

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

Ашимова Алина Руслановна

Разработка и внедрение автоматизированной системы регулирования насосной станции с
использованием шкафов управления

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

6B07103 – 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. тех. наук

Сарсенбаев Н.С.

«13» 06 2025 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломному проекту

На тему: «Разработка и внедрение автоматизированной системы регулирования насосной
станции с использованием шкафов управления»

6В07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил

Ашимова А.Р.

Рецензент

Доктор PhD

Абжанова Л.К.

(подпись)

«13» июня 2025 г.

Научный руководитель

канд. техн. наук

Ширяева О.И.

(подпись)

«13» июня 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

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

Институт Автоматики и информационных технологий

Кафедра Автоматизации и управления

6B07103 – Автоматизация и роботизация



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Ашимовой А.Р

Тема: «Разработка и внедрение автоматизированной системы регулирования насосной станции с использованием шкафов управления».

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 насосной станции обратного водоснабжения.

Перечень подлежащих к 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 насосной станции обратного водоснабжения.

Рекомендуемая основная литература:

1 Бесекерский В. А., Попов Е. П. - Теория систем автоматического управления – С-П.: Профессия, 2004. – с. 214-216.

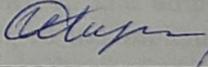
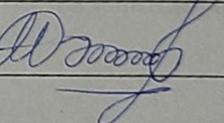
2 ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Изд-во стандартов, 2013.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

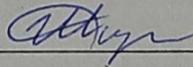
Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологический раздел Описание процессов насосной станции оборотного водоснабжения	13. 02. 2025 г.	
Технологический раздел Разработка структурной схемы системы автоматического управления	06.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

Подписи

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

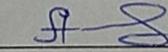
Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Технологический раздел	О. И. Ширяева канд. техн. наук	29.05.25	
Расчетный раздел	О. И. Ширяева канд. техн. наук	29.05.25	
Нормоконтролер	К. А. Манатов магистр техн. наук	02. 06. 2025	

Научный руководитель


подпись

Ширяева О. И.

Задание принял к исполнению обучающийся


подпись

Ашимова А. Р.

Дата

«31» января 2025 г.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жоба тау–кен байыту кәсіпорнында қолданылатын айналымдағы сумен жабдықтау сорғы станциясының автоматты реттеу жүйесін әзірлеуге және зерттеуге арналған. Жоба аясында технологиялық процестің құрылымы талданды, жабдықтың сипаттамасы келтірілді және жұмыстың энергия тиімділігі мен сенімділігін арттыру үшін автоматтандыру қажеттілігі негізделді. Алынған мәліметтер негізінде реттеу объектісінің математикалық моделі құрылды, тұрақтылықты талдау және автоматты реттеу жүйесінің синтезі жасалды. Стандартты реттегішті конфигурациялау үшін екі әдіс қолданылды: эмпирикалық реттеу әдісі және амплитудалық оңтайлы әдіс. Сондай–ақ, басқару тізбегін басқару алгоритмі жасалды және control Expert бағдарламалық ортасында жүзеге асырылды. Ұсынылған басқару тәсілінің тиімділігін растайтын нәтижелер салыстырылды.

АННОТАЦИЯ

Данный дипломный проект посвящен разработке и исследованию системы автоматического регулирования насосной станции оборотного водоснабжения, применяемой на горно–обогатительном предприятии. В рамках проекта была проанализирована структура технологического процесса, проведено описание оборудования и обоснована необходимость автоматизации для повышения энергоэффективности и надёжности работы. На основе полученных данных была сформирована математическая модель объекта регулирования, выполнен анализ устойчивости и синтез системы автоматического регулирования. Для настройки типового регулятора были использованы два метода: эмпирический метод настройки и метод Кесслера (Тсумм). Также был разработан алгоритм управления контуром регулирования и реализован в программной среде Control Expert. Проведено сравнение полученных результатов, подтверждающее эффективность предложенного подхода к управлению.

ABSTRACT

This thesis project is devoted to the development and study of automatic control system of the pumping station of recycling water supply, used at the mining and processing enterprise. Within the framework of the project the structure of the technological process was analyzed, the description of the equipment was carried out and the necessity of automation to increase energy efficiency and reliability of operation was justified. Based on the obtained data, a mathematical model of the control object was formed, stability analysis and synthesis of the automatic control system were performed. Two methods were used to tune the typical regulator: empirical tuning method and amplitude optimum method. Also, the algorithm of control of the control loop was developed and implemented in the Control Expert software environment. The comparison of the obtained results confirming the effectiveness of the proposed control approach has been carried out.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
1 Технологическая часть	8
1.1 Описание процесса оборотного водоснабжения	8
1.2 Функциональное назначение насосной станции в системе оборотного водоснабжения	9
2 Разработка структурной схемы системы автоматического управления	11
2.1 Определение точек контроля	12
2.2 Определение структуры АСУ ТП	13
3 Разработка функциональной схемы автоматизации системы управления процессом	15
3.1 Функциональная схема автоматизации	15
3.2 Выбор оборудования	16
3.3 Проектирование шкафов автоматизации и управления	24
4 Расчетная часть	28
4.1 Постановка задачи для синтеза контура управления	28
4.2 Настройка типовых регуляторов на основе эмперических методов	29
4.3 Настройка типовых регуляторов на основе метода Кесслера (Тсумм)	35
5 Разработка программы управления	39
Заключение	45
Список использованной литературы	46
Приложение А	47

ВВЕДЕНИЕ

Современные требования к энергоэффективности и надёжности промышленных объектов всё чаще обуславливают необходимость автоматизации ключевых технологических узлов. Насосные станции, обеспечивающие обратное водоснабжение на горно-обогатительных предприятиях, играют важную роль в стабильной работе всего производства. При этом нестабильные условия эксплуатации, колебания нагрузки и высокие требования к качеству регулирования требуют внедрения интеллектуальных систем управления. Особенно это актуально при использовании шламовых насосов большой мощности, для которых важно обеспечить не только устойчивость, но и оптимальность рабочих режимов. Внедрение автоматизированной системы регулирования на базе частотного преобразователя позволяет значительно повысить эффективность и снизить эксплуатационные издержки, что делает данную тему актуальной и практически значимой.

Целью дипломного проекта. Разработка и исследование системы автоматического регулирования, обеспечивающей эффективное управление насосной станцией обратного водоснабжения. Такая система должна стабилизировать параметры работы насоса при переменных условиях и способствовать снижению энергопотребления, повышению надёжности и устойчивости технологического процесса.

Задачи для выполнения. Необходимо описать технологический процесс работы насосной станции; разработать функциональную схему автоматизации; сформировать математическую модель объекта регулирования; провести анализ устойчивости и качества системы; выполнить синтез системы автоматического регулирования с использованием различных методов настройки регуляторов; провести настройку и сравнение результатов, полученных с помощью эмпирических и частотных методов.

Общая характеристика проекта. Дипломный проект состоит из двух основных частей – технологической и расчётной. В технологической части рассматривается устройство насосной станции, её место в составе водооборотного цикла, а также структура и принципы работы элементов автоматизации. Описывается взаимодействие между контроллером, датчиками и частотным преобразователем. В расчётной части приводится математическое описание объекта, обоснован выбор метода управления, выполнены необходимые расчёты и настройка регуляторов. Анализируются параметры устойчивости, качества регулирования и энергетической эффективности. Проведена настройка типовых регуляторов с применением эмпирических методов и метода амплитудного оптимума. Для контура управления разработан алгоритм управления и реализован в программной среде Control Expert

1 Технологическая часть

1.1 Описание процесса оборотного водоснабжения

Насосная станция оборотного водоснабжения предназначена для возврата охлаждённой воды, прошедшей через систему охлаждения (градирню), обратно в технологический цикл горно-обогатительного комбината. Реализация замкнутого цикла циркуляции позволяет существенно сократить общее водопотребление, снижает нагрузку на природные водоисточники и обеспечивает устойчивые условия функционирования технологического оборудования. В связи с эксплуатацией станции в условиях запылённой и агрессивной производственной среды, в проекте предусмотрено применение оборудования, обладающего высокой степенью надёжности и устойчивости к абразивному износу.

Ключевым элементом станции является шламовый насос марки ROITESH, предназначенный для перекачивания загрязнённой воды, содержащей взвешенные твёрдые частицы и обладающей повышенной вязкостью. Насос приводится в действие от мощного асинхронного электродвигателя номинальной мощностью 630 кВт, что обусловлено необходимостью транспортировки значительных объёмов жидкости — до 2500 м³/ч — в условиях повышенного сопротивления. Применение регулируемого электропривода позволяет обеспечить оптимальный режим работы насоса, снизить пусковые токи и повысить общую энергоэффективность станции.

Вода, возвращаемая из производственного цикла, поступает в приёмный резервуар, откуда через систему фильтрации направляется на повторное использование. На этапе фильтрации удаляются крупные механические включения, способные вызвать повреждение насосного оборудования и снизить его эксплуатационные характеристики. Это позволяет существенно увеличить срок службы основных элементов системы и повысить её надёжность.

Охлаждение воды осуществляется в градирне, где за счёт теплообмена с окружающим воздухом происходит снижение температуры до требуемых значений. Далее охлаждённая вода накапливается в резервуаре и подаётся обратно в производственный процесс. Трубопроводная сеть станции оборудована обратными клапанами, предотвращающими возникновение гидравлических ударов и обеспечивающими защиту от обратного потока жидкости. Вся арматура и элементы трубопровода изготавливаются из материалов, устойчивых к коррозии и абразивному износу, что существенно увеличивает их срок службы и снижает затраты на техническое обслуживание.

Проектом предусмотрено резервирование насосного оборудования, что позволяет сохранять работоспособность системы в случае отказа одного из агрегатов или при проведении регламентных работ. Кроме того, в схеме предусмотрена запорная арматура, байпасные участки и дренажные линии, позволяющие гибко регулировать режимы работы и обеспечивать безопасную эксплуатацию насосной станции в различных условиях.

Таким образом, проектируемая система оборотного водоснабжения соответствует современным требованиям промышленной автоматизации и эколого-энергетической эффективности, обеспечивая стабильную, надёжную и долговечную работу в составе горно-обогатительного предприятия. Чертёж технологической схемы приведён на рисунке 1.1 [1].

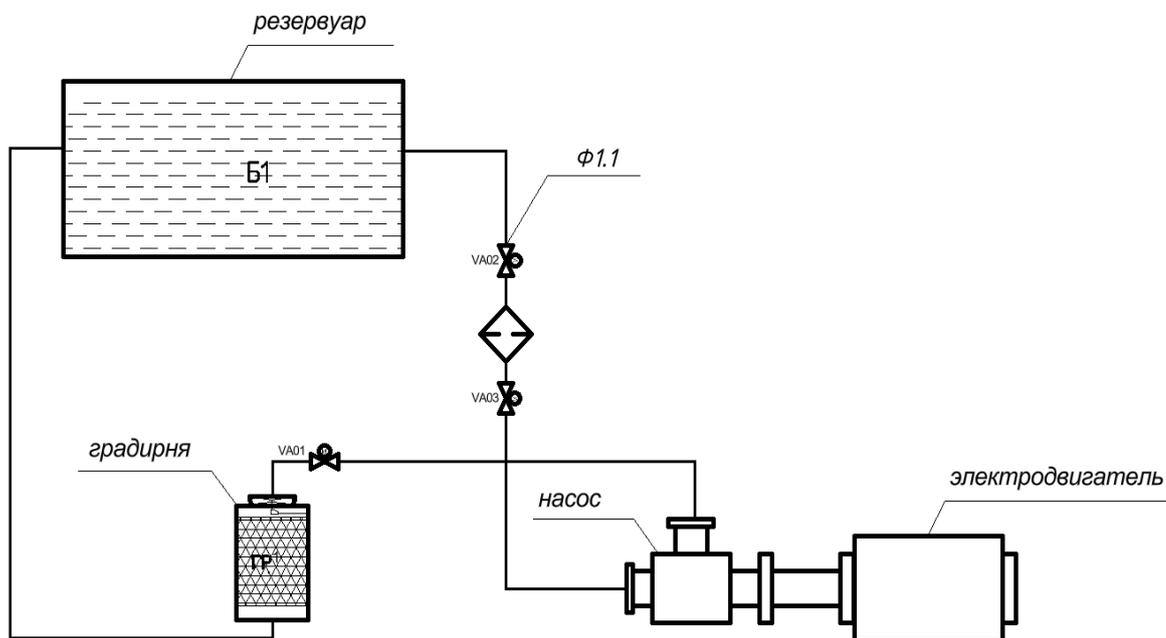


Рисунок 1.1 – Технологическая схема автоматизации

1.2 Функциональное назначение насосной станции в системе оборотного водоснабжения

Насосная станция оборотного водоснабжения, рассматриваемая в рамках данного дипломного проекта, является важнейшим элементом технологической инфраструктуры, обеспечивающим непрерывность и устойчивость производственного цикла. Её основное функциональное назначение заключается в транспортировке технической воды, возвращённой из производственных контуров после использования, обратно в зону технологического применения. Таким образом, формируется замкнутый цикл водоснабжения, позволяющий существенно сократить потребление природных водных ресурсов, снизить нагрузку на системы очистки сточных вод и обеспечить стабильные параметры работы оборудования.

В условиях промышленных объектов, особенно при наличии загрязнённой или абразивной жидкости, предъявляются повышенные требования к надёжности и энергоэффективности насосного оборудования. Перекачиваемая вода зачастую содержит значительное количество твёрдых частиц, взвесей, а также агрессивных химических компонентов, что может вызывать интенсивный износ оборудования. В связи с этим, в составе насосной станции используется

специализированный шламовый насос ROITESH, предназначенный для работы с высокоабразивными жидкостями. Он обладает повышенной устойчивостью к механическим повреждениям, способен развивать напор до 55 метров и обеспечивает подачу воды в объёме до 2500 м³/ч. Привод насоса осуществляется от мощного асинхронного электродвигателя мощностью 630 кВт, что обеспечивает требуемую производительность и надёжность в условиях непрерывной эксплуатации.

Интеллектуальное управление насосной станцией реализовано с использованием частотного преобразователя, который позволяет плавно регулировать частоту вращения электродвигателя в зависимости от текущих условий. Такой подход позволяет достигать двух основных целей: поддержание заданного уровня давления в системе и оптимизация энергопотребления. Частотное регулирование исключает резкие пуски и остановки, снижая нагрузку на механические и электрические узлы оборудования, что положительно сказывается на их долговечности. Управляющее воздействие формируется в соответствии с показаниями датчиков давления, сигналы от которых поступают на программируемый логический контроллер, анализирующий текущие параметры и принимающий решения о включении насоса и уровне его регулирования.

Вся система построена на принципах адаптивного управления с обратной связью. Контроллер обеспечивает не только сбор и обработку информации от сенсоров, но и автоматическое реагирование на отклонения параметров от установленных значений. В случае выхода давления за допустимые пределы система переходит в аварийный режим, отключает насос и формирует сигнал тревоги. Предусмотрена возможность ручного и автоматического сброса аварий, а также возобновления работы после стабилизации параметров.

Трубопроводная часть насосной станции оснащена всеми необходимыми элементами: фильтрами, обратными клапанами, запорной арматурой и устройствами для дренажа. Это позволяет обеспечить не только нормальную эксплуатацию в различных режимах, но и возможность проведения технического обслуживания без остановки всей системы. Также реализована схема резервирования, позволяющая переключаться на запасной насос в случае выхода из строя основного агрегата.

Таким образом, насосная станция, разработанная в рамках проекта, представляет собой современное, надёжное и адаптивное решение для поддержания стабильного водного режима в условиях промышленного объекта. Её функциональное назначение заключается не только в транспортировке воды, но и в интеллектуальной поддержке заданных технологических параметров, что достигается за счёт применения частотного регулирования, ПЛК–управления и средств промышленной автоматизации.

2 Разработка структурной схемы системы автоматического управления

Структурная схема автоматизации насосной станции оборотного водоснабжения показывает, как организован обмен информацией между основными элементами системы и как они взаимодействуют в реальном времени.

На уровне первичных измерений работают аналоговые датчики: уровня в резервуаре, давления в напорном трубопроводе, температуры и электромагнитный расходомер, измеряющий объём воды. Все эти сигналы поступают на аналоговые входы контроллера, где преобразуются в цифровую форму и передаются на обработку.

Состояние запорной арматуры, включая входные и выходные клапаны, отслеживается с помощью дискретных датчиков положения. Они подключены к дискретным входам контроллера и обеспечивают точную информацию о том, открыт или закрыт каждый клапан, что критически важно для корректной работы всей системы.

Управление исполнительными устройствами – клапанами, электроприводами и другим оборудованием – осуществляется через дискретные выходы контроллера. Он формирует управляющие сигналы в соответствии с заданным алгоритмом. Например, при повышении уровня жидкости до определённой отметки автоматически подаётся сигнал на открытие дренажного клапана.

Частотный преобразователь, расположенный в отдельном шкафу управления, соединён с контроллером по протоколу Modbus TCP. Через него передаются команды на регулирование скорости электродвигателя насоса и возвращается информация о текущем состоянии преобразователя – ток, напряжение, частота вращения, сигналы диагностики. Такая архитектура повышает надёжность обмена и позволяет интегрировать систему в SCADA.

Аналоговые выходы контроллера пока не используются, но предусмотрены на будущее – для подключения исполнительных механизмов с аналоговым управлением или для связи с другими участками технологической цепи.

Центром всей схемы является процессорный модуль контроллера. Именно он обрабатывает все поступающие сигналы, реализует ПИД-регуляторы по уровню и давлению, выполняет логические функции, отвечает за переключение между ручным и автоматическим режимами, а также за обработку аварийных сигналов и включение защит.

Такая структура делает систему управления надёжной, гибкой и удобной для дальнейшей модернизации. Она соответствует промышленным требованиям по быстродействию, точности и устойчивости, обеспечивая стабильную работу насосной станции даже при меняющихся условиях и нагрузках. Структурная схема автоматизации изображена на рисунке 2.1.

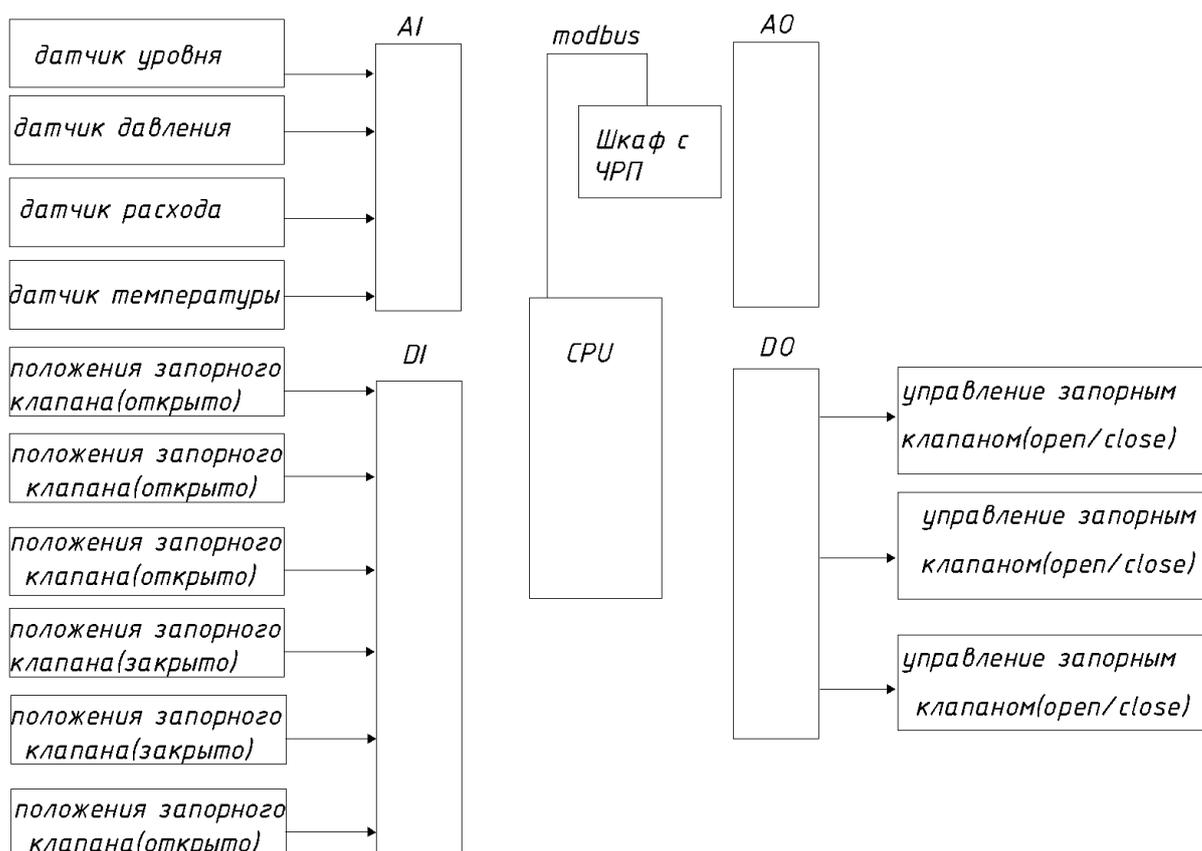


Рисунок 2.1 – Структурная схема автоматизации

2.1 Определение точек контроля

В рамках автоматизированной системы насосной станции оборотного водоснабжения особое внимание уделяется организации точек контроля, управления и аварийной сигнализации. Эти элементы составляют основу для устойчивого функционирования оборудования, своевременного реагирования на изменения технологических параметров и предотвращения аварийных ситуаций.

Контрольные точки предназначены для непрерывного отслеживания таких показателей, как уровень жидкости в резервуарах, давление в трубопроводах, температура и расход воды. Полученные данные передаются в контроллер, где проходят обработку и сравнение с заданными допустимыми диапазонами. Это позволяет оперативно выявлять отклонения и корректировать работу оборудования без вмешательства оператора.

Управляющие точки обеспечивают непосредственное воздействие на исполнительные механизмы: открытие или закрытие клапанов, включение насосов, переключение режимов работы. Такие сигналы формируются на основе алгоритма, заложенного в программируемый логический контроллер, и позволяют гибко адаптировать систему под текущие производственные условия.

Для наглядности в таблице 2.1 представлен полный перечень всех задействованных точек контроля, управления и сигнализации.

Таблица 2.1 – Определение точек контроля

тип точки	наименование параметра	диапазон значений
контроль	Частота вращения двигателя	0–50 Гц
	Уровень жидкости в резервуаре	0–95 %
	Давление на выходе насоса	2–10 бар
	Расход воды	300–500 м ³ /ч
	Температура перекачиваемой воды	0–40 °С
	Положение клапана №1	Открыт / Закрыт
	Положение клапана №2	Открыт / Закрыт
управление	Открытие/закрытие клапана №2	Команда с контроллера
	Открытие/закрытие клапана №2	Команда с контроллера
сигнализация	Давление ниже допустимого минимума	<1,5 бар
	Переполнение резервуара	>95 % уровня
	Сухой ход насоса (нулевой расход при включенном двигателе)	Расход < 50 м ³ /ч при включённом ПЧ

2.2 Определение структуры АСУ ТП

Структура автоматизированной системы управления насосной станцией оборотного водоснабжения построена по классической трёхуровневой иерархии, включающей нижний, средний и верхний уровни. Каждый из них выполняет свою роль в обеспечении стабильной и безопасной работы технологического процесса.

Нижний уровень объединяет все первичные измерительные и исполнительные устройства. Сюда входят датчики давления, температуры, уровня и расхода, которые обеспечивают постоянный мониторинг состояния перекачиваемой среды. Также к этому уровню относится частотный преобразователь, регулирующий скорость вращения насоса в зависимости от поступающих управляющих сигналов, и электромагнитные клапаны, переключающие потоки жидкости по трубопроводам. Данные элементы работают в реальном времени и формируют основу для надёжного и точного регулирования процесса.

Средний уровень представлен программируемым логическим контроллером (ПЛК), который служит центральным звеном управления. Он осуществляет сбор и анализ сигналов с датчиков, реализует управляющие алгоритмы, формирует сигналы управления для исполнительных устройств, а также контролирует работу частотного преобразователя. Контроллер обрабатывает входную информацию, выполняет функции ПИД-регулирования

и реализует защитные алгоритмы: блокировки, переходы в безопасный режим и аварийные отключения, что повышает устойчивость всей системы к отклонениям и сбоям.

Верхний уровень выполняет функции визуализации и взаимодействия с оператором. На нём установлена панель оператора, отображающая текущие параметры, сигналы тревоги и журнал событий. Через неё персонал может задавать уставки, переключать режимы работы и получать информацию о состоянии оборудования. Панель обеспечивает оперативный контроль, интуитивный интерфейс и позволяет в случае необходимости перейти к ручному управлению. Кроме того, предусмотрена возможность интеграции системы в SCADA–среду для расширенного диспетчерского контроля и анализа исторических данных.

Такое построение системы обеспечивает стабильную и адаптивную работу насосной станции, способствует снижению эксплуатационных рисков и позволяет легко расширять функциональность при необходимости.

На рисунке 2.2 изображены уровни автоматизированной системы управления насосной станцией оборотного водоснабжения.

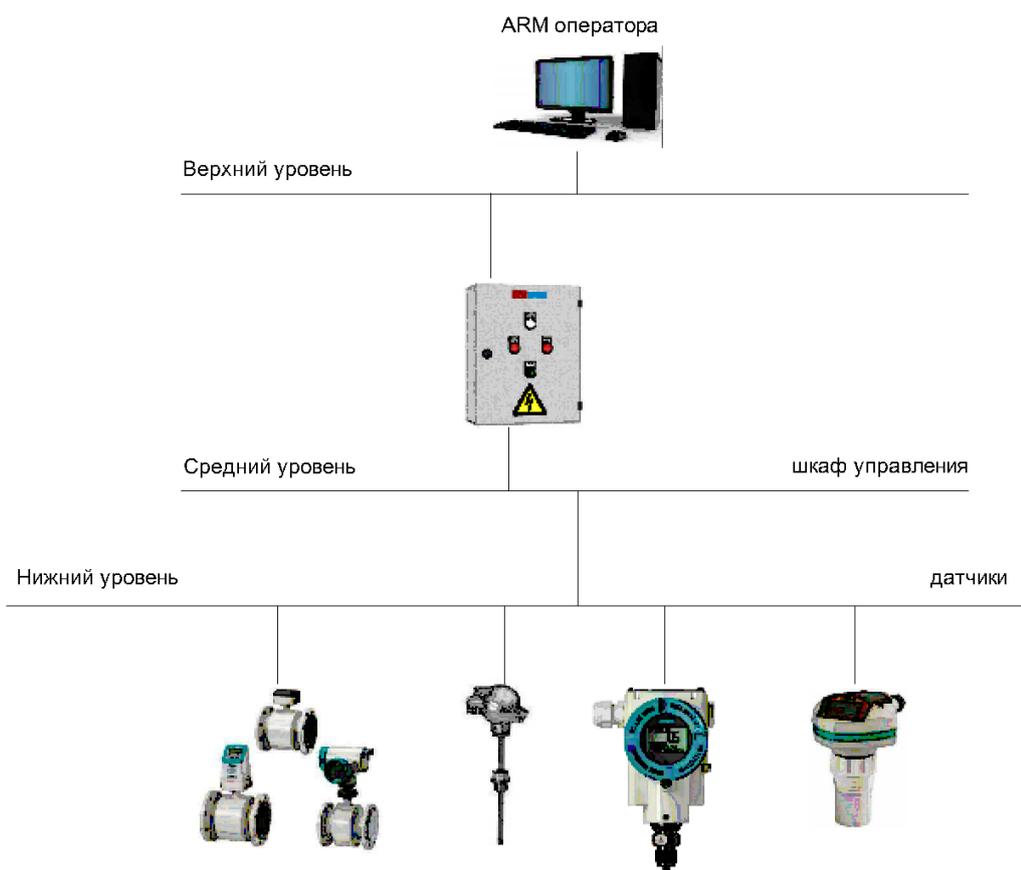


Рисунок 2.2 – Уровни автоматизированной системы управления насосной станцией оборотного водоснабжения

3 Разработка функциональной схемы автоматизации системы управления процессом

3.1 Функциональная схема автоматизации

Функциональная схема автоматизации насосной станции оборотного водоснабжения отражает структуру взаимодействия компонентов системы и последовательность выполнения управляющих воздействий. Основной целью автоматизации является обеспечение надёжной и устойчивой работы шламового насоса, перекачивающего загрязнённую воду в замкнутом контуре, с возможностью регулирования подачи в зависимости от текущих параметров давления.

Система автоматизации построена на двух основных компонентах: шкафе автоматизации, содержащем программируемый логический контроллер (ПЛК), и шкафе управления с установленным частотным преобразователем (ЧРП). ПЛК получает сигналы с первичных датчиков, таких как датчики давления и уровня, обрабатывает их согласно заданному алгоритму, формирует управляющее воздействие и передаёт его на частотный преобразователь. Последний регулирует частоту вращения электродвигателя, приводящего в действие насос, тем самым изменяя его производительность.

Измерительная часть включает датчик давления, установленный после фильтра, и уровнемер в приёмной ёмкости. Контроль давления позволяет корректировать частоту вращения насоса для поддержания стабильного режима работы. При выходе давления за пределы допустимого диапазона активируется аварийный режим, сопровождающийся отключением насоса. Уровнемер обеспечивает защиту от «сухого хода» – при недостаточном уровне воды насос автоматически блокируется, предотвращая повреждение оборудования. (рисунок 3.1).

Сигналы с датчиков поступают на аналоговые входы контроллера. Алгоритм управления реализован в среде Control Expert и предусматривает как автоматический, так и ручной режим работы насоса. При этом контроллер сравнивает текущее давление с уставкой, формирует масштабированный аналоговый сигнал и передаёт его на вход преобразователя. При отключении насоса или при аварии подаётся команда на сброс частоты.

Частотный преобразователь служит связующим звеном между ПЛК и электродвигателем, обеспечивая плавный пуск, защиту от перегрузок и адаптацию к изменяющимся условиям. Его использование позволяет сократить износ механических частей и снизить общее энергопотребление системы. Кроме того, преобразователь способен передавать в контроллер диагностические данные, такие как ток, напряжение и состояние привода.

Функциональная схема обладает гибкостью и допускает расширение в случае необходимости. Возможно подключение дополнительных датчиков или исполнительных устройств, реализация резервирования оборудования, а также адаптация алгоритма под другие насосные станции. Такая архитектура делает

систему универсальной и пригодной для различных промышленных применений. Схематическое изображение функциональной схемы представлено в приложении А.

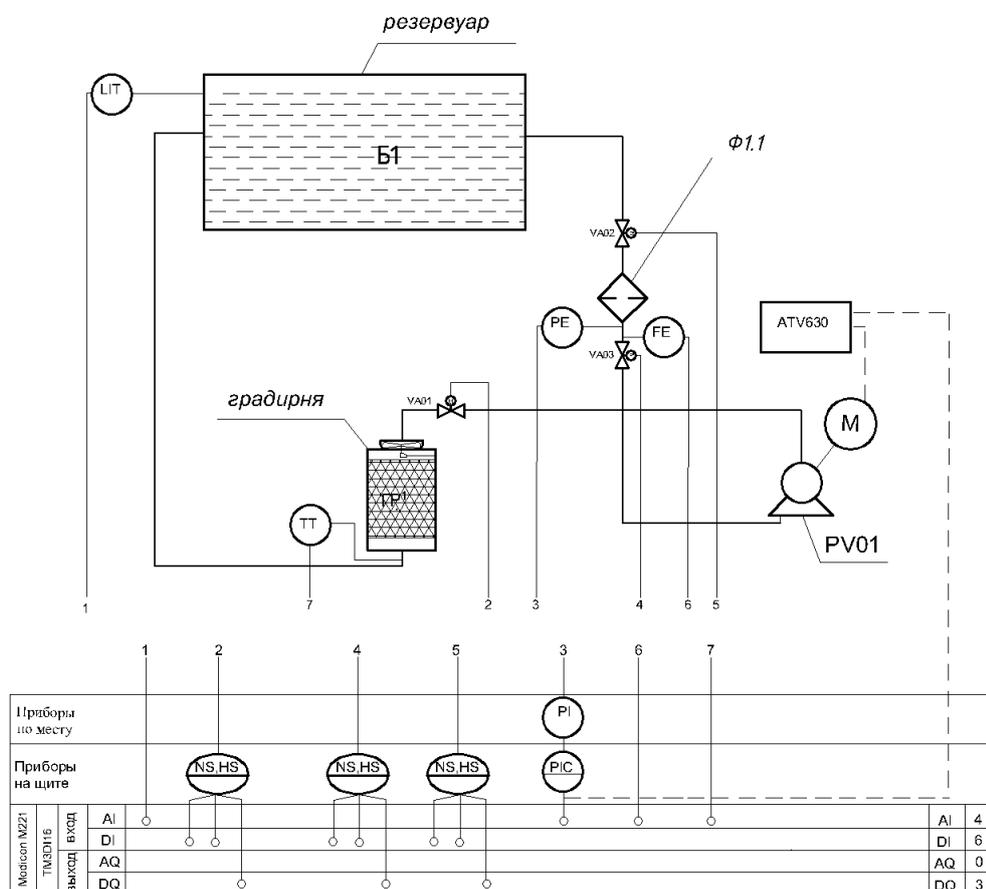


Рисунок 3.1 – Функциональная схема автоматизации

3.2 Выбор оборудования

3.2.1 Выбор электромагнитного расходомера

Конфигурация оборудования осуществлялась в среде PIA Portal на основе технических требований, отражённых в опросном листе. При выборе измерительных приборов учитывались параметры технологической среды, диаметр трубопровода, температурный режим и другие условия эксплуатации. На основании анализа было принято решение использовать электромагнитный расходомер, обеспечивающий точное и надёжное измерение расхода оборотной воды в контуре насосной станции.

Электромагнитный расходомер состоит из двух основных компонентов – измерительного сенсора и электронного преобразователя. Принцип действия основан на законе электромагнитной индукции: при прохождении проводящей жидкости через магнитное поле в ней индуцируется напряжение,

пропорциональное скорости потока. Сенсор фиксирует это напряжение, а преобразователь обрабатывает сигнал и формирует стандартный выходной аналоговый сигнал (обычно 4–20 мА или 0–10 В), передаваемый на аналоговый вход программируемого логического контроллера. Конфигурация показана на рисунке 3.2.

SITRANS F M MAG 5100 W (0) watch list

Successor product available. Please consider ordering the FMS500.

Basic Data | MLFB Configuration | MLFB Overview | Technical data | Downloads / Documents | Spare parts | Accessory parts

Status: ◆◆◆ Your configuration is complete

Please log in in order to see specific QS and ex stock information for your region.

Basic types | Options

Configuration: [Reset](#) | [Print](#) | [Download](#) Change Quantity

Description [EUR]

Additional feature for pricing!
Total price for the marked (1) features

- ✓ Label 0
- ✓ Diameter
6F DN5 00, 20 Inch
- ✓ Flange norm & Pressure rating
C EN 1092-1 PN 16 (PED compliant)
- ✓ Flange material
1 Carbon steel ASTM A 105 with corrosion-resistant coating acc. to EN ISO 12944 grade C4
- ✓ Liner material
3 NBR liner
- ✓ Electrode material
2 Hastelloy C-276 incl. grounding electrodes
- ✓ Transmitter
M MAG 6000 CT, IP67 / NEMA 4X/6, Polyamid enclosure, With display, 115-230
- ✓ Communication
A No bus communication
- ✓ Cable glands/terminal box
1 Metric cable glands, Polyamid terminal box or MAG 6000i integral mount

Product number (MLFB) 7ME652 0 6F C 1 3 2 M A 1 -Z

B-row P23

Copy & Paste 7ME6520-6FC13-2MA1-Z P23

Рисунок 3.2 – Конфигурация электромагнитного расходомера

В результате конфигурации в среде PIA Portal был подобран электромагнитный расходомер SITRANS F M MAG 5100 W 7ME6520–6FC13–2MA1–Z P23 с преобразователем MAG 6000 CT, работающий без цифровых шин, с аналоговым интерфейсом и встроенным дисплеем. Полная конфигурация устройства включает датчик с электродами Hastelloy и футеровкой NBR, фланцевое соединение по EN 1092–1 PN 16 и преобразователь в корпусе IP67.



Рисунок 3.3 – Электромагнитный расходомер

3.2.2 Выбор датчика давления

Для подбора датчика давления была использована специализированная конфигурационная среда PIA-Portal, позволяющая на основе технических требований опросного листа выбрать оптимальное оборудование. Конфигурация датчика давления представлена на рисунке 3.4

Статус: ◆◆ Ваша конфигурация завершена

Пожалуйста, войдите в систему, чтобы увидеть конкретную информацию о QS и франко со склада для вашего региона.

Основные виды **Параметры**

Конфигурация: Сброс | Печать | Загрузить Изменить количество

Описание [евро]

- ✓ Технология, датчик
 - 0 Манометрическое давление
- ✓ Коммуникация
 - 0 ХАРТ (4...20 мА)
- ✓ Заполнение измерительной ячейки
 - 1 Наполнение измерительной ячейки: Силиконовое масло
- ✓ Максимальный диапазон измерений
 - Q Максимальный диапазон измерения: 16 бар (232 фунта на кв. дюйм)
- ✓ Технологическое присоединение
 - B Наружная резьба M20 x 1,5
- ✓ Смазываемые детали
 - 0 Технологическое присоединение: Нержавеющая сталь 316L/1.4404, Уплотнительные мембраны: Нержавеющая сталь 316L/1.4404, Дифференциальное давление датчика: Рабочий фланец: Нержавеющая сталь 316/1.4408
- ✓ Материалы для несмазываемых деталей
 - 2 Корпус из нержавеющей стали прецизионного литья CF3M/1.4409 (аналог 316L)
- ✓ Ограждение
 - 5 Двухкамерное устройство
- ✓ Тип защиты
 - A нет Ex
- ✓ Электрические соединения / кабельные вводы
 - F 2 x M20 x 1,5
- ✓ Локальная эксплуатация/дисплей
 - 0 Без дисплея (закрытая крышка)
 - 1 С дисплеем (закрытая крышка)
 - 2 С дисплеем (крышка со стеклянным окошком)

Номер продукта (MLFB) 7MF03 0 0 1 Q B 0 2 5 A F 0 -Z

В-ряд E00

Рисунок 3.4 – Конфигурация датчика давления



Рисунок 3.5 – Датчик давления

В результате конфигурации был выбран преобразователь давления SITRANS P320 для установки после фильтра в системе обратного

водоснабжения. Устройство рассчитано на измерение избыточного давления до 16 бар и передаёт сигнал по аналоговому протоколу HART (4...20 мА).

Все элементы, контактирующие со средой, выполнены из нержавеющей стали 316L, корпус датчика – из литой стали CF3M. Датчик имеет двухкамерную конструкцию, что повышает его надёжность в промышленных условиях.

3.2.3 Выбор датчика уровня

Для подбора оборудования использовалась среда PIA–Portal, предназначенная для конфигурации продукции Siemens с учётом технических параметров. В результате был сконфигурирован ультразвуковой контроллер уровня SITRANS LT500 7ML6003–1AB20–1AA2 в исполнении HydroRanger, предназначенный для измерения уровня, объема и расхода жидкости с использованием ультразвуковых преобразователей (XPS, XRS, STH). Устройство поддерживает одну точку измерения, питается от источника 12...30 В DC, имеет три релейных выхода (два типа Form A и один Form C), и выполнено в панельном исполнении. Контроллер оснащён сменной картой памяти microSD на 8 ГБ, а также соответствует промышленным требованиям по защите (General Purpose/Non–Ex, с сертификатом EAC). Конфигурация контроллера показана на рисунке 3.6.

Статус: Ваша конфигурация завершена

Доступен новый продукт: 7ML6003-1AB30-1AA2-Z C19
 Пожалуйста, войдите в систему, чтобы увидеть конкретную информацию о QS и франко-складе для вашего региона.

Основные виды **Параметры**

Конфигурация: Сброс | Печать | Загружать Изменить количество

Описание [евро]

- ✓ **Модель**
 - A Модель: SITRANS LUT420 - Регулятор уровня
 - B Модель: SITRANS LUT430 - Регулятор уровня, насоса и расхода
 - C Модель: SITRANS LUT440 - Высокоточный монитор открытых каналов
- ✓ **Варианты отображения в корпусе**
 - B Варианты дисплея в корпусе: с дисплеем для удаленного монтажа на панель
- ✓ **Входное напряжение**
 - 2 Входное напряжение: от 10 до 32 В постоянного тока
- ✓ **Кабельный ввод**
 - 1 Кабельный ввод: 3 кабельных ввода, кабельные вводы в комплект не входят
- ✓ **Количество точек измерения**
 - 1 Количество точек измерения: Одноточечная система (включает в себя один вход преобразователя, один выход mA и один вход внешнего датчика температуры)
- ✓ **Коммуникации и ввод-вывод**
 - D Связь и ввод/вывод: HART, 2 дискретных входа, 3 реле
- ✓ **Утверждения**
 - A Допуски: Обычные местоположения/Общего назначения (не взрывозащищенные), CE, UKCA, FM, CCSAUS, UL, RCM, EAC, KC

Номер продукта (MLFB) 7ML5050 **0 A B 2 1 1 D A 0 -3**

В-ряд **C11**

Копирование и вставка 7ML5050-0AB21-1DA0-Z C11

Рисунок 3.6 – Конфигурация датчика уровня



Рисунок 3.7 – Датчик уровня

3.2.4 Выбор датчика температуры

Для подбора оборудования использовалась среда PIA-Portal, предназначенная для конфигурации продукции Siemens с учётом технических параметров. В результате был выбран датчик температуры SITRANS TS100 в исполнении MIC, предназначенный для контроля температуры охлаждённой воды после градирни. Конфигурация предусматривает использование погружного термопреобразователя сопротивления типа Pt100 с одним элементом измерения. Электрическое подключение реализовано через разъём M12x1 со степенью защиты IP67, что обеспечивает надёжность в условиях промышленной эксплуатации. Устройство не предназначено для применения во взрывоопасных зонах (Non-Ex, с сертификатом EAC). Конфигурация датчика температуры представлена на рисунке 3.8.

SITRANS TS100 MIC with cable (0) watch list

Basic Data | MLFB Configuration | MLFB Overview | Technical data | Downloads / Documents

Status: ◆◆◆ Your configuration is complete

Please log in in order to see specific QS and ex stock information for your region.

Basic types | **Options**

Configuration: [Reset](#) | [Print](#) | [Download](#) Change Quantity

Description	[EUR]
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diameter measuring tip "d": <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="radio"/> 6 Diameter of the measuring tip: 6mm ✓ Sensor length "B": <ul style="list-style-type: none"> C Sensor length (mm): B = Length range: 101 ... 250; Initial: 200 mm ✓ Sensor: Total meas. range/ quantity / type / accuracy / range of class <ul style="list-style-type: none"> A3 Meas. range: -50 ... 400Cel; Sensor quant., Type, Accuracy 1xPt100, CIAA 0 ... 150Cel; Basic version ✓ Electrical connection end: <ul style="list-style-type: none"> 3 Electrical connection end: Connector M12x1, IP54 ✓ Explosion protection <ul style="list-style-type: none"> E00 Requirements non-Ex for EU / Australia 	

Product number (MLFB)

B-row

Copy & Paste

Рисунок 3.8 – Конфигурация датчика температуры



Рисунок 3.9 – Датчик температуры

3.2.5 Выбор электродвигателя

Для выбора электродвигателя использовался конфигуратор Siemens Mall Industry, позволяющий точно подобрать оборудование с учётом параметров нагрузки, условий эксплуатации и способа монтажа. В результате был выбран трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором INNOMOTICS 1CV3405B из серии SD Add, исполнение IM B3, четырёхполюсный, номинальной мощностью 630 кВт при частоте 50 Гц и напряжении 400 В (соединение Δ).

В конфигурации двигателя предусмотрены дополнительные опции, повышающие его надёжность и соответствие требованиям промышленной эксплуатации. Опция D47 указывает на наличие сертификата EAC, допускающего применение на территории стран ЕАЭС. Опция F70 означает наличие выносного вентилятора (тип IC416), обеспечивающего принудительное воздушное охлаждение — это особенно важно при регулировании скорости с помощью частотного преобразователя. Опция L51 предусматривает изоляцию подшипника со стороны, противоположной приводу, что предотвращает циркуляцию токов и указывает на совместимость с частотным управлением. Опция Q02 — подогрев от конденсата на 230 В — обеспечивает защиту обмоток от влаги при простоях оборудования. Конфигурация электродвигателя представлена на рисунке 3.10

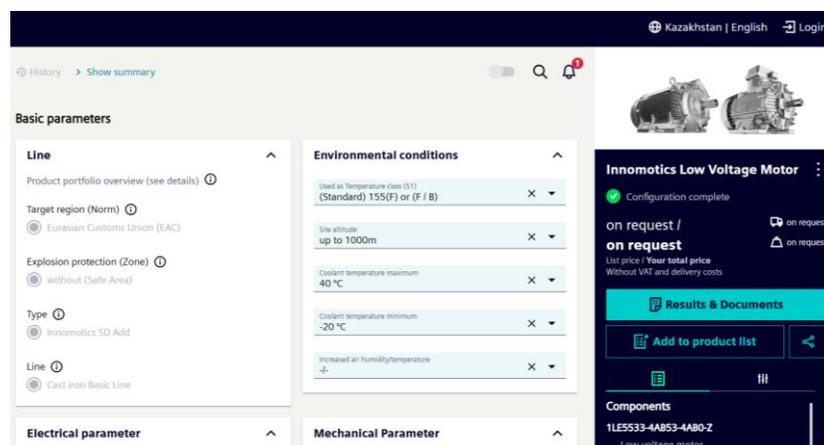


Рисунок 3.10 – Конфигурация электродвигателя

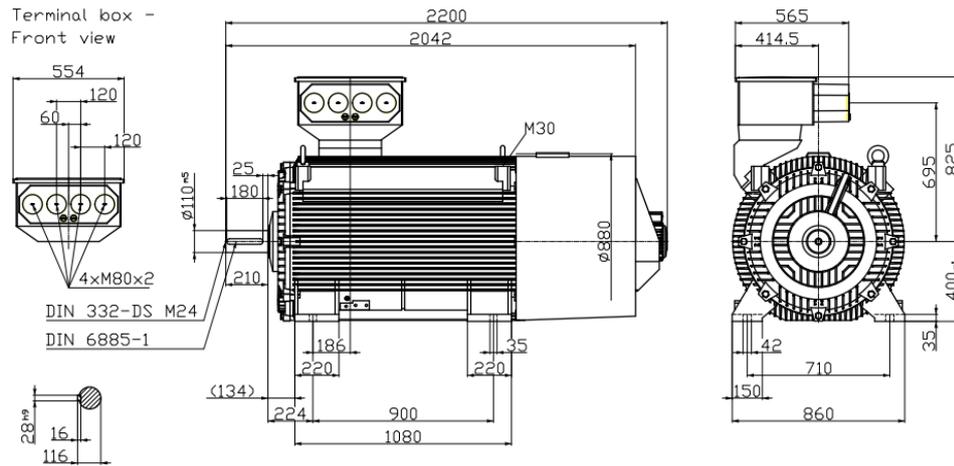


Рисунок 3.11 – чертеж электродвигателя

INNOMOTICS	Document type	Document status		
	Technical data sheet	Released		
Restricted © Innomatics 2025	Document title	Document number		
	1LE5533-4AB53-4AB0-Z D47+F70+L51+Q02	TDS-250424-115013		
	Revision	Creation date	Language	Page
	AA	2025-04-24	en	1/2

Branding disclaimer applies

Data sheet for three-phase Squirrel-Cage-Motors INNOMOTICS



Motor type : 1CV3405B

INNOMOTICS SD Add - 400 - IM B3 - 4p

Special design

D47	TR CU product safety certificate EAC for the Eurasian Customs Union	L51	Bearing insulation NDE
F70	Mounting of separately driven fan	Q02	Anti-condensation heating for 230 V (2 terminals)

Рисунок 3.12 – data sheet

3.2.6 Выбор контроллера

В проекте выбран контроллер Modicon M262 от компании Schneider Electric, предназначенный для построения высоконадежных и гибко масштабируемых систем автоматизации. Данный контроллер обеспечивает стабильное управление насосной установкой, а также поддерживает широкий спектр промышленных коммуникационных протоколов, включая Modbus RTU, Modbus TCP, EtherNet/IP и OPC UA, что позволяет эффективно интегрировать его с частотным преобразователем, сенсорами, панелями оператора и другими элементами системы.

Одним из преимуществ Modicon M262 является его модульная архитектура, обеспечивающая возможность расширения конфигурации за счёт подключения дополнительных модулей ввода-вывода. Это позволяет адаптировать контроллер к конкретным требованиям объекта автоматизации без

необходимости замены основного устройства. В проекте были использованы расширительные модули ввода-вывода, обеспечивающие подключение дискретных и аналоговых сигналов от технологических датчиков и исполнительных механизмов. Кроме того, при необходимости возможно подключение коммуникационных модулей, например, для связи по Profibus DP или CANopen.

Контроллер отличается высокой вычислительной производительностью, встроенной защитой, наличием энергонезависимой памяти и поддержкой работы в реальном времени, что особенно важно для управления динамическими процессами, характерными для насосных станций. На рисунке 3.13 представлено изображение контроллера Modicon M262, используемого в проекте.



Рисунок 3.13 – контроллер Modicon M262

3.2.7 Выбор частотного преобразователя

В проекте выбран частотный преобразователь Altivar Process ATV630 от Schneider Electric, предназначенный для управления насосами и работы с жидкостями и газами. Он поддерживает управление несколькими насосами, имеет перегрузочную способность до 110–150 % и обеспечивает надёжность при нестабильных нагрузках. Благодаря поддержке Modbus RTU, Modbus TCP и Ethernet, ATV630 легко интегрируется с контроллерами и системами автоматизации, что делает его целесообразным выбором для поставленных задач. На рисунке 3.14 изображен преобразователь частоты ATV630.



Рисунок 3.14 – преобразователь частоты ATV630

3.3 Проектирование шкафов автоматизации и управления

Шкаф автоматизации предназначен для размещения оборудования, обеспечивающего сбор, обработку и передачу информации в системе управления насосной станцией оборотного водоснабжения. Шкаф представляет собой металлическую конструкцию габаритами 2000×800×600 мм, установленную на стандартный цоколь высотой 100 мм. Внутреннее оснащение шкафа выполнено на монтажной плате с использованием DIN-реек и кабельных каналов различных типоразмеров, обеспечивающих удобство укладки и обслуживания кабельных трасс.

В шкафу размещён программируемый логический контроллер Modicon M262, обеспечивающий выполнение алгоритма управления, реализующего автоматическую регулировку работы насоса. Контроллер соединён с модулями дискретного и аналогового ввода/вывода, к которым подключаются сигналы от датчиков давления, уровня, температуры и расхода. Вся сигнальная часть подключена через промежуточные реле и клеммы Phoenix Contact с маркировкой и индивидуальной защитой предохранителями формата 5×20 мм.

Электропитание устройства обеспечивается от источника постоянного тока ABL51A24100 с номиналом 24 В и источника бесперебойного питания ABL8BBU24200 с энергоаккумулятором ABL8BPK24A07. Для защиты схем питания и сигнальных цепей применены автоматические выключатели с характеристиками С на токи от 2 до 10 А. Внутреннее освещение реализовано посредством компактной лампы 11 Вт с питанием 220 В.

Для организации подключения внешних устройств в шкафу установлены два управляемых Ethernet-коммутатора Phoenix Contact FL SWITCH 2008, обеспечивающих связь между контроллером, частотным преобразователем и удалёнными модулями. Вся коммутация организована на релейной базе с использованием 224 промежуточных реле, установленных на адаптерах с быстросъёмными разъёмами, что обеспечивает надёжность и лёгкость замены.

Кабельная разводка выполнена с применением пронумерованных кабельных каналов, спиральной ленты, гильз для оконцевания жил и соответствующей маркировки. На двери шкафа предусмотрена установка сигнальной арматуры, отражающей состояние питания. Внутри также размещён карман формата А4 для эксплуатационной документации. Физическая компоновка шкафа разработана в среде AutoCAD с соблюдением эргономических и электробезопасных требований (рисунок 3.15). Также выполнена сборка шкафа в реальном исполнении, что подтверждает соответствие разработанной конструкции рабочим условиям и требованиям надёжности (рисунок 3.16). Данный шкаф используется совместно с отдельным шкафом управления частотным преобразователем, с которым осуществляется обмен данными по промышленному протоколу.

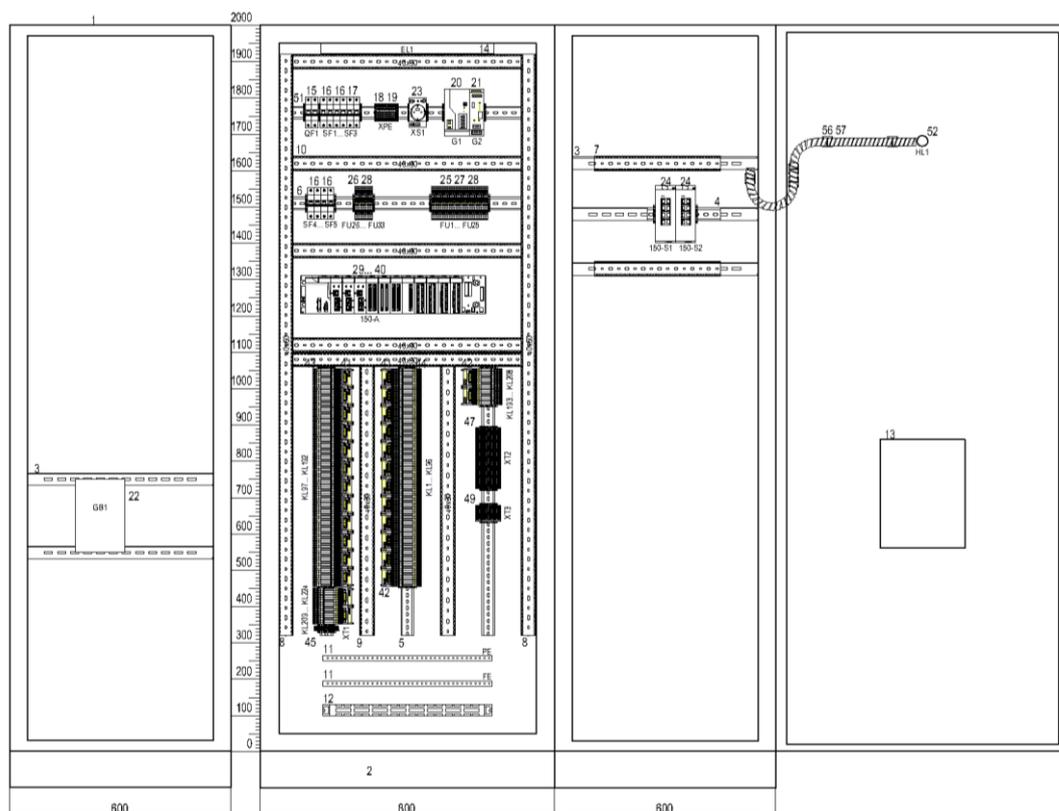


Рисунок 3.15 – Вид на внутренние плоскости шкафа автоматизации

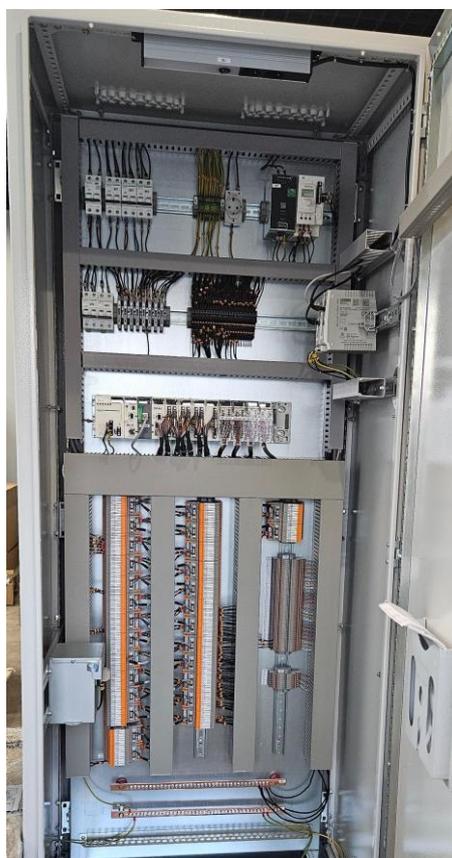


Рисунок 3.16 – Шкаф автоматизации в собранном виде

Шкаф управления предназначен для размещения оборудования, обеспечивающего регулирование частоты вращения электродвигателя насоса в составе насосной станции оборотного водоснабжения. Он выполнен в металлическом корпусе размером 1000×600×300 мм со степенью защиты IP54, что гарантирует надёжную эксплуатацию в условиях повышенной запылённости и влажности, характерных для промышленных объектов.

Внутреннее пространство шкафа организовано с использованием монтажной платы, DIN-реек и кабельных каналов, что обеспечивает удобство установки и обслуживания оборудования, надёжную фиксацию и упорядоченное размещение компонентов. Все элементы смонтированы с соблюдением требований электробезопасности и эргономики.

Основу шкафа составляет преобразователь частоты Schneider Electric ATV630D22N4 (220 кВт, 380 В, 3Ф) из линейки Altivar Process ATV630, который предназначен для управления высокомоощным насосом, эксплуатируемым в тяжёлом технологическом режиме. Частотник поддерживает плавный пуск и останов двигателя, контроль перегрузки, регулирование скорости, а также адаптивные алгоритмы управления для повышения энергоэффективности. Для подключения к промышленной сети Profibus DP используется коммуникационная карта VW3A3607, обеспечивающая интеграцию в систему верхнего уровня. Выносной графический терминал, обеспечивающий локальный мониторинг параметров, размещён на дверце шкафа с использованием комплекта VW3A1112, обеспечивающего степень защиты IP65.

Для защиты силовых цепей установлен трёхполюсный автоматический выключатель A9F74350 номиналом 50 А, с характеристикой отключения C. Цепи управления дополнительно защищены плавкими предохранителями формата 5×20 мм, установленных в держателях. Передняя панель оснащена сигнальными лампами (красная, зелёная, жёлтая) для визуального отображения текущего состояния системы. Также размещены кнопки управления: «Пуск», «Стоп», «Аварийный останов» и трёхпозиционный переключатель для выбора режима управления (местное/дистанционное/автоматическое). Управляющие сигналы коммутационно передаются через промежуточные реле RXM4GB1BD, обеспечивающие гальваническую развязку и надёжную коммутацию входных цепей.

Проводка внутри шкафа выполнена с использованием кабельных каналов размером 40×40 мм, при этом формирование жгутов осуществляется с помощью спиральной ленты, обеспечивающей аккуратную и компактную укладку проводников. Для герметичного ввода внешних кабелей используются металлические сальники с резьбой M20×1.5, обеспечивающие надёжную защиту от проникновения влаги и пыли.

Проектная документация шкафа выполнена в среде AutoCAD и представлена на рисунке 3.17. Сборка шкафа выполнена в реальном исполнении в соответствии с разработанной схемой и требованиями стандарта, что подтверждается фотографией собранного шкафа (рисунок 3.18). Конструкция

успешно прошла проверку на соответствие функциональным требованиям, надёжность и удобство в эксплуатации.

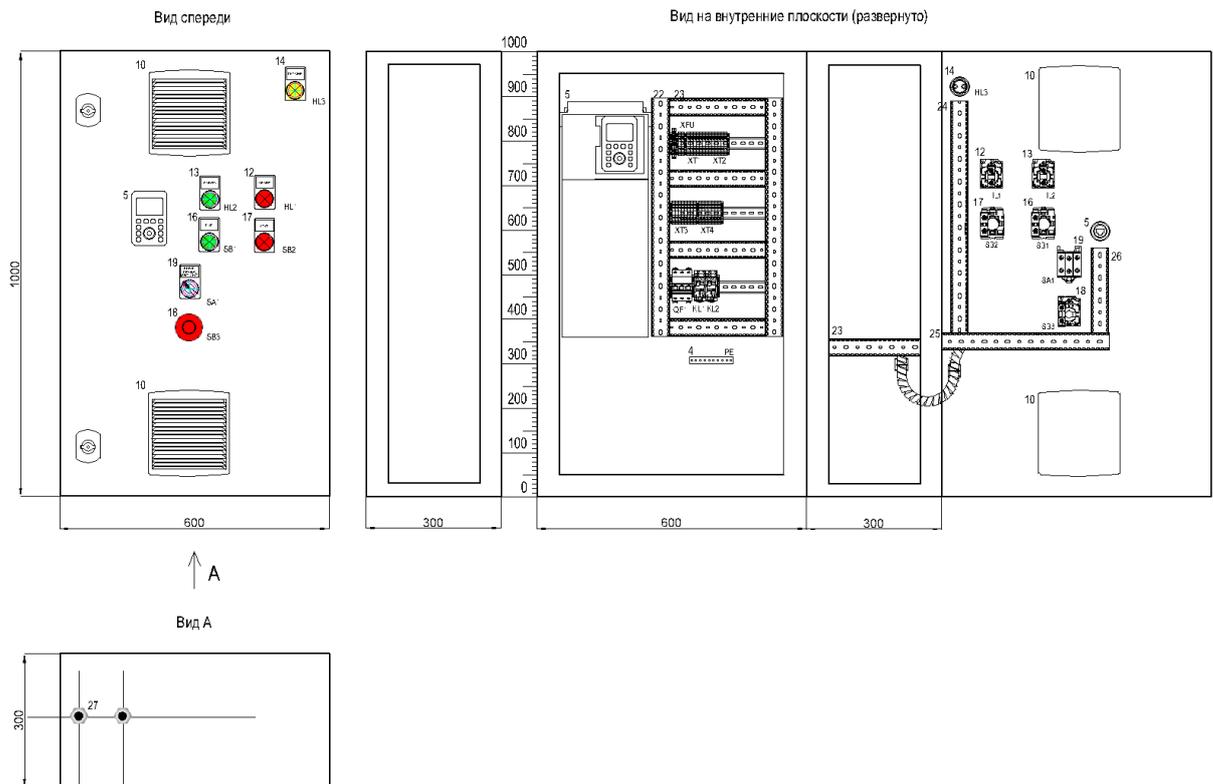


Рисунок 3.17 – Вид на внутренние плоскости шкафа управления



Рисунок 3.18 – Шкаф управления в собранном виде

4 Расчетная часть

4.1 Постановка задачи для синтеза контура управления

На основании технического задания необходимо синтезировать один контур управления для автоматизированной насосной станции обратного водоснабжения. Целью является стабилизация давления на выходе насосной установки в соответствии с заданным значением.

– контур автоматического регулирования давлением в системе управления насосной станцией изображен на рисунке 4.1.

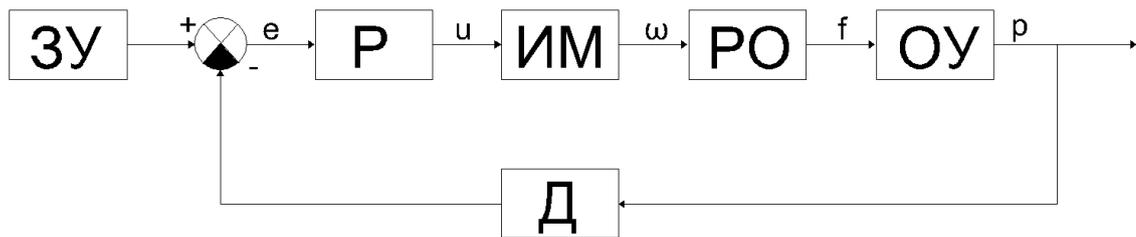


Рисунок 4.1 – Функциональная схема контура автоматического регулирования давления в системе управления насосной станцией

На рисунке 4.1

- ЗУ – задающее устройство;
- Р – регулятор;
- ИМ – электродвигатель;
- ОУ – насос;
- p – выходной регулируемый параметр (давление);
- e – ошибка, возникающая при отклонении давления от заданного значения;
- u – управляющее напряжение на входе электродвигателя;
- f – частота вращения электродвигателя;
- p – давление на выходе насосной станции.



Рисунок 4.2 – Функциональная схема контура управления

На основе представленных контуров управления были сформулированы следующие постановки задач:

Постановка задачи №1. С целью достижения желаемых оценок качества на основе математической модели замкнутой системы регулирования необходимо синтезировать типовой регулятор

Постановка задачи №2. На основе функциональной схемы необходимо синтезировать систему программного управления насосной станцией оборотного водоснабжения.

4.2 Настройка типовых регуляторов на основе эмперических методов

Для описания динамики системы автоматического регулирования были выбраны типовые передаточные функции, отражающие физические характеристики и функциональное назначение каждого элемента. Частотно-регулируемый привод (ЧРП), выполняющий функции регулирующего органа, представлен аппроксимированной инерционной моделью первого порядка, что позволяет учесть задержку в формировании выходного сигнала при изменении управляющего воздействия. Асинхронный электродвигатель, выполняющий роль исполнительного механизма, описан как колебательное звено второго порядка с характерными параметрами инерционности и демпфирования. Объект управления — система перекачки жидкости — представлен передаточной функцией третьего порядка, полученной на основе идентификации по переходной характеристике. Использование моделей разного порядка для отдельных компонентов позволяет более точно отразить динамическое поведение всей системы при сохранении аналитической простоты, необходимой для последующего синтеза регулятора и проведения устойчивостного анализа.

Передаточная функция регулирующего органа (4.1).

$$G(s) = \frac{1}{0.1s + 1}. \quad (4.1)$$

Передаточная функция исполнительного механизма (асинхронный двигатель) (4.2).

$$G(s) = \frac{1}{s^2 + 3s + 4}. \quad (4.2)$$

Передаточная функция объекта управления (4.3)

$$G(s) = \frac{2.459}{4.475s^3 + 8.532s^2 + 4.405s + 1}. \quad (4.3)$$

Полная передаточная функция разомкнутой системы определяется последовательным соединением передаточных функций всех звеньев: регулирующего органа (ЧРП), исполнительного механизма (асинхронного двигателя) и объекта управления (системы перекачки жидкости). Такое последовательное соединение позволяет получить обобщённую математическую модель, описывающую поведение всей системы в разомкнутом контуре. Эта

модель необходима для проведения анализа устойчивости, расчёта показателей качества регулирования, а также для синтеза оптимального регулятора.

$$G(s) = G_{чрп}(s) \cdot G_{дв}(s) \cdot G_{оу}(s). \quad (4.4)$$

$$G(s) = \frac{2.459}{0.0044s^6 + 0.12s^5 + 1.09s^4 + 4.85s^3 + 9.890s^2 + 4.60s + 1}. \quad (4.5)$$

$$T(s) = \frac{2.459}{0.0044s^6 + 0.12s^5 + 1.09s^4 + 4.85s^3 + 9.890s^2 + 4.60s + 3.459}. \quad (4.5)$$

где $G(s)$ – передаточная функция разомкнутой системы;

$T(s)$ – передаточная функция замкнутой системы;

На рисунке 4.3 показана переходная характеристика замкнутой системы (4.5)

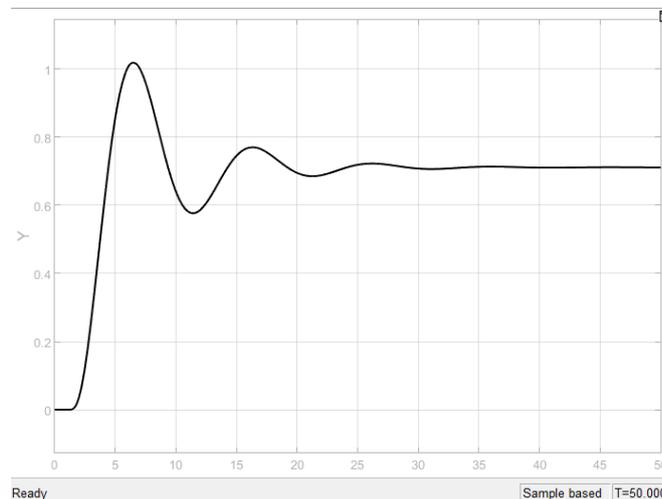


Рисунок 4.3 – Переходная характеристика

Следуя передаточной функции (4.5), была построена переходная характеристика замкнутой системы, представленная на рисунке 4.3. Анализ полученного графика показывает, что система является устойчивой: при единичном скачкообразном воздействии выходная величина стремится к установившемуся значению без бесконечного роста или расхождения. Наличие колебаний в начале отклика свидетельствует о наличии динамических звеньев второго и третьего порядка, однако в дальнейшем система стабилизируется, что подтверждает её способность к самовосстановлению после возмущений и корректной работе в рамках заданной модели.

Сделаем прямые оценки качества (таблица 4.4) для замкнутой системы (4.5).

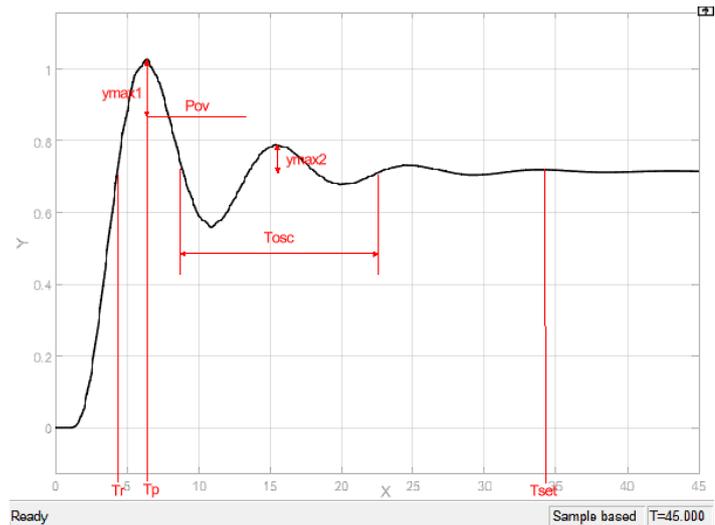


Рисунок 4.4 – Прямые оценки качества переходного процесса замкнутой системы

Получив значения прямых оценок качества переходных процессов замкнутой системы, сделаем анализ оценок качества и сравним из (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Анализ оценок качества

№	Оценка качества	Обозначение	Значение
1	Время регулирования	T_{set}	31.9с
2	Перерегулирование	Pov	50%
3	Число колебаний	M	3
4	Колебательность	μ	1.3
5	Частота колебаний	T_{osc} ω_{osc}	$T_{osc}=8.8$ $\omega_{osc}=0.7$
6	Время нарастания	T_r	$T_r=3$
7	Установившаяся ошибка	e_{ss}	$e_{ss}=0.4$

В данной системе перерегулирование достигает 50%. Так же имеется установившаяся ошибка. Синтезируя регулятор необходимо уменьшить перерегулирование и установившуюся ошибку

К эмперическим методам относится Циглер–Никольс №2 (ZN2), для переходных процессов замкнутых систем (4.5).

Алгоритм синтеза типовых регуляторов на основе ZN2.

Шаг 1. Добавим в схему P–регулятор с неизвестным параметром K_{cr} :

Шаг 2. Получим передаточную функция замкнутой системы:

$$T(s) = \frac{2.459K_{cr}}{0.004s^6 + 0.12s^5 + 1.09s^4 + 4.8s^3 + 9.89s^2 + 4.6s + 1 + 2.459K_{cr}}. \quad (4.5)$$

Шаг 3. Определим K_{cr} в соответствии с критерием Гурвица:

```

syms K
% Коэффициенты характеристического многочлена замкнутой системы
a6 = 0.004475;
a5 = 0.122202;
a4 = 1.095065;
a3 = 4.855807;
a2 = 9.890395;
a1 = 4.60541;
a0 = 1 + 2.459*K;
% Вектор коэффициентов
a = [a6 a5 a4 a3 a2 a1 a0];
% Формирование матрицы Гурвица для 6-го порядка
H = sum(zeros(6)); % 6x6 матрица
% Заполняем первую строку нечетными коэффициентами
H(1,:) = [a5 a3 a1 0 0 0];
H(2,:) = [a6 a4 a2 a0 0 0];
H(3,:) = [0 a5 a3 a1 0 0];
H(4,:) = [0 a6 a4 a2 a0 0];
H(5,:) = [0 0 a5 a3 a1 0];
H(6,:) = [0 0 a6 a4 a2 a0];
% Вычисление определителей главных миноров
D1 = H(1,1);
D2 = det(H(1:2,1:2));
D3 = det(H(1:3,1:3));
D4 = det(H(1:4,1:4));
D5 = det(H(1:5,1:5));
D6 = det(H(1:6,1:6));
% Решение уравнения для D6 = 0 – граничный случай устойчивости
Kcr = solve(D6 == 0, K, 'Real', true);
Kcr = double(Kcr); % Численно
disp('Критическое значение K (Kcr):')
disp(Kcr)

```

Рисунок 4.5 – код в MATLAB для нахождения K_{cr}

```

>> untitled
Критическое значение K (Kcr):
    -0.4067
   -407.6558
    3.0845

```

Рисунок 4.6 – Значения K_{cr}

По критерию Гурвица система теряет устойчивость, когда определитель одного из миноров равен нулю. Нас интересует наименьшее положительное значение усиления, при котором это происходит – это и есть критическое значение. $K_{cr} = 3.0845$

Найденный предельный коэффициент усиления соответствует колебательной границе устойчивости

Шаг 4. Построить схему моделирования П–регулятора (рисунок 4.7).

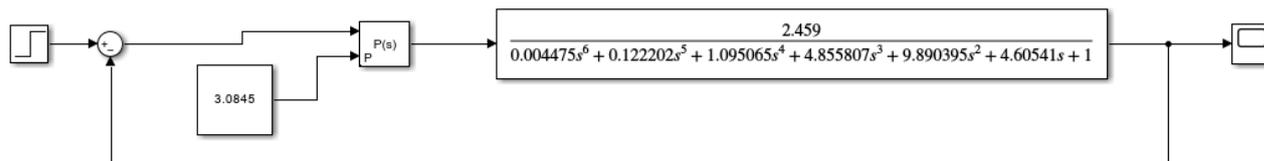


Рисунок 4.7 – Схема моделирования П-регулятора

Шаг 5. Находим критический период по переходному процессу при $K_{cr} = 3.0845$ (рисунок 4.8).

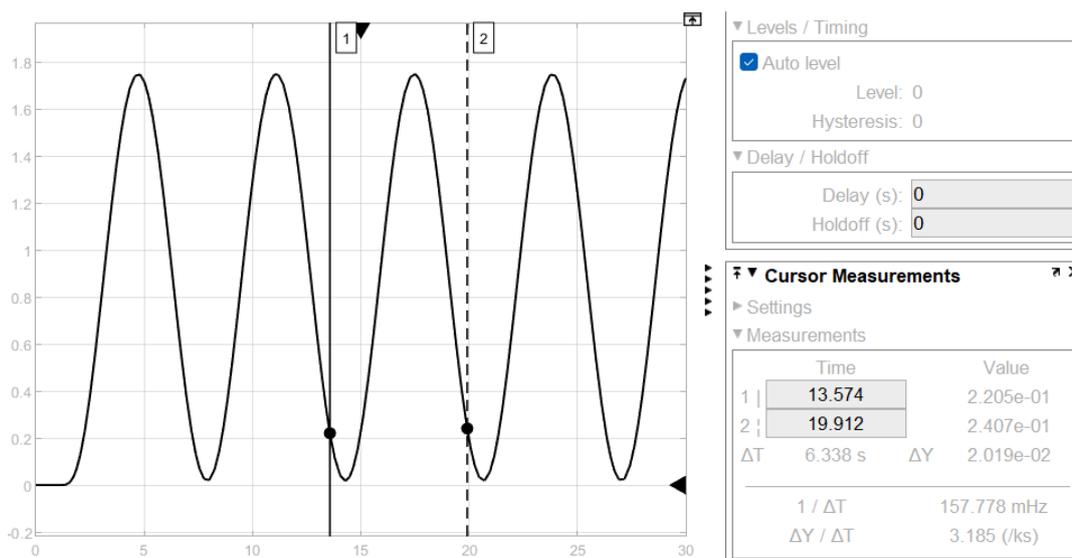


Рисунок 4.8 – Переходной процесс при $K_{cr} = 3.084$

Получив критический коэффициент и период, находим параметры типовых регуляторов (таблица 4.3)

Таблица 4.3 – Параметры типовых регуляторов

Controller	K_p	$T_i = \frac{1}{I}$	T_D
P	$0.5 \cdot K_{cr} = 1.542$	–	–
PI	$0.45 \cdot K_{cr} = 1.3878$	$\frac{P_{cr}}{1.2} = 5.2816$	–
PID	$0.6 \cdot K_{cr} = 1.8504$	$\frac{P_{cr}}{2} = 3.169$	$\frac{P_{cr}}{8} = 0.79225$

Промоделируем систему с полученными параметрами регуляторов (рисунок 4.9) [4].

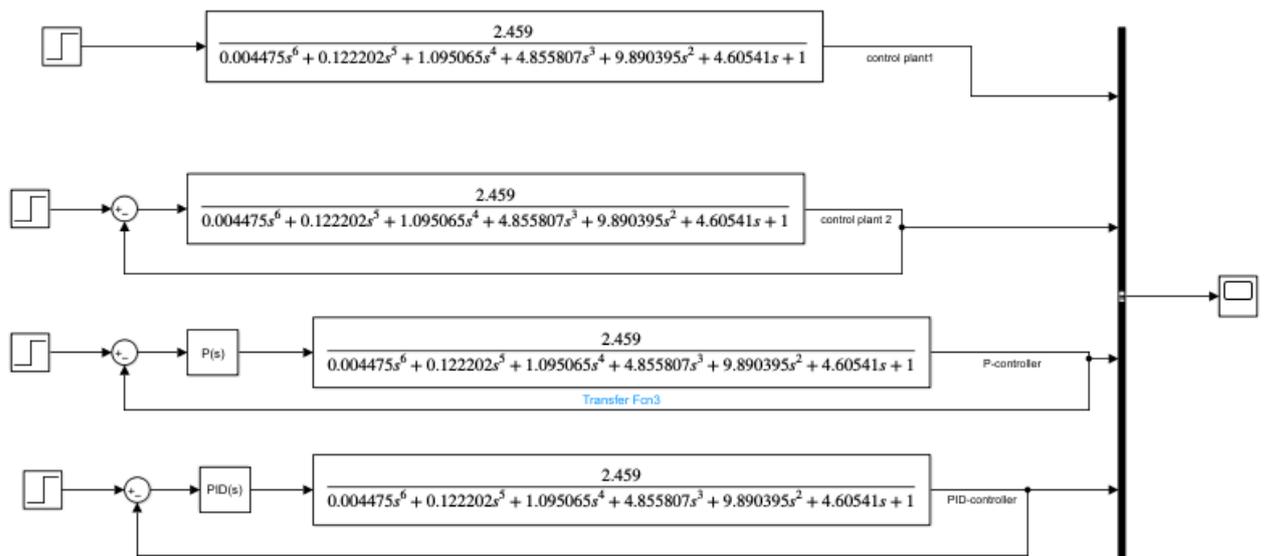


Рисунок 4.9 – Схема разомкнутой и замкнутой системы с разными типами регулятора

После моделирования систем с типовыми регуляторами получим результат переходных процессов (рисунок 4.10) [5].

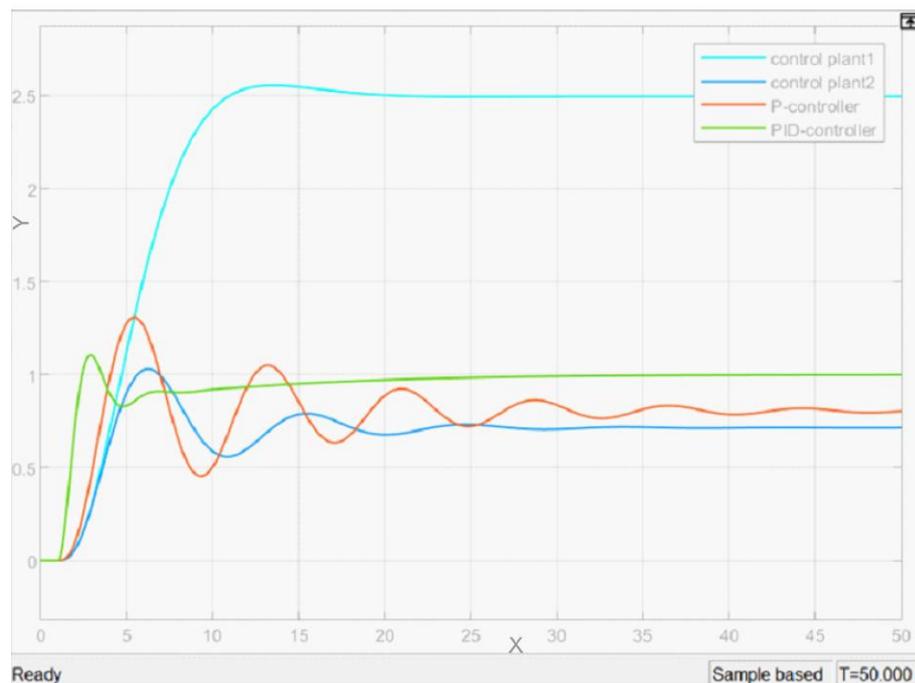


Рисунок 4.10 – Переходные процессы ЗСАР с типовыми регуляторами

Получив значения прямых оценок качества с переходных процессов замкнутой системы, системы с PID – регулятором, сделаем анализ оценок качества и сравним их (таблица 4.4) [6].

Таблица 4.4 – Анализ оценок качества

№	Оценка качества	Обозначение	Замкнутая система без регулятора	Замкнутая система с PID–регулятором
1	Время регулирования	Tset	31.9с	20с
2	Перерегулирование	Pov	50%	10%
3	Число колебаний	M	3	2
4	Колебательность	μ	1.3	1.3
5	Частота колебаний	Tosc ω_{osc}	8.8 0.7	6.2 1.01
6	Время нарастания	Tr	3	2.5

По методу Циглера–Никольса №2 PID–регулятор выдает самые желаемы результаты, время регулирования улучшилось, перерегулирование уменьшилось до 10% , уменьшилось время нарастания и практически отсутствует колебательность.

4.3 Настройка типовых регуляторов на основе метода Кесслера (Тсумм)

Одним из методов аналитической настройки параметров регулятора является метод амплитудного оптимума, также известный как метод Кесслера. Этот метод основан на обеспечении максимальной полосы пропускания системы управления и используется в случаях, когда объект управления может быть аппроксимирован как система с тремя инерционными звеньями.

Передачная функция разомкнутой системы управления насосной станцией имеет вид (4.1).

Для применения метода амплитудного оптимума данную функцию аппроксимируют в виде произведения трёх последовательных инерционных звеньев:

$$G(s) = \frac{K}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)(T_3s + 1)}. \quad (4.5)$$

где K – коэффициент передачи;

T_1, T_2, T_3 – постоянные времени, упорядоченные по величине.

Для аппроксимации динамики объекта управления и дальнейшей настройки регулятора методом амплитудного оптимума была выполнена оценка полюсов разомкнутой передаточной функции (4.1). Полюса системы были найдены с помощью функции `damp()` в среде MATLAB, которая позволяет определить значения собственных частот и коэффициентов затухания полюсов системы (рисунок 4.11).

```

>> damp(G)

          Pole

-2.71e-01 + 2.47e-01i
-2.71e-01 - 2.47e-01i
-4.40e+00
-3.48e+00 + 3.52e+00i
-3.48e+00 - 3.52e+00i
-1.54e+01

```

Рисунок 4.11 – Результаты функции damp() для передаточной функции объекта управления в MATLAB

Метод Кесслера работает корректно, когда объект представим в виде произведения трёх инерционных звеньев. То есть, нам нужно выбрать три наиболее влияющих полюса, которые определяют основную динамику системы. Обычно это самые «медленные» (то есть ближе к нулю по модулю), потому что они влияют на переходный процесс.

Полюса системы были использованы для аппроксимации исходной передаточной функции (4.5) в виде произведения трех инерционных звеньев.

Для вещественного полюса постоянная времени вычисляется как обратная величина:

$$T_3 = \frac{1}{p_3}, \quad (4.5)$$

$$T_3 = \frac{1}{4.40} \approx 0.227. \quad (4.6)$$

Для комплексно–сопряженной пары аппроксимация инерционным звеном происходит через модуль и реальную часть полюса:

$$T_{1,2} = \frac{1}{|Re(p_{1,2})|}, \quad (4.7)$$

$$T_{1,2} = \frac{1}{0.367} \approx 2.724. \quad (4.8)$$

С учетом коэффициента передачи $K=2.459K$ исходная передаточная функция (4.5) была аппроксимирована в виде произведения трех инерционных звеньев

$$G(s) = \frac{K}{(2.724s + 1)(2.724s + 1)(0.227s + 1)}. \quad (4.9)$$

Для настройки ПИ–регулятора с передаточной функцией:

$$G_{pi}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right). \quad (4.10)$$

Параметры рассчитываются по формулам:

$$K_p = \frac{T_2 + T_3}{K \cdot T_1}, \quad (4.11)$$

$$K_p = \frac{2.724 + 0.227}{2.459 \cdot 2.724}. \quad (4.12)$$

$$T_i = T_2 + T_3, \quad (4.13)$$

$$T_i = 2.724 + 0.227 \approx 2.951. \quad (4.14)$$

Промоделируем систему с полученными параметрами регуляторов (рисунок 4.12) [4].

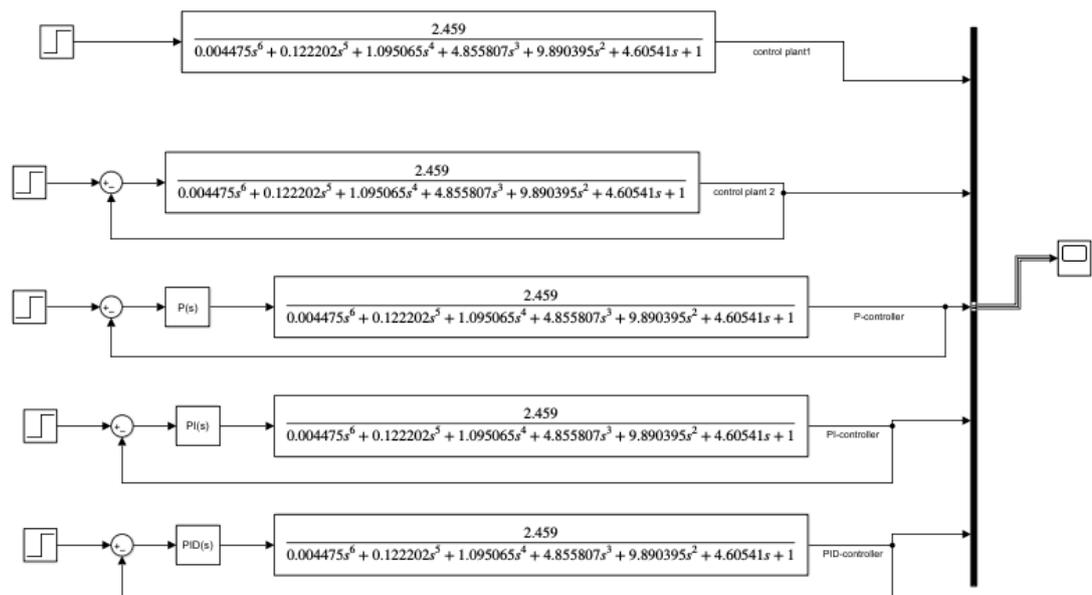


Рисунок 4.12 – Схема разомкнутой и замкнутой системы с разными типами регулятора

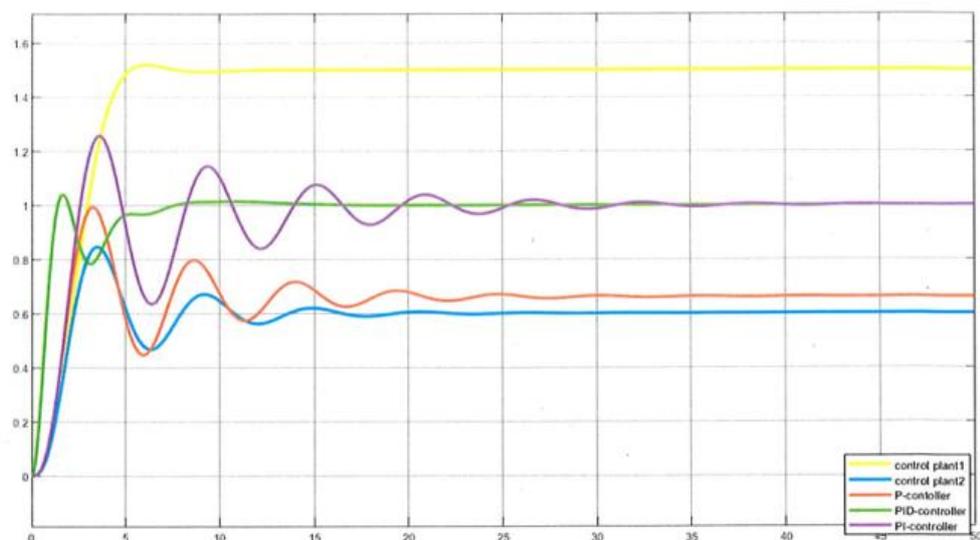


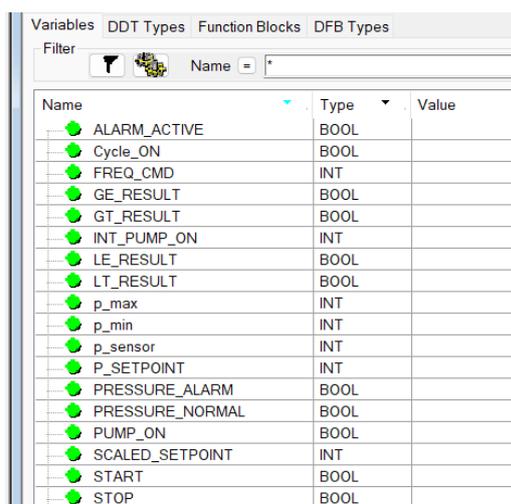
Рисунок 4.13 – Переходные процессы ЗСАР с типовыми регуляторами

В результате проведённого моделирования различных типов регуляторов с использованием различных методов настройки было установлено, что наилучшие динамические характеристики системы автоматического регулирования насосной станции оборотного водоснабжения достигаются при использовании ПИД-регулятора, настроенного по первому методу Зиглера–Николса (ZN1).

5 Разработка программы управления

Для реализации логики управления насосной станцией применена среда разработки Control Expert, которая позволяет создавать, отлаживать и тестировать программы управления на базе ПЛК. Управление осуществляется по одному замкнутому контуру с обратной связью, где регулируемым параметром является давление воды, а управляющим воздействием – частота вращения насоса, регулируемая с помощью частотного преобразователя.

В качестве исходной информации использована таблица переменных (см. рисунок 5.1), где определены основные входные и выходные сигналы системы



Name	Type	Value
ALARM_ACTIVE	BOOL	
Cycle_ON	BOOL	
FREQ_CMD	INT	
GE_RESULT	BOOL	
GT_RESULT	BOOL	
INT_PUMP_ON	INT	
LE_RESULT	BOOL	
LT_RESULT	BOOL	
p_max	INT	
p_min	INT	
p_sensor	INT	
P_SETPOINT	INT	
PRESSURE_ALARM	BOOL	
PRESSURE_NORMAL	BOOL	
PUMP_ON	BOOL	
SCALED_SETPOINT	INT	
START	BOOL	
STOP	BOOL	

Рисунок 5.1 – Таблица переменных проекта управления насосной станцией в среде Control Expert

Далее программа реализована в виде серии сетей (network), каждая из которых отвечает за отдельный логический блок–системы.

Network 1 – реализация ручного управления насосом. Пользователь может вручную запускать и останавливать насос с помощью кнопок START и STOP. Результат фиксируется переменной Cycle_ON.

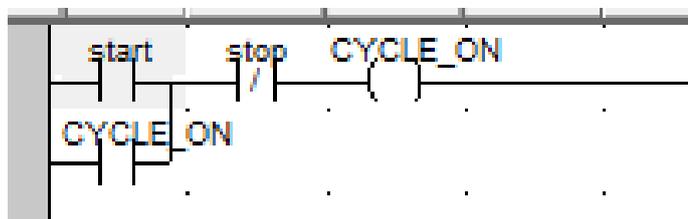


Рисунок 5.2 – Реализация ручного запуска и останова насоса

Network 2 – определение, находится ли давление в пределах нормы. Если P_sensor находится между P_min и P_max, то активируется переменная PRESSURE_NORMAL

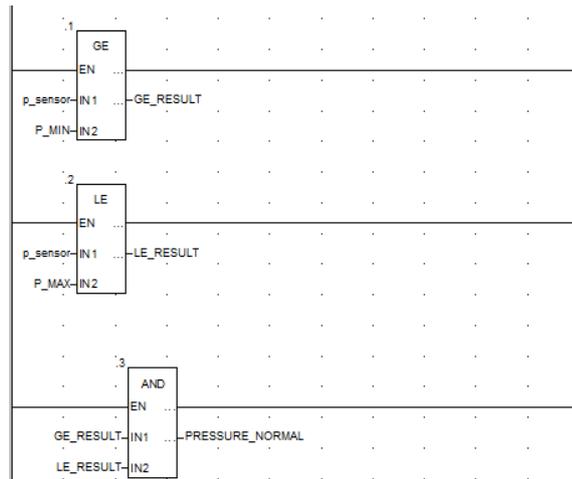


Рисунок 5.3 – Определение нормального диапазона давления

Network 3 – автоматическое включение насоса. Если цикл активен (Cycle_ON = TRUE) и давление в норме (PRESSURE_NORMAL = TRUE), активируется сигнал PUMP_ON, который включает электродвигатель насоса.

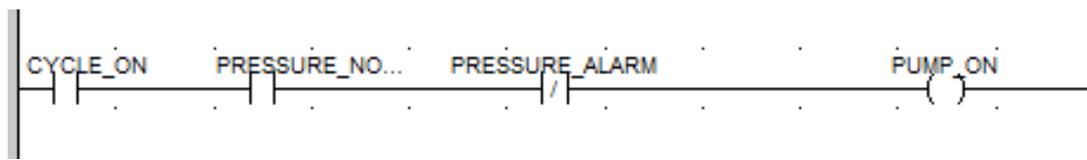


Рисунок 5.4 – Логика автоматического включения насоса

Network 4 – обнаружение аварийной ситуации. Если давление выходит за пределы ($P_sensor < P_min$ или $P_sensor > P_max$), то активируется ALARM_ACTIVE, сигнализируя о нарушении режима.

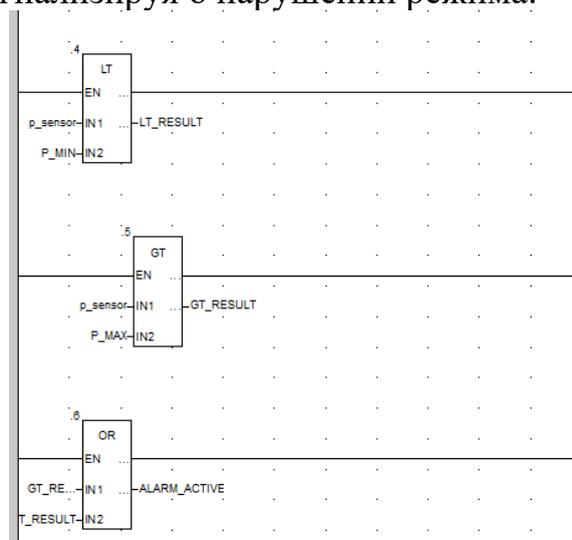


Рисунок 5.5 – Определение аварийной ситуации

Network 5 – формирование команды на частотный преобразователь. Если насос включен (PUMP_ON = TRUE), то значение FREQ_CMD рассчитывается как $P_SETPOINT * 10$ для корректного управления частотой (при этом учитывается масштабирование). Если насос выключен, FREQ_CMD = 0.

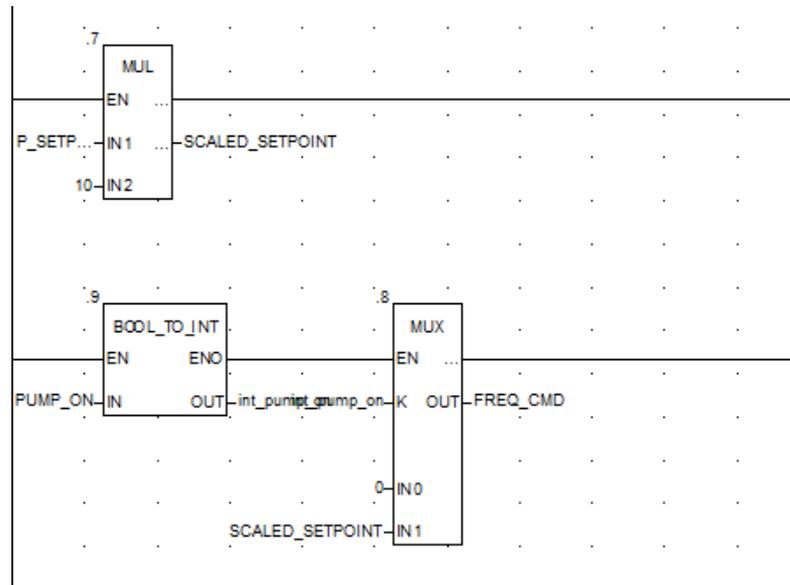


Рисунок 5.6 – Выработка управляющего сигнала частоты

Network 6 – сброс аварии. При нажатии кнопки сброса аварии, переменная ALARM_ACTIVE обнуляется.

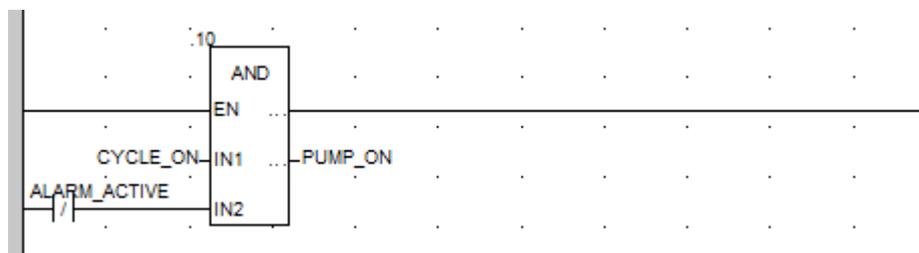


Рисунок 5.7 – Реализация сброса аварийной ситуации

После написания программы были проведены тестовые испытания, включающие несколько сценариев:

На первом этапе испытаний была проверена работа системы в штатном режиме. С помощью таблицы анимации вручную были установлены следующие значения входных переменных: Cycle_ON = TRUE, Alarm_active = FALSE, Pressure_OK = TRUE, Pump_ON = TRUE. Параметр заданного давления P_Setpoint был установлен равным 5, что в блоке умножения MUL_INT преобразовывалось в значение 50. При активном сигнале Pump_ON через мультиплексор MUX_INT формировалась команда управления частотой FREQ_CMD = 50. На выходе логической схемы устанавливался сигнал Pressure_normal = TRUE, подтверждающий соблюдение допустимого диапазона

давления. Таким образом, была подтверждена корректная работа алгоритма в условиях нормального производственного цикла. (рисунок 5.8).

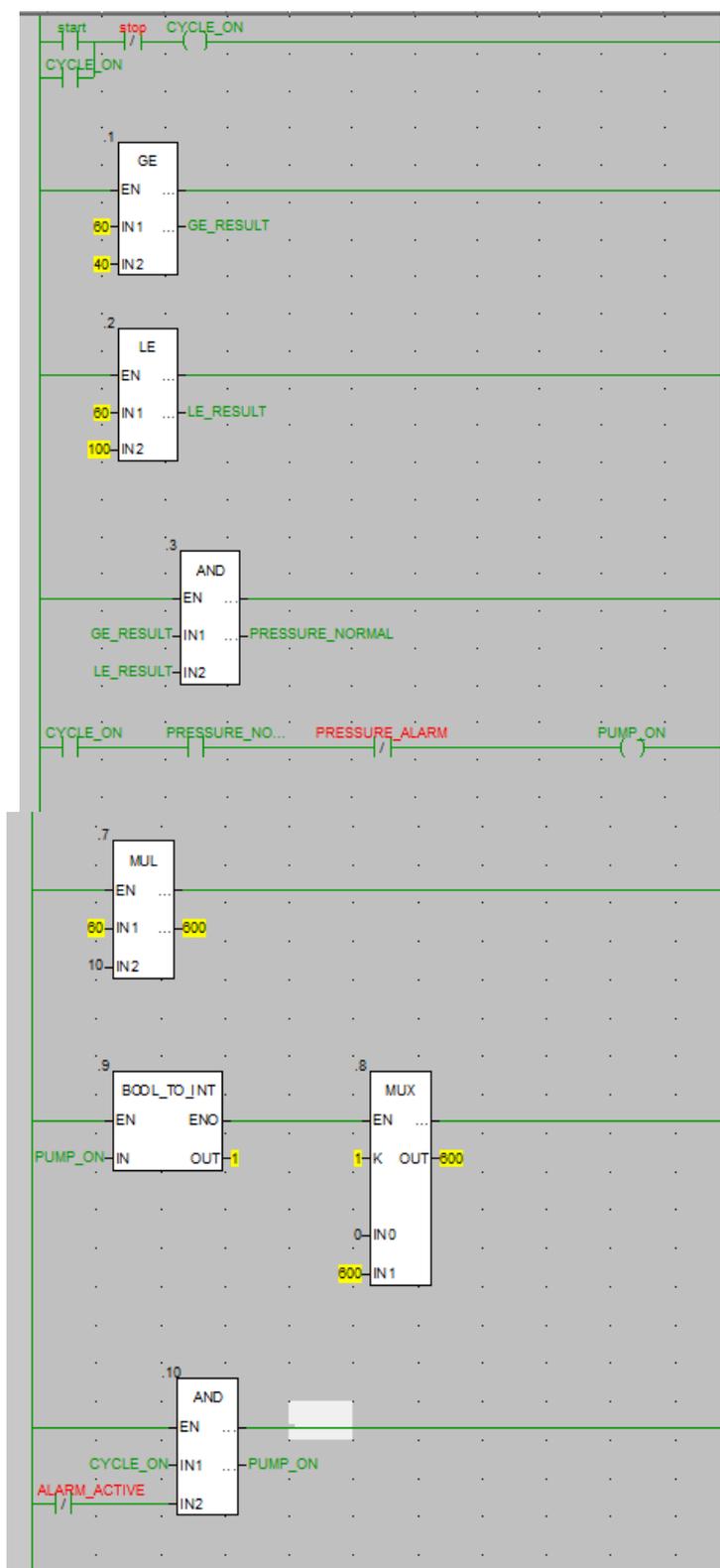


Рисунок 5.8 – Логическая структура управляющей программы (Networks 1–6)

Name	Value	Type	Comment
Cycle_ON	1	BOOL	
p_sensor	60	INT	
p_min	40	INT	
GE_RESULT	1	BOOL	
p_max	100	INT	
LE_RESULT	1	BOOL	
PRESSURE_NORMAL	1	BOOL	
PRESSURE_ALARM	0	BOOL	
PUMP_ON	1	BOOL	
LT_RESULT	0	BOOL	
GT_RESULT	0	BOOL	
ALARM_ACTIVE	0	BOOL	
P_SETPOINT	60	INT	
SCALED_SETPOINT	600	INT	
INT_PUMP_ON	1	INT	
FREQ_CMD	600	INT	
START	1	BOOL	
STOP	0	BOOL	

Рисунок 5.9 – Таблица символов

Имитирование аварийной ситуации – изменение значения P_sensor за пределы допустимого диапазона приводит к активации сигнала ALARM_ACTIVE, что инициирует переход системы в аварийный режим.

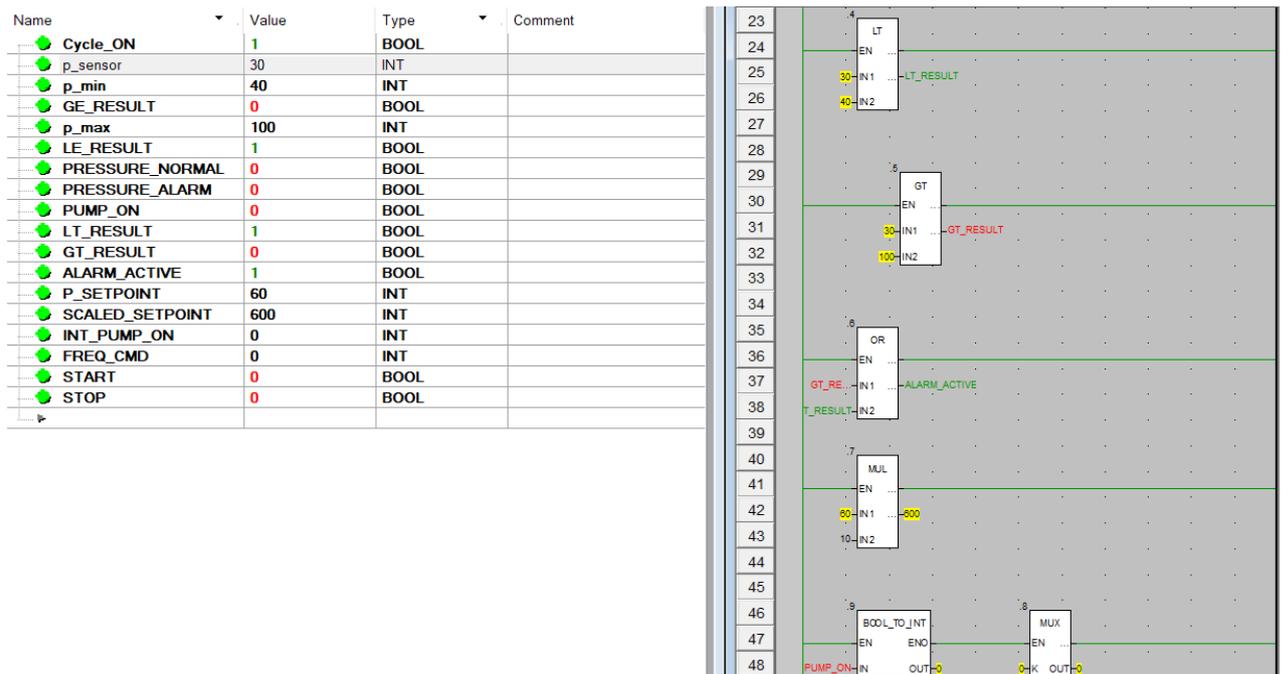


Рисунок 5.10 – Таблица символов и логика аварийного отключения.

Третий сценарий моделирует ситуацию, при которой фактическое значение давления превышает предельно допустимое значение p_max. В результате происходит автоматическое отключение насоса (Pump_ON = FALSE), сброс управляющей команды (FREQ_CMD = 0), деактивация параметра PRESSURE_NORMAL, а также включение аварийной сигнализации. После возвращения давления в допустимый диапазон и устранения аварийного

состояния, возможен повторный запуск насоса вручную или автоматически (рисунок 5.11).

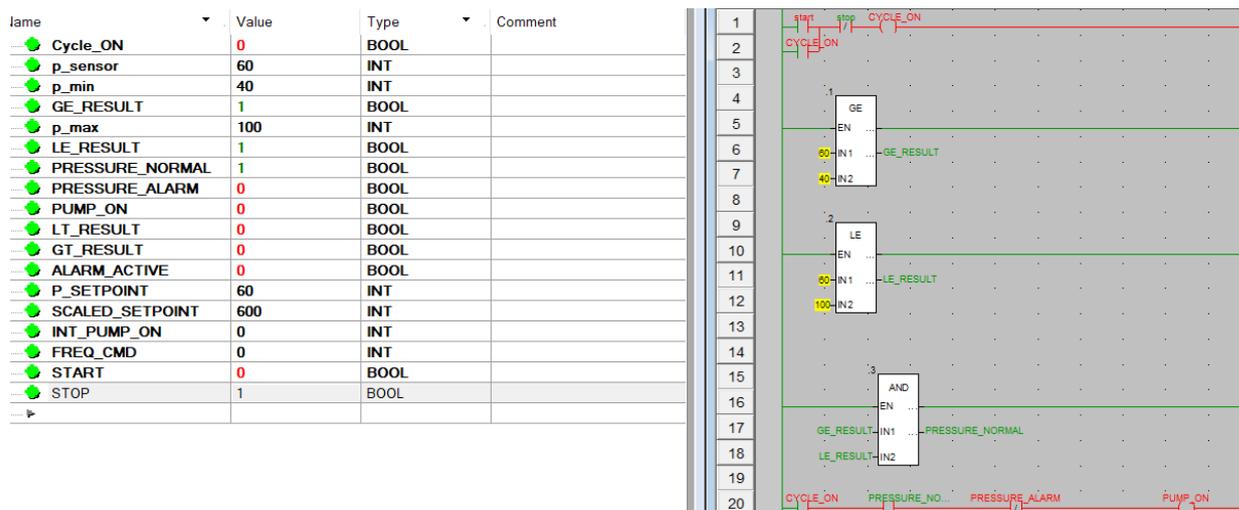


Рисунок 5.11 – Алгоритм реакции на превышение давления

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполнения дипломного проекта была разработана и исследована автоматизированная система регулирования насосной станции обратного водоснабжения, функционирующей на основе шламowego насоса большой мощности. Использование частотного преобразователя в системе управления позволило обеспечить устойчивую и эффективную работу оборудования при переменных эксплуатационных условиях, а также снизить общее энергопотребление и повысить надёжность технологического процесса.

В процессе работы был детально проанализирован технологический процесс насосной станции и её роль в структуре обратного водоснабжения горно-обогажительного производства. Разработана функциональная схема автоматизации, отражающая взаимодействие между контроллером, датчиками и частотным преобразователем. Сформирована математическая модель объекта регулирования, на основе которой выполнены анализ устойчивости, расчёт переходных процессов и оценка качества регулирования.

Для настройки системы управления были использованы два подхода: эмпирический метод (ZN1 – первый метод Зиглера – Николса) и частотный метод (метод амплитудного оптимума). По результатам моделирования и анализа переходных процессов было установлено, что наилучшие характеристики системы были достигнуты при настройке регулятора по методу ZN1.

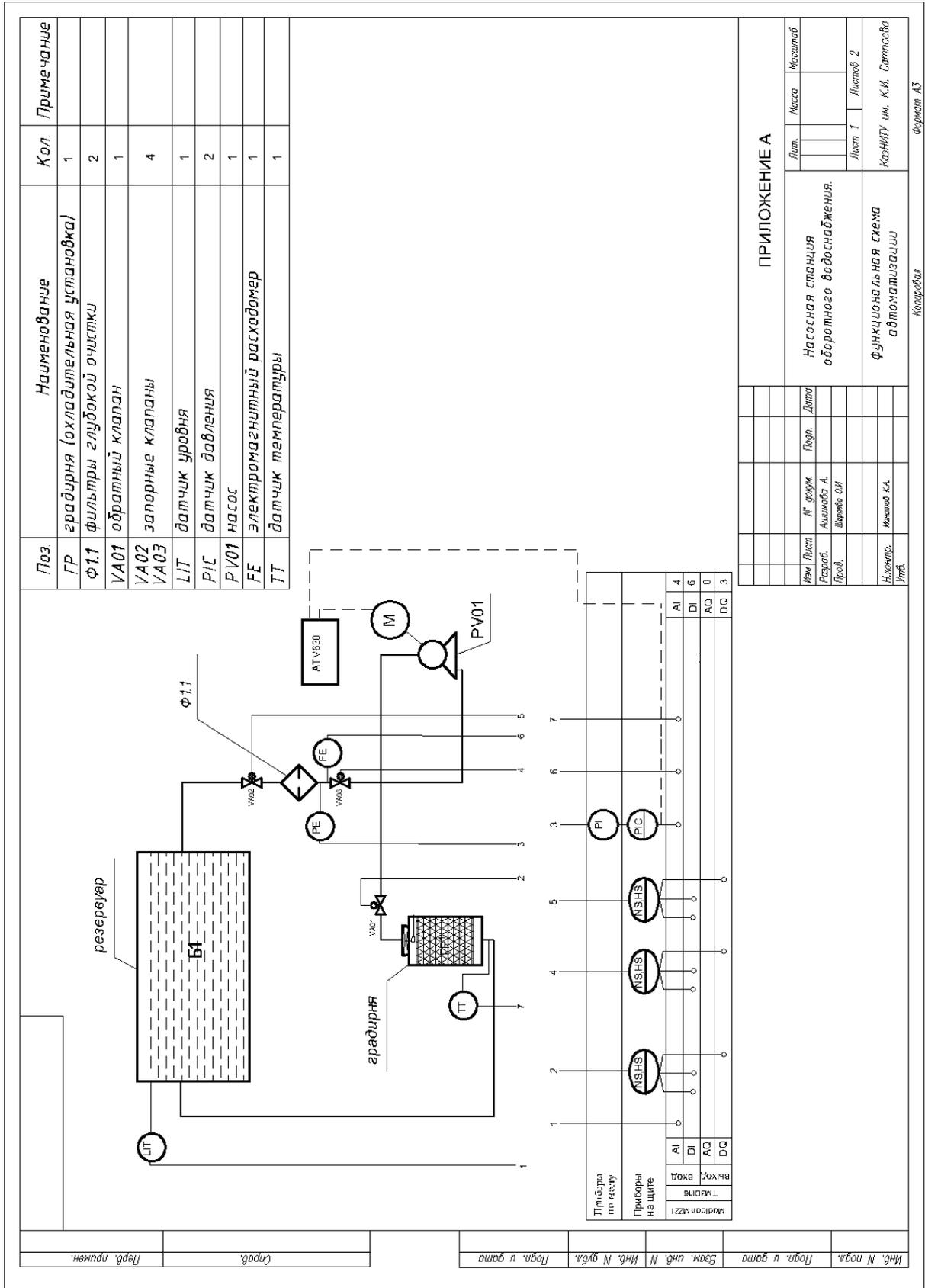
Кроме того, в программной среде Control Expert был разработан алгоритм управления, реализующий полученные настройки и обеспечивающий интеграцию с промышленным контроллером. Это позволило на практике реализовать принципы гибкого и адаптивного регулирования, соответствующие современным требованиям к системам автоматизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд, перераб. и доп – Спб.: Профессия, 2004. – 752 с.
- 2 ГОСТ 21.208–2013. «Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах».
- 3 ГОСТ 21.408–2013. «Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов».
- 4 Кузнецова И.Н. Анализ данных с помощью Matlab. – М.: ДМК Пресс, 2024. – 250 с.
- 5 Романов П.В. Моделирование процессов в Matlab. – Екатеринбург: УрФУ, 2022. – 280 с.
- 6 Денисенко В.В. ПИД–регуляторы: вопросы реализации // Научно–технический журнал «СТА». – Москва, 2007. – №4. – С.86–97.
- 7 Настройка типовых регуляторов по методу Циглера–Никольса: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов / О.С. Вадутов. – Т.: Изд–во Томского политехнического университета, 2014. – 10 с.
- 8 Демидович О. А. Датчики температуры и их применение //Компетентность. – 2014. – №. 4. – С. 52–54.
- 9 Гуляева Д. Р., Киселев А. В. Применение методов Ляпунова для исследования устойчивости систем //Информационные системы и технологии. – 2016. – С. 40–44.
- 10 Водоснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие / О. К. Новикова, А. М. Ратникова ; М–во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун–т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 223 с

Приложение А

Функциональная схема автоматизации



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ашимова Алина Руслановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка и внедрение автоматизированной системы регулирования насосной станции с использованием шкафов управления

Научный руководитель: Ольга Ширяева

Коэффициент Подобия 1: 7.4

Коэффициент Подобия 2: 3.9

Микропробелы: 3

Знаки из других алфавитов: 12

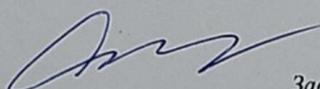
Интервалы: 9

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, являются законными и не являются 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 11.06.25


Заведующий кафедрой

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Ашимова Алина Руслановна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Разработка и внедрение автоматизированной системы регулирования насосной станции с использованием шкафов управления

Научный руководитель: Ольга Ширяева

Коэффициент Подобия 1: 7.4

Коэффициент Подобия 2: 3.9

Микропробелы: 3

Знаки из других алфавитов: 12

Интервалы: 9

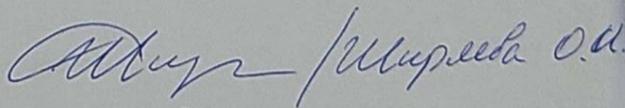
Белые Знаки: 0

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 укрывтия 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

11.06.25


проверяющий эксперт

РЕЦЕНЗИЯ

На дипломный проект

Ашимовой Алины Руслановны

6B07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка и внедрение автоматизированной системы регулирования
насосной станции с использованием шкафов управления

Выполнено:

- а) графическая часть на 1 листах
- б) пояснительная записка на 44 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломный проект посвящён разработке и внедрению автоматизированной системы регулирования насосной станции оборотного водоснабжения на базе шламового насоса большой мощности. Работа отличается актуальностью, поскольку вопросы энергосбережения, повышения надёжности и эффективности управления технологическими процессами в горно-обогатительной промышленности остаются приоритетными в современных условиях.

Проект включает введение, пять разделов, заключение. В первом разделе приведено описание процесса оборотного водоснабжения, рассмотрены его особенности и значение в технологической цепочке предприятия, а также дана характеристика насосной станции как объекта автоматизации. На основе технического задания были спроектированы два шкафа: шкаф автоматизации с промышленным контроллером, отвечающим за сбор и обработку данных от датчиков, и шкаф управления с частотным преобразователем, регулирующим частоту вращения двигателя в соответствии с управляющим сигналом, поступающим от контроллера.

Во втором разделе разработана структурная схема автоматизированной системы управления, определены ключевые точки контроля, обоснован выбор элементов системы, обеспечивающих надёжное функционирование станции. Особое внимание уделено распределению функций между оборудованием, взаимодействию между модулями и общей архитектуре АСУ ТП.

Третий раздел посвящён разработке функциональной схемы автоматизации. Проведён обоснованный выбор аппаратной части системы: частотного преобразователя, контроллера, датчиков, шкафов управления и прочего оборудования, с учётом требований работы насосной станции.

В четвёртом разделе представлена расчётная часть, включающая постановку задачи синтеза системы автоматического регулирования. Выполнена процедура анализа, синтеза САР с настройкой типовых регуляторов с использованием двух подходов - эмпирического метода Зиглера-Николса (ZN1) и метода Кесслера.

Пятый раздел содержит программную реализацию логики управления в среде Control Expert. Разработан алгоритм, включающий автоматический и ручной режимы, блокировку аварийных состояний, формирование управляющего воздействия и реакции на изменение параметров процесса. Представлена структура программы, демонстрирующая практическую применимость разработанной системы.

Дипломный проект выполнен на высоком техническом уровне, демонстрирует уверенное владение автором методами анализа и синтеза систем управления, а также практическими навыками программирования и выбора оборудования для реальных условий эксплуатации.

Замечания:

1. Для повышения эффективности и удобства эксплуатации автоматизированной системы управления целесообразно предусмотреть реализацию SCADA-системы.

Оценка работы

Учитывая вышеизложенное, считаю, что дипломный проект заслуживает оценки «95%» (отлично), а студент Ашимова А. Р. присвоения академической степени бакалавра по специальности 6В07103 – Автоматизация и роботизация.

Рецензент

зав. кафедрой "АиУ"

АУЭС им. Г. Даржеева

доктор РИД

Абжанова Л.К

«13» июнь 2025



**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломный проект
Ашимовой Алины Руслановны
6B07103 – Автоматизация и роботизация

Тема: Разработка и внедрение автоматизированной системы регулирования насосной станции с использованием шкафов управления

Перед дипломантом ставилась задача разработки и внедрения автоматизированной системы регулирования насосной станции оборотного водоснабжения, работающей на базе шламового насоса большой мощности.

В ходе выполнения дипломного проекта была подробно рассмотрена технологическая часть, включающая описание процесса оборотного водоснабжения и анализ структуры насосной станции. Дипломантом разработана структурная схема автоматизированной системы управления, определены точки контроля и логика взаимодействия компонентов системы.

В функциональной части проекта был произведён обоснованный выбор технических средств автоматизации с учётом условий эксплуатации и требований технологического процесса. Разработана функциональная схема автоматизации, включающая средства измерения, управления и исполнительные устройства.

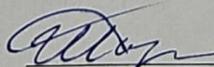
Особое внимание в работе уделено расчётной части. Проведена настройка типовых регуляторов двумя методами: эмпирическим методом Зиглера–Николса и методом Кесслера (Тсумм). На основе анализа характеристик системы выбраны оптимальные параметры регулирования, обеспечивающие устойчивую и эффективную работу насосной станции.

Программная реализация алгоритма управления выполнена в среде Control Expert. Программа охватывает логические функции включения насосов, защитные механизмы и обеспечивает надёжное управление в автоматическом режиме.

Работа выполнена в полном соответствии с поставленной задачей и демонстрирует системный подход к проектированию автоматизированных систем управления.

Заключение: считаю, что дипломант справился с поставленной задачей, дипломный проект соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным проектам по специальности 6B07103 – Автоматизация и роботизация. На основании уровня подготовки и качества выполненной работы студент Ашимова Алина Руслановна допускается к защите.

Научный руководитель
ассоциированный профессор. канд. техн. наук.

 Ширяева О.И.
(подпись)

«5» июня 2025 г.