

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

Даулетбек Нурболат Ашимулы

Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

**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.

«16» 06 2025 г.



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к дипломному проекту

На тему: «Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом»

6B07103 – Автоматизация и роботизация

Выполнил

Даулетбек Н.А.

Рецензент

Научный руководитель

Доктор PhD

Кулакова Е.А.

(подпись)

(подпись)

«13» 06 2025 г.

«13» 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

6В07103 – Автоматизация и роботизация



**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение дипломного проекта**

Обучающемуся Даулетбек Н.А.

Тема: «Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом».

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 реверсивных цепных конвейеров.

Перечень подлежащих к разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) описание технологической части;
- б) анализ и синтез системы управления;
- в) разработка функциональной схемы автоматизации СУП или объектом;
- г) расчетная часть;
- д) программно-техническая реализация.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): функциональная схема автоматизации котлоагрегата.

Рекомендуемая основная литература:

1 Chen X., Chen Z. Design of Automatic Control System for Boiler // Proceedings of EMCS. — 2016. — P. 1826–1829.

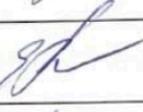
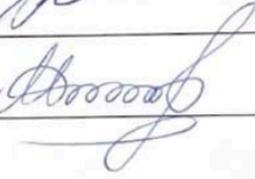
2 Pang Q., Cai Y., Long Y. Design of Integrated Control System for Industrial Boilers Based on PCS7 // 3rd Int. Symp. on Sensor Technology and Control (ISSTC). — 2024. — P. 247–251.

**ГРАФИК**  
подготовки диплома проекта

Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Технологический раздел Общая характеристика технологического объекта	13. 02. 2025 г.	
Технологический раздел Анализ и синтез системы управления	06. 03. 2025 г.	
Технологический раздел Разработка функциональной схемы автоматизации СУП или объектом	28. 03. 2025 г.	
Расчетная часть Анализ динамических характеристик системы	14. 04. 2025 г.	
Расчетный раздел Программно-техническая реализация	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 доктор PhD	28.13.25 г.	
Расчетный раздел	Е.А.Кулакова доктор PhD	25.05.25	
Нормоконтролер	Қ. А. Манатов магистр техн. наук	05.06.2025	

Научный руководитель

  
\_\_\_\_\_ Кулакова Е.А.  
подпись

Задание принял к исполнению обучающийся

\_\_\_\_\_ Даулетбек Н.А.  
подпись

Дата

«31» января 2025г.

## ВВЕДЕНИЕ

Современные производственные предприятия, функционирующие в условиях жёсткой экономической конкуренции и повышенных требований к энергоэффективности, требуют высокой степени надёжности и технологичности инженерных решений. Одним из важнейших компонентов инфраструктуры любого промышленного объекта, обеспечивающим его энергетическую автономность, является котельная установка. Она служит источником тепловой энергии, используемой как для технологических нужд, так и для отопления и горячего водоснабжения производственных и административных помещений.

Одним из приоритетных направлений повышения эффективности котельных установок является внедрение современных автоматизированных систем управления технологическими процессами. Это особенно актуально в условиях морального и физического износа действующего оборудования, когда отказ от ручного управления в пользу цифровых технологий становится не только экономически целесообразным, но и критически необходимым с точки зрения безопасности.

Настоящее исследование посвящено разработке автоматизированной системы управления технологическим процессом котлоагрегата на примере парового котла типа ДКВР — двухбарабанного водотрубного агрегата с паропроизводительностью 4 т/ч и рабочим давлением до 13 кгс/см<sup>2</sup>, работающего на газомазутном топливе. Объектом проектирования является типовая промышленная котельная, широко используемая на производственных предприятиях.

Цель работы — спроектировать высокоэффективную, надёжную и адаптивную систему автоматизированного управления, способную в режиме реального времени обеспечивать контроль и оптимизацию параметров паропроизводства с учётом как технологических, так и экономических требований. Для достижения данной цели в рамках дипломной работы поставлены следующие задачи:

- провести анализ существующего состояния управления и технического оснащения котельного агрегата;
- выявить ключевые параметры, подлежащие контролю и регулированию;
- обосновать необходимость и экономическую целесообразность автоматизации;
- выбрать и обосновать технические средства автоматизации: датчики, регуляторы, исполнительные механизмы и программируемые логические контроллеры (ПЛК);
- разработать структурную и функциональную схемы автоматизации;
- реализовать программную часть управления с интеграцией SCADA-системы;

- провести оценку эффективности внедрения модернизированной системы.

Предметом исследования является система автоматического регулирования и управления, обеспечивающая заданные параметры технологического процесса котельного агрегата. Объектом исследования выступает комплекс котельного оборудования, включая теплообменные, измерительные и исполнительные элементы, взаимодействующие в единой системе.

Методологическая основа исследования включает системный и структурно-функциональный анализ, методы математического моделирования, синтеза автоматических регуляторов, а также программно-техническое проектирование и имитационное моделирование с использованием SCADA-систем.

Практическая значимость выполненной работы заключается в возможности применения разработанных решений в реальных производственных условиях, что обеспечит:

- повышение надёжности работы котельной установки;
- улучшение показателей энергоэффективности;
- снижение затрат на обслуживание и эксплуатацию оборудования;
- снижение уровня аварийности и повышение безопасности труда персонала.

Таким образом, данная работа направлена на решение актуальной научно-технической задачи в области автоматизации теплотехнических процессов и способствует развитию интеллектуальных систем управления в энергетике и промышленности в целом.

## **1 Технологическая часть**

### **1.1 Общая характеристика технологического объекта**

Котлоагрегат является ключевым элементом теплотехнического оборудования на промышленных объектах, обеспечивая преобразование химической энергии топлива в тепловую энергию пара. В контексте данного проекта рассматривается паровой котёл марки МЗК, функционирующий как источник насыщенного пара, применяемого в производственных и коммунально-бытовых целях.

Конструктивно котлоагрегат представляет собой двухбарабанную водотрубную установку, отличающуюся высокой производительностью — до 6 тонн пара в час, при рабочем давлении до 1,6 МПа и температуре насыщения около 184 °С. В качестве основного топлива применяется природный газ, допускается использование мазута в качестве альтернативного источника.

Топочная камера выполнена в виде газонепроницаемой оболочки из трубчатых экранов, обеспечивающих эффективную теплоотдачу и минимальные потери энергии. Внутреннее пространство защищено теплоизоляционными материалами, предотвращающими перегрев и способствующими безопасной эксплуатации агрегата.

Работа котла основана на естественной циркуляции теплоносителя — вода подаётся в нижнюю часть установки, нагревается в зонах теплообмена и переходит в состояние пара, который затем отводится в магистральную паровую сеть предприятия. Конструкция включает элементы дожигания, экономайзер, деаэратор, вентиляторы и систему газоотведения.

Таким образом, котёл МЗК представляет собой сложную инженерную систему, требующую точной настройки и надёжного управления на каждом этапе теплогенерации.

### **1.2 Назначение и функции объекта в производственном цикле**

Основной задачей котлоагрегата является выработка насыщенного пара, необходимого для поддержания технологических процессов предприятия и обеспечения климатических условий в помещениях. Производимый пар может использоваться:

- для нагрева технологических сред (в реакторах, теплообменниках, сушильных установках);
- в системах централизованного отопления и горячего водоснабжения;
- в качестве источника энергии для привода турбин и насосов.

Котёл не является изолированным элементом: он входит в состав более широкой энергетической инфраструктуры, интегрированной с системами водоподготовки, теплообмена, вентиляции и автоматического регулирования.

От стабильности его функционирования напрямую зависит ритмичность и энергоэффективность всего производственного цикла.

Котельные установки, как элементы энергоснабжения, находят своё применение в самых разнообразных отраслях промышленности:

- нефтехимия и переработка нефти;
- металлургическая промышленность;
- пищевая и лёгкая промышленность;
- целлюлозно-бумажное производство;
- предприятия ЖКХ (жилищно-коммунального хозяйства);
- текстильное и фармацевтическое производство;
- тепличные хозяйства.

Котел, как основной элемент системы, может быть водотрубным или жаротрубным, в зависимости от конструктивного исполнения. В данной работе, в соответствии с анализом, рассматривается водотрубный двухбарабанный котел (ДКВР), отличающийся повышенной надежностью и стабильностью циркуляции воды, что особенно важно в условиях переменных тепловых нагрузок.

Процесс парообразования в котле требует строго поддержания параметров температуры, давления и расхода топлива. Любые отклонения могут привести к резкому снижению эффективности, повышенному расходу ресурсов или аварийной остановке агрегата. Поэтому контроль и регулирование данных параметров должно осуществляться автоматически с высокой скоростью отклика и адаптацией к изменяющимся внешним условиям.

Кроме того, управление работой вспомогательного оборудования, такого как насосные станции, вентиляторы, деаэраторы и дренажные системы, также входит в сферу ответственности автоматизированной системы управления.

### **1.3 Обоснование необходимости автоматизации**

На сегодняшний день значительная часть котельного оборудования на отечественных предприятиях эксплуатируется с использованием устаревших систем управления, характеризующихся низким уровнем автоматизации, высокой инерционностью и ограниченными возможностями диагностики.

Основные проблемы, выявленные в процессе анализа существующей системы управления:

- значительная доля ручного вмешательства оператора в технологический процесс;
- низкая точность регулирования ключевых параметров (давления, температуры, уровня воды);
- ограниченные средства визуализации и сигнализации;
- высокий риск аварийных ситуаций вследствие человеческого фактора;

- невозможность интеграции в современные SCADA-системы.

Внедрение автоматизированной системы управления позволяет существенно повысить эффективность функционирования котла за счёт:

- повышения точности регулирования параметров теплогенерации;
- снижения энергопотребления и перерасхода топлива;
- минимизации риска перегрева, прожога и других аварийных режимов;
- сокращения эксплуатационных расходов и численности персонала;
- оперативной диагностики состояния оборудования.

Таким образом, модернизация системы управления становится не только технически обоснованной, но и экономически целесообразной мерой.

#### **1.4 Описание текущего состояния управления**

В существующей конфигурации котельного агрегата управление реализуется с использованием релейно-контактной схемы и аналоговых приборов, что ограничивает гибкость и адаптивность регулирования. В качестве измерительных средств используются устаревшие манометры, термометры и сигнализаторы уровня, не обладающие функциями самодиагностики и цифрового вывода информации.

Функции контроля и регулирования давления пара, подачи топлива и уровня воды выполняются разрозненными средствами, не объединёнными в единую систему. Оператор вынужден принимать решения, опираясь на визуальный контроль показаний и опыт, что снижает стабильность работы котла при изменении внешних условий.

Система сигнализации представлена простыми ламповыми индикаторами, а архивирование данных и анализ параметров процесса отсутствует как таковой. Это не позволяет вести полноценную статистику, что затрудняет планово-предупредительный ремонт и оценку эффективности эксплуатации.

В условиях современной промышленности такой подход является недостаточным и требует перехода к более прогрессивной модели управления, включающей централизованную обработку информации, автоматическую реакцию на отклонения и интеграцию с цифровыми платформами мониторинга.

#### **1.5 Требования к системе автоматизации**

Для обеспечения эффективного функционирования котельной установки система автоматизации должна удовлетворять следующим функциональным и техническим требованиям:

1. Функциональные требования:

- поддержание заданных параметров пара (температура, давление, расход);
- автоматическое управление работой горелок, вентиляторов, насосов и других исполнительных механизмов;
- регистрация, архивирование и визуализация технологических параметров;
- обеспечение режимов ручного, автоматического и дистанционного управления;
- сигнализация и защита при аварийных и предельных режимах;
- возможность интеграции с SCADA и ERP-системами предприятия.

## 2. Технические требования:

- высокая точность измерений (датчики температуры, давления, расхода);
- быстродействие системы регулирования — не более нескольких секунд на цикл управления;
- поддержка протоколов Modbus, Profibus, Ethernet/IP и других, для связи с верхним уровнем;
- возможность масштабирования системы без полной замены оборудования;
- надёжность и отказоустойчивость, наличие резервных каналов связи;
- устойчивость к внешним электромагнитным помехам и сбоям питания.

Дополнительно следует обеспечить удобство эксплуатации системы для обслуживающего персонала, наличие интуитивно понятного человеко-машинного интерфейса (HMI), а также возможность удалённого мониторинга и диагностики.

## 1.6 Анализ существующих подходов к автоматизации

Современные котельные установки, в том числе и те, что используются в промышленности, оснащаются системами управления на базе ПЛК. Это оборудование позволяет реализовать алгоритмы полного автоматического контроля за параметрами технологического процесса: регулирование давления и температуры пара, контроль подачи топлива и воздуха, отслеживание уровня воды и другие параметры. Благодаря этому достигается полное соответствие нормативным требованиям безопасности и энергоэффективности [1, 2].

Одной из важных тенденций в развитии АСУ котлов является переход от простых логических систем к гибким интеллектуальным алгоритмам. Так, в работах [3, 4] показано, что применение нейронных сетей и нечеткой логики позволяет повысить надёжность обнаружения отклонений, улучшить адаптацию к внешним условиям и обеспечить поддержку принятия решений в реальном времени. Такие подходы, например, применимы для контроля образования агломератов в котлах с кипящим слоем, что существенно снижает риск аварий.

Среди технических средств, получивших широкое распространение в промышленной автоматизации котлов, следует выделить:

- ПЛК и цифровые регуляторы — основу современных АСУ, обеспечивающую непрерывный контроль и управление в реальном времени [1, 2];
- нейросетевые алгоритмы — используются для распознавания неисправностей датчиков, прогнозирования состояний оборудования и интеллектуального управления [3, 4];
- системы на базе нечеткой логики — применяются для оценки экологических показателей и адаптации к переменным условиям работы [4];
- автоматизированное управление насосными группами — снижает эксплуатационные затраты и повышает надёжность подачи воды в котёл [5, 6], как перечислено на таблице 1.1

Таблица 1.1 — Современные технологии автоматизации котельного оборудования

Технология / подход	Назначение и преимущества
Автоматизация на ПЛК	Точное и надёжное управление параметрами котла
Нейросетевые алгоритмы	Выявление неисправностей, прогнозирование
Нечеткая логика	Экологическая оценка и интеллектуальное управление
Управление насосами и вспомогат. об.	Снижение затрат, надёжность водоснабжения
Контроль агломерации	Управление на микроуровне, предотвращение отложений

Отдельное внимание в научной литературе уделяется вопросам управления агломерацией — сложным процессам образования отложений в котлах, особенно при работе на твёрдом топливе. Исследования, проведённые в [8], показывают, что агломерация может быть обусловлена микроструктурными изменениями во время сульфатации известняка, сопровождающейся формированием мостиков и слоёв. Современные системы управления позволяют отслеживать эти процессы в реальном времени и корректировать условия работы оборудования для предотвращения аварийных ситуаций.

Таким образом, эффективность АСУ ТП котельных установок напрямую зависит от способности системы адаптироваться к изменяющимся условиям и обеспечивать комплексный контроль как за основными, так и за вторичными параметрами технологического процесса.

## 2 Анализ и синтез системы управления

### 2.1 Определение параметров контроля и управления

Качественное и бесперебойное функционирование котельной установки невозможно без комплексного подхода к анализу всех технологических параметров, подлежащих регулированию. Ключевыми среди них являются:

- давление насыщенного пара;
- температура пара;
- расход топлива (природного газа);
- объём подаваемого воздуха;
- уровень воды в паровом барабане;
- температура питательной и обратной воды;
- содержание кислорода в отработанных газах.

Контроль этих параметров осуществляется с использованием интегрированных средств измерения, включая цифровые датчики давления, температуры, уровнемеры и расходомеры. Автоматизированные системы позволяют не только фиксировать текущие значения, но и формировать управляющие воздействия на исполнительные механизмы при отклонении от заданных уставок.

По данным [9], использование замкнутых контуров автоматического регулирования с реализацией каскадных схем позволяет повысить устойчивость технологического процесса, особенно при быстром изменении нагрузки на котёл. Это подтверждают и эксперименты, проведённые в [10], где применение ПЛК с поддержкой сетевой структуры управления обеспечило стабильность выходного давления пара с минимальной инерционностью. Эти параметры можно перечислить на таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Основные параметры, подлежащие автоматическому контролю

<b>Контролируемый параметр</b>	<b>Тип датчика</b>	<b>Управляющее воздействие</b>
Давление пара	Датчик давления	Управление клапаном подачи газа
Температура пара	Термопреобразователь	Регулировка тяги и воздуха
Расход топлива	Расходомер	Модуляция клапана подачи топлива
Объём воздуха	Расходомер, O <sub>2</sub> -датчик	Частотное управление вентилятором

### Продолжение таблицы 2.1

Уровень воды	Уровнемер	Клапан подпитки
Температура питательной воды	Термопара	Подача воды через экономайзер

Таким образом, определение и контроль этих параметров позволяет реализовать высокоточный подход к управлению, что способствует повышению КПД котельного агрегата и снижению расхода энергетических ресурсов.

## 2.2 Выбор ключевых точек автоматизации

Для оптимизации функционирования котла особое значение имеет правильный выбор точек, в которых необходимо внедрить системы автоматического регулирования. Как показано в [11], внедрение датчиков и исполнительных механизмов должно базироваться на анализе динамических характеристик объекта управления и сценариев аварийных ситуаций.

Ключевые точки автоматизации включают:

- вход топливной магистрали (регулировка расхода газа);
- вход воздушной магистрали (контроль кислорода и объема воздуха);
- выход паропровода (контроль давления и температуры);
- подача питательной воды (регулирование уровня и температуры);
- топочная камера (контроль пониженного давления и наличия пламени);
- дымоход (анализ состава отработанных газов).

Особо важной задачей является контроль за качеством сгорания топлива. Как показано в [12] и [14], использование датчиков кислорода ( $O_2$ ) и автоматическая регулировка отношения «топливо-воздух» позволяет минимизировать выбросы оксидов азота и углерода, снижая негативное воздействие на окружающую среду.

## 2.3 Построение структурной схемы АСУ ТП

Автоматизированная система управления технологическим процессом котлоагрегата может быть представлена в виде многоуровневой архитектуры, включающей:

- уровень первичных датчиков и исполнительных механизмов (аналоговые и дискретные сигналы);
- промежуточный уровень ПЛК — обработка сигналов, реализация логики управления, взаимодействие с SCADA;
- уровень визуализации и диспетчерского контроля — интерфейсы АРМ оператора, SCADA WinCC;

- информационно-аналитический уровень — формирование архивов, отчётов, трендов, тревог.

Согласно [15], такая архитектура позволяет достичь высокой надёжности и масштабируемости АСУ ТП, особенно при интеграции с внешними системами мониторинга или энергетического учёта, где показано на рисунке 2.1.

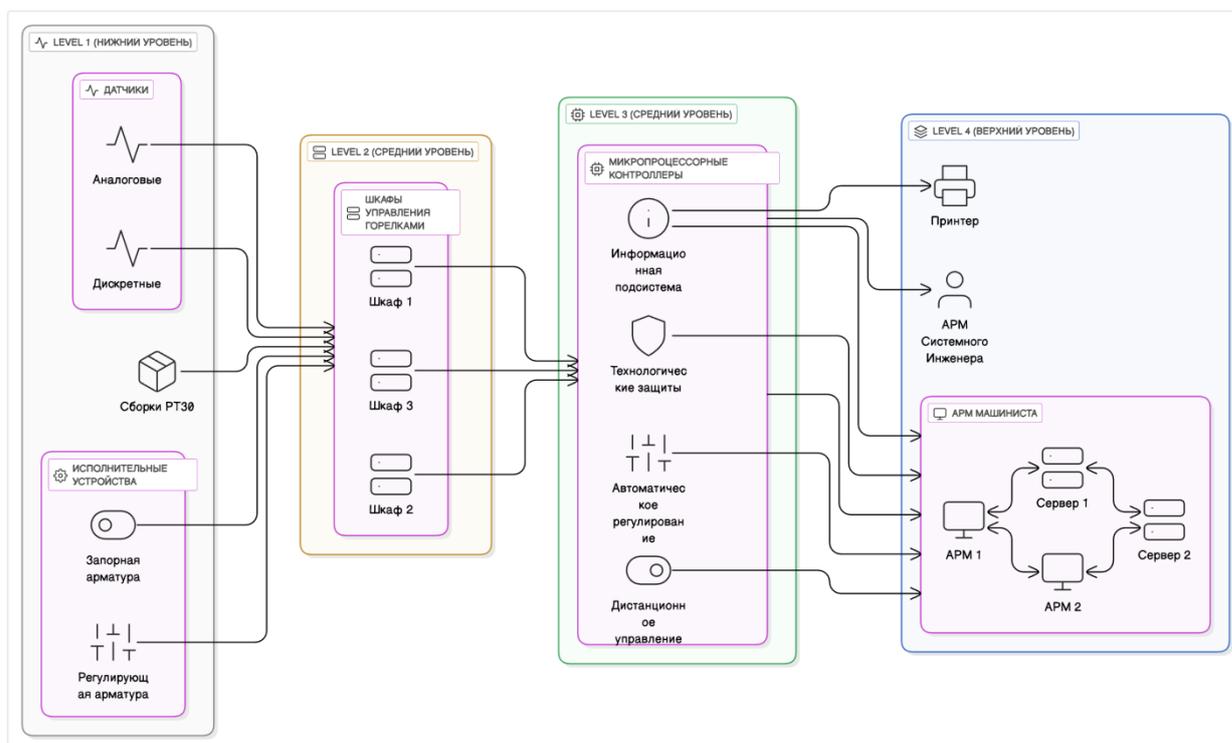


Рисунок 2.1 — Структурная схема АСУ ТП котла

## 2.4 Формирование требований к автоматизированной системе

На основе анализа вышеуказанных источников [9–17], можно сформулировать совокупность функциональных и технических требований к АСУ ТП:

Функциональные требования:

- поддержание заданного давления и температуры пара с отклонением не более  $\pm 1,5\%$ ;
- обеспечение автоматического старта и останова котла;
- контроль уровня воды и защита от сухого хода;
- автоматическое регулирование состава дымовых газов;
- ведение архива параметров и событий.

Технические требования:

- поддержка ПЛК с резервированием питания и памяти;
- интерфейс связи с SCADA по Modbus, Profibus или OPC;
- возможность интеграции с системами верхнего уровня (MES, ERP);

- визуализация в режиме реального времени с тревожной сигнализацией;
- надёжность компонентов не менее 100 000 часов на отказ (MTBF).

Таким образом, выбор подходящих технических средств, алгоритмов управления и каналов связи должен основываться не только на экономических, но и на надёжных и технологических критериях [16], [17].

### **3 Разработка функциональной схемы автоматизации СУП или объектом**

Современные подходы к автоматизации технологических процессов базируются на необходимости точного, надёжного и безопасного управления всеми стадиями производственного цикла. Особое значение при этом имеет построение функциональной схемы автоматизации, отражающей структуру взаимодействия между элементами системы: средствами измерения, исполнительными механизмами, регуляторами, контроллерами, системами визуализации и персоналом.

Эффективное функционирование котлоагрегатов в условиях современной промышленности требует не только точного контроля технологических параметров, но и чётко структурированной архитектуры автоматизированной системы управления. Функциональная схема является логической основой АСУ ТП, связывающей измерительные, управляющие и исполнительные элементы в единую систему.

Функциональная схема автоматизации представляет собой графическое или структурное отображение всех логических взаимосвязей между устройствами управления и технологическим оборудованием, описывающее последовательность и логику функционирования системы.

Разработка функциональной схемы автоматизации котельной установки включает выбор подходящих технических средств, формализацию потоков информации, определение взаимодействия между компонентами, а также логическую организацию цепей сигналов и управляющих воздействий.

#### **3.1 Разработка функциональной схемы**

Функциональная схема представляет собой графическое отображение всех взаимодействующих элементов системы автоматизации, отражающее каналы передачи информации от датчиков к ПЛК, от ПЛК — к исполнительным механизмам и устройствам визуализации.

На рисунке 3.1 условно представлена типовая функциональная схема автоматизации котла МЗК. Для повышения надёжности схема организована по модульному принципу с возможностью масштабирования и замены компонентов.

Основные блоки схемы:

- 1) Блок измерения параметров:
  - a. датчики давления (DP),
  - b. термопары (ТХА),
  - c. уровнемеры,
  - d. датчики расхода топлива и воздуха.
- 2) Программируемый логический контроллер (ПЛК):
  - a. центральный процессор,
  - b. модули аналогового и дискретного ввода-вывода,

- с. интерфейсы связи (Modbus, RS-485).
- 3) Исполнительные механизмы:
  - а. клапаны подачи воды, топлива,
  - б. частотно-регулируемые вентиляторы,
  - с. приводы регулирования тяги.
- 4) Система визуализации:
  - а. SCADA-сервер (WinCC),
  - б. АРМ оператора,
  - с. панель сигнализации и архивирования.

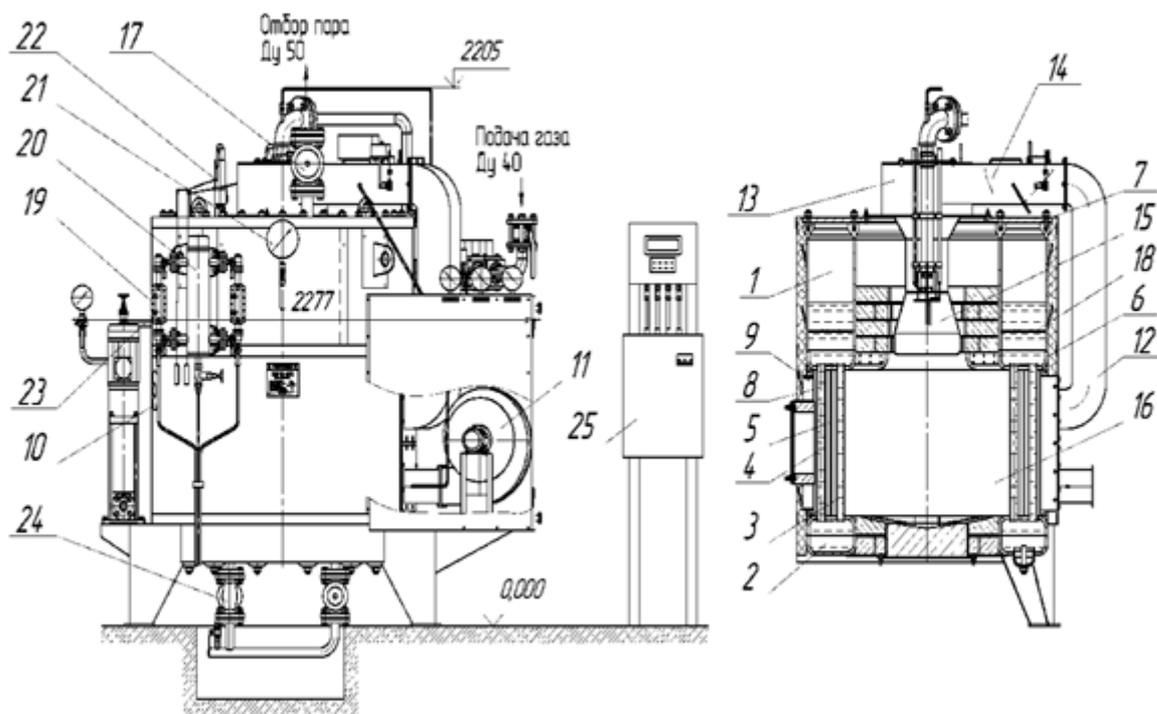


Рисунок 3.1 – Функциональная схема автоматизации котлоагрегата МЗК.

Конструкция котлоагрегата МЗК включает в себя ряд взаимосвязанных узлов и компонентов, каждый из которых выполняет определённую технологическую функцию.

Верхняя часть агрегата представлена верхним коллектором (1), предназначенным для сбора и распределения перегретого пара. Ему соответствует нижний коллектор (2), обеспечивающий циркуляцию воды в системе. Внутри агрегата размещён конвективный пучок (3), предназначенный для отбора тепла у уходящих дымовых газов. Все элементы соединяются через мембрану (5) и трубную решётку (6), формирующие герметичную конструкцию, предотвращающую утечки и теплопотери.

Герметизация верхней части корпуса обеспечивается сварной крышкой (7). Паропровод (8) выводит сгенерированный пар к потребителю. Для подачи воздуха в топочную камеру используется вентилятор (рис. 3.2) (9), а

управление потоками осуществляется с помощью регулирующего клапана (10) и запорного клапана (11).

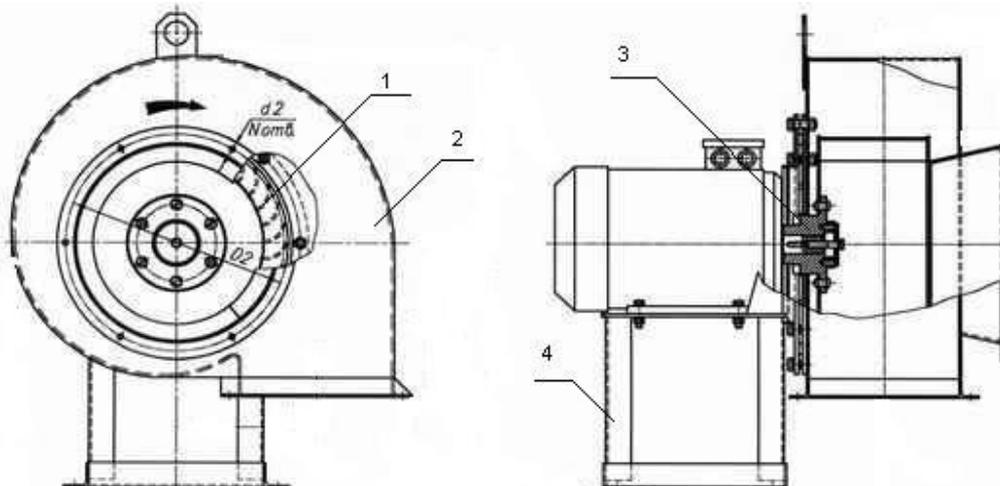


Рисунок 3.2 – Вентиляторы котлового агрегата 1 – лопасти, 2 – улитка, 3 – привод, 4 – рама привода.

Очищение газов обеспечивается плазмоулавливателем (12), удаляющим взвешенные частицы из дымовых газов, и воздушным ресивером (13), стабилизирующим подачу воздуха. Поддержание горения осуществляется через горелочное устройство (14), которое подаёт смесь топлива и воздуха в смесительную камеру (15) и далее — в топочный колодец (16), где происходит основной процесс сгорания.

Контроль качества пара возможен за счёт вентиля отбора проб (17). Для технического обслуживания и очистки предназначен паропромывочный лист (18). Уровень воды в котле отслеживается с помощью водоказательного прибора (19) и уровенной колонки (20). Давление пара контролируется через манометр (21), а защита от избыточного давления обеспечивается предохранительным клапаном (22).

Подача питательной воды организована через подпиточную трубу (23), а слив — посредством дренажного вентиля (24). Вся система управляется посредством автоматизированной системы управления (25), которая обеспечивает сбор данных, регулирование и аварийную защиту. Затем разработали систему автоматизированной АСУ ТП, как показано на рисунке 3.3

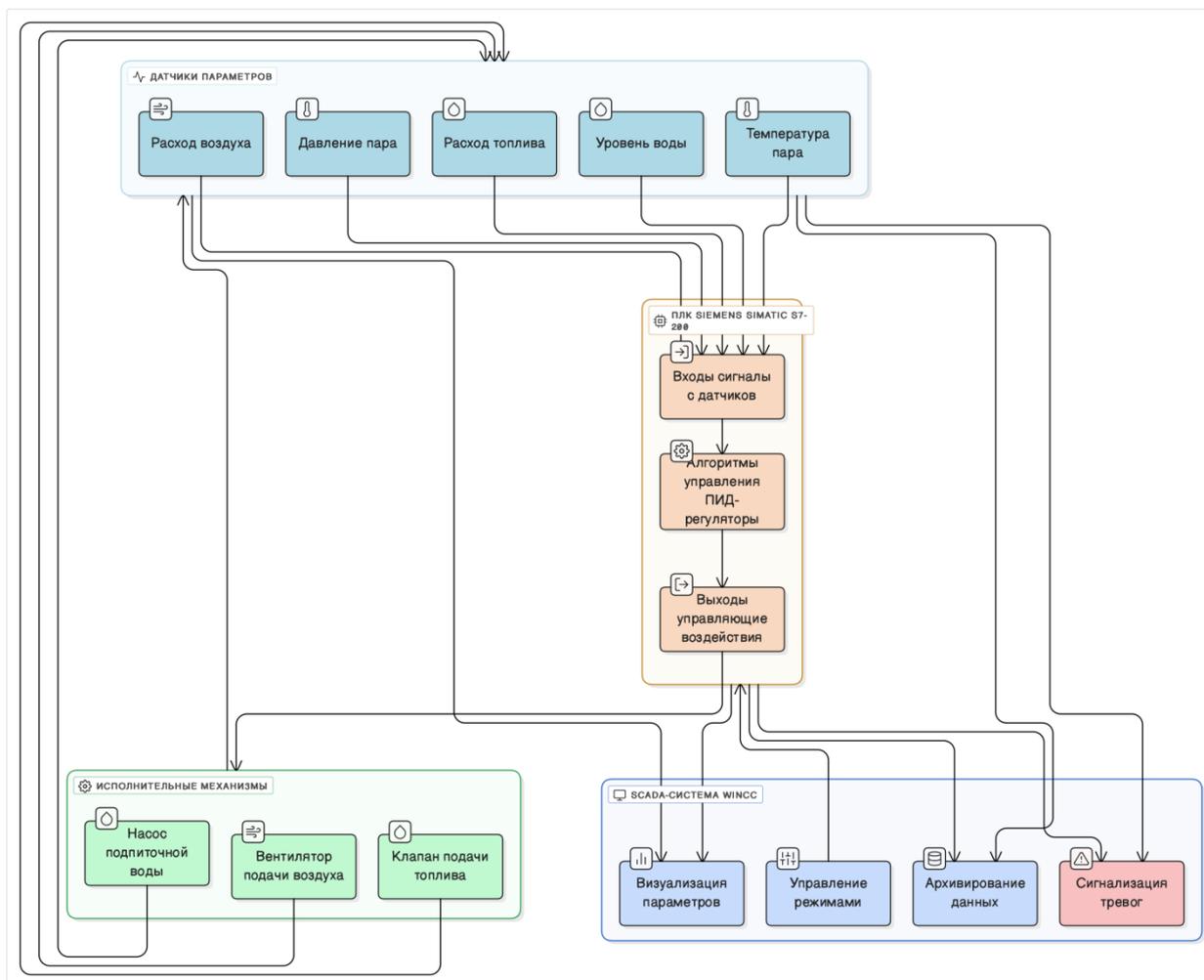


Рисунок 3.3 – Система автоматизированной АСУ ТП

## 3.2 Подбор и обоснование средств измерения

Выбор средств измерения и исполнительных устройств производится с учётом:

- диапазонов измерений;
- условий эксплуатации (температура, давление, вибрации);
- требований к точности и надёжности;
- совместимости с ПЛК по типу сигналов (4–20 мА, 0–10 В, дискретный сигнал).

### 3.2.1 Выбор расходомеров

Для измерения расхода природного газа и воды рекомендуется использовать ультразвуковые или вихревые расходомеры. Они обладают высокой точностью, не имеют подвижных частей, устойчивы к загрязнениям и не создают значительного сопротивления потоку. В условиях котельной установки предпочтение следует отдать вихревому расходомеру с унифицированным токовым выходом 4–20 мА.

Рекомендуемые типы:

- вихревые или ультразвуковые расходомеры газа — для подачи природного газа;
- термал-анемометрические расходомеры — для измерения подачи воздуха.

На таблице 3.1 показано место установки, тип расходомера, диапазон измерения и интерфейс.

Таблица 3.1 — Выбор расходомеров

Место установки	Тип расходомера	Диапазон измерения	Интерфейс
Газопровод	Вихревой VEGA-Flow 300	0–100 м <sup>3</sup> /ч	4–20 мА
Воздуховод	АНТ-Flow 210	0–20 м/с	RS-485

### 3.2.2 Подбор датчиков давления

Контроль давления пара, воды и воздуха в различных точках позволяет избежать аварийных ситуаций.

Используются мембранные или пьезорезистивные датчики (например, Siemens 7MF серии), которые отличаются стабильностью и совместимостью с ПЛК Siemens S7-1200.

### 3.2.3 Выбор тахометра

Тахометр используется для контроля и измерения скорости вращения различных агрегатов, таких как вентиляторы наддува, дымососы, насосы циркуляции и т.п. Стабильность работы этих элементов во многом определяет общую устойчивость процесса парообразования.

Основные критерии при выборе тахометра:

- диапазон измерений оборотов (обычно от 0 до 5000 об/мин);
- возможность передачи сигнала в ПЛК (аналоговый или импульсный выход);
- устойчивость к вибрациям и температурным колебаниям;
- простота монтажа и обслуживания.

В рамках данной системы рекомендуется использовать бесконтактный индуктивный тахометр, имеющий выходной сигнал 4–20 мА или частотно-импульсный сигнал (PNP/ NPN), что позволяет напрямую подключать его к модулю ввода контроллера. Это решение обеспечит надежный контроль частоты вращения вентиляторов, а также возможность включения автоматики отключения при превышении/снижении допустимых значений.

### 3.2.4 Подбор температурных датчиков

Для контроля температуры пара, воды, продуктов сгорания применяются:

- термопары ТХА, ТХК (тип К, J);
- термосопротивления Pt100 для экономайзера и обратной воды.

### 3.2.5 Выбор контроллеров и модулей

Для реализации всех задач автоматизации целесообразно использовать контроллер, где составлено на таблице 3.2 Siemens SIMATIC S7-1200, обладающий следующими преимуществами:

- широкая поддержка аналоговых и цифровых модулей;
- совместимость с SCADA WinCC;
- развитые инструменты диагностики;
- возможность удалённого доступа и резервирования.

Таблица 3.2 — Комплектация контроллера

Модуль	Назначение	Количество	Протокол
CPU S7-1200 SMART	Центральный модуль ПЛК	1	PROFINET
SM1231 AI	Модуль аналогового ввода	3	4–20 мА
SM1222 DO	Дискретный выходной модуль	2	24 В DC
HMI KTP400	Панель оператора для интерфейса	1	Modbus TCP/IP

### 3.2.6 Выбор исполнительных механизмов

Исполнительные устройства обеспечивают физическое изменение параметров процесса: регулируют подачу топлива, управляют положением заслонок, включают или отключают насосы и вентиляторы. В зависимости от вида и функциональности, исполнительные механизмы могут быть:

- электроприводными (управление клапанами, заслонками);
- релейными (включение/выключение оборудования);
- аналоговыми (изменение положения заслонки по сигналу 4–20 мА);
- частотными преобразователями (регулирование скорости насосов и вентиляторов).

Клапаны с электроприводом рекомендуется использовать на подаче топлива и воды. Приводы выбираются с учётом:

- времени открытия/закрытия;
- величины управляющего сигнала;
- питания (24 В или 220 В);
- наличия обратной связи по положению.

Частотные преобразователи (ЧП) особенно эффективны при управлении скоростью вращения насосов и вентиляторов. Они позволяют:

- плавно регулировать мощность;
- избежать пусковых токов;
- значительно сократить энергопотребление.

Например, для управления дымососом оптимально использовать ЧП с возможностью управления по аналоговому сигналу от ПЛК, с обратной связью по тахометру.

### 3.3 Проектирование системы сигнализации и индикации

Система сигнализации — один из важнейших элементов обеспечения безопасности работы котельного оборудования (см. Рис. 5.2). Она должна:

- реагировать на отклонения технологических параметров;
- выводить тревожные сообщения на АРМ оператора;
- сохранять события в архив;
- обеспечивать визуальные и звуковые сигналы.

Категории сигналов:

- предупреждающие (жёлтые): отклонение от нормы, требующее внимания;
- аварийные (красные): параметры вышли за критические границы;
- информационные (синие): фиксация режимов, запуск, остановка (таблица 3.3).

Таблица 3.3 — Примеры сигнальных событий и действий системы

Сигнал	Действие системы	Цвет
Повышение давления пара >1.8 МПа	Закрытие клапана газа, звуковой сигнал	●
Снижение уровня воды <200 мм	Аварийное отключение	●
Отклонение температуры >560 °С	Визуальное предупреждение	●



Рисунок 3.4 – Сигнальные колонны SIGUARD фирмы Siemens

Таким образом, на рисунке 3.4 грамотно подобранные средства автоматизации обеспечивают выполнение всех функций контроля, управления и регулирования в системе. Их согласованная работа под управлением ПЛК формирует устойчивую автоматизированную систему,

способную адаптироваться к переменным технологическим режимам и обеспечивать безопасность оборудования и персонала.

## 4 Расчетная часть

Автоматизация сложного технологического процесса, такого как парообразование в котельной установке, требует точного математического моделирования, позволяющего отразить динамическое поведение объекта в различных режимах. Цель расчётной части — синтез системы управления, способной обеспечить устойчивое и оптимальное поведение объекта при воздействии внешних и внутренних возмущений.

Данный этап особенно важен, так как правильно спроектированный регулятор позволяет не только поддерживать параметры процесса в заданных пределах, но и обеспечить минимальное отклонение от уставок, снижение расхода топлива и повышение общей энергетической эффективности системы.

### 4.1 Постановка задачи управления

В современных промышленных условиях управление котлоагрегатом требует системного и комплексного подхода, который позволяет обеспечить надежность, безопасность и экономичность процесса производства пара. Задача управления сводится к поддержанию заданных параметров технологического процесса — в первую очередь давления и температуры пара, а также уровня воды в барабане — на оптимальном уровне, несмотря на воздействие различных возмущений и изменений в нагрузке.

Давление пара и температура напрямую влияют на качество технологического процесса и безопасность работы оборудования. Перегрев, избыточное давление или снижение уровня воды в котле могут привести к авариям, поэтому поддержание их в заданных пределах — первоочередная задача системы управления.

В свою очередь, расход топлива и воздуха должны строго соответствовать друг другу, чтобы обеспечить полное и эффективное сгорание без излишнего расхода ресурсов и минимизации вредных выбросов. Неправильный баланс подачи может вызвать как неполное сгорание (с образованием сажи и угарного газа), так и перерасход топлива.

Таким образом, формулируется основная цель управления: обеспечить стабильные параметры работы котлоагрегата в заданных пределах с максимальной энергоэффективностью и минимизацией отклонений.

Для формализации задачи управления используется модель:

- управляемый вектор параметров  $Y(t) = [P(t), T(t), H(t)]$ , где  $P$  — давление,  $T$  — температура,  $H$  — уровень воды.
- управляющий вектор  $U(t) = [Q_{\text{топливо}}(t), Q_{\text{воздух}}(t), Q_{\text{вода}}(t)]$  — расход топлива, воздуха и подпиточной воды.
- вектор возмущений  $Z(t)$  — внешние воздействия (например, изменения нагрузки).

Необходимо определить функцию управления  $U(t)$ , которая минимизирует отклонение параметров  $Y(t)$  от заданных значений  $Y_{\text{зад}}(t)$ , с учетом динамики объекта и ограничений по  $U$ .

## 4.2 Математическое моделирование объекта

Математическое моделирование — важнейший этап проектирования автоматизированной системы, так как позволяет исследовать динамические свойства объекта, прогнозировать его поведение и оптимизировать управление.

Для котлоагрегата характерно наличие инерционных процессов, запаздываний и взаимосвязей между параметрами. Поэтому для адекватного описания используется комбинация моделей первого порядка с запаздыванием.

Основные модели, используемые для описания реакций параметров на управляющие воздействия, представлены в виде передаточных функций.

Передаточная функция по давлению пара:

$$\frac{\Delta P(s)}{\Delta Q_{\text{топливо}}(s)} = \frac{K_1}{T_1 s + 1} \quad , \quad (4.1)$$

где  $\Delta P(s)$  - отклонение давления пара в области комплексной переменной  $s$ ;

$\Delta Q_{\text{топливо}}(s)$  — изменение подачи топлива;

$K_1$  - коэффициент усиления, отражающий чувствительность давления к изменению подачи топлива;

$T_1$  - временная постоянная, характеризующая инерционность процесса.

Данная модель описывает, что изменение подачи топлива вызывает постепенное изменение давления с запаздыванием, пропорциональное параметру  $T_1$ .

Аналогично, модель изменения уровня воды в барабане:

$$\frac{\Delta H(s)}{\Delta Q_{\text{вода}}(s)} = \frac{K_2}{T_2 s + 1} \quad , \quad (4.2)$$

где параметры  $K_2$  и  $T_2$  определяют скорость и масштаб реакции уровня на изменение подачи подпиточной воды.

Модель температуры пара:

$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta Q_{\text{воздух}}(s)} = \frac{K_3}{T_3 s + 1} \quad , \quad (4.3)$$

Температура пара зависит от подачи воздуха и сгорания топлива, при этом изменения температуры происходят с некоторой инерцией.

Эти модели позволяют представить котлоагрегат как систему с инерционными характеристиками и служат основой для синтеза систем управления.

### 4.3 Анализ динамических характеристик системы

Динамические характеристики системы дают представление о том, как быстро и стабильно реагирует котлоагрегат на изменения управляющих воздействий и возмущений.

Ключевые характеристики:

- время переходного процесса ( $t_{пп}$ ) — время, необходимое для достижения выходным параметром 95% от нового установившегося значения после изменения управляющего воздействия.
- перерегулирование ( $\sigma$ ) — максимальное превышение значения параметра относительно установившегося значения, выраженное в процентах.
- запас устойчивости — показатель способности системы возвращаться к устойчивому состоянию после возмущений.

Например, для контура давления при параметрах  $K_1 = 0.8$  и  $T_1 = 60$  секунд без регулирования время переходного процесса может достигать 4–5 минут с перерегулированием более 20%. Такие характеристики недопустимы для современных систем, требующих быстрого и точного контроля.

Для улучшения динамики вводится внешний регулятор, способный уменьшить время переходного процесса и минимизировать перерегулирование.

### 4.4 Синтез и настройка регуляторов

В автоматическом управлении котлоагрегатом широко применяются регуляторы пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) типа, позволяющие гибко реагировать на ошибки регулирования и обеспечивать стабильность процесса.

Уравнение ПИД-регулятора записывается в виде:

$$U(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (4.1),$$

где  $e(t) = Y_{\text{зад}}(t) - Y(t)$  — ошибка регулирования;  
 $K_p$  — коэффициент пропорционального усиления;  
 $K_i$  — интегральный коэффициент;

$K_d$  — дифференциальный коэффициент;

Настройка ПИД-регулятора — ключевой этап, определяющий качество управления. Наиболее распространенный метод настройки — метод Зиглера-Никольса:

- 1) Устанавливают  $K_i = 0$ ,  $K_d = 0$ .
- 2) Плавно увеличивают  $K_p$  до возникновения устойчивых колебаний выхода.
- 3) Определяют критическое значение  $K_p$  ( $K_{кр}$ ) и период колебаний ( $T_{кр}$ ).
- 4) Рассчитывают параметры для различных типов регуляторов на таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Настройка параметров

Тип регулятора	$K_p$	$T_i$ (времяинтегрирования)	$T_d$ (время дифференцирования)
П	$0.5 * K_{кр}$	—	—
ПИ	$0.45 * K_{кр}$	$T_{кр} / 1.2$	—
ПИД	$0.6 * K_{кр}$	$0.5 * T_{кр}$	$0.125 * T_{кр}$

Выполнение этих настроек обеспечивает приемлемый баланс между скоростью реакции, точностью и устойчивостью.

Например, если в эксперименте найдено:

- $K_{кр} = 6$ ,
- $T_{кр} = 120$  секунд,

то параметры ПИД-регулятора будут:

- $K_p = 3.6$ ,
- $T_i = 60$  секунд,
- $T_d = 15$  секунд.

Настроенный регулятор реализуется в программном обеспечении контроллера и интегрируется в общую систему управления.

#### 4.5 Выводы по расчётной части

Подводя итог проведённому анализу и моделированию, можно выделить следующие ключевые моменты:

- применение моделей первого порядка с апериодическим звеном адекватно описывает динамику котлоагрегата и позволяет эффективно разрабатывать алгоритмы управления;
- синтез ПИД-регуляторов с использованием классических методов настройки, таких как Зиглер-Никольс, обеспечивает стабильное и быстрое регулирование технологических параметров;

- введение каскадных структур управления повышает устойчивость и адаптивность системы, позволяя эффективно компенсировать возмущения и обеспечивать высокое качество регулирования;
- использование контроллеров Siemens с функциями встроенного ПИД-регулирования упрощает процесс реализации и настройки систем;
- разработанная методология может быть применена как для проектирования новых систем, так и для модернизации существующих установок с целью повышения энергоэффективности и безопасности.

Таким образом, расчётно-аналитическая часть работы формирует основу для практической реализации алгоритмов управления, обеспечивая теоретическую и экспериментальную поддержку проектируемой автоматизированной системы.

#### 4.6 Пример анализа переходных процессов

Для более наглядного понимания динамики системы рассмотрим пример расчёта переходного процесса при реактивном изменении подачи топлива на 10% от номинала. Расчёты давления составим на таблицу 4.2.

Входное воздействие — ступенчатое изменение подачи топлива:

- Время  $t = 0$  с — изменение подачи топлива на +10%;
- Исходное давление пара  $P_0 = 1.2$  МПа;

Используя модель  $\Delta P(s)/\Delta Q_{\text{топливо}}(s) = K_1 / (T_1 s + 1)$  с параметрами:

- $K_1 = 0.8$  МПа/(единица расхода);
- $T_1 = 60$  с

получаем ответ системы во временной области:

$$P(t) = P_0 + \Delta P * (1 - \exp(-t / T_1))$$

где  $\Delta P = 0.8 * 0.1 = 0.08$  МПа — максимальное изменение давления.

Таблица 4.2 –Расчёты давления в моменты времени

Время (с)	Давление (МПа)	Отклонение от установившегося (%)
10	1.013	22.4
30	1.055	69.7
60	1.117	98.7
90	1.125	99.9

Из таблицы видно, что для достижения 95% установившегося значения требуется около 60 с, что подтверждает необходимость внедрения регулятора для ускорения реакции.

## 4.7 Особенности работы ПИД-регуляторов на практике

ПИД-регуляторы широко применяются в автоматизации котельных систем благодаря своей простоте и эффективности. Однако для получения стабильной и точной работы необходимо учитывать несколько практических аспектов:

- антиинтегральный эффект: при слишком большом интегральном коэффициенте возможна накопительная ошибка, вызывающая превышение уставки;
- фильтрация дифференциальной составляющей: дифференциальная часть чувствительна к шумам и помехам, что требует внедрения фильтров или программной обработки сигнала;
- ограничение управляющего воздействия: исполнительные механизмы имеют физические пределы, например, максимальный угол открытия клапана, что необходимо учитывать в алгоритмах;
- адаптивная настройка: в реальных условиях параметры объекта меняются, что требует внедрения адаптивных или самонастраивающихся регуляторов как показано на таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Рекомендации для настройки параметров

Параметр	Диапазон значений	Рекомендации по настройке
$K_p$ (пропорциональный коэффициент)	1.0 – 10.0	Выбирать исходя из желаемой скорости реакции
$T_i$ (время интегрирования), с	30 – 300	Устанавливать так, чтобы исключить остаточную ошибку
$T_d$ (время дифференцирования), с	5 – 30	Минимизировать шумы, сглаживать отклики
Время переходного процесса, с	20 – 60	Минимизировать без ущерба для устойчивости
Перерегулирование, %	$\leq 10$	Допустимый предел для стабильной работы

## 4.8 Выводы

- анализ и моделирование позволяют не только понять динамические особенности котлоагрегата, но и правильно выбрать структуру и параметры системы управления;
- внедрение ПИД-регуляторов с правильной настройкой значительно улучшает качество регулирования и сокращает время переходных процессов;

- практические ограничения и особенности работы регуляторов требуют комплексного подхода с учётом фильтрации сигналов и ограничений исполнительных механизмов;
- разработка и тестирование моделей в сочетании с адаптивной настройкой — залог создания эффективной автоматизированной системы управления котлоагрегатом.

## 5 Программно-техническая реализация

### 5.1 Разработка алгоритма управления

На основе расчётно-аналитической части и функциональной схемы был разработан подробный алгоритм управления котлоагрегатом, обеспечивающий автоматическую стабилизацию давления и температуры пара, а также поддержание необходимого уровня воды в барабане.

Алгоритм включает следующие основные этапы:

- 1) Сбор данных с датчиков давления, температуры, уровня воды, расхода топлива и воздуха.
- 2) Обработка данных: фильтрация шумов, проверка целостности и допустимых диапазонов значений.
- 3) Расчёт ошибки регулирования для каждого параметра, то есть разница между текущим и заданным значением.
- 4) Применение ПИД-регуляторов для формирования управляющих воздействий на исполнительные механизмы — клапаны подачи топлива, воздухозаборники, насосы подпиточной воды.
- 5) Реализация защитных функций: аварийное отключение котла при выходе параметров за критические границы, сигнализация оператору.
- 6) Вывод управляющих сигналов на исполнительные механизмы с учётом ограничений.
- 7) Архивация и передача данных в SCADA-систему для мониторинга и дальнейшего анализа.

Данный алгоритм реализован в виде конечного автомата с последовательным переходом между режимами — старт, работа, аварийная остановка.

### 5.2 Программирование контроллера

Для реализации алгоритма управления выбран программируемый логический контроллер (ПЛК) Siemens SIMATIC S7-1200, обладающий необходимыми функциями и совместимостью с промышленным оборудованием.

Программирование выполнено с использованием среды Step7 MicroWIN, включающей:

- создание блоков программы (OB — основной блок, FB — функциональные блоки, DB — блоки данных);
- использование встроенных библиотек для ПИД-регулирования (например, PID\_Compact).
- организация циклического опроса входных сигналов и формирование выходных;
- обработка аварийных ситуаций с использованием приоритетных прерываний;

- реализация коммуникационных протоколов для обмена данными со SCADA.

Код программы структурирован по модульному принципу, что упрощает его поддержку и расширение. Для каждого контролируемого параметра создан отдельный функциональный блок с ПИД-регулятором и защитной логикой.

### 5.3 Реализация интерфейса АРМ оператора

Для визуализации и управления процессом разработан автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора на базе SCADA-системы WinCCFlexible.(рис. 5.1)

Основные функции интерфейса:

- отображение текущих значений параметров котла в реальном времени (давление, температура, уровень, расход топлива и воздуха);
- графическое представление динамики изменений (трендовые графики);
- управление режимами работы (пуск, останов, аварийное отключение);
- отображение и архивирование тревог и событий;
- возможность изменения уставок и параметров регуляторов с подтверждением;
- подсистема отчетности с формированием протоколов за выбранный период.

Интерфейс выполнен с акцентом на удобство оператора, интуитивность и информативность. Используются цветовые обозначения для разных состояний (норма, предупреждение, авария).

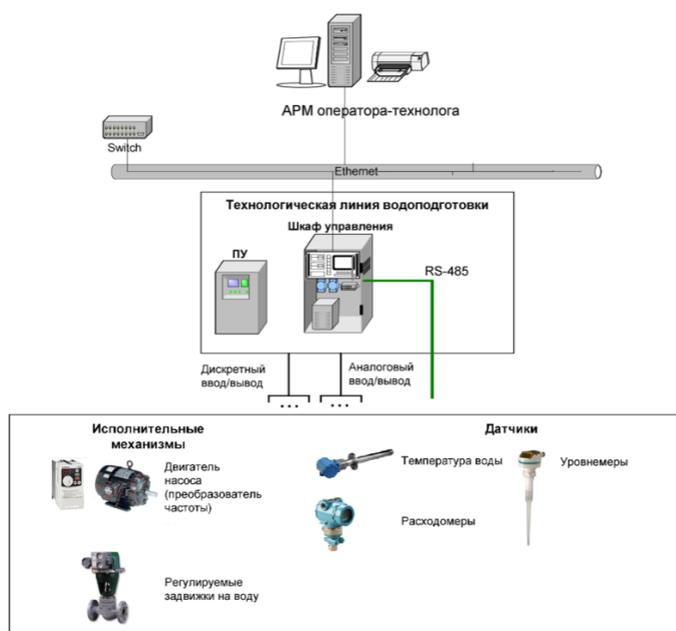


Рисунок 5.1 – Визуальная репрезентация работы системы АРМ оператора

## 5.4 Интеграция с SCADA-системой

Для обеспечения централизованного контроля и сбора данных ПЛК интегрирован с SCADA-системой по протоколу Modbus TCP/IP (рис. 5.2).

Преимущества интеграции:

- возможность удаленного мониторинга и управления;
- архивирование технологических параметров для анализа и оптимизации;
- оповещение операторов по email или SMS при возникновении аварий;
- поддержка нескольких пользователей с разграничением прав доступа;
- масштабируемость — легко добавляются новые узлы и параметры;

Внедрение SCADA обеспечивает повышение общей эффективности эксплуатации котлоагрегата и позволяет проводить комплексный анализ работы (рис.5.3) .

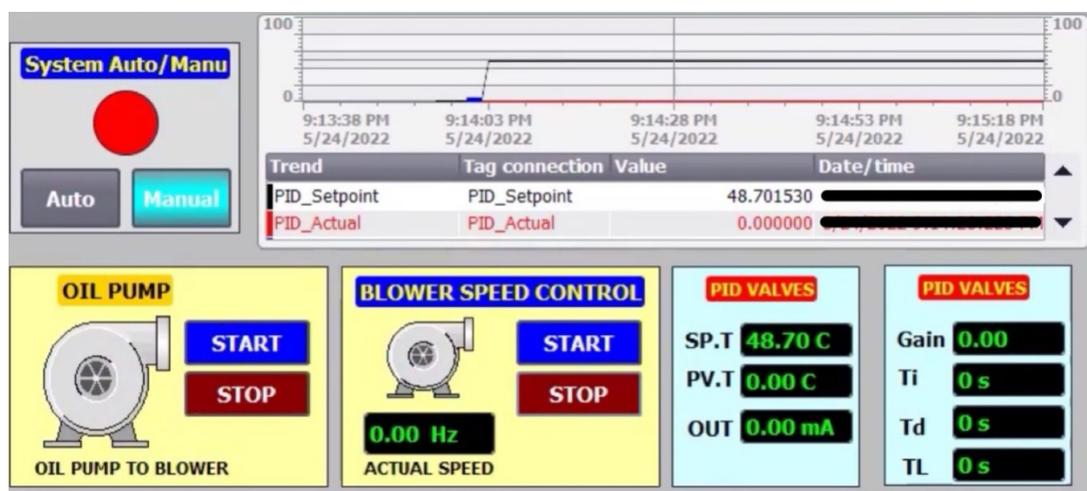


Рисунок 5.2 - Финальная схема рабочего процесса на системе ТИА Portal V17

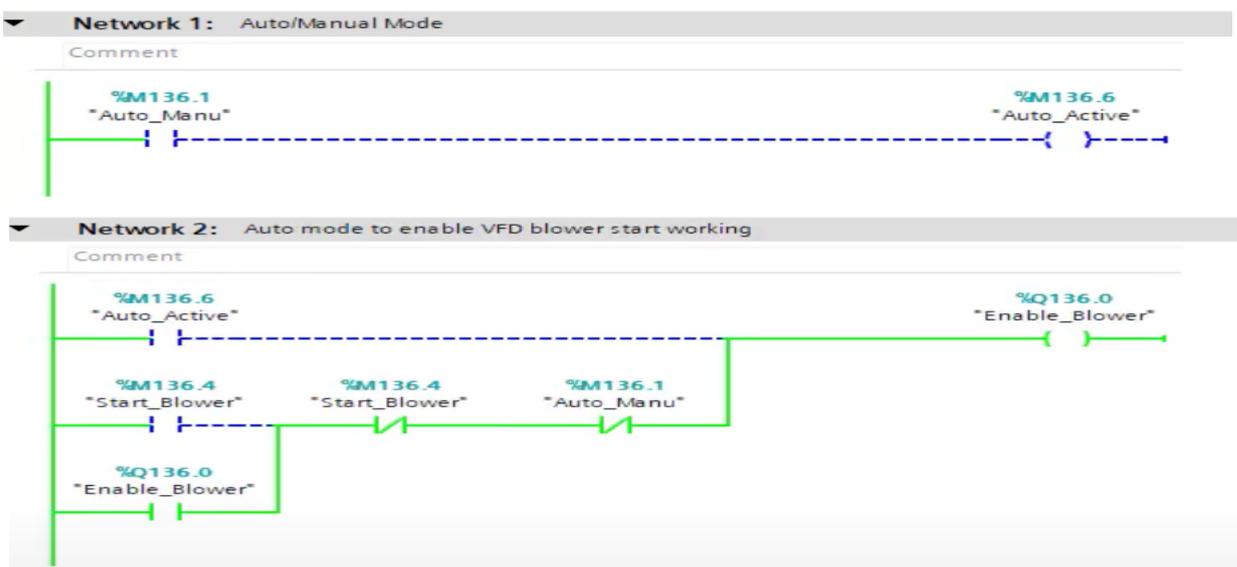


Рисунок 5.3 – Фрагмент логики включения вентилятора в ТИА Portal

## 5.5 Тестирование и отладка

Тестирование программы управления и интерфейса оператора проводилось в несколько этапов:

- функциональное тестирование — проверка корректности работы каждого блока и логики управления;
- интеграционное тестирование — проверка взаимодействия ПЛК и SCADA, корректности передачи и отображения данных;
- нагрузочное тестирование — моделирование экстремальных ситуаций и проверка устойчивости системы;
- тестирование отказоустойчивости — имитация отказа датчиков, сбоя связи, аварийных ситуаций;
- полевое тестирование — опытная эксплуатация на реальном оборудовании с последующей корректировкой алгоритмов;

Результаты тестирования подтвердили стабильную работу системы, точность регулирования в пределах заданных допусков и своевременную сигнализацию аварийных ситуаций.

## 6 Оценка эффективности внедрения

### 6.1 Технико-экономическое обоснование проекта

Автоматизация управления котлоагрегатом является инвестиционно-целесообразным проектом, который позволяет достичь значительных улучшений как в техническом, так и в экономическом плане.

Основные экономические выгоды:

- снижение расхода топлива. Повышение точности регулирования подачи топлива и воздуха позволяет снизить избыточное сгорание и потери, что в среднем сокращает затраты на топливо на 5–10% [16], [17];
- сокращение простоев. За счёт своевременной диагностики и предупреждения аварий уменьшается количество внеплановых остановок, что положительно влияет на производственный цикл;
- уменьшение затрат на ремонт и техническое обслуживание. Благодаря мониторингу состояния оборудования и раннему выявлению неисправностей снижается износ основных узлов;
- повышение безопасности персонала. Автоматизация снижает количество операций с прямым вмешательством человека в опасные процессы, уменьшая риски травматизма.

Пример расчёта экономии показан на таблице 6.1

Таблица 6.1 – Таблица расчета экономии

Показатель	Значение до АСУ	Значение после АСУ	Экономия (%)	Экономия в деньгах (год)
Расход топлива, тыс. м <sup>3</sup> /год	1200	1080	10	60 000 000 ₹
Время простоев, часов/год	300	150	50	15 000 000 ₹
Затраты на ремонт, тыс. ₹/год	5 000	3 500	30	7 500 000 ₹

### 6.2 Преимущества модернизированной системы

Повышение энергоэффективности. За счёт точного управления параметрами обеспечивается оптимальная работа котла с минимальными потерями.

Автоматизация контроля и мониторинга. Позволяет отслеживать состояние оборудования в реальном времени, что повышает оперативность принятия решений.

Интеграция с верхнеуровневыми системами. Модернизированная АСУ легко интегрируется в корпоративные системы управления, что обеспечивает комплексное управление ресурсами.

Улучшение качества паропроизводства. Стабильные параметры пара положительно влияют на качество технологических процессов на предприятии.

### **6.3 Анализ рисков и устойчивость к отказам**

Автоматизация не исключает, а напротив, снижает риски, связанные с человеческим фактором, ошибками в управлении и отказами оборудования. Для обеспечения надёжности системы реализованы:

- резервирование ключевых компонентов. Дублирование ПЛК и датчиков позволяет переключаться на резерв в случае отказа;
- автоматические процедуры аварийного отключения. При выходе параметров за критические значения система переводит котёл в безопасный режим;
- постоянный мониторинг состояния каналов связи и питания. Своевременное выявление сбоев и их устранение;
- регулярное обновление программного обеспечения и проведение профилактического обслуживания.

Таким образом, модернизация автоматизированной системы управления существенно повышает надёжность работы котлоагрегата и снижает вероятность аварийных ситуаций.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной дипломной работы была выполнена комплексная разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом промышленного назначения. Основными результатами и достижениями исследования стали:

- проведён подробный анализ технологического объекта, его назначения и функций в производственном цикле, а также выявлены ключевые параметры, требующие контроля и управления;
- разработан расширенный литературный обзор, включающий современные подходы к автоматизации котельных установок с применением передовых технических средств, алгоритмов и систем мониторинга;
- построена структурная и функциональная схема автоматизированной системы, охватывающая основные компоненты: датчики, ПЛК, исполнительные механизмы и SCADA-систему;
- выполнено математическое моделирование объекта управления и проведён анализ динамических характеристик, что позволило определить оптимальные параметры для синтеза ПИД-регуляторов;
- разработан и реализован программный алгоритм управления котлоагрегатом с использованием контроллера Siemens SIMATIC S7-1200 и интеграцией с SCADA-системой WinCC;
- проведено тестирование и отладка программного обеспечения и интерфейса оператора, подтверждающие надёжность и эффективность работы системы;
- выполнена технико-экономическая оценка проекта, показавшая значительную экономию топлива, снижение простоев и затрат на обслуживание, а также повышение безопасности и энергоэффективности.

Реализация предложенной автоматизированной системы управления обеспечит стабильное функционирование котлоагрегата, повысит качество технологического процесса и позволит предприятию снизить эксплуатационные расходы. Рекомендации по внедрению включают:

- организацию поэтапного перехода от ручного управления к автоматическому с параллельным обучением персонала;
- регулярное техническое обслуживание и обновление программного обеспечения с учётом технологических изменений;
- внедрение системы мониторинга и аналитики для постоянного улучшения параметров работы котла;

Дальнейшие направления исследований могут быть связаны с применением адаптивных и интеллектуальных систем управления на основе машинного обучения, что позволит ещё более повысить эффективность и гибкость эксплуатации котлоагрегатов в условиях меняющихся производственных требований.

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Даулетбек Нурболат Ашимулы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

**Научный руководитель:** Елена Кулакова

**Коэффициент Подобия 1:** 0.4

**Коэффициент Подобия 2:** 0

**Микропробелы:** 3

**Знаки из других алфавитов:** 8

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 3

**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*

*13.06.2011.*



*Е.В. Кулакова*

*проверяющий эксперт*

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті  
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

**Автор:** Даулетбек Нурболат Ашимұлы

**Тақырыбы:** Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

**Жетекшісі:** Елена Кулакова

**1-ұқсастық коэффициенті (30):** 0.4

**2-ұқсастық коэффициенті (5):** 0

**Дәйексөз (35):** 0.2

**Әріптерді ауыстыру:** 8

**Аралықтар:** 0

**Шағын кеңістіктер:** 3

**Ақ белгілер:** 3

**Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :**

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілісін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

**Негіздеме:**

Күні



Кафедра меңгерушісі

## Протокол

### о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

**Автор:** Даулетбек Нурболат Ашимулы

**Соавтор (если имеется):**

**Тип работы:** Дипломная работа

**Название работы:** Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

**Научный руководитель:** Елена Кулакова

**Коэффициент Подобия 1:** 0.4

**Коэффициент Подобия 2:** 0

**Микропробелы:** 3

**Знаки из других алфавитов:** 8

**Интервалы:** 0

**Белые Знаки:** 3

**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



Заведующий кафедрой

## РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект студента  
Даулетбек Нурболат Ашимулы  
6В07103 – Автоматизация и роботизация

На тему: Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

Выполнено:

- а) презентация на \_\_ слайдах
- б) пояснительная записка на \_\_ страницах

## ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Дипломная работа посвящена актуальной теме - проектированию автоматизированной системы управления котлоагрегатом (АСУ ТП). Повышение эффективности и безопасности эксплуатации теплотехнического оборудования на фоне перехода промышленных предприятий к цифровым технологиям делает данную работу своевременной и практически значимой.

Дипломный проект имеет теоретическую, расчетную и программную части, что в совокупности свидетельствует о высоком уровне подготовки автора. В теоретической части подробно описывается объект управления, его конструктивные и технологические особенности. В следующем разделе создается анализ и синтез системы управления. Построения структурной схемы АСУ ТП, формирование требования к автоматизированной системе и выбор ключевых точек автоматизации.

В третьем и четвертом разделах выполняется разработка функциональной схемы автоматизации СУП или объектом и расчетная часть. По расчетной части проводится анализ динамических систем переходных процессов и особенности ПИД-регуляторов.

## Оценка работы

Работа демонстрирует хорошую подготовку выпускника в области автоматизации и заслуживает оценки «85» (*хор.*), а студенту Даулетбек Нурболат Ашимулы 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.

**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

Дипломная работа  
Дәулетбек Нұрболат Ашімұлы  
6B07103 – «Автоматизация и роботизация»

**Тема:** Разработка автоматизированной системы управления котлоагрегатом

В ходе выполнения дипломного проекта студент продемонстрировал хороший уровень теоретической подготовки и уверенные практические навыки в области автоматизации технологических процессов. Тематика работы, связанная с разработкой автоматизированной системы управления котлоагрегатов, является актуальной и востребованной в современной энергетике.

Выбор методов и программных средств был осуществлён обоснованно и с учётом специфики управляемого объекта. Разработанная система управления соответствует современным требованиям к промышленной автоматизации, обеспечивая гибкость и расширяемость решений.

Все поставленные задачи выполнены в полном объёме. Студент проявил самостоятельность, инициативу и способность к решению технически сложных задач, что подтверждает его профессиональную подготовку и готовность к работе в сфере промышленной автоматизации.

Дипломный проект Дәулетбек Нұрболата Ашімұлы демонстрирует хороший уровень подготовки в области систем автоматического управления и заслуживает присвоение академической степени бакалавра по образовательной программе 6B07103 – Автоматизация и роботизация.

Научный руководитель  
Старший преподаватель  
 Кулакова Е.А.  
« 13 » 06 2025 г.