

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизации и управления

6В07103 – Автоматизация и роботизация

Бегежанов Султан Канатович

Разработка автоматизированной системы предотвращения сверхдавления на промысел нефти

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к дипломному проекту

6В07103 – Автоматизация и роботизация

Алматы 2025

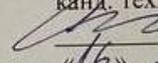
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизации и управления

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АиУ
канд. техн. наук


Сарсенбаев Н.С.
«16» 06 2025 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

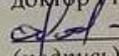
На тему: «Разработка автоматизированной системы предотвращения сверхдавления на
промысел нефти»

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил

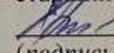
Бегежанов С.К.

Рецензент
доктор PhD


Оракбаев Е. Ж.
(подпись)

«16» 06 2025 г.

Научный руководитель
старший преподаватель, PhD


Кулакова Е. А.
(подпись)

«16» 06 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

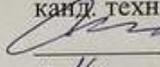
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и информационных технологий
Кафедра Автоматизации и управления

6B07103 – Автоматизация и роботизация

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ
канд. техн. наук

 Сарсенбаев Н.С.
«16» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Бегежанов С.К.

Тема: «Разработка автоматизированной системы предотвращения сверхдавления на промысел нефти».

Утвержден приказом Р. Ускенбаевой № 26-П/Ө от «29» января 2025 г.

Срок сдачи законченной работы: «25» мая 2025 г.

Исходные данные к проекту: входные и выходные данные процессов системы предотвращения сверх давления на устье скважины.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) описание технологической части;
- б) разработка структурной схемы системы автоматического управления;
- в) разработка функциональной схемы автоматизации системы управления процессом;
- г) расчетная часть;
- д) разработка программы управления.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

функциональная схема автоматизации пневматической системы.

Рекомендуемая основная литература:

1 Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Физматлит, 2006. – 319 с.

2 Кошимбаев Ш.К., Жусупбеков С.С. Автоматизация типовых технологических процессов: учеб. Пособие / – Алматы: КазНИТУ, 2016. – 276 с.

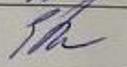
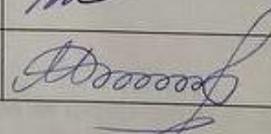
3 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования / – М.: Наука, 1975. – 759 с.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологический раздел Описание процессов устья скважины и пневматической системы	13. 02. 2025 г.	
Технологический раздел Разработка структурной схемы системы автоматического управления	06. 03. 2025 г.	
Технологический раздел Разработка функциональной схемы автоматизации системы управления пневматической системой	28. 03. 2025 г.	
Расчетный раздел Анализ и синтез систем автоматического регулирования	14. 04. 2025 г.	
Расчетный раздел Разработка алгоритма и программы управления	25. 05. 2025	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	Е. А Кулакова PhD	28.03.25.	
Расчетный раздел	Е. А Кулакова PhD	14.05.25.	
Нормоконтролер	К. А. Манатов магистр техн. наук	05.06.2025	

Научный руководитель



Кулакова Е. А.

Задание принял к исполнению обучающийся


подпись

Бегежанов С.К.

Дата

«31» 01 2025 г.

АНДАТПА

Дипломдық жоба шеңберінде ұңғыманың аузындағы аса қысымның Автоматты алдын алу жүйесі әзірленді. Технологиялық бөлімде апаттық қорғаныстың пневматикалық жүйесінің негізгі функциялары сипатталған, автоматтандыру объектісінің дизайны талданған және оның жұмыс принципі сипатталған. Сондай-ақ, аппараттық бөлікті таңдау жасалды, бақылау мен басқарудың негізгі параметрлері анықталды, Функционалды және құрылымдық схемалар жасалды, олардың негізінде технологиялық процесті басқарудың автоматтандырылған жүйесінің құрылымы құрылды.

Жобаның екінші бөлігінде пневматикалық клапанның ашылу дәрежесін басқару үшін реттегіш синтезі жүзеге асырылды. Жүйенің тұрақтылығына зерттеулер жүргізілді, өтпелі сипаттамалар салынды, сапаны тікелей және жанама бағалау есептелді. PID реттегішін орнатудың әртүрлі әдістері ретінде қолданылды. Алынған модель TIA portal бағдарламалық ортасына біріктірілді. және LAD тілінде логиканы әзірлеуді және HMI операторының графикалық интерфейсін құруды қамтитын бағдарламалық жасақтаманың көмегімен жүзеге асырылады.

АННОТАЦИЯ

В рамках дипломного проекта была разработана система автоматического предотвращения сверхдавления на устье скважины. В технологическом разделе изложены основные функции пневматической системы аварийной защиты, проанализирована конструкция объекта автоматизации и описан его принцип действия. Также выполнен выбор аппаратной части, определены ключевые параметры для контроля и управления, спроектированы функциональная и структурная схемы, на основе которых построена структура автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Во второй части проекта осуществлён синтез регулятора для управления степенью открытия пневматического клапана. Проведены исследования устойчивости системы, построены переходные характеристики, рассчитаны прямые и косвенные оценки качества. Были применены как различные методы настройки PID-регулятора. Полученная модель была интегрирована в программную среду TIA Portal. и реализована при помощи программного обеспечения, включающая разработку логики на языке LAD, и создание графического интерфейса оператора HMI.

ANNOTATION

As part of the graduation project, a system for automatic prevention of overpressure at the wellhead was developed. The technological section outlines the main functions of the pneumatic emergency protection system, analyzes the design of the automation facility and describes its principle of operation. The hardware was also selected, key parameters for monitoring and control were determined, functional and structural schemes were designed, on the basis of which the structure of the automated process control system was built.

In the second part of the project, a regulator was synthesized to control the degree of opening of the pneumatic valve. System stability studies have been conducted, transitional characteristics have been constructed, and direct and indirect quality assessments have been calculated. Various methods of adjusting the PID controller have been applied. The resulting model was integrated into the TIA Portal software environment. It is implemented using software, including the development of logic in the LAD language, and the creation of a graphical interface for the HMI operator.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологическая часть	8
1.1 Описание устья скважины	8
1.2 Пневматическая система аварийной защиты	9
1.3 Контроль и мониторинг	11
1.4 Принцип действия	11
1.5 Объект исследования пневматический клапан	12
2 Определение точек контроля	15
2.1 Выбор аппаратной базы	16
2.2 Определение структуры АСУ ТП	18
2.3 Разработка функциональной схемы автоматизации	20
3 Расчетная часть	22
3.1 Постановка задачи для синтеза контура управления	22
3.2 Разработка структурной схемы	22
3.3 Анализ динамических свойств	25
3.4 Синтез типового регулятора	33
3.5 Выбор эмпирического метода	43
4 Создание программы управления	45
4.1 Разработка алгоритма	45
4.2 Аппаратная реализация проекта в TIA Portal	45
Заключение	52
Список использованной литературы	53
Приложение А	54
Приложение Б	55

ВВЕДЕНИЕ

Целью дипломной работы является разработка автоматизированной системы аварийной защиты устья скважины, обеспечивающей предотвращение критического повышения давления и снижение рисков при добыче флюида. Предлагаемая система включает в себя использование пневматических исполнительных механизмов и программируемого логического контроллера для управления степенью открытия регулирующего клапана, с возможностью настройки параметров и интеграции в общее управление процессом [1].

Актуальность темы обоснована тем, что в условиях нефтегазодобычи и повышения требований к промышленной безопасности, возрастает необходимость создания средств предотвращения аварийных ситуаций. Устьевое оборудование скважин подвержено воздействию высоких давлений, и отказ в системе управления может привести к авариям с серьёзными последствиями для окружающей среды и персонала. Разработка автоматизированной системы защиты, способной быстро реагировать на превышение пороговых значений давления, является актуальной задачей, направленной на повышение технологической устойчивости и эксплуатационной безопасности объектов.

В рамках дипломного проекта был реализован полный цикл разработки системы аварийной защиты на базе пневматического управления. Проведен анализ технологического процесса и выбран объект автоматизации. Определены точки контроля и управления. Сформированы функциональная и структурная схемы автоматизации. Аппаратная база проекта включает проверенные компоненты что обеспечивает надёжность и совместимость системы с существующей структурой.

Расчётная часть проекта включает построение математической модели управления расходом флюида через регулирующей клапан. На основе собранных эмпирических данных была сформирована передаточная функция объекта управления. Выполнен анализ устойчивости замкнутой системы с использованием метода Ляпунова, а также рассчитаны переходные характеристики. Для управления степенью открытия клапана применены классические и эмпирические методы настройки PID-регулятора. Оптимизированные параметры регулятора были реализованы в программной среде ПИА Portal. В завершение, разработана программа управления с интерфейсом оператора, реализована логика аварийного отключения и обеспечено визуальное отображение состояния системы [2].

Задачи дипломной работы. Изучить технологический процесс и определить точки контроля, выбрать аппаратную часть, соответствующую промышленным требованиям, разработать математическую модель управления клапаном, реализовать программную логику в среде ПИА Portal с интерфейсом НМІ.

1 Технологическая часть

1.1 Описание устья скважины

Устье скважины состоит из набора оборудования, которое монтируется на устье скважины для регулирования и контроля добычи углеводородных производных из подземного пласта. Оборудование также предотвращает утечку природного газа или нефти из скважины и предотвращает выбросы из – за высокого давления пластов. Как правило, устье скважины состоит из трех компонентов: головка обсадной колонны, головка насосно – компрессорной трубы и фонтанная арматура.

Головка обсадной колонны состоит из прочных фитингов, которые обеспечивают герметизацию между корпусом и поверхностью. Головка обсадной колонны также служит для поддержки всей длины обсадной колонны, спускающейся по скважине. Эта часть оборудования содержит захватный механизм, который обеспечивает плотное уплотнение между головкой и корпусом. Как и головка обсадной колонны, головка труб предназначена для поддержки всей длины обсадной колонны, а также обеспечивает соединения на поверхности, для управления потоком жидкости из скважины.

Рождественская елка изображена на рисунке 1.1 и 1.2, получила свое название из – за множества ветвей, напоминающих рождественскую елку – это часть оборудования, которая устанавливается поверх обсадной колонны и содержит трубки и клапаны, которые служат для управления потоком углеводородных производных и других жидкостей из скважины. Устье скважины наиболее видимая часть добывающей скважины и позволяет осуществлять поверхностный контроль и регулирование добычи углеводородных производных из скважины.

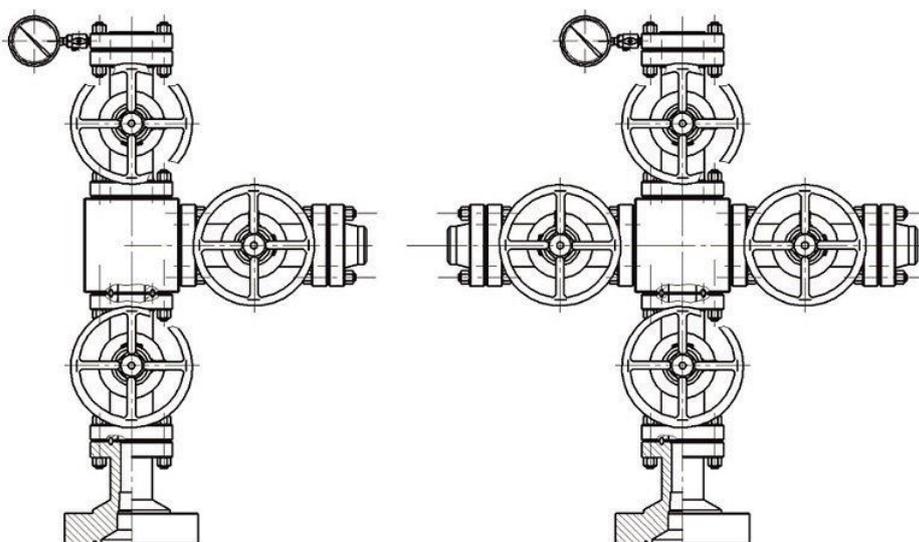


Рисунок 1.1 – Устье скважины



Рисунок 1.2 – Общий вид устья скважины

Устьевое давление – то давление в верхней части скважины, т.е. на устье, которое измеряется с помощью манометра на устье скважины. Различают статическое и динамическое давление в скважине.

Статическое давление измеряется в заброшенных скважинах. В эксплуатационной скважине контролируется динамическое давление, которое зависит от давления в пласте, глубины скважины и плотности заполняющей среды, а также дебита скважины и давления в трубопроводе вблизи скважины.

1.2 Пневматическая система аварийной защиты

Пневматическая система – предназначена для дистанционного управления исполнительными механизмами (задвижками) в технологической установке. Сжатый воздух используется как рабочая среда, обеспечивая надежное и энергонезависимое управление в условиях потенциальных аварийных ситуаций. Пневматическая система изображена на рисунке 1.3.

Пневматическая система управляет скважинами. Она выполняет эту задачу, управляя клапанами, установленными на устье скважины, которые представляют собой SCSSV – Подповерхностные предохранительные клапаны с поверхностным управлением и SSV – Поверхностные предохранительные клапаны, которые состоят из коренного клапана (MV), левого бокового клапана (WV) и аварийный клапан (SDV). Последовательная работа этих клапанов облегчает процесс аварийного отключения (ESD). Помимо этого, она также используется для управления другими приводами и клапанами[3].

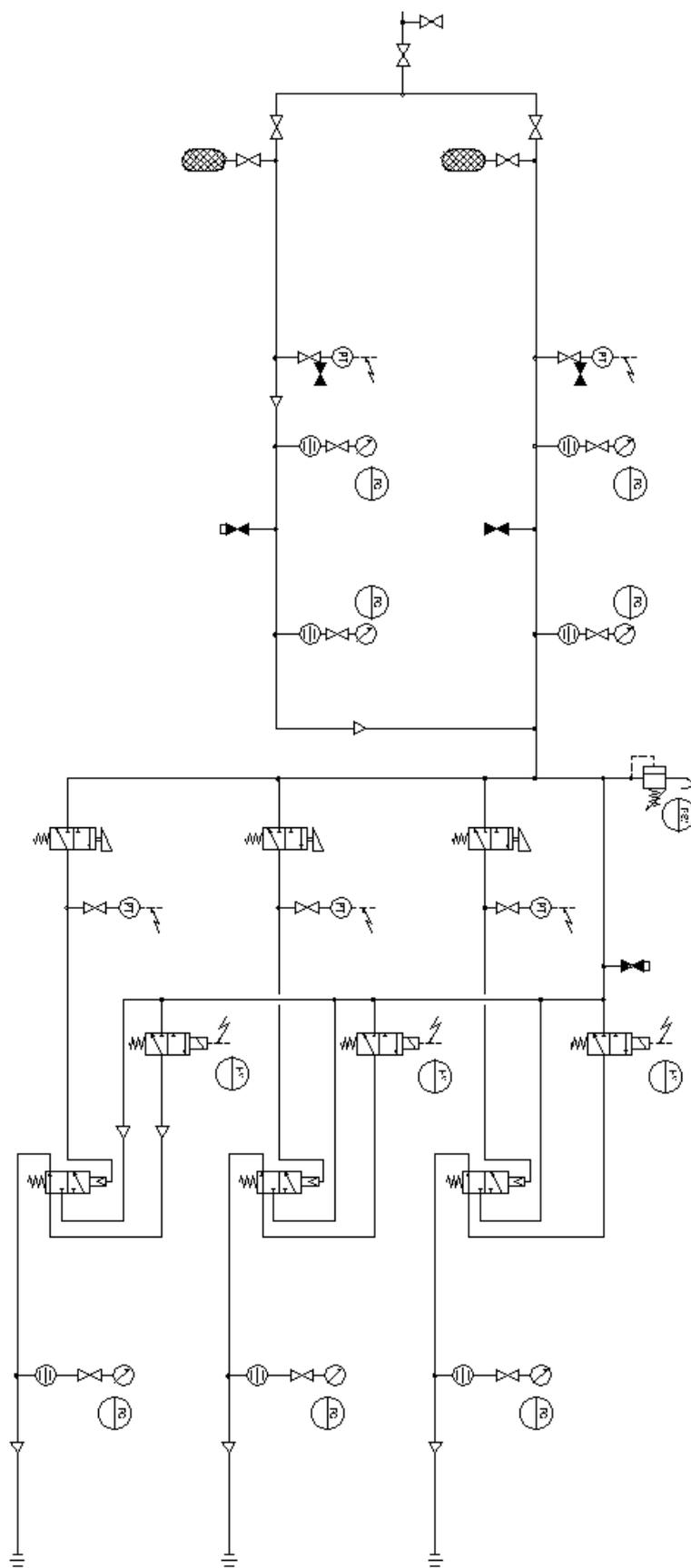
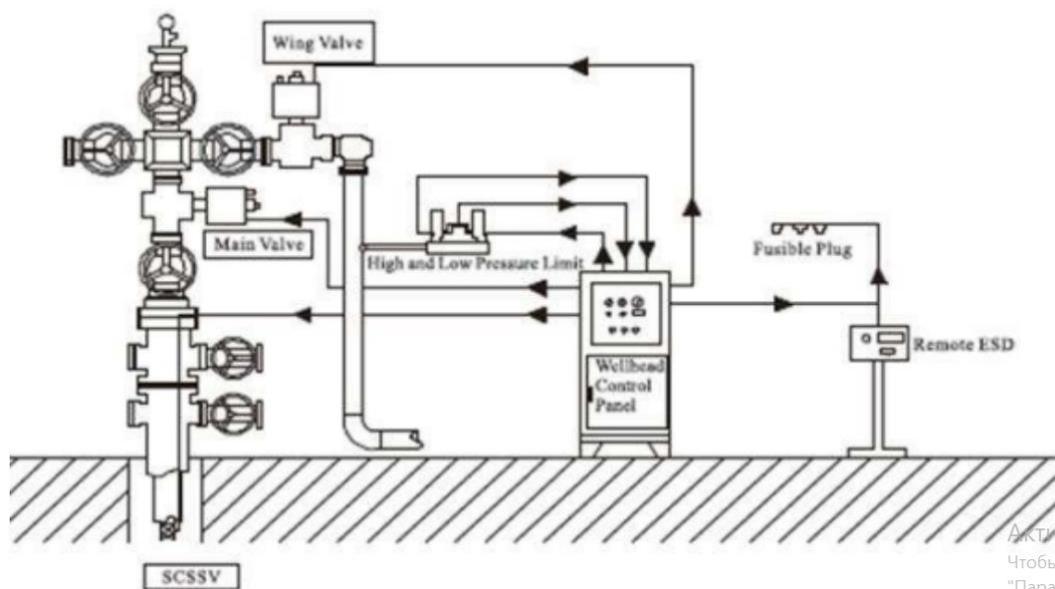


Рисунок 1.3 – Пневматическая система

Каждая скважина имеет индивидуальные функции ручного и автоматического управления, позволяющие последовательно закрывать скважину в соответствии с пневматическим логическим управлением или программным логическим управлением.

Технологический процесс изображен на рисунке 1.4.



Актив:
Чтобы а:
"Параме

Рисунок 1.4 – Технологический процесс

1.3 Контроль и мониторинг

Управление системой реализовано через контроллер безопасности, обрабатывающий сигналы от датчиков давления и формирующий управляющие команды. Все сигналы и состояния системы отображаются на операторской панели, что обеспечивает визуальный контроль за функционированием оборудования и позволяет в ручном режиме управлять отдельными узлами при необходимости. Контроль за давлением осуществляется при помощи датчиков и расположенных на ключевых участках системы. Информация от них поступает на Safety PLC, который принимает решение об аварийном отключении, открытии/закрытии задвижек, или переключении источника подачи воздуха [4].

1.4 Принцип действия

Шаг 1: Подача воздуха и регулирование давления

Основной источник сжатого воздуха подаёт давление до 200 бар в пневматическую систему. Этот воздух проходит через фильтрационно – регуляторный узел, где его давление снижается до рабочих 13 бар. Аналогично работает резервный источник: давление также поступает с уровнем 200 бар и редуцируется до 12 бар, оставаясь в режиме ожидания.

Шаг 2: Контроль состояния линий подачи воздуха

На выходе из каждого канала установлены датчики давления. Эти устройства передают данные на контроллер безопасности. Если давление в основном канале падает до 70 бар, формируется предупреждающий сигнал LO Alarm, при котором система автоматически переключается на резервный источник воздуха.

Шаг 3: Реакция на критическое падение давления

В случае если и резервная линия теряет давление, и оно снижается до уровня 45 бар, активируется сигнал LO LO Alarm. Этот сигнал означает критическую ситуацию, при которой Safety PLC инициирует полный переход системы в аварийный режим, предполагающий закрытие всех исполнительных задвижек и блокировку скважины.

Шаг 4: Управление исполнительными механизмами

К пневмаприводам задвижек Master Valve, Left Wing Valve и Flowline SDV – подаётся отрегулированный воздух по индивидуальным трубопроводам.

Давление на каждом из этих участков контролируется.

Режим нормальной эксплуатации: при нормальной работе давление в системе находится в пределах заданных уставок. Воздух из основного источника поступает к исполнительным элементам, обеспечивая открытое состояние задвижек. Контроллер фиксирует стабильную работу и отсутствия аварийных ситуаций, оператор может визуально отслеживать параметры через HMI.

Сценарий срабатывания аварийной защиты: при поступлении сигнала LO или LO LO контроллер принимает решение о переключении канала либо полной остановке. В случае аварии задвижки закрываются за счёт потери давления или возвратных пружин. Это позволяет изолировать скважину и предотвратить утечку газа или жидкости.

Сброс избыточного давления: если в любой части системы давление превышает допустимый порог, срабатывает предохранительный клапан, который направляет избыточный воздух в атмосферу, защищая систему от разрушения.

1.5 Объект исследования пневматический клапан

Дроссельный клапан — это тип клапанов для регулирования потока жидкостей или газов в трубопроводе. Дроссельные клапаны широко используются в нефтегазовой промышленности для управления потоком скважинных жидкостей, таких как нефть или природный газ, от устья скважины

до производственного объекта. Клапан предназначен для снижения скорости потока путем создания ограничения в трубопроводе, которое можно отрегулировать для достижения желаемой скорости потока рисунок 1.5. Обычно это достигается с помощью конического отверстия или отверстий переменной длины, которые можно регулировать для увеличения или уменьшения ограничения потока в трубопроводе.

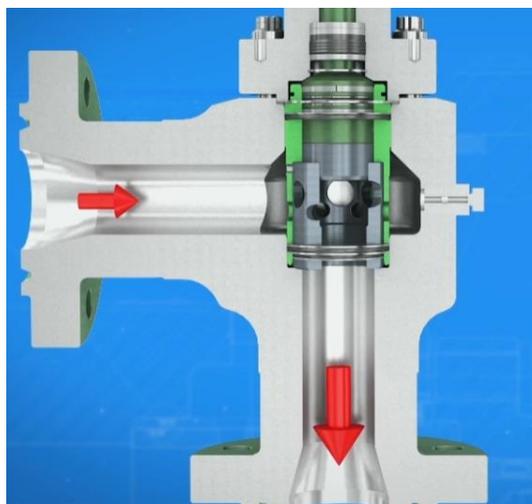


Рисунок 1.5 – Дроссельный клапан

В нефтегазовой промышленности дроссельные клапаны применяются для регулирования потока жидкостей и газов, добываемых из скважин будь то нефть или природный газ, от устья скважины до производственного объекта.

На представленном ниже рисунке 1.6 показан участок устья скважины, включающий ключевые элементы управления потоком добываемого флюида. Центральным элементом системы является пневматический регулирующий клапан Control Choke.

Перед входом во впускной трубопровод установлены:

Master valve – коренная задвижка, выполняющая функцию отсечной арматуры.

Wing valve – боковая задвижка, служащая дополнительным элементом изоляции.

PT – датчики давления до и после регулирующего клапана обеспечивают измерение и передачу данных в систему автоматизации.

Дроссельный клапан то есть Control Choke управляется с помощью сигнала от контроллера через преобразователь, который трансформирует электрический сигнал в пневматический. Пневматический сигнал поступает на привод клапана, изменяя его степень открытия, что позволяет точно регулировать расход флюида.

Для контроля положения клапана установлены концевые выключатели ZS:

- ZSH сигнализирует о полном открытии клапана;
- ZSL сигнализирует о полном закрытии;

На выходе установлен клапан Flow Line SDV (Shutdown Valve), предназначенный для аварийного отключения подачи флюида по команде от системы безопасности.

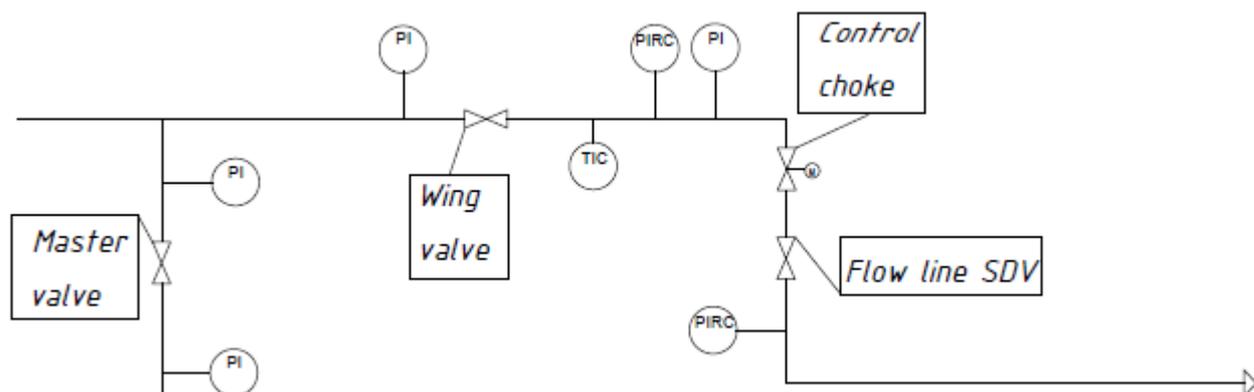


Рисунок 1.6 – Функциональная схема участка с пневматическим регулирующим клапаном

2 Определение точек контроля

В рамках обеспечения устойчивой и безопасной работы системы регулирования расхода флюида с применением пневматического регулирующего устройства необходимо чётко определить параметры, которые подлежат постоянному контролю в процессе эксплуатации.

Давление регистрируется в двух ключевых точках: на входе в регулирующий клапан (PIRC – 01) и после него (PIRC – 02), что позволяет оперативно выявить отклонения в работе Control Choke, включая засоры, неполное открытие или избыточный перепад давления. Эти параметры поступают в контроллер, формирующий управляющее воздействие.

Положение регулирующего пневматического клапана отслеживается с помощью датчиков конечного положения ZSH – 01 и ZSL – 01, передающих сигнал о полном открытии или закрытии клапана. Это необходимо для подтверждения корректного исполнения управляющих команд.

На основе данных с датчиков PIRC – 01 и PIRC – 02 формируются управляющие действия, направленные на регулирование степени открытия клапана в зависимости от текущих условий работы.

Подсистема сигнализации предупреждает оператора об отклонениях от допустимых значений. При неисправностях или потере сигнала с датчиков давления срабатывает аварийное оповещение. Если датчик положения (ZSH – 01/ZSL – 01) фиксирует рассогласование между командой и фактическим положением клапана, формируется сигнал отказа, и система переходит в безопасное состояние. В случае критического отклонения давления на входе или выходе активируется аварийное закрытие Flow Line SDV, исключая выброс флюида.

Таблица 2.1 – Таблица сигналов контроля

№	Наименование сигнала	Назначение	Диапазон измерений
1	Датчик давления PIRC – (01 – 02)	Измеряет давление после Control Choke для контроля после	-1 – 150 бар
2	Датчик давления PT (01 – 04)	Измеряют давление перед Control Choke	-1 – 150 бар
3	Датчик температуры TIC	Измеряет температуру флюида до Control Choke	-40 – +120 °C
4	Концевой выключатель ZSH	Дискретный сигнал/Положение открыт	0/1
5	Концевой выключатель ZSL	Дискретный сигнал/Положение закрыт	0/1

Таблица 2.2 – Таблица сигналов управления

№	Наименование сигнала	Назначение	Диапазон измерений
1	Датчик давления PIRC – 01	Сигналы давления формируют команды управления	-1 – 150 бар
2	Датчик давления PIRC – 02	Сигналы давления формируют команды управления	-1 – 150 бар
3	Датчик температуры TIC	Температурные сигналы формируют команды управления	-40 – +120 °C
4	Концевой выключатель ZSH	Управление подачей флюида	0/1
5	Концевой выключатель ZSL	Управление подачей флюида	0/1

Таблица 2.3 – Таблица сигналов регулирования

№	Наименование сигнала	Назначение	Диапазон измерений
1	Датчик давления PIRC – 01	Сигналы давления регулируют процент открытия	-1 – 150 бар
2	Датчик давления PIRC – 02	Сигналы давления регулируют процент открытия	-1 – 150 бар
3	Датчик температуры TIC	Температурные сигналы регулируют процент открытия	-40 – +120 °C

2.1 Выбор аппаратной базы

Для автоматизации процессов пневматических систем выбрана аппаратная платформа Siemens [5]. Центром управления служит контроллер безопасности SIMATIC S7 – 1500, модель CPU 1513 – 1 PN с модулем F (Failsafe). К нему допустима установка до 32 модулей контроллера в одну монтажную стойку. Через интерфейсные модули ET 200MP и сеть PROFINET имеется возможность подключать дополнительные стойки с дополнительными модулями. Контроллер изображен на рисунке 2.1



Рисунок 2.1 – SIMATIC S7-1500

YOKOGAWA YTA610 обеспечивает высокую точность, стабильность и надежность. Он преобразует входной сигнал датчика в аналоговый сигнал 4 – 20 мА постоянного тока или цифровой сигнал. Доступны версии с протоколом HART 7. Рабочий диапазон температуры датчика от -40 °С до +120 °С. Рисунок 2.2.



Рисунок 2.2 – Датчик температуры

Датчик давления 3051 предназначены для измерений дифференциального давления (ДД), избыточного давления (ИД) и абсолютного давления (АД). В преобразователях Rosemount 3051 использована технология емкостных сенсоров. Диапазон давления от -1–150 бар. Электрический сигнал от сенсорного модуля передается на выходной блок электроники. Рисунок 2.3.



Рисунок 2.3 – Датчик давления

Клапан Bifold FP10P широко используется для управления пневматическими приводами, такими как аварийные запорные клапаны (SDV), в системах, где требуется высокая надежность и соответствие строгим стандартам безопасности. Это 3/2-ходовой прямого действия электромагнитный клапан имеющий температурный диапазон: от -60°C до $+90^{\circ}\text{C}$ и рабочее давление: до 40 бар. Изображен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Дроссельный клапан

Концевой выключатель ZSH и ZSL рисунок 2.5 данный выключатель широко используется в системах безопасности, где требуется надёжный контроль положения подвижных элементов без физического контакта. Он особенно эффективен в условиях, где присутствуют взрывоопасные газы или пыль, например, в нефтегазовой, химической и пищевой промышленности. Материал корпуса: Литой алюминий, температурный диапазон: от -40°F до $+180^{\circ}\text{F}$, расстояние срабатывания: от 0,25 до 0,5 дюйма (6,35 – 12,7 мм).



Рисунок 2.5 – Концевой выключатель ZSH и ZSL

2.2 Определение структуры АСУ ТП

Структура автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), предназначенной для регулирования расхода добываемого флюида с помощью пневматического клапана, формируется с учётом требований к надёжности, оперативности и безопасности управления изображена на рисунке 2.6. Система имеет модульную архитектуру и выстроена по трёхуровневому принципу, обеспечивая чёткое разграничение функций и упрощение взаимодействия между компонентами.

Полевой уровень: На нижнем уровне системы располагаются первичные измерительные и исполнительные устройства. К ним относятся: датчики давления, установленные до и после регулирующего клапана, с целью определения перепада давления и анализа устойчивости потока. Пневматический исполнительный механизм с позиционером, регулирующей степень открытия клапана в соответствии с заданным сигналом. Сигнальные элементы, регистрирующие на аварийные состояния. Например, превышение давления, отказ датчиков, перегрев.

Контроллерный уровень: в центре управления системой находится программируемый логический контроллер (ПЛК), который выполняет приём и первичную обработку сигналов с полевого уровня, формирует управляющие команды на исполнительные механизмы и реализует алгоритмы автоматического регулирования. В системе используется ПИД – регулирование, позволяющее точно поддерживать заданные технологические параметры при изменяющихся внешних условиях.

Контроллер обеспечивает: выполнение логики аварийной защиты, автоматическое и ручное управление клапаном, обработку сигналов от всех подключённых устройств, передачу информации на верхний уровень по промышленным протоколам связи.

Операторский уровень: верхний уровень управления представлен панелью оператора (HMI) или автоматизированным рабочим местом (АРМ). На этом уровне осуществляется: визуализация текущих параметров процесса в реальном времени, отображение и регистрация аварийных и предупредительных сообщений, ввод уставок и установка режимов работы, выполнение команд ручного управления, при необходимости. Операторский уровень обеспечивает удобный интерфейс для взаимодействия персонала с системой, позволяя оперативно реагировать на отклонения и проводить диагностику.

Связь между осуществляется посредством стандартных интерфейсов (например, Modbus RTU или Ethernet), что обеспечивает надёжную и быструю передачу данных.

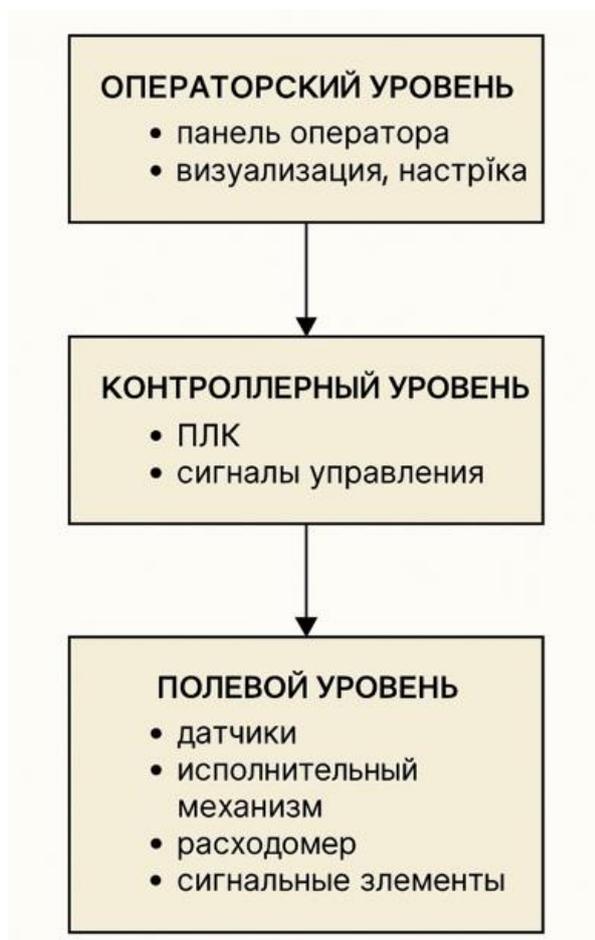


Рисунок 2.6 – Технологический процесс

2.3 Разработка функциональной схемы автоматизации

Схемы автоматизации являются важнейшим компонентом проектирования систем управления технологическими процессами, составляя основной технический документ, отражающий структуру и логику системы. Схемы автоматизации содержат информацию об используемом оборудовании, его взаимодействии и связи с объектом управления. В схемах также отражены средства автоматизации, включая удаленные устройства и вычислительные элементы, что позволяет составить полное представление о функционировании системы управления.

Функциональная схема автоматизации – это графическое представление основных компонентов системы и их взаимосвязей. Все элементы схемы обозначаются стандартными графическими символами и показывают, как отдельные устройства обмениваются сигналами и совместно выполняют алгоритмы управления. Эта схема не только помогает понять структуру системы, но и определить пути прохождения сигналов, их назначение, а также упрощает наладку, обслуживание и будущую модернизацию оборудования.

Процесс составления схем автоматизации основан на соблюдении нормативных требований, включая государственные стандарты, нормы и правила, а также технические регламенты. Кроме того, учитываются стандартная практика проектирования и практический опыт, полученный при реализации аналогичных решений. Процесс составления схем автоматизации основан на соблюдении нормативных требований, включая государственные стандарты, нормы и правила, а также технические регламенты. Кроме того, учитываются стандартная практика проектирования и практический опыт, полученный при реализации аналогичных решений. Готовая схема (см. Приложение А) должна полностью удовлетворять требованиям и обеспечивать правильную работу всех элементов системы управления в предлагаемой архитектуре.

3 Расчетная часть

3.1 Постановка задачи для синтеза контура управления

В соответствии с техническим заданием дипломной работы необходимо синтезировать контуры управления: Контур регулирования потока пневматическим клапаном на основе комбинированного принципа управления на рисунке 3.1.

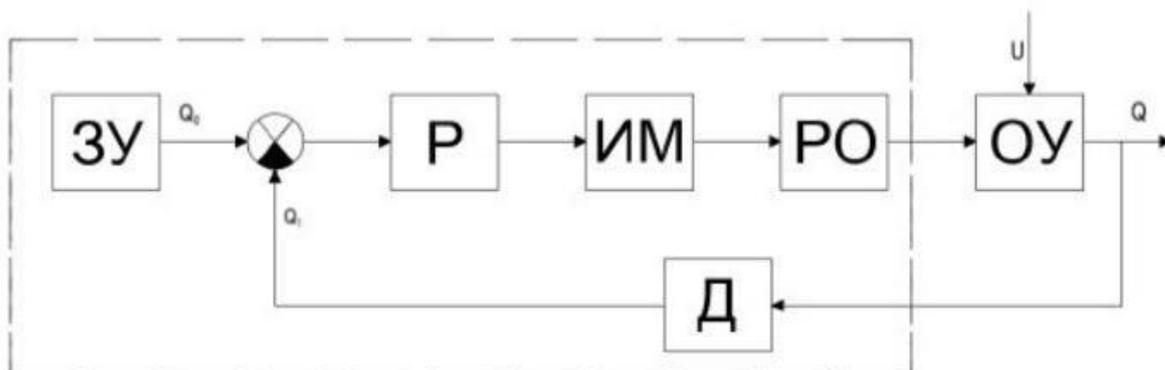


Рисунок 3.1 – Функциональная схема контура регулирования потока пневматическим клапаном

На основе представленного управленческого контура формулируются следующие задачи:

Задача номер 1. Для получения требуемой оценки качества на основе математической модели замкнутой системы управления необходимо синтезировать конкретный контроллер.

Задача номер 2. В зависимости от функциональной схемы необходимо синтезировать программные комплексы для регулирования процента открытия клапана

3.2 Разработка структурной схемы

Основываясь на изученных точках контроля, был выделен контур управления процентом открытия клапана как необходимый в регулировании.

В регулировании давления устья скважины степень открытия клапана напрямую влияет на расход добываемого флюида. При увеличении степени открытия Control Choke Valve снижается гидравлическое сопротивление в потоке, что приводит к возрастанию дебита. Это, в свою очередь, увеличивает давление в трубопроводной системе и влияет на сепараторы, компрессоры и системы подготовки флюида. Однако чрезмерное увеличение расхода может вызвать нестабильность в работе скважины, обводнение или быстрое истощение

пласта, а также превышение допустимого устьевого давления, что представляет угрозу для безопасности эксплуатации.

Таким образом, для построения передаточной функции была использована дроссельная характеристика, где входным параметром является степень открытия клапана (в %), а выходным параметром дебит (расход) флюида на выходе из устья скважины. Такая зависимость позволяет точно моделировать поведение системы и использовать её в задачах автоматического регулирования добычи и поддержания давления на заданном уровне. Исходные значения входного и выходного параметров представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Исходные значения

№	Степень открытия клапана, %	Дебит флюида м ³ /сутки
1	10	60
2	20	130
3	30	220
4	40	330
5	50	450
6	60	580
7	70	700
8	80	790
9	90	860
10	100	900

Для определения передаточной функции системы управления, будет использована прикладная программа являющаяся частью программы MATLAB, известная как System Identification Toolbox [6]. MATLAB находит широкое применение в инженерной практике, научных исследованиях и образовании для решения разнообразных задач в области математики и инженерного моделирования, а так же проектирования. System Identification Toolbox обеспечивает автоматическое создание математической модели системы опираясь на входные и выходные данные, содержащиеся в таблице 3.1. Основное окно System Identification Toolbox представлено на рисунке 3.2.

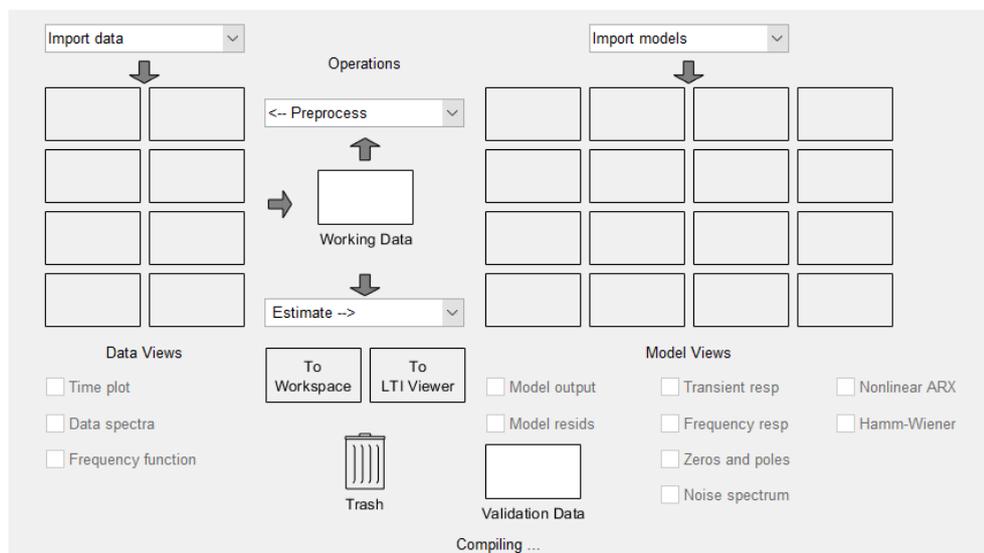


Рисунок 3.2 – Окно System Identification Toolbox

Процесс моделирования выполняется после загрузки входных и выходных переменных, что иллюстрируется на рисунке 3.3:

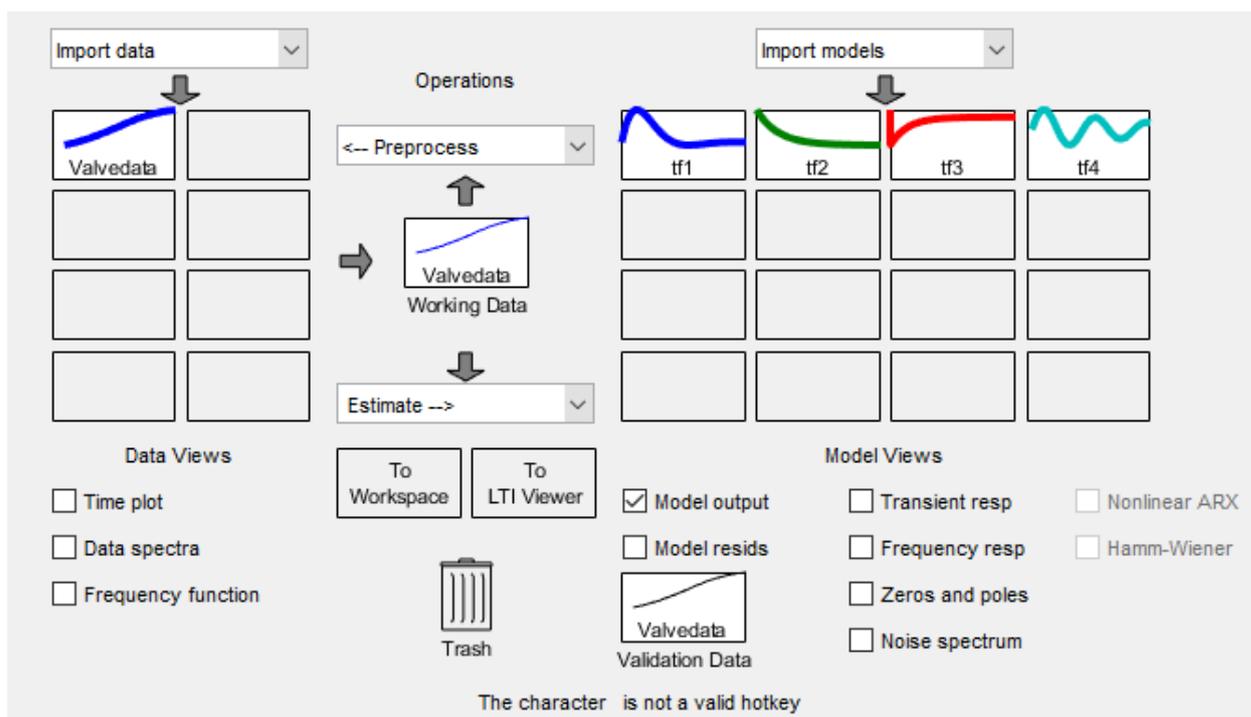


Рисунок 3.3 – моделирование в System Identification Toolbox

Ключевым показателем, определяющим пригодность построенной математической модели, служит степень ее адекватности. В ходе подбора передаточных функций для последующего синтеза была выбрана функция, демонстрирующая уровень адекватности 89.46%. На рисунке 3.3 сравнение передаточных функций и полученный результат.

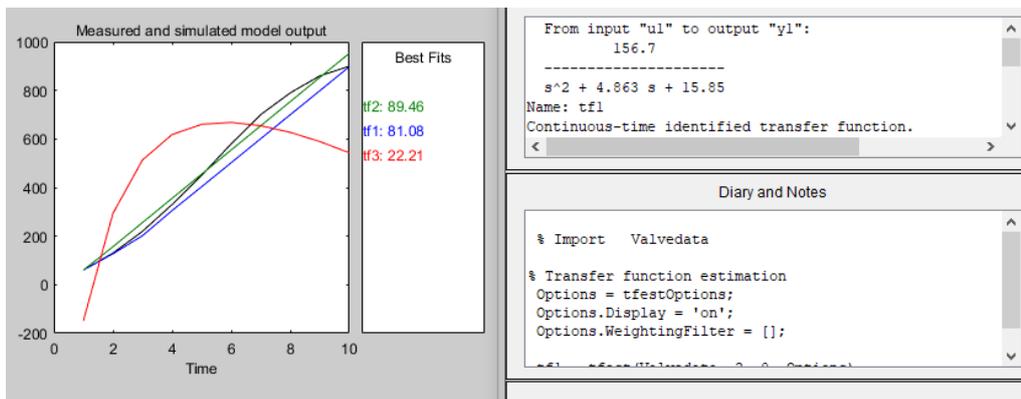


Рисунок 3.3 – Проценты адекватности моделей и полученная математическая модель

3.3 Анализ динамических свойств системы

Как видно из рисунка 3.3, математическое представление разомкнутой системы имеет вид:

$$G(s) = \frac{156.7}{s^2 + 4.863s + 15.85}. \quad (3.1)$$

Эта передаточная функция системы автоматического регулирования процента открытия пневматического клапана, которая описывает зависимость между входным (процент открытия) и выходным сигналом (дебит флюида). Полученная передаточная функция применяется для последующего анализа динамических свойств системы

Для преобразования передаточной функции замкнутой системы применяется формула обратной связи:

$$T(s) = \frac{G(s)}{1+G(s)}. \quad (3.2)$$

На основе формул (3.1) и (3.2) определяем передаточную функцию замкнутой системы:

$$T(s) = \frac{156.7}{s^2 + 4.863s + 172.55}.$$

Для анализа устойчивости системы перед ее моделированием в среде MATLAB применяется первый метод Ляпунова. Алгоритм решения представлен ниже.

Алгоритм решения:

Шаг 1. Получим характеристическое уравнение на основе передаточной функции разомкнутой системы.

Характеристическое уравнение имеет вид:

$$s^2 + 4.863s + 15.85 = 0. \quad (3.3)$$

Шаг 2. Необходимо определить корень характеристического уравнения. Так как данное уравнение имеет второй порядок, его корни вычисляются по формуле решения квадратных уравнений вида (3.4):

$$s = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (3.4)$$

$$s_{1,2} = -2.4315 \pm 3.15j.$$

Шаг 3. После определения корней уравнения необходимо изобразить их на комплексной плоскости с использованием MATLAB. На рисунке 3.4 представлен полученный результат.

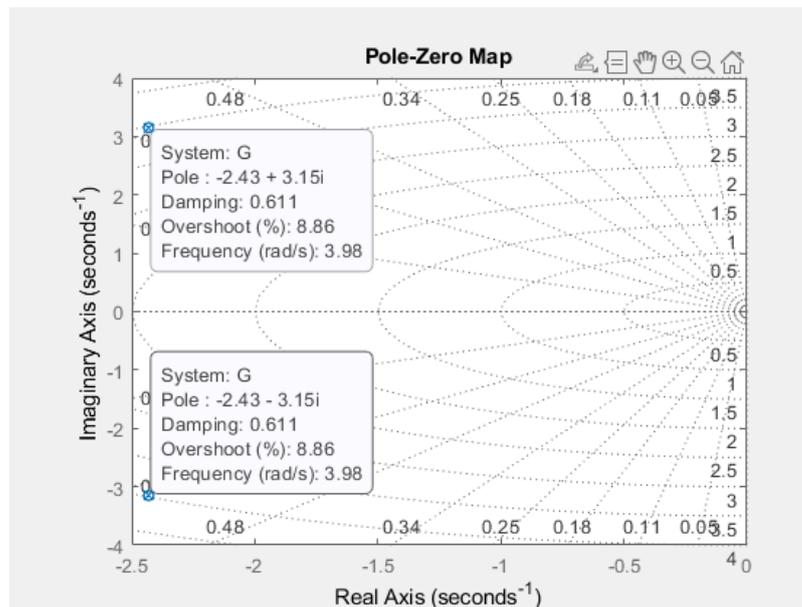


Рисунок 3.4 – Корни характеристического уравнения САР на комплексной плоскости

Проведем анализ замкнутой системы на устойчивость первым методом Ляпунова следуя алгоритму решения, далее сделаем выводы.

Алгоритм решения:

Шаг 1. Формирование характеристического уравнения из передаточной функции замкнутой системы. Характеристическое уравнение (3.5) имеет вид:

$$s^2 + 4.863s + 172.55 = 0. \quad (3.5)$$

Шаг 2. Вычисление корней уравнения. Так как данное уравнение имеет второй порядок, его корни вычисляются по формуле решения квадратных уравнений вида (3.6):

$$s = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (3.6)$$

$$s_{1,2} = -2.4315 \pm 12.91j.$$

Шаг 3. Графическое изображение результатов корней характеристического уравнения замкнутой системы на комплексной плоскости с помощью MATLAB. Полученный результат представлен на рисунке 3.5.

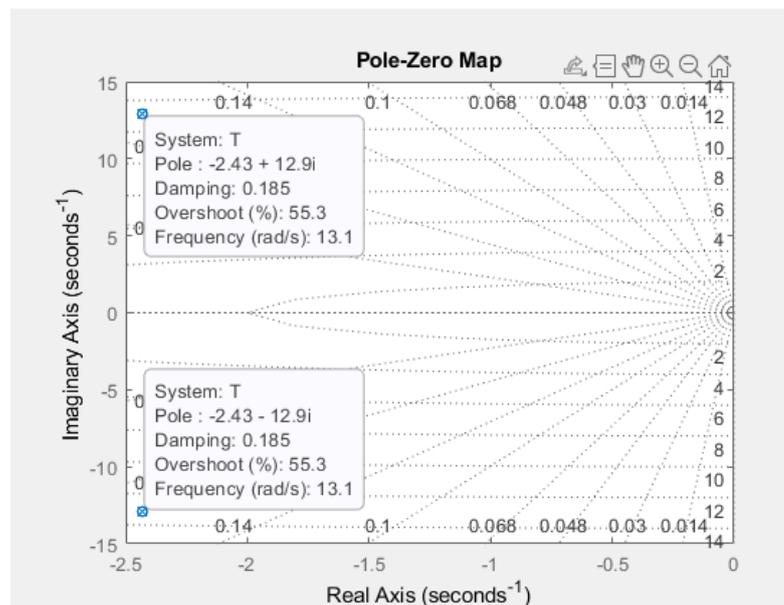


Рисунок 3.5 – Корни характеристического уравнения ЗСАР на комплексной плоскости

Вывод: согласно первому методу Ляпунова замкнутая и разомкнутая САР являются устойчивыми, так как корни уравнений составляют комплексно – сопряжённую пару с отрицательной действительной частью и их полюса расположены в левой полуплоскости комплексной плоскости.

Для анализа поведения системы при наличии обратной связи в среде MATLAB Simulink была построена модель замкнутой системы автоматического

регулирования (САР), объектом которой является пневматический клапан с передаточной функцией:

$$G(s) = \frac{156.7}{s^2 + 4.863s + 15.85}$$

Simulink – программа, входящая в состав MATLAB и предназначенная для визуального моделирования, симуляции и изучения динамических систем.

Воспроизведем модель замкнутой системы автоматического регулирования пневматического клапана, представленную на рисунке 3.6 после запустим систему с целью получения её переходных характеристик.

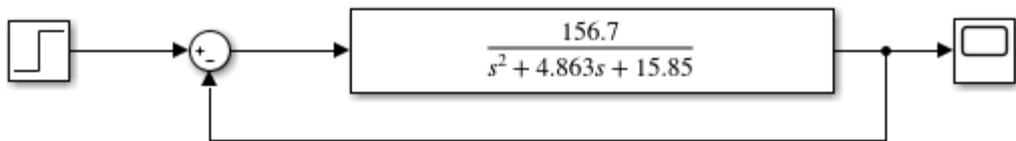


Рисунок 3.6 – Структурная схема замкнутой САР

Переходная характеристика, полученная в результате моделирования, позволяет получить прямые оценки качества. На рисунке 3.7 представлена реакция замкнутой САР.

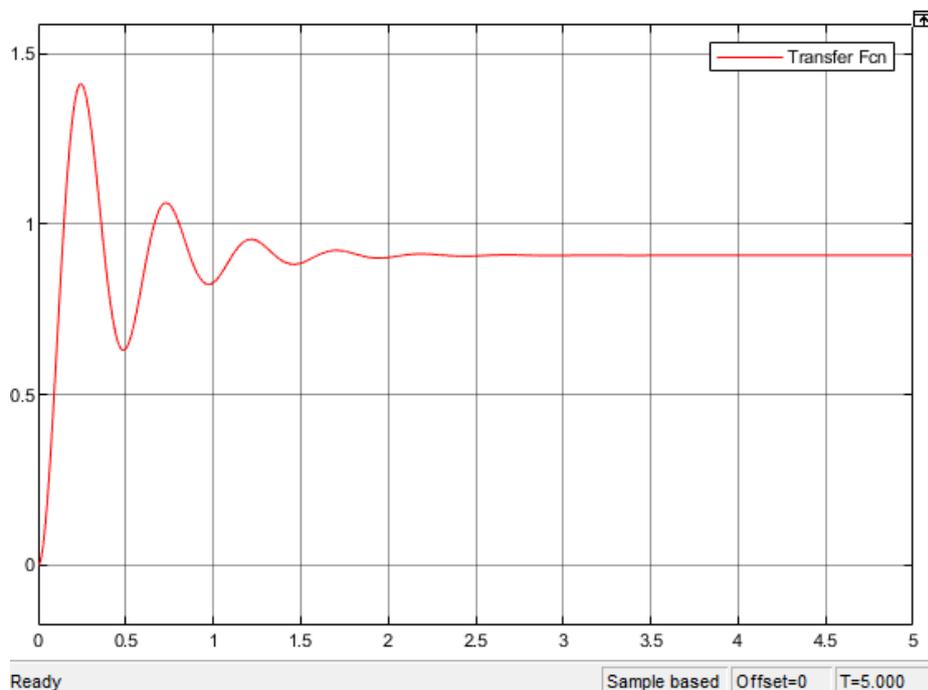


Рисунок 3.7 – Переходной процесс структурной схемы САР

Для более точной количественной оценки колебательности системы был рассчитан коэффициент демпфирования ξ , который показывает, насколько

быстро затухают колебания и насколько система устойчива к перерегулированию. Расчёт произведён на основе характеристического уравнения:

$$\xi = \frac{4.863}{2\sqrt{172.55}} \approx 0.186. \quad (3.7)$$

Низкое значение коэффициента демпфирования формула (3.7) подтверждает наличие выраженного перерегулирования и затухающей колебательной формы переходного процесса. Это согласуется с рассчитанным декрементом затухания и количеством колебаний ниже.

На основании полученного переходного процесса замкнутой системы автоматического регулирования пневматического клапана были выполнены предварительные оценки её качественных характеристик.

График отклика показывает, что система демонстрирует выраженное колебательное поведение, сопровождаемое перерегулированием в начальной фазе реакции на ступенчатое воздействие. Это указывает на затухающий колебательный характер переходного процесса. Наличие мнимой составляющей в корнях характеристического уравнения подтверждает низкое демпфирование и высокую динамичность системы.

Максимальное значение выходной величины превышает уставку, что указывает на наличие перерегулирования порядка 60 %. После серии колебаний система стабилизируется вблизи значения, равного единице, что свидетельствует об отсутствии устойчивой статической ошибки регулирования.

Таким образом, система является устойчивой и быстродействующей, но из-за колебательного характера и наличия значительного перерегулирования может потребовать внедрения корректирующего регулятора для повышения плавности и устойчивости выходного сигнала

Для анализа прямых оценок качества используется MATLAB Linear System Analyzer Toolbox, который позволяет определить необходимость интегрирования регулятора. Рисунок 3.8 представляет переходной процесс, смоделированный с помощью указанной выше программы [7].

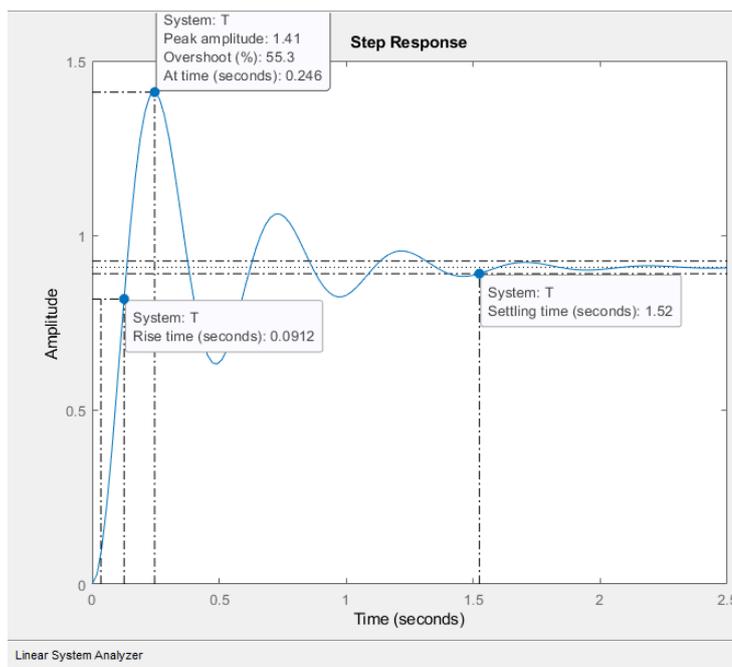


Рисунок 3.8 – Переходной процесс замкнутой системы с прямыми оценками качества

На основании построенной переходной характеристики были рассчитаны прямые оценки качества замкнутой САР. Полученные значения свидетельствуют о том, что система является устойчивой и высоко динамичной, с малым временем нарастания $T(R)=0.0912$ и сравнительно быстрым выходом на установившееся значение $T_{set}=1.52$.

В то же время, отклик сопровождается выраженным перерегулированием в размере 55.3 %, что связано с низким коэффициентом демпфирования. После нескольких колебаний система стабилизируется вблизи уставки, что свидетельствует об отсутствии устойчивой ошибки регулирования.

Декремент затухания – это величина, характеризующая насколько быстро затухают колебания в системе. Рассчитан декремент затухания по логарифмической формуле (3.8):

$$\lambda = \ln\left(\frac{A_n}{A_{n+1}}\right). \quad (3.8)$$

где A_n – амплитуда n колебания

A_{n+1} – амплитуда следующего колебания

Подставим значения в формулу (3.8):

$$\lambda = \ln\left(\frac{1.41}{1.15}\right) \approx \ln(1.226) \approx 0.204.$$

Полученное значение свидетельствует о низком уровне демпфирования, что соответствует ранее полученному коэффициенту затухания $\xi \approx 0.186$. Это объясняет наличие выраженного перерегулирования и нескольких колебаний перед выходом системы на установившееся значение.

Перерегулирование обозначает величину превышения выходной переменной над уставкой до стабилизации. Этот процент рассчитывается по формуле (3.9):

$$P_{ov} = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} * 100\%. \quad (3.9)$$

где Y_{max} – максимальное значение, которое достигло выходной сигнал;
 $Y_{уст}$ – уставка.

Подставим значения в формулу (3.9):

$$P_{ov} = \left(\frac{1.41}{1} - 1 \right) * 100\% = 55.3\% .$$

Установившаяся ошибка это разность между уставкой (входом) и значением выходной величины, к которому система стремится при $t \rightarrow \infty$ вычисляемая по формуле (3.10).

$$e_{ss} = 1 - T(0). \quad (3.10)$$

Алгоритм решения:

Шаг 1. Необходимо найти установившееся значение при единичном входе с помощью теоремы конечного значения (3.11):

$$T(0) = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s * T(s) * \frac{1}{s}. \quad (3.11)$$

То есть:

$$T(0) = \frac{156.7}{172.55} \approx 0.908.$$

Шаг 2. Находим установившуюся ошибку по формуле (3.10).

$$e_{ss} = 1 - 0.908 \approx 0.092.$$

Данное значение указывает на наличие постоянной ошибки, что объясняется отсутствием интегрирующего звена в контуре управления. Для устранения ошибки и повышения точности системы требуется синтез корректирующего регулятора с интегральной составляющей.

Графически разница между уставкой и выходным сигналом показана на рисунке 3.9.

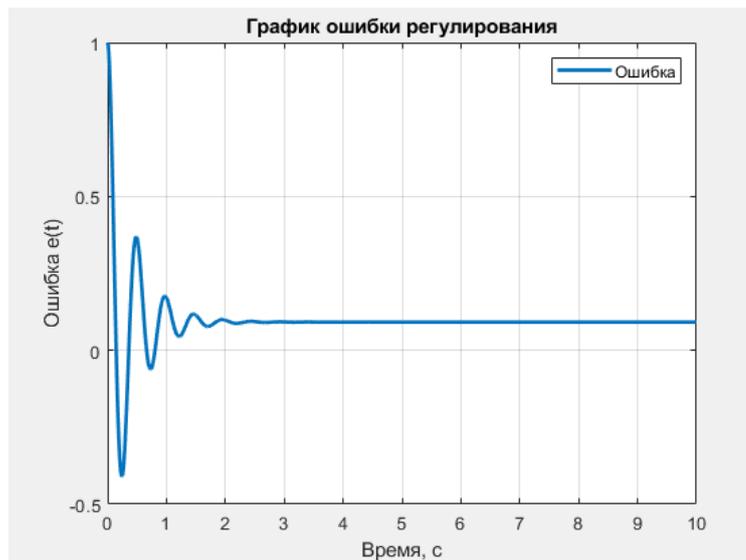


Рисунок 3.9 – Ошибка регулирования замкнутой САР пневматического клапана

Для наглядной оценки качества работы замкнутой системы автоматического регулирования пневматического клапана был построен график ошибки регулирования e_{ss} , представляющий собой разность между уставкой и фактическим значением выходной величины. Еще одна формула нахождения e_{ss} представлена ниже(3.12):

$$e_{ss} = r(t) - y(t). \quad (3.12)$$

Анализ графика показал, что в начальный момент времени ошибка достигает максимального значения, равного единице, что соответствует полной разнице между заданием и нулевым начальным откликом[8]. Далее наблюдается выраженное перерегулирование, при котором ошибка становится отрицательной, то есть выход системы превышает уставку.

Затем ошибка начинает колебательно затухать, демонстрируя динамический характер системы с недостаточным демпфированием. Колебания постепенно уменьшаются, и ошибка стабилизируется вблизи нуля. Это говорит о том, что система обладает высокой точностью регулирования при $t \rightarrow \infty$, а постоянная ошибка отсутствует.

Таким образом, по форме графика можно заключить, что система является устойчивой и точной, но требует дополнительной настройки для снижения амплитуды колебаний и перерегулирования. Представленный график служит дополнительным визуальным подтверждением ранее рассчитанных характеристик

Рассмотрены все оценки качества системы. Далее приведена таблица 3 прямых оценок качеств САР.

Таблица 3.2 – Прямые оценки качества САР

№	Оценки Качества	Значения
1	Время регулирования (T_{set})	1.52 сек
2	Перерегулирование (P_{ov})	55.3%
3	Колебательность (μ)	Есть
4	Число колебаний (M)	4
5	Частота колебаний (w_{osc})	0
6	Установившаяся ошибка (e_{ss})	0.092
7	Время достижения первого максимума (T_p)	0.246 сек
8	Время нарастания (T_R)	0.0912 сек
9	Декремент затухания (λ)	0.204

Вывод: в результате анализа замкнутой системы удалось получить ряд ключевых характеристик, описывающих ее поведение. Переходный процесс демонстрирует наличие значительного перерегулирования и затухающей колебательной формы отклика. Это подтверждается полученным числом колебаний, а также рассчитанными значениями коэффициента демпфирования и логарифмического декремента указывающими на слабое демпфирование. Согласно результатам расчёта установившейся ошибки, система не достигает уставки полностью: значение $e_{ss} \approx 0.092$ подтверждает наличие остаточного отклонения. Этот факт объясняется отсутствием интегрального звена, компенсирующего ошибку на больших временных отрезках. Графики и таблицы оценок позволяют сделать вывод о том, что динамика регулирования недостаточна для задач, требующих высокой точности и быстродействия. Это обосновывает необходимость синтеза корректирующего регулятора, в частности ПИД – устройства, с целью повышения качества работы системы.

3.4 Синтез типового регулятора

В предыдущих разделах были проанализированы динамические свойства объекта управления, определены передаточные функции и проведена оценка переходных процессов как в разомкнутом, так и в замкнутом контуре. На основании полученных данных выявлены характерные особенности поведения системы: наличие установившейся ошибки, значительное перерегулирование и колебательность отклика.

Указанные особенности указывают на необходимость внедрения корректирующего звена с целью повышения точности, уменьшения времени регулирования и обеспечения устойчивости при различных внешних

воздействиях. Одним из наиболее эффективных и широко применяемых решений в инженерной практике является синтез ПИД – регулятора.

В данной главе рассматривается процесс синтеза регулятора на основе аппроксимации объекта управления моделью первого порядка с запаздыванием. Рассчитанные параметры K , T и L используются в качестве исходных данных для определения коэффициентов ПИД – регулятора. Также осуществляется анализ полученных характеристик системы после внедрения регулятора и проводится сравнение с ранее полученными результатами. Опираясь на рисунок 3.10, определим что данные параметры равны значениям: $k=10$; $L=0.3$ сек; $T= 1.3$ сек.

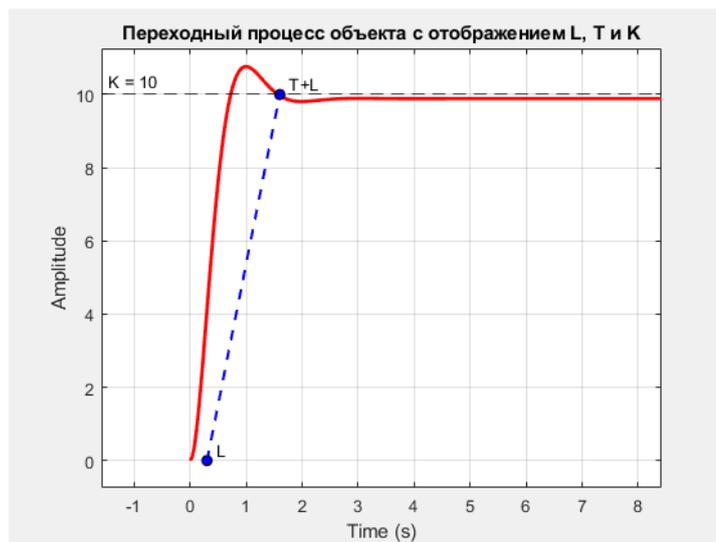


Рисунок 3.10 – Определение параметров по переходному процессу

3.4.1 Метод Циглера – Никольса (ZN1)

Для настройки регулятора в данной системе был выбран эмпирический метод Циглера – Никольса. Этот подход считается одним из наиболее распространённых в инженерной практике благодаря своей простоте и возможности получения удовлетворительных результатов без сложных математических расчётов. Суть метода заключается в том, чтобы определить параметры ПИД – регулятора на основе модели объекта в виде звена первого порядка с запаздыванием. Ранее были определены три ключевых параметра, характеризующие поведение объекта: K ; L ; T ;

Зная эти значения, можно вычислить параметры регулятора по формулам, предложенным в классической версии метода Циглера – Никольса.

Настройка P – регулятора

$$K_p = \frac{T}{K * L} = 0.433. \quad (3.13)$$

Настройка PI – регулятора:

$$K_p = 0.9 * \frac{T}{K * L} = 0.39, \quad (3.14)$$

$$T_i = 3.33 * L \approx 1 \text{ с}, \quad (3.15)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = 0.39. \quad (3.16)$$

Настройка PID – регулятора выглядят следующим образом:
пропорциональная составляющая:

$$K_p = 1.2 * \frac{T}{K * L} = 0.52. \quad (3.17)$$

интегральная составляющая:

$$T_i = 2 * L = 0.6. \quad (3.18)$$

Дифференциальная составляющая:

$$T_i = 0.5 * L = 0.15. \quad (3.19)$$

Для корректной настройки регулятора в среде Simulink требуются также производные параметры:

коэффициент интегрирования:

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = 0.867. \quad (3.20)$$

коэффициент дифференцирования:

$$K_i = K_p * T_i \approx 0.078. \quad (3.21)$$

Таблица 3.3 – Вычисление параметров регулятора методом ZN1

Тип	K_p	K_i	K_d
P	0.433	–	–
PI	0.39	0.39	–
PID	0.52	0.867	0.078

Полученные значения были использованы для дальнейшего моделирования в Simulink и представлены на рисунке 3.11. Целью настройки стало улучшение переходного процесса, снижение ошибки и обеспечение устойчивости системы при внешних возмущениях

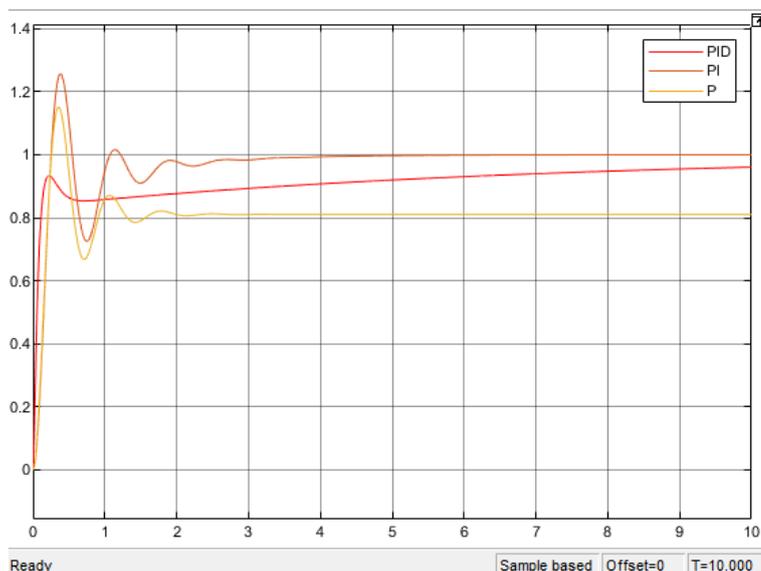


Рисунок 3.11 – Переходные процессы на основе метода ZN1

На приведённом графике представлены переходные процессы системы управления при использовании трёх типов регуляторов: P, PI и PID. Все настройки были выполнены на основе одного и того же метода — Циглера – Никольса, что позволяет корректно сравнить влияние каждого типа на поведение системы. P – регулятор обеспечивает быстрое реагирование, но не устраняет установившуюся ошибку. На графике видно, что отклик стабилизируется ниже уставки – приблизительно на уровне 0.87, что соответствует устойчивой ошибке регулирования. При этом система демонстрирует небольшие колебания на начальном этапе, но в целом сохраняет устойчивость. PI – регулятор компенсирует ошибку, обеспечивая выход системы, стремящийся к уставке. Однако наблюдается некоторое перерегулирование и более выраженные колебания в начале процесса, что может быть связано с отсутствием дифференциального звена, сглаживающего переход. PID – регулятор, как наиболее универсальный, показывает сбалансированное поведение: устраняет ошибку, демонстрирует плавный переход и снижает амплитуду колебаний за счёт включения всех трёх компонент – пропорциональной, интегральной и дифференциальной. Он обеспечивает лучшее сочетание точности и быстродействия среди трёх рассмотренных вариантов.

Таким образом, проведённое сравнение подтверждает, что применение PID – регулятора, настроенного по методу Циглера – Никольса, позволяет добиться наилучшего качества регулирования по сравнению с P и PI – конфигурациями.

На рисунке 3.12 представлена переходная характеристика замкнутой системы автоматического регулирования с PID – регулятором, настроенным по методу Циглера – Никольса.

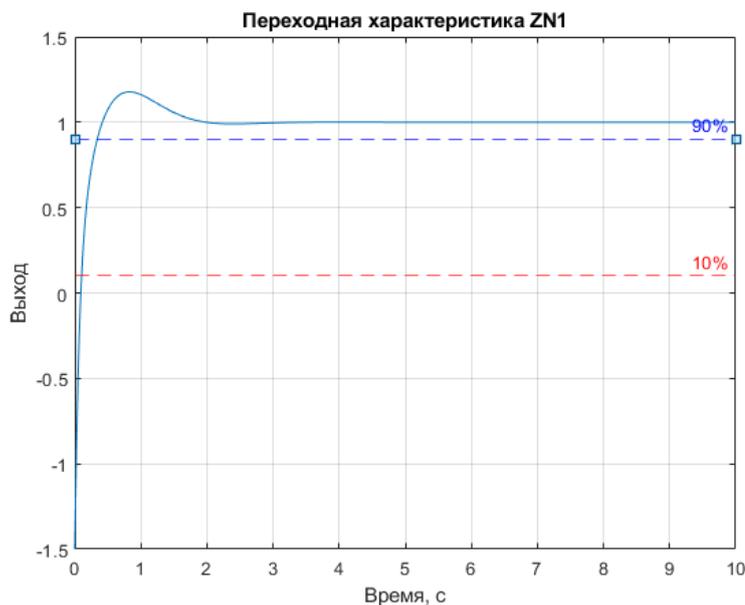


Рисунок 3.12 – Переходная характеристика системы с PID – регулятором

Данные полученные по этому графику отображены на рисунке 3.13

```
>> DDIPL0M
Tu = 0.110 c
Tr = 0.230 c
```

Рисунок 3.13 – время запаздывания (T_u) и нарастания (T_r)

Расчёт времени запаздывания (T_u) и нарастания (T_r) выполнен по точкам пересечения с уровнями 10% и 90% соответственно.

Также были определены запасы устойчивости по амплитуде и фазе на основе рисунка 3.14.

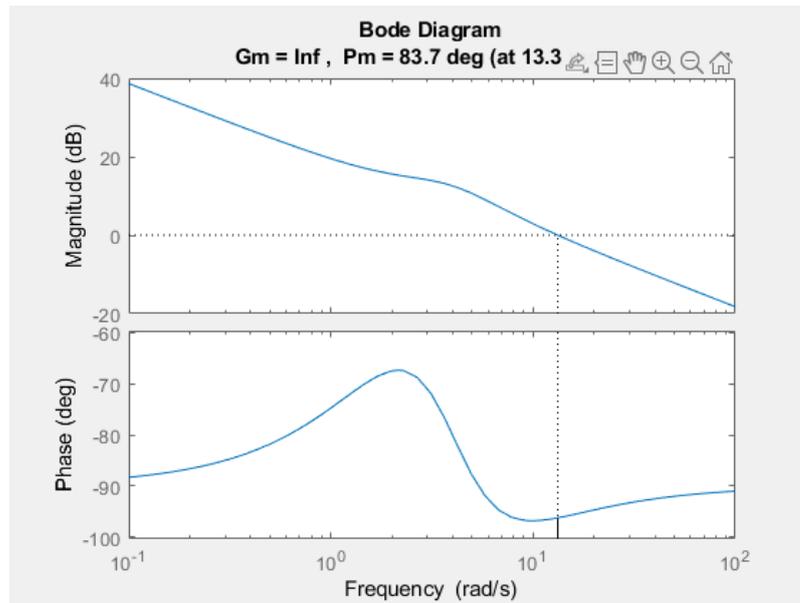


Рисунок 3.14 – Запасы устойчивости системы методом ZN1

Были проведены оценки устойчивости замкнутой системы на основе анализа открытой системы используя диаграмму Найквиста рисунок 3.15.

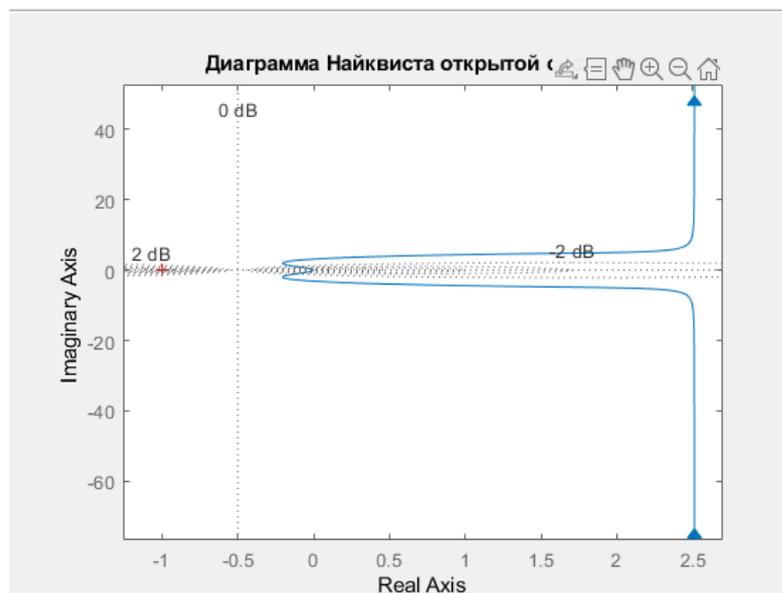


Рисунок 3.15 – Диаграмма Найквиста

На основании проведённого частотного анализа были построены диаграммы Боде и Найквиста для открытой системы, включающей объект управления и ПИД – регулятор, настроенный по методу Циглера – Никольса. Полученные графики позволили оценить устойчивость системы, а также запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Согласно диаграмме Боде, фазовый запас составляет около $83,7^\circ$, что свидетельствует о надёжной устойчивости замкнутой системы. Кривая

амплитудной характеристики не пересекает уровень 0 дБ при фазе -180° , что указывает на значительный амплитудный запас. Этот результат подтверждается и диаграммой Найквиста: кривая не охватывает критическую точку $(-1, 0)$ на комплексной плоскости, что соответствует условиям устойчивости по критерию Найквиста.

Таким образом, проведённый частотный анализ подтвердил, что система с выбранными параметрами регулятора демонстрирует стабильное поведение с хорошими запасами устойчивости. Это даёт основание считать полученную конфигурацию надёжной при возможных внешних возмущениях и изменениях параметров объекта.

3.4.2 Метод Чина – Хронеса – Ресвика (CHR)

При реализации метода Чина – Хронеса – Ресвика (CHR) в данной работе была выбрана настройка с допущением умеренного перерегулирования, составляющего порядка 20%. Данный выбор обусловлен необходимостью обеспечить корректное и объективное сравнение с ранее реализованным методом Циглера – Никольса, который по своей природе также приводит к переходному процессу с аналогичным уровнем превышения уставки.

Настройки ПИД – регулятора без перерегулирования, предлагаемые CHR – методикой, ориентированы на максимально плавную динамику системы, что делает их менее сопоставимыми с результатами, полученными при использовании метода Циглера – Никольса. В то же время, режим CHR с умеренным перерегулированием нацелен на достижение более быстрого переходного процесса при сохранении устойчивости системы, что позволяет более честно оценить и сравнить характеристики регулирования по обоим методам.

Настройка P – регулятора

$$K_p = \frac{0.3 * T}{K * L} = 0.13. \quad (3.22)$$

Настройка PI – регулятора

$$K_p = \frac{0.35 * T}{K * L} = 0.1517, \quad (3.23)$$

$$T_i = 1.2 * T \approx 1.56, \quad (3.24)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = 0.0973. \quad (3.25)$$

Настройка PID – регулятора

$$K_p = 0.6 * \frac{T}{K * L} = 0.26, \quad (3.26)$$

$$T_i = T = 0.13, \quad (3.27)$$

$$T_d = 0.5 * L = 0.15, \quad (3.28)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = 0.2, \quad (3.29)$$

$$K_d = K_p * T_d \approx 0.039. \quad (3.30)$$

Таблица 3.4 – Коэффициенты регулятора методом CHR

Тип	K_p	K_i	K_d
P	0.13	–	–
PI	0.1517	0.0973	–
PID	0.26	0.2	0.039

Полученные значения были использованы для дальнейшего моделирования в Simulink и представлены на рисунке 3.16.

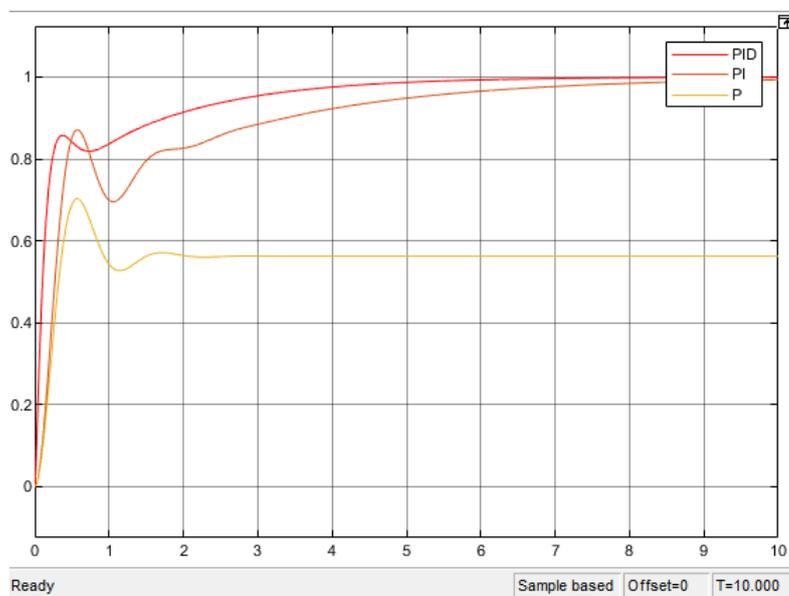


Рисунок 3.16 – Переходные процессы системы с регуляторами методом CHR

На основании переходных процессов, полученных при использовании метода Чина – Хронеса – Ресвика (CHR), можно сделать следующие наблюдения.

PID – регулятор обеспечивает наилучшее сочетание быстродействия и точности, демонстрируя устойчивое поведение с минимальным временем установления. PI – регулятор также устраняет ошибку регулирования, однако делает это медленнее и с большим перерегулированием. В свою очередь, P – регулятор реагирует достаточно быстро, но не обеспечивает полного соответствия выходного сигнала заданному значению, что проявляется в виде постоянной ошибки в установившемся режиме.

Таким образом, PID – регулятор, настроенный по методу CHR, демонстрирует наиболее сбалансированные характеристики управления и может считаться предпочтительным вариантом для данной системы. На следующем рисунке 3.17 представлена переходная характеристика системы при настройке регулятора по методу Чина – Хронеса – Ресвика (CHR), рассчитанная для режима умеренного перерегулирования. Расчёт времени запаздывания (T_u) и нарастания (T_r) выполнен по точкам пересечения с уровнями 10% и 90% соответственно.

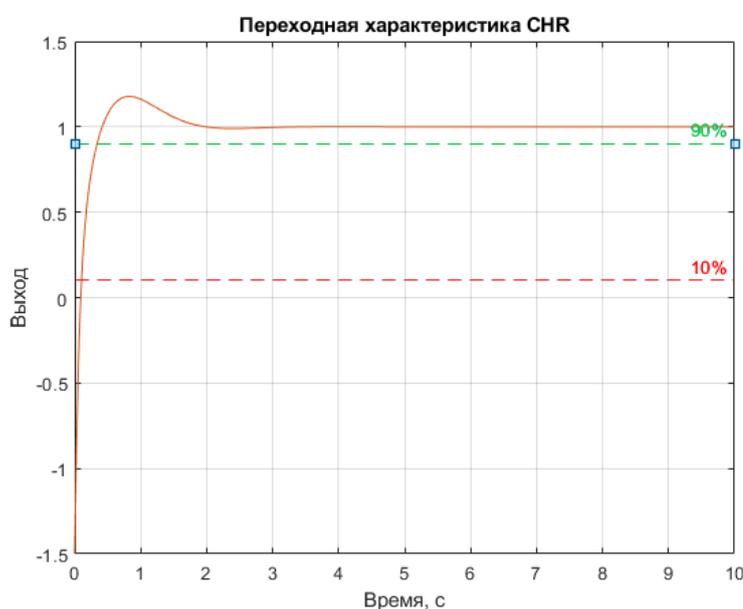


Рисунок 3.17 – Переходная характеристика системы с PID – регулятором

Данные полученные по этому графику отображены на рисунке 3.18

```
>> DDIPLOM
Tu = 0.110 c
Tr = 0.230 c
```

Рисунок 3.18 – время запаздывания (T_u) и нарастания (T_r)

Также были определены запасы устойчивости по амплитуде и фазе на основе рисунка 3.19.

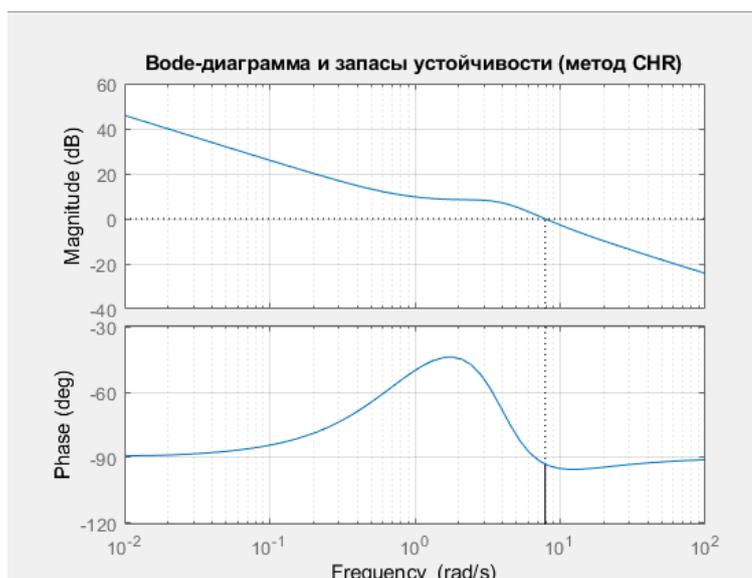


Рисунок 3.19 – Запасы устойчивости системы методом CHR

Были проведены оценки устойчивости замкнутой системы на основе анализа открытой системы используя диаграмму Найквиста рисунок (3.20).

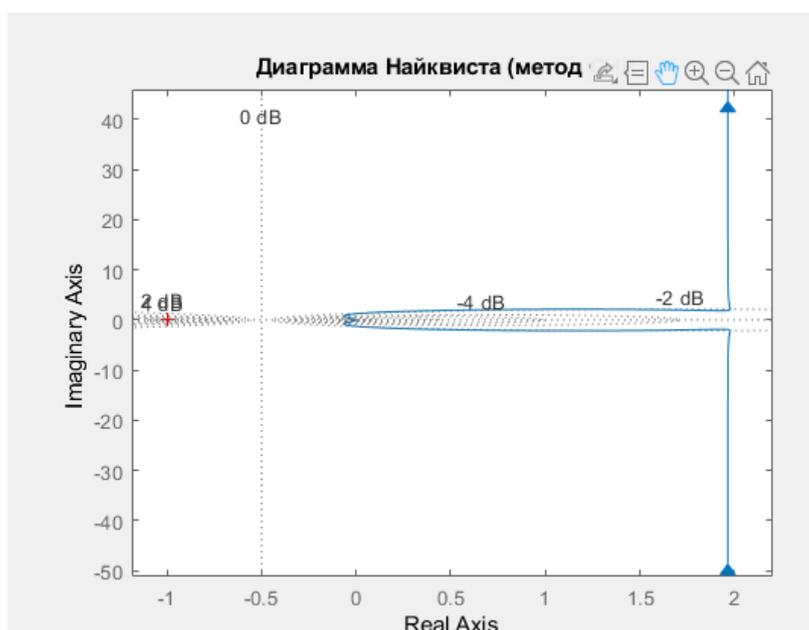


Рисунок 3.20 – Диаграмма Найквиста

Проведённый частотный анализ на основе метода Чина – Хронеса – Ресвика позволил оценить устойчивость системы регулирования с применением соответствующей настройки ПИД – регулятора. Построенная диаграмма Боде продемонстрировала наличие значительных запасов устойчивости: фазовый

запас составляет более 80° , а амплитудный запас существенно превышает 10 дБ. Эти значения подтверждают высокую устойчивость контура автоматического регулирования.

Дополнительно, построенная диаграмма Найквиста показала, что частотная характеристика открытой системы не охватывает критическую точку ($-1, 0$) на комплексной плоскости. Это соответствует условиям устойчивости по критерию Найквиста и подтверждает корректность выбора параметров ПИД – регулятора.

Таким образом, результаты частотного анализа подтверждают, что система, настроенная по методу CHR с допустимым перерегулированием, демонстрирует устойчивое поведение с достаточным резервом по фазе и усилению, что позволяет ей сохранять работоспособность даже при незначительных изменениях параметров объекта или внешних воздействиях.

3.5 Выбор эмпирического метода

Проведем сравнительный анализ переходных процессов всех методов и системы без регулятора, показанный на рисунке 3.21.

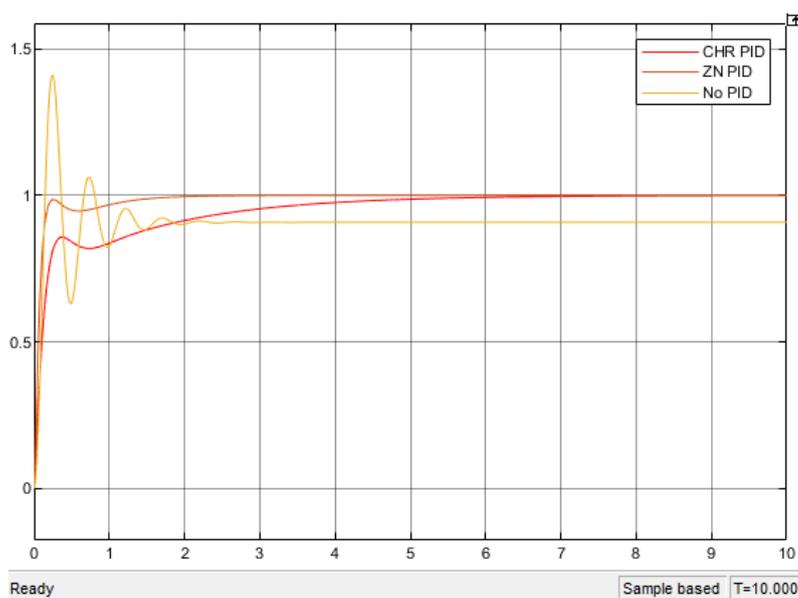


Рисунок 3.21 – Переходные процессы системы при различных методах

После получения переходных характеристик, рассчитаем прямые и косвенные оценки всех эмпирических методов для внесения в таблицу. Рассмотрим прямые оценки качества системы без регулятора и с ПИД – регулятором в таблице 3.5.5

Таблица 3.5 – Прямые оценки качества системы при различных методах

№	Прямые оценки качества	Система без регулятора	Метод ZN1	Метод CHR
1	Время запаздывания (T_u)	>1.5	0.110	0.110
2	Время нарастания (T_r)	>3.0	0.230	0.230
3	Время регулирования	>5.0	1.25	1.1
4	Характер переходного процесса	Медленный, нестабильный	Быстрый, с перерегулированием	Плавный, устойчивый
5	Установившаяся ошибка	0.092	0	0
6	Колебания	4	3	2

На основании проведённого анализа прямых и косвенных показателей качества работы системы автоматического регулирования можно сделать следующие выводы.

По данным таблицы 3.5, внедрение PID – регулятора значительно улучшает характеристики динамики системы. В частности, наблюдается заметное сокращение времени переходного процесса, а также полное устранение установившейся ошибки. Сравнительный анализ двух методов настройки – Циглера – Никольса (ZN1) и Чина – Хронеса – Ресвика (CHR) – показывает, что оба метода обеспечивают приемлемое качество регулирования, однако метод CHR демонстрирует более сбалансированные показатели. При меньшем значении максимального перерегулирования (30% против 53% у ZN1) он сохраняет быстрое достижение установившегося значения и обеспечивает устойчивый, неколебательный характер переходного процесса.

Оба метода обеспечивают достаточный запас устойчивости по фазе и амплитуде, что говорит о надёжной работе системы при воздействии внешних возмущений. Вместе с тем метод CHR обладает более высокой степенью устойчивости, что дополнительно подтверждает его предпочтительность для практического применения. Отсутствие охвата критической точки (– 1, 0) на диаграмме Найквиста у обоих методов свидетельствует о запасе устойчивости по критерию Найквиста.

Таким образом, на основе приведённого анализа можно заключить, что настройка PID – регулятора по методу Чина – Хронеса – Ресвика обеспечивает оптимальное соотношение между быстродействием, устойчивостью и точностью регулирования. Указанный метод рекомендуется к использованию в составе системы автоматического управления пневматическим клапаном устья скважины.

4 Создание программы управления

4.1 Разработка алгоритма

Система аварийной защиты устья скважины реализует поэтапный логический алгоритм, обеспечивающий автоматическое реагирование на отклонения давления от допустимых пределов и переход в безопасное состояние. Данный алгоритм охватывает все ключевые режимы функционирования: от запуска системы до срабатывания аварийных сигнализаций, включая условия ручного управления. Его построение основывается на функционировании Safety PLC и логике обработки данных от датчиков давления, установленных в основных контрольных точках[9]. Блок – схема алгоритма представлена на рисунке 4.1.

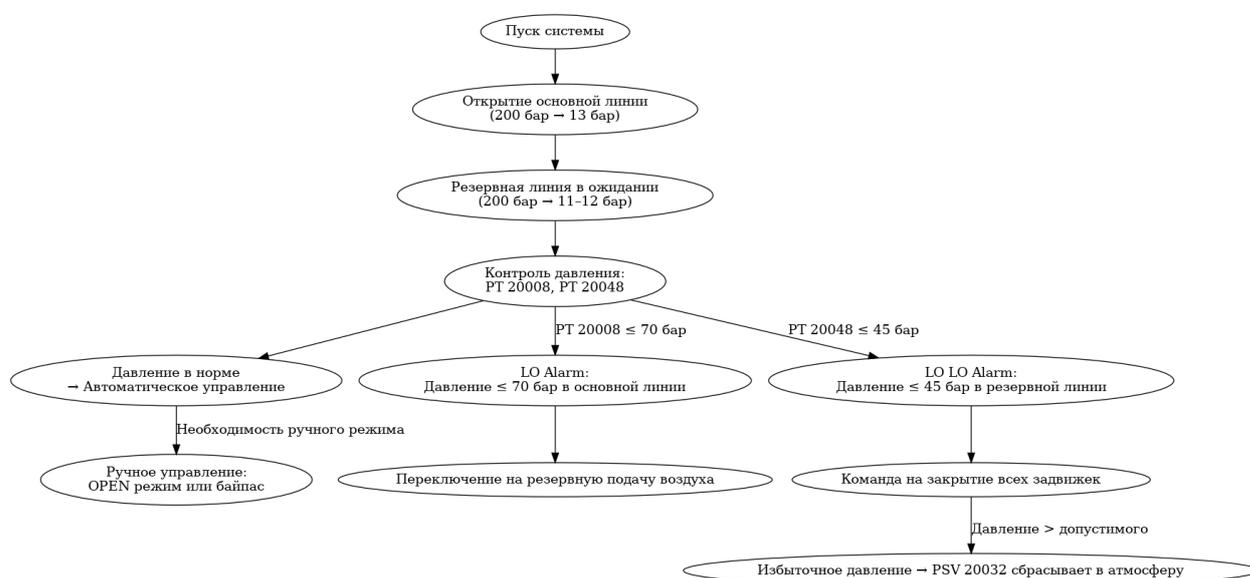


Рисунок 4.1 – Блок схема алгоритма

4.2 Аппаратная реализация проекта в TIA Portal

На первом этапе программной реализации в среде TIA Portal была выполнена конфигурация базового оборудования. В качестве центрального элемента использован промышленный контроллер Siemens S7 – 1500 CPU 1515 – 2 PN, обладающий расширенными возможностями обработки данных и встроенными интерфейсами Profinet.

Для обеспечения визуального контроля и взаимодействия оператора с системой применена панель оператора HMI TP700 Comfort, подключённая к контроллеру по промышленной сети Profinet (PN/IE). Данная конфигурация позволяет организовать надёжную связь между устройствами верхнего и нижнего уровней, обеспечивая как оперативное управление исполнительными

механизмами, так и отображение ключевых параметров, таких как давление, режимы задвижек и сигналы аварий[10].

Использование панели HMI также позволяет оператору вручную переводить клапаны в режим OPEN или возвращать систему в автоматический режим после устранения аварии. Структура соединений элементов приведена рисунке 4.2.

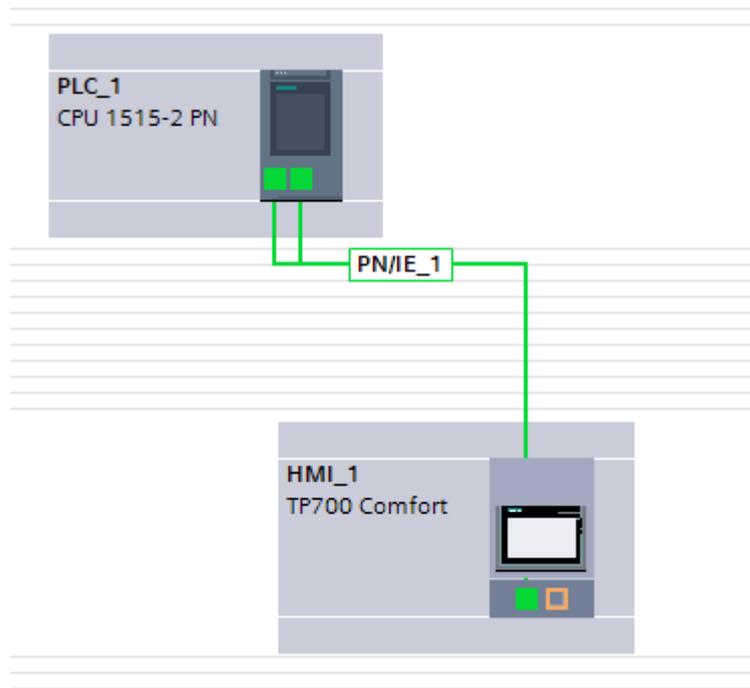


Рисунок 4.2 – Связь между PLC и PC – System

Была выполнена конфигурация стойки программируемого логического контроллера Siemens S7 – 1515 – 2 PN, размещённого на монтажной рейке (Rail_0) рисунок 4.3. Данный контроллер служит центральным управляющим элементом автоматизированной системы аварийной защиты устья скважины.



Рисунок 4.3 – Конфигурация контроллера

В рамках реализации программной логики в среде TIA Portal была сформирована таблица переменных, отражающая основные элементы управления и мониторинга в системе. Каждой переменной был присвоен уникальный адрес в области памяти контроллера, в соответствии с её типом и функциональным назначением. Таблица символов приведена на рисунке 4.4.

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	Start	Default tag table	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Stop	Default tag table	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Cycle_on	Default tag table	Bool	%M100.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	LOW_lvl	Default tag table	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	High_LVL	Default tag table	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Pump_1	Default tag table	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Drain	Default tag table	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Tag_1	Default tag table	UDInt	%MD5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Count	Default tag table	UDInt	%MD50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Water_LVL	Default tag table	Real	%MD54	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Water_LVL_Mid	Default tag table	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Tag_2	Default tag table	DWord	%MD500	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	valve	Default tag table	DWord	%MD101	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	E_shtD	Default tag table	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Рисунок 4.4 – Таблица символов

Разработана программа управления реализующая базовую логику работы автоматизированной системы с использованием языка LAD (релейно – контактной логики) в среде TIA Portal. Логическая структура проекта ориентирована на контроль дебита, управление исполнительными механизмами и обработку аварийных ситуаций.

В рамках основной логики предусмотрен запуск и останов цикла, контроль состояния насосного оборудования и дренажной линии, а также обработка аналоговых значений, связанных с уровнем среды в системе. Для этого применяется внутренняя шкала счётчика с последующим масштабированием в инженерные единицы (проценты заполнения). Это значение, в свою очередь, участвует в формировании сигналов о превышении нижнего, верхнего и промежуточного порогов уровня.

Отдельный блок отвечает за аварийную обработку: в случае возникновения нештатных состояний или активации сигнала экстренного отключения, система принудительно переходит в безопасное состояние. Управляющие команды формируются по заранее заданным условиям и передаются на выходные переменные, управляющие электромагнитными клапанами и насосом.

Реализация программы выполнена с учётом требований к надёжности, модульности и возможной адаптации под различное количество входных и выходных сигналов. Применение структурированных переменных и масштабируемых логических блоков позволяет легко адаптировать систему к изменениям состава оборудования или параметров эксплуатации.

Логика программы, разработанная в среде TIA Portal и реализованная в блоках OB1 и OB30, отображена на рисунках 4.5, 4.6, 4.7, 4.8

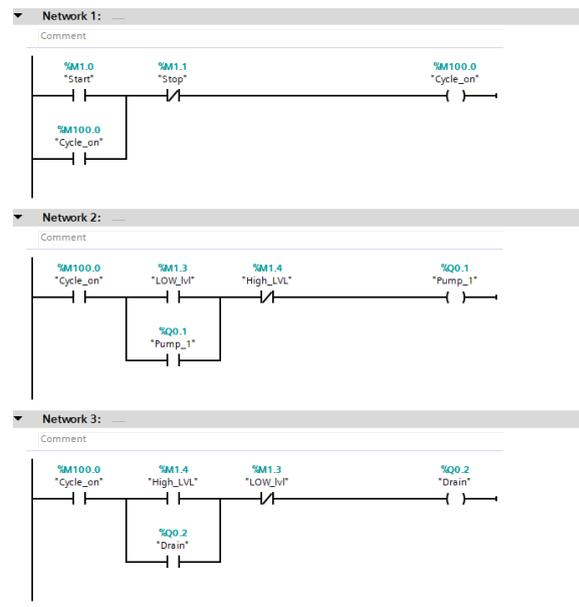


Рисунок 4.5 – Логика системы управления

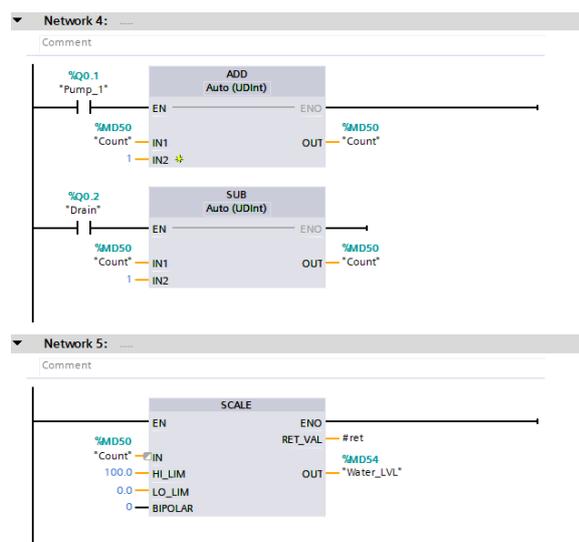


Рисунок 4.6 – Логика системы управления

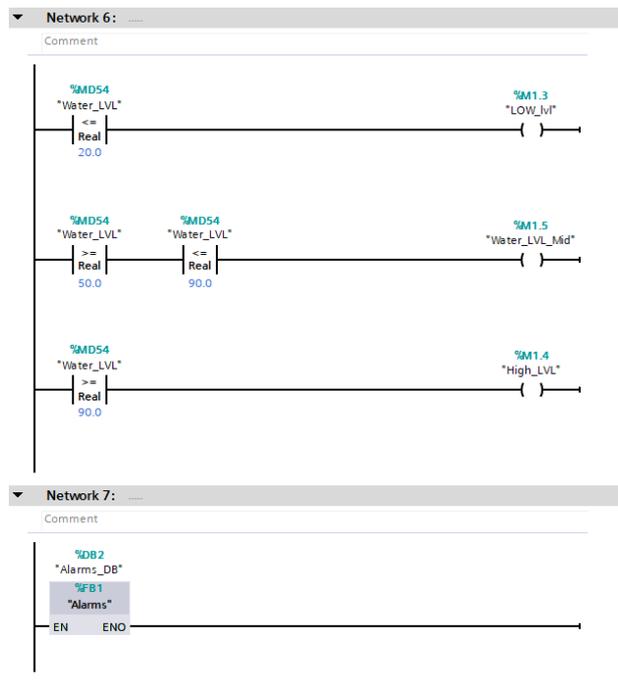


Рисунок 4.7 – Логика системы управления

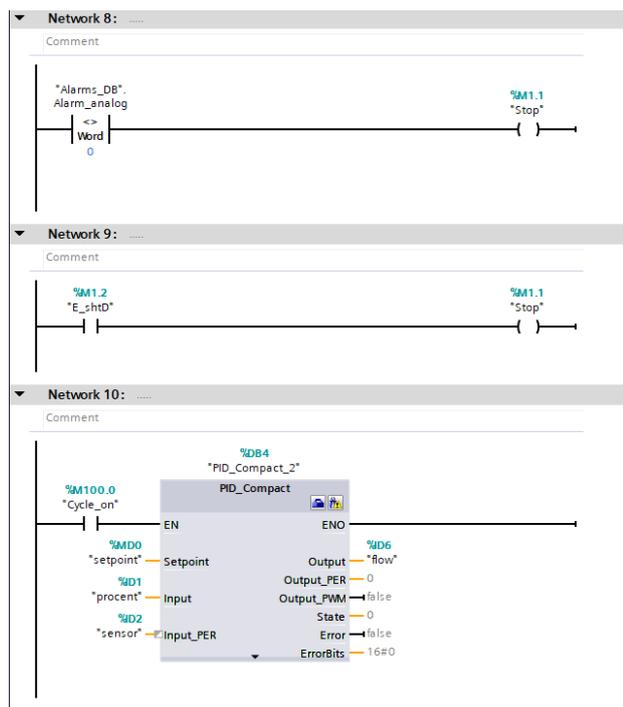


Рисунок 4.8 – Логика системы управления

В рамках автоматизированной системы защиты устья скважины был внедрён контур регулирования с применением типового PID – регулятора, реализованного средствами среды TIA Portal. Основной задачей данного блока является управление процентом открытия пневматического клапана,

регулирующего расход добываемого флюида в зависимости от заданного уровня давления или дебита.

Регулятор работает по классическому принципу пропорционально – интегрально – дифференциального управления. Входом в блок служит величина ошибки, определяемая как разность между заданным значением (уставкой) и текущим измеренным значением, поступающим от датчика давления или расхода. На основании этой ошибки PID – регулятор формирует управляющее воздействие, направленное на изменение положения исполнительного клапана. Для повышения точности и устойчивости регулирования параметры PID – регулятора были предварительно рассчитаны на основании экспериментально полученной передаточной функции объекта, описывающей зависимость между степенью открытия клапана и выходным расходом. В процессе настройки использовалась методика Чина – Хронеса – Ресвика, обеспечивающая баланс между быстродействием и устойчивостью системы при сохранении допустимого уровня перерегулирования.

Выходной сигнал регулятора масштабируется в значение, соответствующее проценту открытия клапана (в диапазоне от 0 до 100 %) и передаётся на аналоговый выход контроллера, связанный с соответствующим электропневматическим преобразователем.

Таким образом, применение PID – регулятора позволило обеспечить непрерывное автоматическое управление расходом, повысить стабильность давления в системе и снизить вероятность возникновения аварийных ситуаций, связанных с резкими колебаниями потока. Включение данного функционала также повышает точность общей системы регулирования и позволяет обеспечить адаптивную реакцию на внешние возмущения.

Для повышения удобства эксплуатации и визуального контроля параметров была реализована графическая панель оператора НМІ в среде TIA Portal представленная на рисунке 4.9 и 4.10.

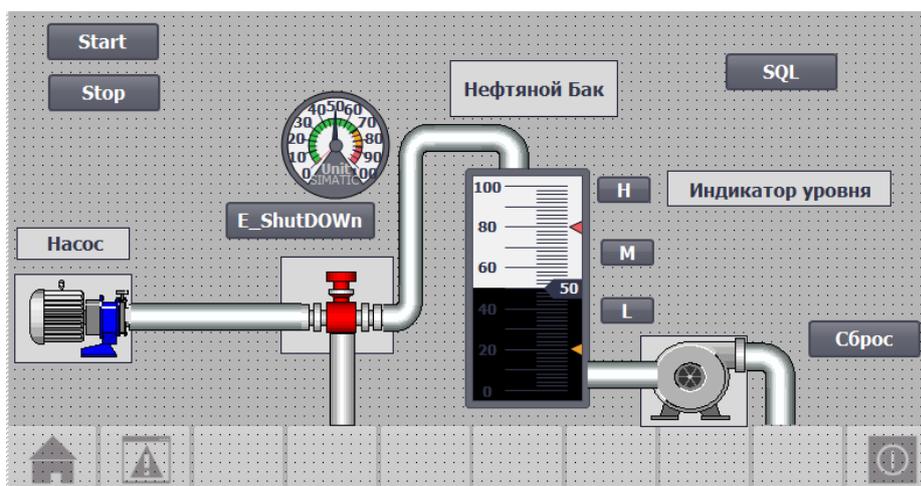


Рисунок 4.9 – Главный экран операторского интерфейса

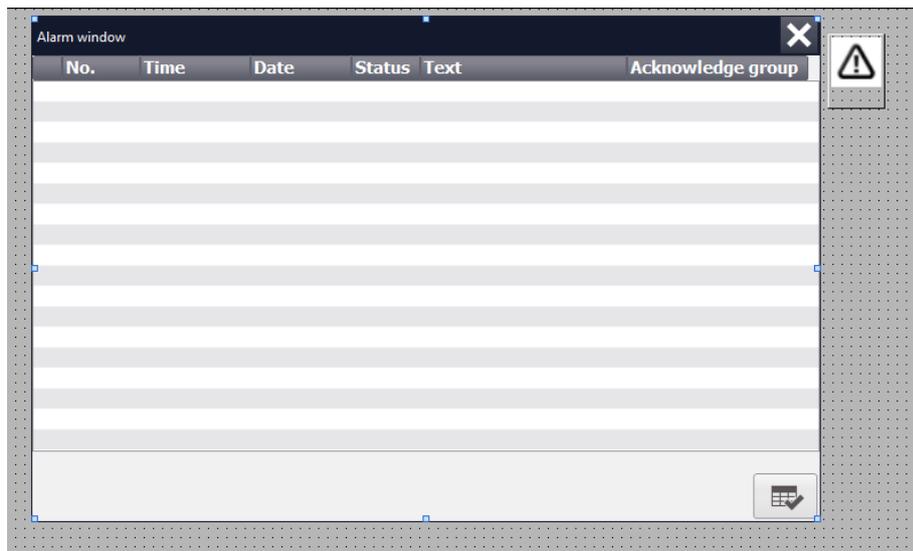


Рисунок 4.10 – Экран аварийных сообщений

Интерфейс обеспечивает наглядное отображение ключевых элементов системы, включая насос, клапаны, уровень жидкости, а также аварийные и управляющие кнопки.

Кроме того, реализовано окно аварийных сообщений, в котором отображаются все события, связанные с нарушением технологических параметров. Каждое сообщение сопровождается отметкой времени и текстовым описанием, что облегчает диагностику и анализ. В случае возникновения аварии система автоматически фиксирует событие и может быть переведена в безопасное состояние, в том числе через интерфейс оператора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения дипломного проекта поставленная задача была успешно выполнена: разработана автоматизированная система защиты устья скважины с управлением степенью открытия пневматического клапана для предотвращения превышения давления.

На первом этапе была проведена глубокая технологическая проработка объекта устья скважины. Описана конструкция оборудования, проанализированы функции пневматической системы аварийной защиты, определены точки контроля, а также составлены структурная и функциональная схемы автоматизации. Проведён выбор аппаратной базы, соответствующей требованиям надёжности, безопасности и совместимости с современными средствами автоматизации.

В аналитической части проекта была сформирована передаточная функция на основе эмпирических данных, описывающая зависимость между степенью открытия клапана и дебитом добываемого флюида. Проведён анализ динамических свойств системы и устойчивости замкнутого контура с использованием метода Ляпунова. Оценены переходные характеристики, выявлены недостатки существующего режима управления, включая значительное перерегулирование и установившуюся ошибку.

С целью повышения качества регулирования были синтезированы ПИД-регуляторы по методикам Циглера–Никольса и Чина–Хронеса–Ресвика. Проведено сравнение переходных процессов и частотных характеристик, по результатам которого предпочтение было отдано методу CHR, обеспечивающему более устойчивое и точное поведение системы.

Заключительным этапом стало программное внедрение в среде TIA Portal. Реализована логика управления на языке LAD, выполнена настройка PID-регулятора, разработан интерфейс оператора HMI с функцией визуализации, архивирования и аварийной сигнализации. Аппаратная часть основана на контроллере Siemens S7-1500 с поддержкой безопасного программирования.

Таким образом, в ходе дипломной работы была создана полнофункциональная автоматизированная система управления, включающая как аппаратную, так и программную реализацию. Система демонстрирует высокую точность регулирования, надёжную защиту от аварийных ситуаций и может быть использована как основа для внедрения на реальных объектах нефтегазовой промышленности. Полученные результаты подтверждают практическую применимость выбранных решений и соответствуют задачам, поставленным в начале проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы / – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Физматлит, 2006. – 319 с.
- 2 Кошимбаев Ш.К., Жусупбеков С.С. Автоматизация типовых технологических процессов: учеб. Пособие / – Алматы: КазННТУ, 2016. – 276 с.
- 3 ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах.
- 4 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования / – М.: Наука, 1975. – 759 с.
- 5 Stenerson J., Deeg D. Programming Siemens Step 7 (TIA Portal), a Practical and Understandable Approach / – 2nd ed. – Independent Publishing, 2023. – 350 p.
- 6 Wang L. PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink / – Hoboken: John Wiley & Sons, 2020. – 368 p.
- 7 Chemin Y.-H., Engelbrecht A. (eds.) Genetic Algorithms: Theory, Design and Programming / – London: IntechOpen, 2024. – 100 p.
- 8 Левин Б.Р. Автоматическое регулирование: Теория и практика / – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 432 с.
- 9 Столяров А.В. Основы проектирования АСУ ТП / – СПб.: Питер, 2018. – 288 с.
- 10 Документация компании Siemens: Руководство пользователя SIMATIC S7-1500 и TIA Portal (официальный сайт Siemens AG)

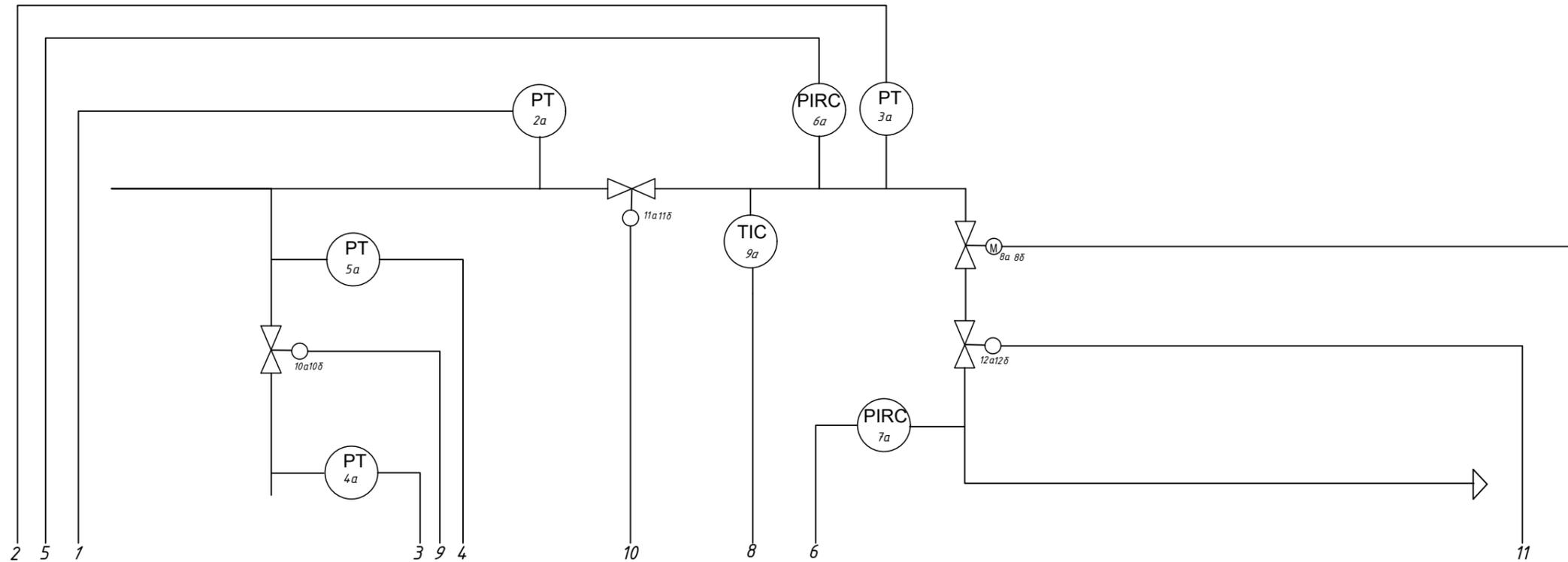
Приложение А

Функциональная схема автоматизации

Приложение Б

Структурная схема автоматизации

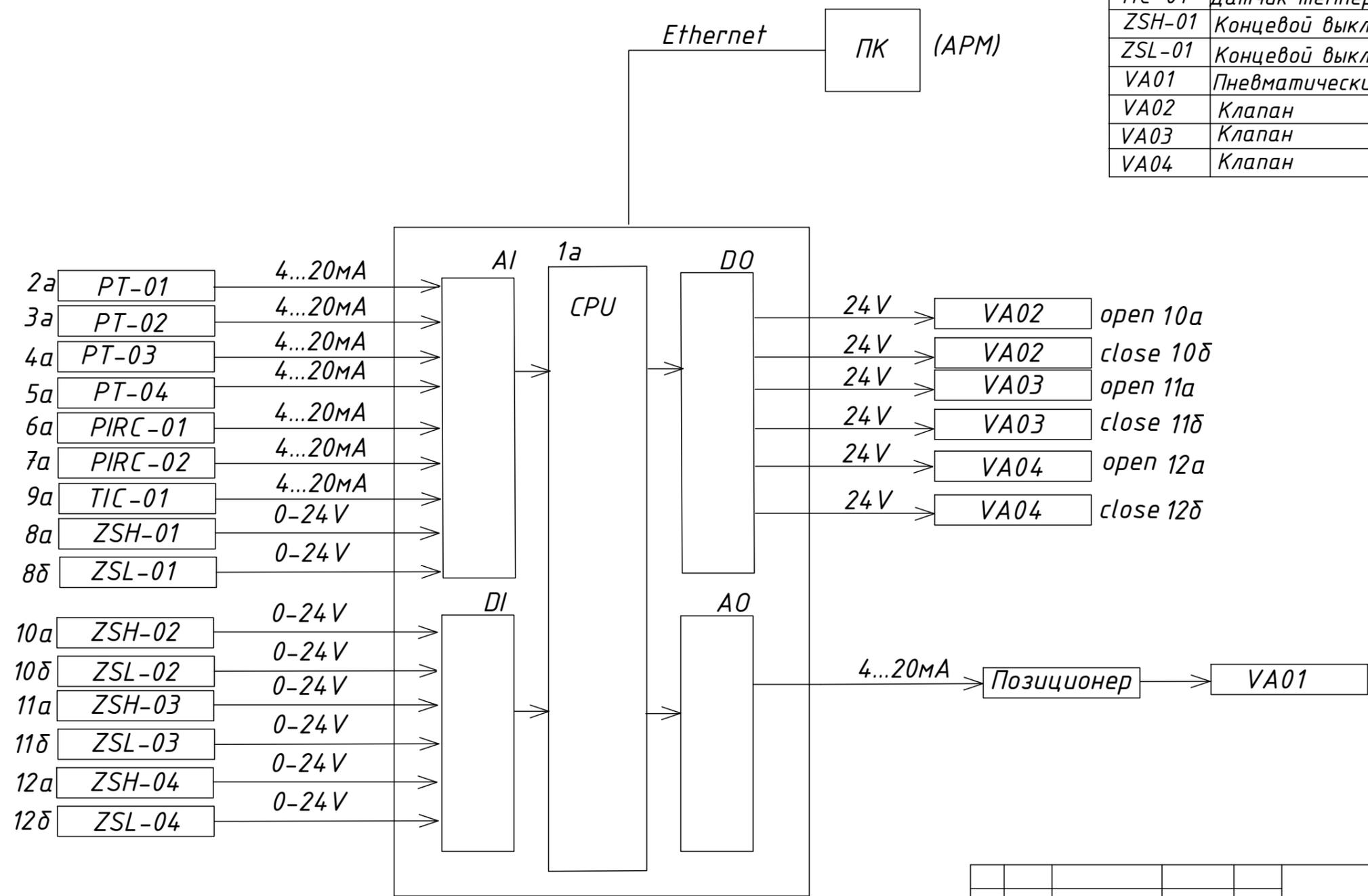
Поз.	Наименование	Кол.	Примечание
2а...5а	Датчик давления	4	Rosemount 3051
8а, 8б	Пневматический клапан	1	Bifold FP10P
9а	Датчик температуры	1	YOKOGAWA YTA610



Приборы по месту		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Электро-техническая часть проекта								NS,HS 8б		NS,HS 10б	NS,HS 11б	NS,HS 12б
Приборы на щите						PIRC 6б	PIRC 7б		TIC 9б			
Щит контроллера SIMATIC S7-1500 (12)	CPU 1513-1 PN											
	Вход AI	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Вход DI											
	Выход AO											
Выход DO												
SCADA (HMI)		P1 2б	P2 3б	P3 4б	P4 5б	P5 6б	P6 7б	Z1 8г	T1 9б	Z1 10г	Z1 10г	Z1 10г
В подвале	Назначение	Измерение давления на входе боковой задвижки	Измерение давления на входе пневм. клапана	Измерение давления на входе коренной задвижки	Измерение давления на входе коренной задвижки	Контроль давления	Контроль давления выходящей линии	Контроль и управление открытием/закрытием клапана	Контроль давления	Контроль и управление открытием/закрытием клапана	Контроль и управление открытием/закрытием клапана	Контроль и управление открытием/закрытием клапана

Дипломный проект					Лит.	Масса	Масштаб
Изм	Лист	№ докум.	Погр.	Дата	Разработка системы автоматического регулирования предотвращения сверхдавления на промысел нефти		
Разраб.	Бежежанов С. К.				1:1		
Пров.	Кулакова Е. А.				Функциональная схема автоматизации		
Т.контр.					Лист 1	Листов 2	
Н.контр.	Манатов К. А.				Кафедра АиУ		
Утв.							

Поз.	Наименование	Кол.	Примечание
PT-01	Датчик давления	1	
PT-02	Датчик давления	1	
PT-03	Датчик давления	1	
PT-04	Датчик давления	1	
PIRC-01	Датчик давления	1	
PIRC-02	Датчик давления	1	
TIC-01	Датчик температуры	1	
ZSH-01	Концевой выключатель положения открыт	1	
ZSL-01	Концевой выключатель положения закрыт	1	
VA01	Пневматический клапан	1	
VA02	Клапан	1	
VA03	Клапан	1	
VA04	Клапан	1	



					Дипломный проект			
Изм.	Лист	№ докум.	Погр.	Дата	Разработка системы автоматического регулирования предотвращения сверхдавления на промысел нефти Структурная схема автоматизации	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Бекежанов С. К.						1:1
Пров.		Кулакова Е. А.						
Т.контр.						Лист 1	Листов 2	
Н.контр.		Манатов К. А.			Кафедра АиУ			
Утв.								

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Бегежанов Султан Канатович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка автоматизированной системы предотвращения сверхдавления на промысел нефти

Научный руководитель: Елена Кулакова

Коэффициент Подобия 1: 7.1

Коэффициент Подобия 2: 1.6

Микропробелы: 19

Знаки из здругих алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата

18.06.25

Заведующий кафедрой

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Бегежанов Султан Канатович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка автоматизированной системы предотвращения сверхдавления на промысел нефти

Научный руководитель: Елена Кулакова

Коэффициент Подобия 1: 7.1

Коэффициент Подобия 2: 1.6

Микропробелы: 19

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата
16.06.2017г.



проверяющий эксперт

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента
Бегежанова Султана Канатовича
6В07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка автоматизированной системы предотвращения сверхдавления на промысел нефти

Выполнено:

- а) презентация на __ слайдах
- б) пояснительная записка на __ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В дипломной работе рассмотрен важный и актуальный вопрос обеспечения промышленной безопасности на нефтепромысле — автоматизация защиты устья скважины от превышения давления.

В первой части проекта детально описана технологическая часть, включая устройство устья скважины, работу пневматической системы аварийной защиты и основные принципы её функционирования. Представлена функциональная схема участка с регулирующим клапаном и даны описания всех элементов системы.

Далее обоснован выбор точек контроля и подобрано соответствующее оборудование. Сформирована структура автоматизированной системы управления на базе контроллера Siemens S7-1500 и панели оператора HMI. Следует отметить, что в работе не проведено сравнительного анализа средств автоматизации.

Расчётная часть включает построение математической модели системы управления расходом через регулирующий клапан. С использованием инструмента System Identification Toolbox в MATLAB построена передаточная функция. Проведён анализ устойчивости замкнутого контура, рассчитаны переходные характеристики.

Проведён синтез PID-регуляторов с использованием двух эмпирических методов. Дано сравнение полученных характеристик и обоснован выбор наилучшей настройки.

Заключительный раздел содержит программную реализацию логики аварийной защиты и регулирования расхода в среде TIA Portal. Описана структура проекта, использованный язык LAD, и созданный операторский интерфейс HMI.

Проект выполнен на высоком уровне, материал изложен последовательно и грамотно, с соблюдением требований ГОСТ и нормативных документов

Оценка работы

Дипломный проект отличается высокой степенью проработки выпускника в области автоматизации и заслуживает оценки «А» (отл.), а студенту Бегежанову Султану Канатовичу присвоения академической степени бакалавра по специальности 6В07103 – Автоматизация и роботизация.

Рецензент

асоц. профессор, доцент кафедры Автоматизация и управление,
АУЭС им. Г. Даукеева



Оракбаев Е. Ж.

«16» июня 2025г.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломный проект
Бегежанов Султан Канатович
6B07103-Автоматизация и роботизация

Тема: «Разработка автоматизированной системы предотвращения сверхдавления на промысел нефти»

Перед дипломантом ставилась задача разработки автоматизированной системы, обеспечивающей предотвращение критического повышения давления на устье скважины и повышение уровня промышленной безопасности при добыче флюида.

В первой главе дипломной работы студент подробно раскрыл технологический процесс, описал устройство устья скважины и принцип действия пневматической системы аварийной защиты. Также дана характеристика оборудования и методов контроля.

Второй раздел включает анализ контрольных точек, выбор аппаратной базы и разработку функциональной и структурной схемы автоматизации системы. Студент грамотно подошёл к выбору оборудования, обосновал его применение с учётом условий эксплуатации.

Третья глава посвящена расчётной части: выполнен синтез математической модели объекта управления, проведён анализ динамических свойств системы, реализован синтез регулятора, включая использование методов Циглера–Никольса и Чина–Хронеса–Ресвика. Представлены переходные характеристики, диаграммы Боде и Найквиста, а также оценки качества системы.

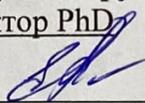
В четвёртой главе представлена программная реализация в среде TIA Portal с использованием контроллера Siemens S7–1500. Разработан интерфейс оператора HMI и реализована логика работы системы на языке LAD, включая алгоритмы аварийной защиты.

Дипломный проект выполнен на высоком уровне. Студент продемонстрировал умение комплексно подходить к инженерной задаче: от анализа технологического процесса до создания программного обеспечения и визуализации.

Заключение: считаю, что дипломант справился с поставленной задачей в полном объёме. Проект соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация. Бегежанов Султан Канатович допускается к защите.

Научный руководитель

доктор PhD



Кулакова Е. А.

(подпись)

«01» 06 2025 г.