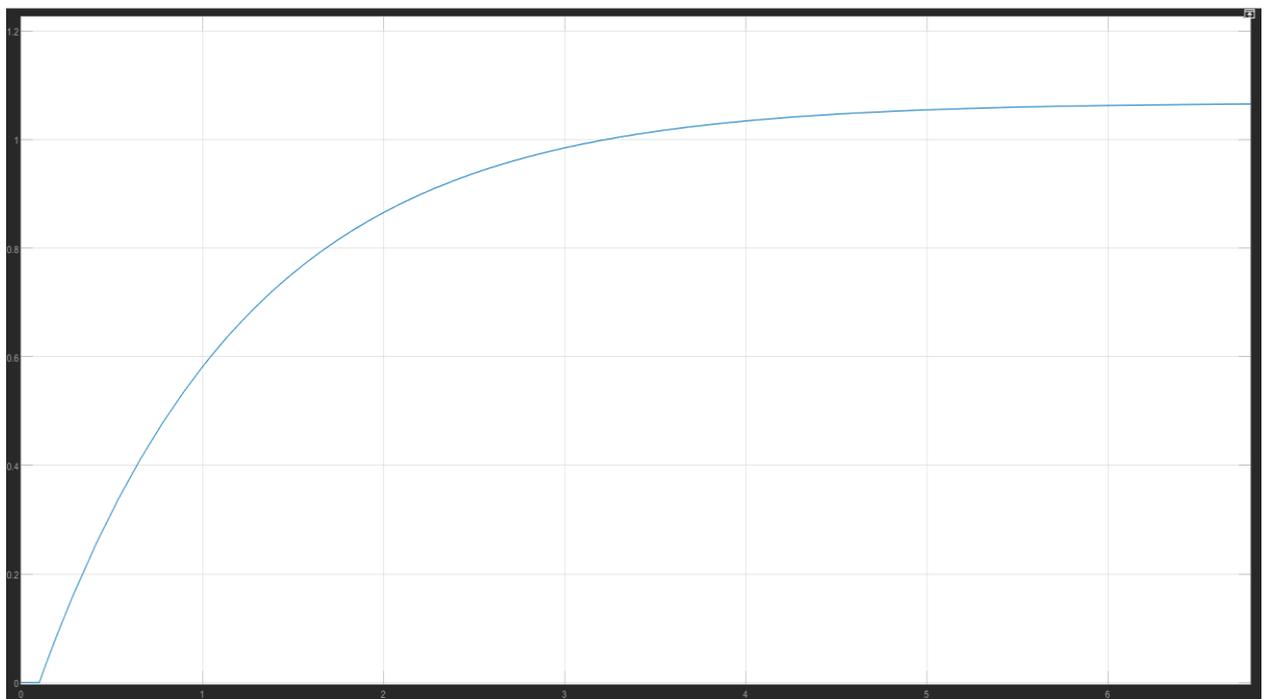


Рисунок 22 – Переходной процесс разомкнутой системы

По графику получены значения:  $K=1$ ,  $L=0.25$ ,  $T=0.59$ .

По этим данным получены значения параметров в таблице 4.2  
Таблица 4.2 – Коэффициенты регулятора

	P	1/I	D
P	1.2	-	-
PI	1.4	3,3	-
PID	2.4	4	0.125

Далее проведем сравнение между P, PI, PID- регуляторами для определения оптимального регулятора.

На рисунке 23 представлен график переходного процесса P регулятора.

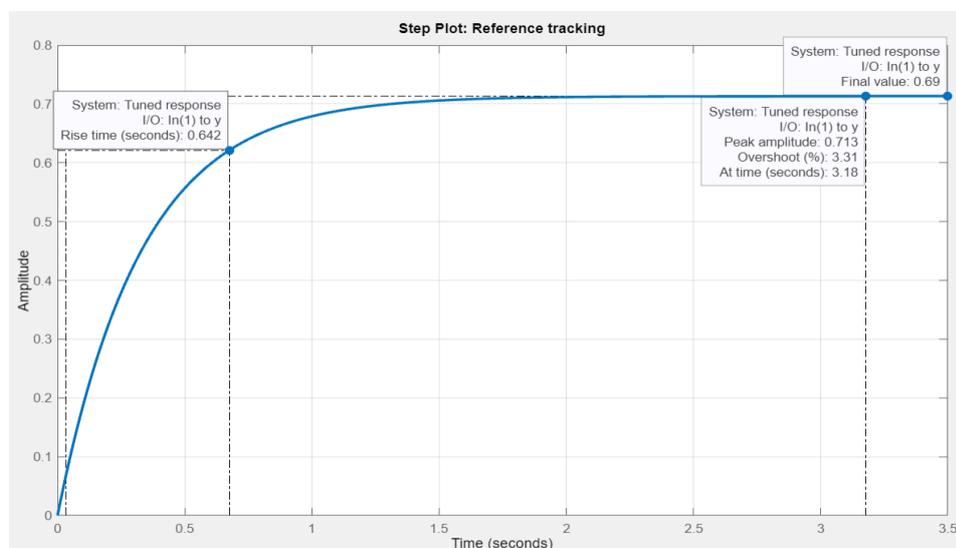


Рисунок 23 – Представлен график переходного процесса P регулятора

На рисунке 24 представлен график переходного процесса PI регулятора.

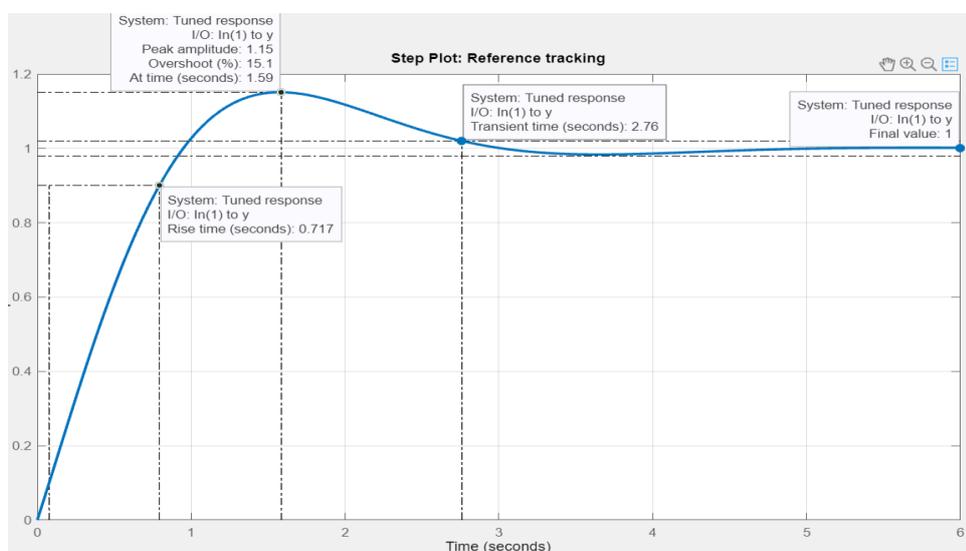


Рисунок 24 – Переходной процесс PI регулятор

На рисунке 25 показан переходной процесс PID регулятора.

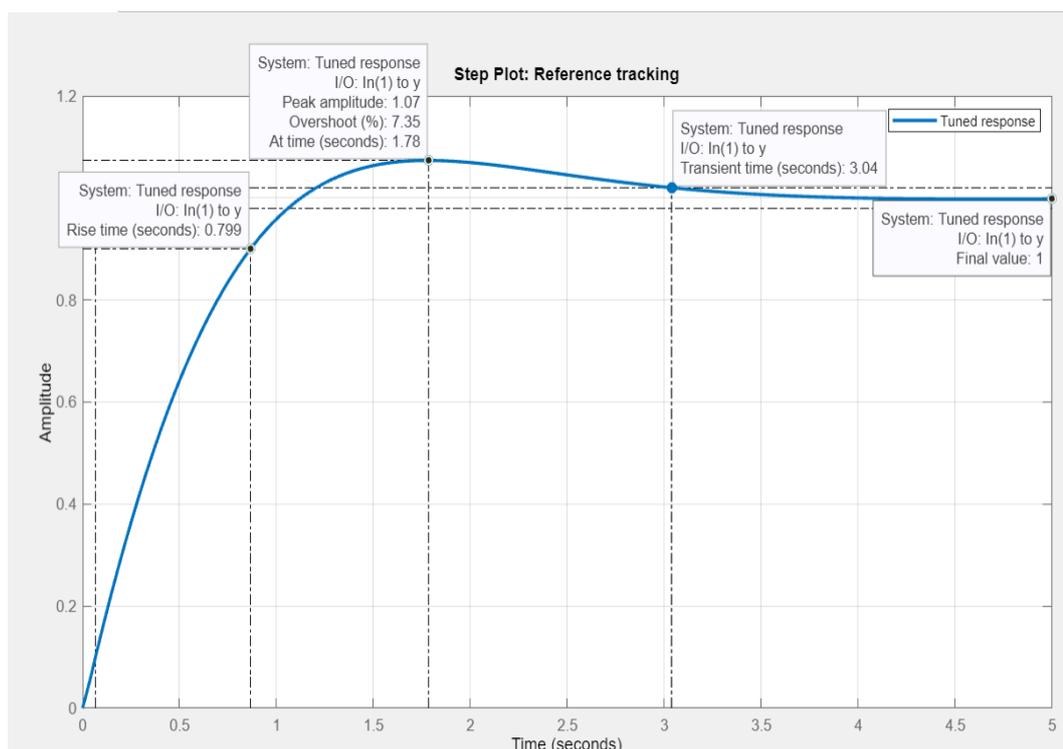


Рисунок 25 – Переходной процесс PID регулятора

По полученным результатам получим оценки качества регуляторов и заполним таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Оценки качества

Оценка качества	PID	PI
Время регулирования	3,04	2,76
Перерегулирование	7,35	15,1
Число колебаний	1	1
Колебательность	-	-
Период колебаний	1,8	1,7
Время достижения первого максимума	1,78	1,59
Время нарастания	0,799	0,717

Вывод: Оценки качества полученные из переходных процессов дают результат, что PID- регулятор является наиболее оптимальным регулятором. Результаты PI и PID регуляторы схожи, но последний уменьшает перерегулирование на 50%. В сравнение не берется P- регулятор так, как он не достигает уставки.

#### 4.4 Составление уравнения динамики

Будем рассматривать модель сепаратора в виде математической модели как показано на рисунке 26.

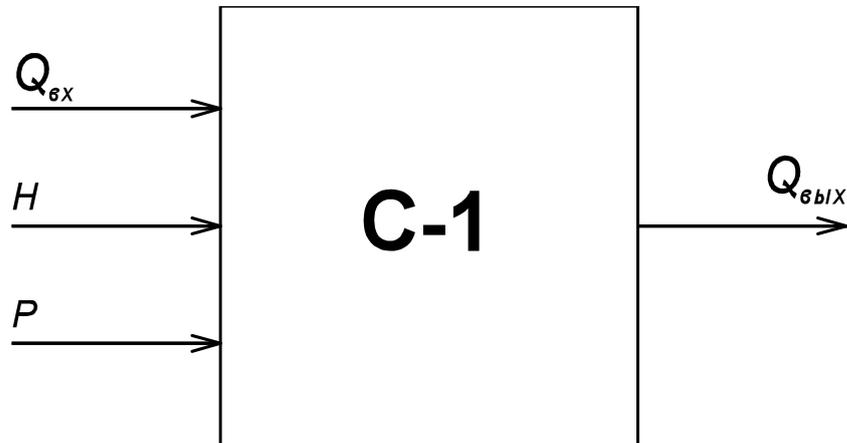


Рисунок 26 – Математическая модель сепаратора S-1

где  $Q_{\text{вых}}$  – расход жидкости на выходе;  
 $Q_{\text{вх}}$  – расход жидкости на входе;  
 $H$  – уровень жидкости;  
 $P$  – давление.

Для составления уравнения сепаратор рассматривается в качестве емкости с идеальным перемешиванием жидкости.

На рисунке 26  $p$  – давление столба жидкости в сепараторе,  $p_1$  и  $p_2$  – давление жидкости на входе и выходе сепаратора  $Q_1$  и  $Q_2$  – объёмный расход на входе и выходе сепаратора,  $f_1$  и  $f_2$  – сечение входного и выходного клапанов.

Уравнение динамики для горизонтальной цилиндрической емкости с жидкостью может быть записано в виде:

$$\frac{d\Delta V}{dt} = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 \quad (4.1)$$

где  $\Delta V$  – приращение объема жидкости в сепараторе,  
 $\Delta Q_1$  и  $\Delta Q_2$  – приращение объёмного расхода на входе и выходе сепаратора соответственно.

Так как  $V = SH$  ( $S$  – площадь поперечного сечения сепаратора,  $H$  – уровень жидкости в), при  $S = \text{const}$  имеем:

$$S \frac{d\Delta H}{dt} = \Delta Q_1 - \Delta Q_2 \quad (4.2)$$

Расход на выходе:

$$Q_2 = c_2 f_2 \sqrt{\frac{2(p-p_2)}{\rho_2}} = c_2 f_2 \sqrt{\frac{2p}{\rho_2}} \quad (4.3)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости в сепараторе,  $c_2$  – коэффициент расхода,  $f_2$  – площадь сечения выходного клапана.

Давление столба жидкости:

$$p = \rho g H$$

Допуская, что плотность на выходе сепаратора равна плотности жидкости, уравнение (4.3) представляется в виде:

$$Q_2 = c_2 f_2 \sqrt{2gH} \quad (4.4)$$

Проведем линеаризацию уравнения (4.4):

$$\Delta Q_2 = c_2 f_2 \sqrt{2gH} = c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} \Delta H \quad (4.5)$$

Подставим выражение (4.5) в уравнение (4.2):

$$S \frac{d\Delta H}{dt} = \Delta Q_1 - c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} \Delta H,$$

$$S \frac{d\Delta H}{dt} + c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} \Delta H = \Delta Q_1 \quad (4.6)$$

Введём обозначение:

$$c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} = C$$

Разделим уравнение (4.6) на  $C$ :

$$\frac{S}{C} \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = \frac{1}{C} \Delta Q_1 \quad (4.7)$$

Введём обозначения:

$$\frac{S}{C} = T; \quad \frac{1}{C} = K$$

Тогда уравнение (4.7) можем записать в виде:

$$T \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = K \Delta Q_1 \quad (4.8)$$

Таким образом сепаратор можем рассматривать в качестве инерционного звена первого порядка с постоянным времени  $T$  и коэффициентом усиления  $K$ .

По технологическому регламенту предприятия имеем:

- диаметр сепаратора  $D = 2000$  мм = 2 м. Тогда площадь поперечного сечения сепаратора  $S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,142 \cdot 2^2}{4} = 3,142$ ;
- площадь сечения выходного клапана  $f_2 = 0,1$  м<sup>2</sup>;
- коэффициент расхода  $c_2 = 0,6$ .

Рассчитаем:

$$C = c_2 f_2 \sqrt{\frac{g}{2H_0}} = 0,6 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{\frac{9,81}{2 \cdot 111}} = 0,013$$

$$T = \frac{S}{C} = \frac{3,142}{0,013} = 249,113 \text{ с}$$

$$K = \frac{1}{C} = \frac{1}{0,013} = 79,285 \frac{\text{с}}{\text{м}^2}$$

Окончательно уравнение динамики для сепаратора С-1 можем записать в виде:

$$249,113 \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = 79,285 \Delta Q_1$$

#### 4.5 Расчет производительности

Определение количества газа, выделяемого в сепараторе. Общее количество газа, поступающего в сепаратор:

$$V = \Gamma \left(1 - \frac{W}{100}\right) Q_1 \quad (4.9)$$

где  $\Gamma$  – газовый фактор в нормальных условиях;

$W$  – обводнённость эмульсии;

$Q_1$ , – расход жидкости на входе.

Количество газа, оставшегося в растворенном состоянии в эмульсии после сепарации  $V_p$  с учетом обводнённости эмульсии:

$$V_p = \alpha p Q_1 \left(1 - \frac{W}{100}\right) \quad (4.10)$$

где  $p$  – давление в сепараторе, Па;

$\alpha_1$  – коэффициент растворимости газа в эмульсии.

Количество выделившегося на первой ступени:

$$V = V_0 - V_p = (\Gamma - \alpha p) Q_1 \left(1 - \frac{W}{100}\right). \quad (4.11)$$

Расчётное давление в сепараторе на  $p_1 = 600$  ГПа; обводнённость эмульсии на входе  $W = 6$  %; расход на входе сепаратора  $Q_1 = 13440$  м<sup>3</sup>/сут. Тогда:

$$\Gamma_0 = 58 \text{ м}^3/\text{м}^3;$$

$$\alpha = \frac{\Gamma_H}{p} = \frac{12}{600000} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ (м} \cdot \text{с}^2\text{)}/\text{кг};$$

Получаем:

$$\begin{aligned} V &= (\Gamma - \alpha p) Q_1 \left(1 - \frac{W}{100}\right) = (58 - 2 \cdot 10^{-5} \cdot 600000) \cdot 13440 \cdot \left(1 - \frac{6}{100}\right) \\ &= 717588,5 \text{ м}^3/\text{сут}. \end{aligned}$$

Расчет пропускной способности сепаратора.

Пропускную способность горизонтальных сепараторов обычно определяют в зависимости от допустимой скорости движения газа, которую определяют из условий равновесия сил, действующих на частицу, и силы сопротивления среды возникающей при движении этой частицы.

При расчете горизонтальных сепараторов по газу принимают следующие допущения:

- частица (твердая или жидкая) имеет форму шара;
- движение газа в сепараторе установившееся, то есть такое, когда в любой точке сепаратора независимо от времени скорость газа остается постоянной, но по абсолютному значению может быть разной;
- движение частички свободное, то есть не оказывают действия другие частицы;
- скорость оседания частицы постоянная, то есть сила сопротивления газовой среды становится равной массе частицы[10].

Исходя из принятых, допущений установим скорость ее движения:

$$v_q = 1,75 \sqrt{\frac{d(\rho_q - \rho_g)g}{\rho_g}} \quad (4.12)$$

где  $d$  – диаметр частицы, м;

$\rho_q$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_g$  – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_r$  – динамическая вязкость газа, кг/(м · с).

При значениях:

$$\begin{aligned}d &= 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}; \\ \rho_1 &= 860 \text{ кг/м}^3; \\ \rho_2 &= 1,65 \text{ кг/м}^3.\end{aligned}$$

$$v_1 = 1,75 \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-5} \cdot (860 - 1,65) \cdot 9,81}{1,65}} = 0,884 \text{ м/с};$$

Зная скорость «витания» частицы и полагая, что допустимая скорость движения газа равна скорости «витания» частицы, можно определить пропускную способность:

$$Q = \frac{67824 p_1 T_0 D^2 v_1}{p_0 T_1 z} \quad (4.13)$$

где  $p_1$  и  $p_0$  – соответственно рабочее давление в сепараторе и давление при нормальных условиях, Па;

$T_0$  и  $T_1$  – соответственно температура при нормальных условиях и температура в сепараторе, К;

$D$  – диаметр сепаратора, м;  $z$  – коэффициент сжимаемости газа.

При значениях:

$$\begin{aligned}p_1 &= 600000 \text{ Па}; \\ p_0 &= 101325 \text{ Па}; \\ T_0 &= 273 \text{ К}; \\ T_1 &= 313 \text{ К}; \\ D &= 2 \text{ м}; \\ z &= 0,94,\end{aligned}$$

$$P = \frac{67824 p_1 T_0 D^2 v_1}{p_0 T_1 z} = \frac{67824 \cdot 600000 \cdot 273 \cdot 2^2 \cdot 0,884}{101325 \cdot 313 \cdot 0,94} = 131771,3 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

## 5 Создание программы управления

### 5.1 Разработка алгоритма управления замером газа в сепараторе. Управление происходит за счет регулирования гидропривода

На рисунках 27 и 28 показан алгоритм управления замером газа.

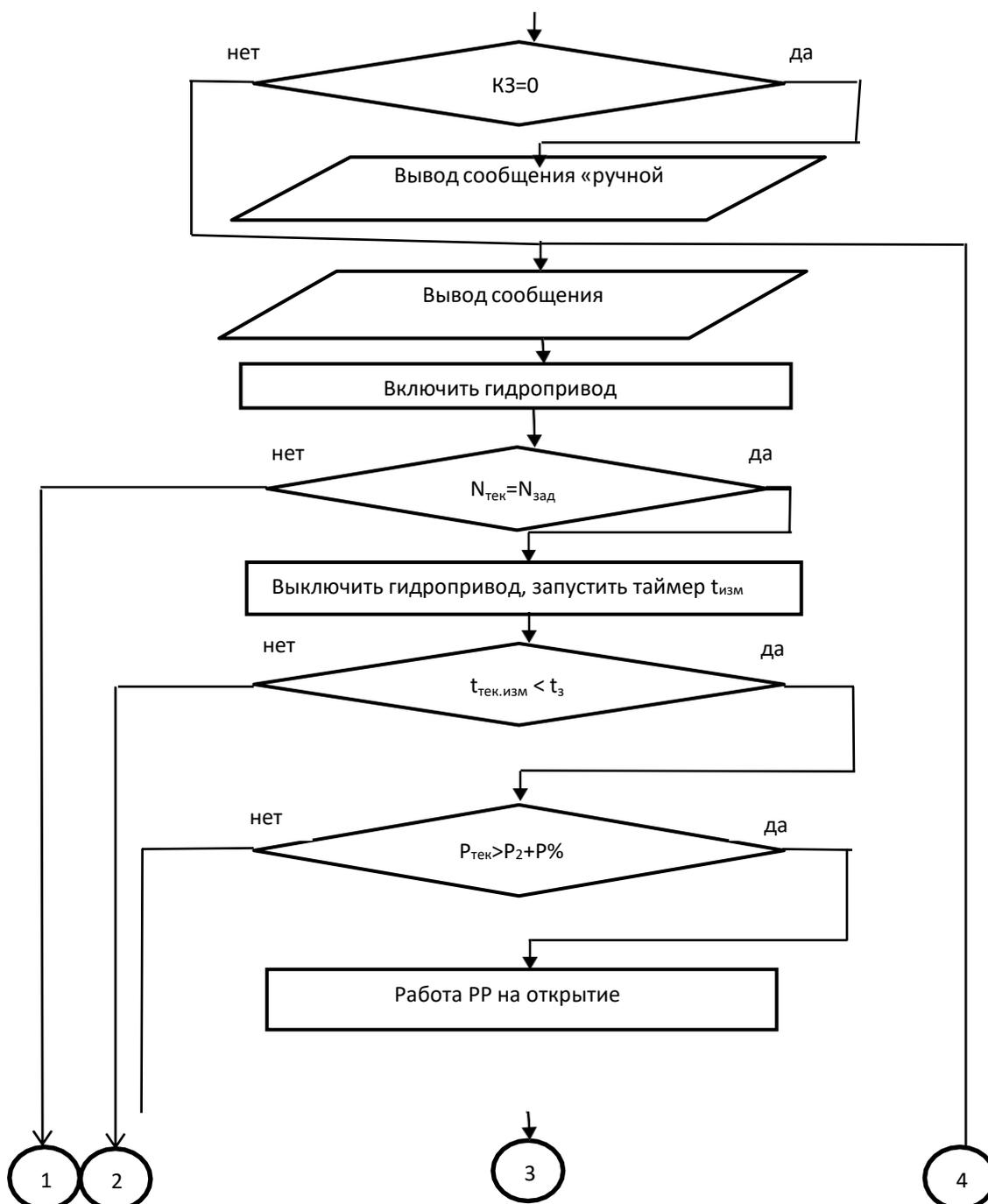


Рисунок 28 – Алгоритм управления гидроприводом

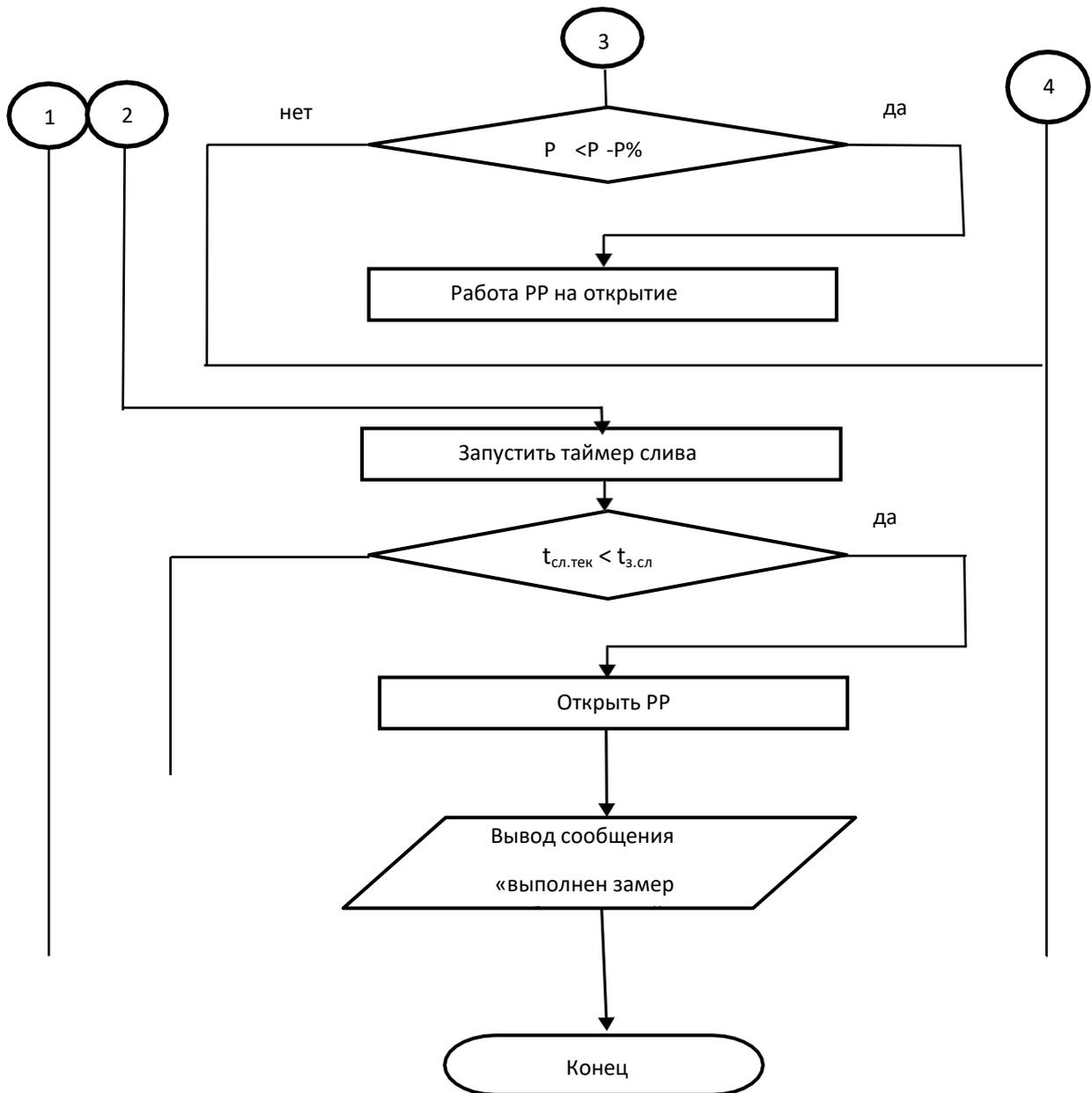


Рисунок 28 – Алгоритм управления замером газа

## 5.2 Разработка программы управления уровнем воды

Для разработки программы управления нужно создать проект и конфигурацию Hardware.

Конфигурация контроллера представлена на рисунке 29.

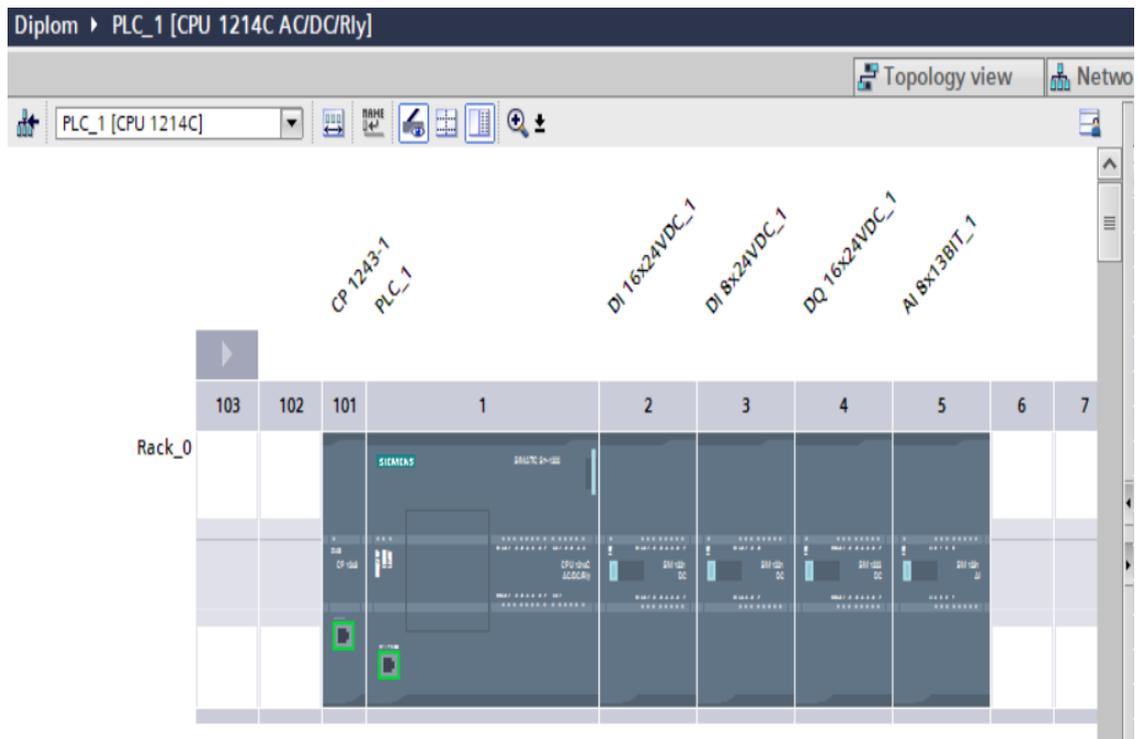


Рисунок 29 – Конфигурация контроллера

Для написания логики контроллера нужно заполнить таблицу тегов на рисунке 30.

	Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	v1_open	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	v2_open	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	v3_open	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	v1_close	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	v2_close	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	v3_close	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	v1	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	v2	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	v3	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	lahh	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	lal_1	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	lal_2	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	lI	Int	%IW3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	lI	Int	%IW5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	fluid flow	Bool	%I1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	gas flow	Bool	%I1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	shutoff_valve_in_open	Bool	%I2.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	shutoff_valve_in_close	Bool	%I2.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	shutoff_valve_col_open	Bool	%I2.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	shutoff_valve_col_close	Bool	%I2.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	<Add new>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Рисунок 30 – Таблица тегов

На рисунке 31 представлена HMI (Human- Machine interface) управления уровнем воды в замерном сепараторе.

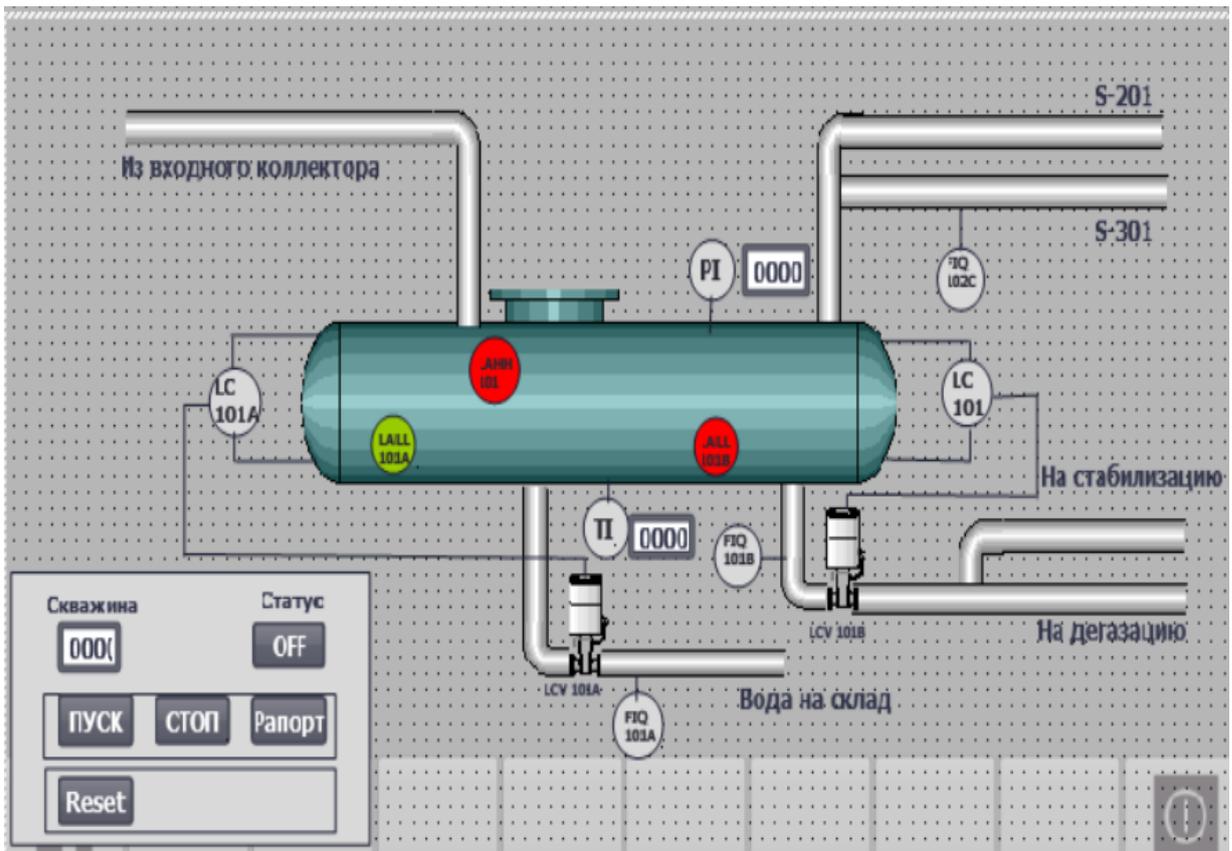


Рисунок 31 – HMI

Программа управления ГРС начинается с обработки аналоговых и дискретных сигналов рисунок 32.

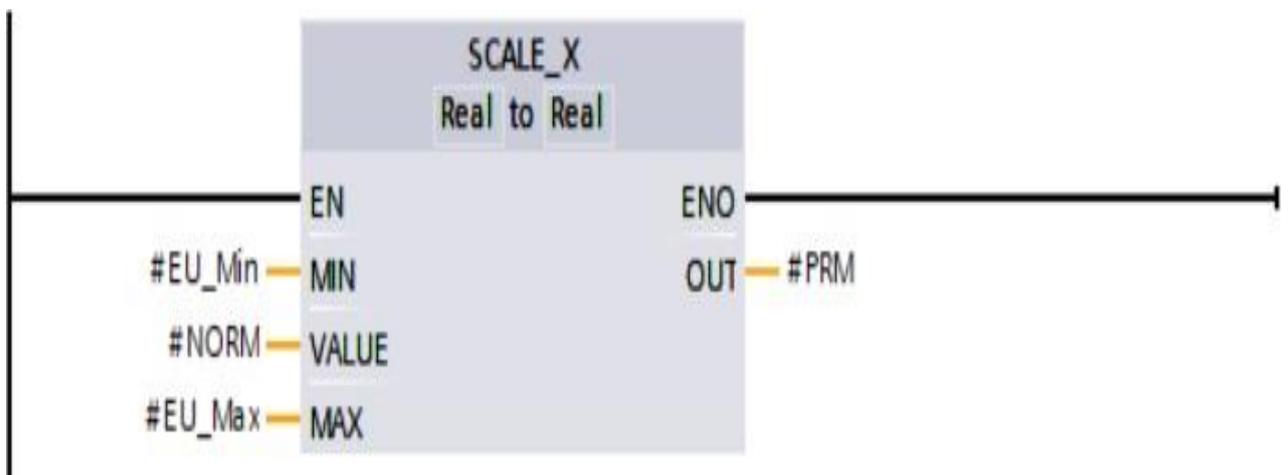


Рисунок 32 – Преобразование аналогового сигнала

Далее производится масштабирование сигнала в пределах измерения датчика и сравнение с аварийными значениями на рисунке 33.

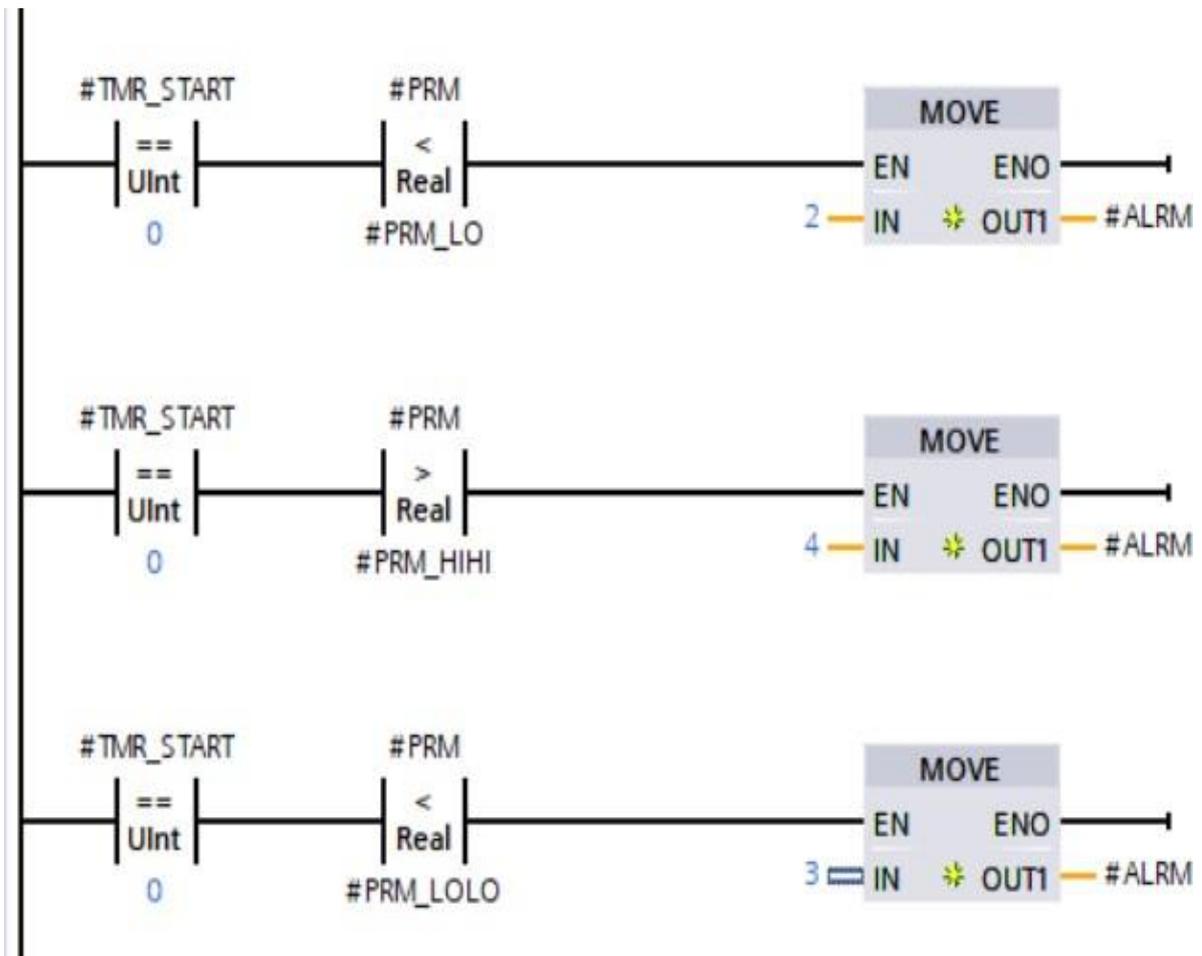


Рисунок 33 – Выдача сообщения о аварийных значениях

Управление сепаратором и гидроприводом начинается с проверки установки ГРС в авторежим и при наличие сигнала включается гидропривод и открытия клапанов рисунок 34.

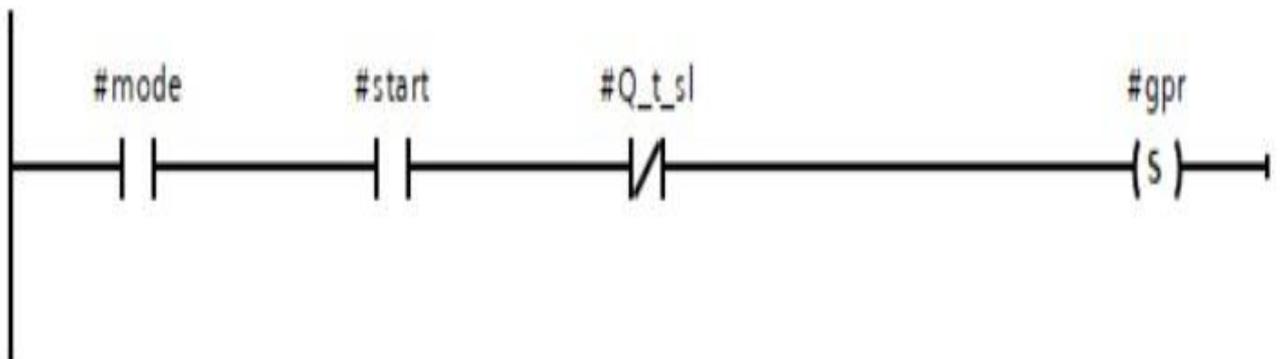


Рисунок 34 – Включение гидропривода

После окончания времени таймера замера включается таймер слива жидкости и открывается регулятор жидкости рисунок 35.

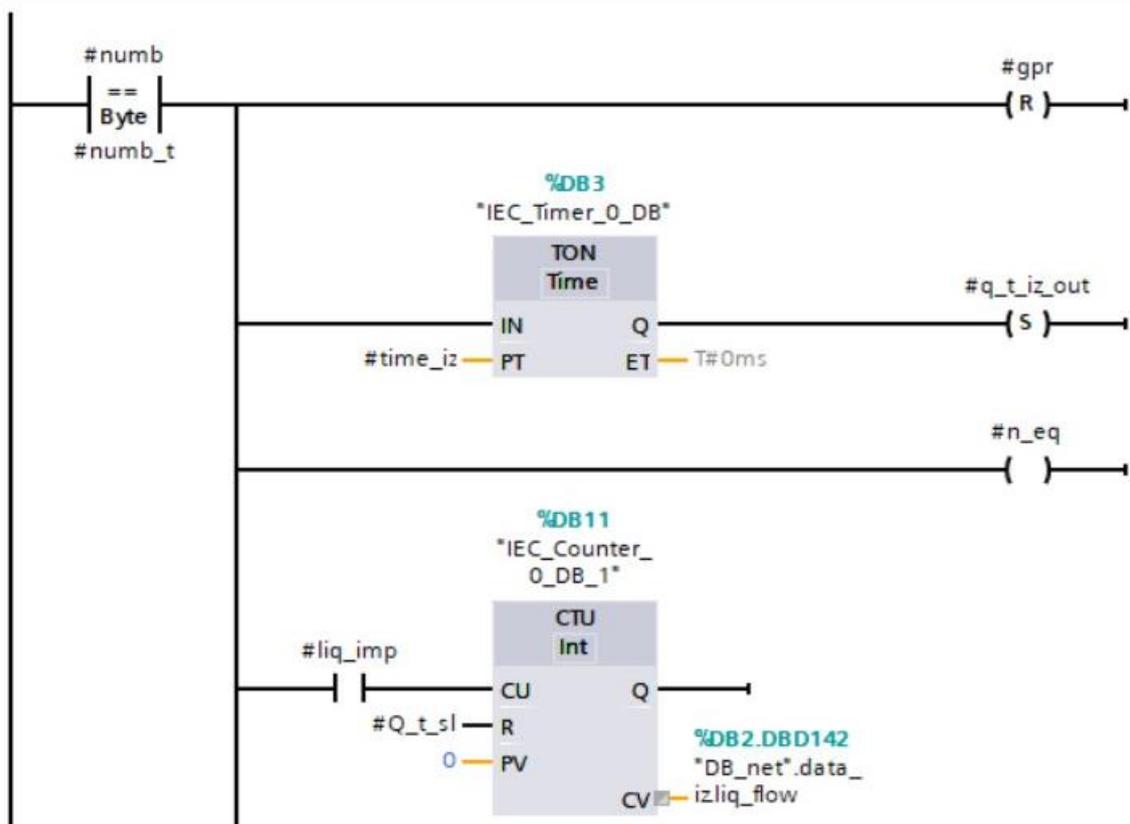


Рисунок 35 – Запуск таймера замера

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе описывается принцип работы ГРС, технологический процесс сепарации эмульсии и разделение на водные и газовые фракции.

Во второй главе рассматривается определение систем АСУ ТП, разработка структурной схемы автоматизации.

В третьей главе разрабатывается функциональная схема автоматизации, выбор оборудования, контроллера, исполнительных механизмов и измерительных приборов для объекта управления.

В четвертой главе производится вычисление переходной функции из исходных данных, построение математической модели на основе переходной функции и исследование динамических свойств, оценка качества переходного процесса. Был выбран регулятор на основе метода CHR, составлена уравнение динамики и расчет производительности.

В пятой главе была разработана программа управления газовой сепарации, составлена блок схема алгоритма управления.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Волошенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие. – Томск: 2011. – 108 с.
- 2 ГОСТ 21.208-2013 «Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации».
- 3 SIMATIC Компоненты для комплексной автоматизации. Каталог ST 70-2003 Русская редакция. – М.:ООО «Сименс», 2013.
- 4 Датчик давления Yokogawa EJX530A // Электронная версия на сайте [https://www.yokogawa.com/solutions/products-and-services/measurement/field-instruments-products/pressure-transmitters/gauge-pressure/ejx530a/#Details\\_Specifications](https://www.yokogawa.com/solutions/products-and-services/measurement/field-instruments-products/pressure-transmitters/gauge-pressure/ejx530a/#Details_Specifications)
- 5 Расходомер Rosemount3051 SFC// Электронная версия на сайте [https://indelta.ru/userfiles/file/metran/Rosemount\\_3051SFC\\_3095MFC.pdf](https://indelta.ru/userfiles/file/metran/Rosemount_3051SFC_3095MFC.pdf)
- 6 Волноводный радарный уровнемер Rosemount5301// Электронная версия на сайте [https://indelta.ru/userfiles/file/metran/Rosemount\\_3051SFC\\_3095MFC.pdf](https://indelta.ru/userfiles/file/metran/Rosemount_3051SFC_3095MFC.pdf)
- 7 Воронов А.А. Теория управления – Москва: Наука, 2019. –495 с.
- 8 Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – С-П.: «Профессия», 2014. – 752 с.
- 9 Черножуков Н.И. Технология переработки нефти и газа. – М.: Химия, 2015. – 378 с.
- 10 Золотов М.А. Способы воздействия на эффективность работы трехфазного сепаратора: текст: Молодой ученый. – 2020. – 59-64 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Данные производительности замерного сепаратора

№	$Q_{\text{ВХ}}$	$H$	$P$	$Q_{\text{ВЫХ}}$
1	560	104	0.663	592
2	543	116	0.631	571
3	537	121	0.626	562
4	531	120	0.622	562
5	580	96	0.695	610
6	618	90	0.716	621
7	577	100	0.686	602
8	575	100	0.682	600
9	550	105	0.658	584
10	551	107	0.662	586
11	538	113	0.636	575
12	535	120	0.629	564
13	546	118	0.62	568
14	520	128	0.6	553
15	548	113	0.641	576
16	556	108	0.654	581
17	610	91	0.705	615
18	582	99	0.68	603
19	571	100	0.679	601
20	561	105	0.67	589
21	549	107	0.655	584
22	540	113	0.643	576
23	535	115	0.631	569
24	562	100	0.668	595
25	532	116	0.622	570
26	599	94	0.698	610
27	583	98	0.682	603
28	555	108	0.661	587
29	630	89	0.725	624
30	534	123	0.61	560
31	528	123	0.621	561
32	525	121	0.615	559
33	531	120	0.624	568
34	540	117	0.623	564
35	538	118	0.631	570
36	534	114	0.637	571
37	540	115	0.625	572

*Продолжение таблицы 1*

38	529	123	0.613	559
39	525	123	0.628	562
40	530	119	0.619	562
41	530	125	0.61	557
42	543	120	0.632	567
43	545	112	0.635	575
44	607	91	0.717	620
45	542	114	0.643	576
46	536	115	0.635	569
47	543	117	0.637	571
48	530	116	0.63	570
49	612	89	0.711	620
50	559	106	0.653	587
51	628	87	0.723	624
52	535	123	0.622	559
53	537	125	0.61	560
54	524	122	0.617	560
55	533	124	0.613	558
56	532	120	0.612	564
57	541	119	0.64	570
58	540	114	0.637	571
59	535	113	0.628	572
60	588	94	0.705	612

## ОТЗЫВ

### НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломный проект

Калашева Азамата Маратовича

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Тема: «Разработка системы автоматического регулирования  
газораспределительной станции»

Дипломный проект студента Калашева Азамата Маратовича на тему “Разработка системы автоматического регулирования газораспределительной станции” выполнен на высоком уровне. В работе продемонстрировано глубокое понимание проблематики автоматизации и роботизации в области газораспределения. Он продемонстрировал глубокие знания в области автоматизации и роботизации, а также применил их для разработки системы автоматического регулирования газораспределительной станции.

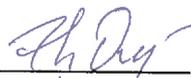
Студент показал высокую компетентность в использовании современных методов и технологий в области автоматизации. Его исследование включает анализ существующих систем регулирования, разработку нового алгоритма и его практическую реализацию. Результаты работы подтверждают не только теоретическую основу, но и практическую применимость разработанной системы.

Особое внимание стоит уделить тому, что проект студента имеет высокую реализуемость и потенциал для внедрения в промышленность. Разработанная система автоматического регулирования газораспределительной станции может значительно повысить эффективность и надежность процессов в данной области.

В целом, я считаю, что дипломный проект Калашева Азамата Маратовича является высококачественным и вносит вклад в развитие области автоматизации и роботизации. Студент продемонстрировал свои умения в научно-исследовательской работе, а также владение техническими навыками.

Дипломный проект выполнен соответствии к требованиям выпускных работ и рекомендован к защите.

**Научный руководитель**  
PhD, ассоциированный профессор

 Омирбекова Ж. Ж.  
« 14 » июня 2023 г.

## РЕЦЕНЗИЯ

На дипломный проект

Калашева Азамата Маратовича  
6В07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: «Разработка системы автоматического регулирования газораспределительной  
станции»

Выполнено:

- а) графическая часть на 14 листах  
б) пояснительная записка на 46 страницах

## ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В дипломном проекте студента Калашева Азамата была рассмотрена актуальная проблематика автоматизации и регулирования газораспределительных станций. Проект представляет собой исследование и разработку системы автоматического регулирования, которая имеет потенциал для улучшения эффективности и надежности процессов в данной области.

В работе представлен обзор существующих методов и подходов к автоматизации газораспределительных станций, а также описаны особенности и требования, которые должны быть учтены при разработке системы автоматического регулирования.

Особое внимание уделено разработке алгоритма и его практической реализации. Студент представил подробное описание работы системы, включая ее структуру, функции и взаимодействие с другими компонентами газораспределительной станции. Кроме того, студент провел анализ и тестирование разработанной системы, что позволяет сделать выводы о ее эффективности и применимости.

Однако в проекте также имеются некоторые недостатки. В работе не было представлено подробное описание выбранных технологий и инструментов, используемых для реализации системы автоматического регулирования.

## ОЦЕНКА РАБОТЫ

Дипломный проект студента Калашева Азамата является хорошим вкладом в область автоматизации и регулирования газораспределительных станций. Работа демонстрирует его знания и навыки в области разработки систем автоматического управления. Для достижения еще более качественных результатов рекомендуется углубить анализ и оценку полученных данных, а также предоставить более подробное описание использованных технологий. Общая оценка работы положительная (90% -А), а студент Калашев А.М. заслуживает академическую степень бакалавра по специальности 6В07103 – Автоматизация и роботизация

### Рецензент

Директор ООО «ACS Engineering»  
магистр техники и технологии РЭТ  
(должность, уч. степень, звание)

Сихимбаев А.С.

« 12 » июня 2023 г.



**Протокол анализа Отчета подобия  
заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения**

Заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения заявляет, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Калашев Азамат Маратович

**Название:** Разработка автоматической системы регулирования газораспределительной станции

**Координатор:** Омирбекова Жанар Жумаханкызы

**Коэффициент подобия 1:** 0,25%

**Коэффициент подобия 2:** 0%

**Замена букв:** 6

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 67

**Белые знаки:** 7

**После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальника структурного подразделения констатирует следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем не допускаю работу к защите.

**Обоснование:** В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 0,25% и Коэффициент подобия 2: 0%. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«12» июня 2023 г.  
Дата

  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

**Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:**  
Дипломный проект допускается к защите.

«12» июня 2023 г.  
Дата

  
Подпись заведующего кафедрой /  
начальника структурного подразделения

## Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

**Автор:** Калашев Азамат Маратович

**Название:** Разработка автоматической системы регулирования газораспределительной станции

**Координатор:** Омирбекова Жанар Жумаханкызы

**Коэффициент подобия 1:** 0,75%

**Коэффициент подобия 2:** 0%

**Замена букв:** 6

**Интервалы:** 0

**Микропробелы:** 67

**Белые знаки:** 7

**После анализа Отчета подобия констатирую следующее:**

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 0,25% и Коэффициент подобия 2: 0%. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

«12» июня 2022 г.

Дата

 Подпись Научного руководителя