

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
**«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»**

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

Допускается к защите
и.о. зав. кафедрой ОНД
_____ К.В. Кондратьева
«___» _____ 2026 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему:

«Автоматизация системы отопления производственного цеха

ООО «Гидромашкомплект» Пермский край г. Лысьва»

Студент: _____ А.В. Бадалов
(подпись, дата)

Группа: АЭП-21-16озЛФ

Состав ВКР:

1. Пояснительная записка на 61 стр.
2. Графическая часть на 3 листах.
3. Электронный носитель с материалами ВКР.

Руководитель: _____ канд. тех. наук, доцент, А.С. Бондарчук
(подпись, дата)

Руководитель
бакалаврской
программы: _____ ст. преподаватель, В.Г. Лопатин
(подпись, дата)

Проверено
на наличие
заимствования: _____ канд. экон. наук, доцент, К.В. Кондратьева
(подпись, дата)

Лысьва 2026

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Лысьвенский филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Факультет: Профессионального образования

Направление: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы

Кафедра: Общенаучных дисциплин

УТВЕРЖДАЮ

и.о. зав. кафедрой ОНД

_____ К.В. Кондратьева

«___» _____ 2026 г.

ЗАДАНИЕ
на выпускную квалификационную работу

Фамилия, имя, отчество: Бадалов Андрей Владимирович

Группа: АЭП-21-1603ЛФ

Начало выполнения работы: 05.02.2026 г.

Срок предоставления на кафедру: 18.06.2026 г.

Защита работы на заседании ГЭК: 22.06.2026 – 23.06.2026 г.

1. Выпускная квалификационная работа на тему: «Автоматизация системы отопления производственного цеха ООО «Гидромашкомплект» Пермский край г. Лысьва».

Исходные данные к работе: Технические характеристики установки, электропривода, устройств, входящих в состав проекта. Учебная и техническая литература, сайты по автоматизированному электроприводу типовых производственных механизмов и технологических комплексов, автоматизации технологических процессов.

2. Содержание пояснительной записки:

Введение. Отразить актуальность выбранной темы, сформулировать цель и конкретные задачи исследований. Конкретизировать объект и предмет исследований. В краткой форме сформулировать необходимость разработки данной темы, ее теоретическое значение и практическую значимость для исследуемого предприятия. Описать предмет исследования и принцип его работы, формулирование цели и поставка задачи на разработку, требования, предъявляемые к безопасности труда.

Основная часть:

а) Исследовательский раздел. Изучение и анализ проблемы, состоянию дел в избранной предметной области на основе анализа литературных источников, обоснованию принятых решений.

Тщательно отобрать и логически увязать собранный материал, обратить внимание на логические переходы при оформлении пояснительной записки. По результатам исследования сделать аргументированные выводы, сформулировать предложения в соответствии с темой ВКР и определить задачи для достижения поставленной цели.

б) Технологический (конструкторский) раздел. В соответствии с поставленными задачами и темой ВКР разработать предложения по повышению безопасности и улучшению условий труда на предприятии. Выполнить необходимые расчеты для реализации предложений и определить экономический эффект от их внедрения.

Заключение. Краткое изложение решаемых в рамках ВКР задач и полученных результатов, практическая значимость работы для исследуемого объекта, соответствие полученных результатов теме и заданию ВКР.

3. Дополнительные указания: нет

4. Основная литература:

- ГОСТ 7.32-2017 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.
- Е.Н. Хаматнурова, Ю.А. Чурсина, Методические указания по выполнению выпускных квалификационных работ для студентов всех направлений, реализуемых кафедрой.
- Беляков Г.И. Охрана труда и техника безопасности: учебник для прикладного бакалавриата/Г.И.Беляков.- 3-е изд., перераб. и доп.- М.: Изд-во Юрайт, 2016.-404 с.
- Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: Учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 576 с.
- Лыков, А.Н. Автоматизация технологических процессов и производств: учеб. пособие / А.Н. Лыков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 423 с.
- Палагута, К.А. Микроконтроллерное управление электроприводом: Учебное пособие. - М.: МГИУ, 2008. – 298 с.
- Девясилов В.А. Охрана труда: учебник/В.А.Девясилов.- 5-е изд., перераб. и доп.. – М.: ФОРУМ, 2010.-512 с : ил.
- Билоус О.А., Иванов А.П. Электронные преобразовательные устройства. Электрон. версия учебного пособия. – Пермь: Изд-во ПГТУ, 2010. – 212 с. – Режим доступа: <http://elibr.pstu.ru/docview/?id=486.pdf>, свободный.
- Электротехнический справочник: В 4 т. /Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 1998, 2002.
- ГОСТ 33997-2016. Межгосударственный стандарт. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки (введен в действие Приказом Росстандарта от 18.07.2017 N 708-ст)
- ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам/ – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002

Руководитель ВКР _____ канд. тех. наук, доцент, А.С. Бондарчук
(подпись, дата)

Задание получил _____ А.В Бадалов
(подпись, дата)

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

№ п/п	Наименование этапа	Объем этапа, в %	Сроки выполнения		Примечание
			начало	конец	
1	Получение задания на выполнение ВКР.	10 /10	05.02.26	13.02.26	
2	Написание ВКР.	20/30	14.02.26	22.05.26	
3	Оформление пояснительной записки.	30/60	23.05.26	14.06.26	
4	Представление работы на проверку и отзыв руководителя квалификационной работы	15/75	11.06.26	15.06.26	
5	Представление ВКР на проверку заведующему кафедрой	10/85	16.06.26	18.06.26	
6	Защита на заседании ГЭК	7/92	22.06.26	22.06.26	

Руководитель ВКР _____ канд. тех. наук, доцент, А.С. Бондарчук
(подпись, дата)

«С календарным графиком ознакомлен» _____ А.В Бадалов
(подпись, дата)

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ	7
1.1 Характеристика предприятия и объекта автоматизации	7
1.2 Анализ существующей системы отопления	7
1.3 Почему необходимо автоматизировать котел	10
ГЛАВА 2. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	12
2.1 Выбор контроллера и панели оператора. Обоснование применения готового комплекта с предустановленным ПО	12
2.1.1 Технические характеристики комплекта	13
2.1.2 Сравнение готовых комплектов	16
2.2 Выбор параметров контроля и регулирования	17
2.2.2 Регулируемые параметры (выходные сигналы)	19
2.2.3 Карта входов и выходов контроллера	20
2.2.4 Обоснование архитектуры управления	21
2.3 Заключение	22
ГЛАВА 3. РАСЧЁТ И ВЫБОР ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ	23
3.1 Расчёт вентилятора дымоcоса и выбор частотного преобразователя	23
3.1.1 Расчет расхода топлива и необходимого объема воздуха.....	24
3.1.2 Проверка мощности электродвигателя АИР 71В4	26
3.1.3 Выводы по разделу 3.1	32
3.2 Расчёт пневматического привода крышки загрузочной камеры	33
3.2.1 Исходные данные	33
3.2.2. Расчет требуемого усилия для перемещения крышки	34
3.2.3 Выбор вариантов пневмоцилиндров	35
3.3 Расчёт электрического тельфера для перемещения ёмкости с дровами	39
3.3.1 Исходные данные	39

3.3.3 Сравнительный анализ вариантов тельферов	41
3.3.4 Обоснование выбора тельфера Denzel TF-500.....	45
3.4 Выводы по выбору исполнительных механизмов	46
ГЛАВА 4 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ШКАФА УПРАВЛЕНИЯ, ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ, ПОРЯДОК РАБОТЫ	48
4.1 Описание работы шкафа управления	48
4.2 Режимы работы блока управления	52
4.3 Указание мер безопасности	57
4.4 Перегрев котла.....	57
4.5 Подготовка к работе	58
4.6 Порядок работы	59
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	60
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	62
ПРИЛОЖЕНИЕ А	65
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ В	67

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Дымосос (вентилятор индуцированной тяги) – центробежный вентилятор, устанавливаемый на выходе газовоздушного тракта котлоагрегата. Предназначен для принудительного удаления дымовых газов из топки и поддержания заданного разрежения в процессе горения.

Концевой выключатель (концевик) – электромеханическое устройство, фиксирующее крайние положения подвижных элементов механизма (крышки загрузочной камеры, каретки тельфера). При срабатывании передает дискретный сигнал в контроллер для аппаратной блокировки или остановки привода.

Панель оператора (HMI) – устройство человеко-машинного интерфейса (в рассматриваемой системе – модель Wescon P13102). Обеспечивает визуализацию технологического процесса, ввод температурных уставок, отображение журнала аварийных событий и возможность ручного управления режимами котла.

Программируемое реле (ПЛК, ОВЕН ПР200) – микропроцессорное ядро системы автоматизации. Выполняет сбор аналоговых и дискретных сигналов с датчиков, обрабатывает их по заданным алгоритмам и формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы.

Термопара типа К – первичный преобразователь температуры, выполненный из сплавов. Применяется в системе для унифицированного измерения температуры теплоносителя и уходящих дымовых газов в диапазоне до +600 °С.

Уставка – пороговое значение технологического параметра (температуры, давления, времени), задаваемое оператором или хранящееся в памяти контроллера. При достижении этого значения контроллер изменяет режим работы оборудования или активирует защитные функции.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Для нормального хода технологических процессов и создания безопасных условий труда в производственных помещениях требуется устойчивое теплоснабжение. На предприятии ООО «Гидромашкомплект» отопление цеха обеспечивается твердотопливным котлом на дровах. Топливо доступное, но существующая схема эксплуатации имеет серьёзные недостатки.

Основной недостаток — постоянная ручная загрузка дров в топку. Это ведёт к дополнительным расходам на оплату труда персонала и ставит температурный режим в зависимость от человеческого фактора. Когда очередная порция дров прогорает, температура теплоносителя падает, и в цехе становится холоднее. Плюс ручная загрузка травмоопасна и приводит к неравномерному горению топлива, что снижает КПД котла.

Модернизация системы отопления путём внедрения автоматической подачи топлива — задача актуальная. Автоматизация позволит стабилизировать горение, сократить потребность в обслуживающем персонале и повысить общую энергоэффективность отопления.

Объект исследования — система теплоснабжения производственного цеха ООО «Гидромашкомплект», включающая твердотопливный котёл и трубопроводные коммуникации. Предмет исследования — процесс автоматизации подачи дров в топку: выбор механизмов транспортировки, системы управления и контроля.

Цель работы разработать проект автоматизации системы отопления за счёт внедрения узла автоматической подачи топлива, направленный на снижение трудозатрат и стабилизацию температурного режима.

Задачи:

1. Выполнить технический анализ действующей котельной установки и оценить режим её ручной эксплуатации.
2. Изучить современные механизмы автоматической подачи твёрдого топлива (шнековые, конвейерные, пневматические) и выбрать оптимальный для условий предприятия.
3. Разработать функциональную схему автоматизации загрузки топлива и поддержания горения.
4. Подобрать оборудование: приводы механизмов подачи, датчики уровня топлива, контроллер управления.

В работе использованы методы технического анализа энергоустановок, инженерного расчёта механизмов подачи, сравнительного анализа оборудования, а также методы технико-экономического обоснования.

Научной новизной служит адаптивная система управления подачей топлива, учитывающая специфику теплопотерь конкретного производственного цеха ООО «Гидромашкомплект» и режим работы предприятия в зимний период.

Практическая значимость разработанного проекта может быть непосредственно внедрён на предприятии. Реализация системы автоматической подачи позволит:

- исключить необходимость круглосуточного дежурства персонала у котла;
- обеспечить равномерную температуру в цехе без больших изменений тепла;
- повысить безопасность эксплуатации котельной за счёт минимизации контакта персонала с открытым огнём и механизмами топки;
- снизить удельный расход топлива на единицу тепловой энергии.

ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Характеристика предприятия и объекта автоматизации

Предприятие ООО «Гидромашкомплект» находится в г. Лысьва Пермского края. Климат в регионе холодный: средняя температура в отопительный период опускается ниже -15°C , продолжительность отопительного сезона — около 230 суток [4].

Объект автоматизации — производственный цех площадью 650 м^2 , высота потолков 12 м. Здание кирпичное, построено в 1976 году. В цехе ведут металлообработку на станках, сварочные и малярные работы. Для нормального хода этих процессов температура в рабочей зоне должна быть не ниже $+15^{\circ}\text{C}$ [5].

1.2 Анализ существующей системы отопления

Сейчас цех отапливается твердотопливным котлом марки ГРВ (GRV) мощностью 150 кВт. Топливо для котла — дрова. Котел изображен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Твёрдотопливный котел марки ГРВ (GRV)

Котёл ГРВ 150 кВт — промышленный водогрейный агрегат длительного горения, рассчитанный на отопление помещений до 1500 м². Производитель — компания «Джи Эр Ви Групп» (г. Краснодар). Оборудование используют для обогрева производственных цехов, теплиц, складов.

Технические характеристики котла:

- номинальная мощность — 150 кВт;
- материал теплообменника — сталь марки 09Г2С толщиной 5 мм (модель GRV K.150.5) или 8 мм (модель GRV K.150.8);
- топливо — дрова (основное), уголь, брикеты;
- тип горения — шахтный, пиролизный слоевой;
- управление — автоматическое, с вентилятором наддува и блоком управления.

Конструктивные особенности:

- длительность работы на одной закладке — от 8 до 24 часов в зависимости от влажности дров и теплопотерь здания (за счёт шахтной конструкции и автоматики);
- есть модификации, которые одновременно греют воду для радиаторов и воздух для воздушных обогревателей;
- котёл компактный для своей мощности.

Плюсы котла

- Котёл работает на дровах разного размера, а также на отходах деревообработки и брикетах.
- Шахтная конструкция позволяет загружать много топлива; в режиме поддержания температуры агрегат может проработать до суток без новой закладки.
- Сталь 09Г2С (особенно версия 8 мм) устойчива к тепловым нагрузкам и коррозии; ресурс — до 10–15 лет [6].

– Вентилятор наддува и контроллер поддерживают заданную температуру без постоянного контроля со стороны человека.

– Конструкция теплообменника обеспечивает удобный доступ к зольнику и каналам для чистки.

– Пиролизный дожиг дымовых газов повышает КПД и снижает расход дров по сравнению с простыми печами [7].

Минусы котла

– Автоматика и вентилятор требуют электропитания. При частых отключениях нужны ИБП или генератор.

– Максимальный КПД достигается только на сухих дровах (влажность до 20%). На сырых дровах КПД падает, на стенках образуется дёготь и конденсат.

– Агрегат мощностью 150 кВт тяжёлый (может весить более тонны), под него нужен бетонный фундамент.

– При внезапном отключении электричества или поломке насоса быстро остановить мощный котёл сложно. Требуется надёжная группа безопасности и желателен тепловой аккумулятор[8].

1.3 Почему необходимо автоматизировать котел

Автоматизация котла ГРВ 150 кВт позволяет перевести систему отопления из разряда проблемных узлов в разряд эффективного производственного механизма. Для цеха площадью 1500 м² такой шаг экономически необходим. Основные аргументы:

1. Снижение эксплуатационных расходов. В ручных котлах основные затраты — оплата труда обслуживающего персонала. Автоматизация освобождает время сотрудников для других работ. Котёл требует внимания раз в несколько дней вместо каждых 6–8 часов.

2. Стабильность работы. Система автоматизированной загрузки дров не пропускает время закладки дров и не перегревает котёл. Система подачи топлива вместе с контроллером поддерживает температуру воды с точностью

до 1–2 °С. Для производств, где перепады температуры ведут к убыткам или порче продукции, это принципиально важно [9].

3. Повышение КПД и экономия топлива. При ручной загрузке котёл работает циклично: жар сменяется холодом. Автоматическая подача даёт равномерное горение — топливо поступает дозированно, сгорает полностью и с максимальной теплоотдачей. Общий расход топлива за сезон снижается на 20–30%.

Автоматизация котла ГРВ 150 кВт превращает его в автономную мини-котельную. Предприятие получает промышленную мощность 150 кВт с уровнем удобства, близким к газовому отоплению. Для больших площадей это единственный способ добиться стабильного результата.

ГЛАВА 2. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

2.1 Выбор контроллера и панели оператора. Обоснование применения готового комплекта с предустановленным ПО

Для автоматизации дровяного котла в дипломном проекте использован готовый аппаратно-программный комплект. Предварительно настроенное ПО сокращает сроки внедрения, исключает ошибки при самостоятельном написании кода и даёт надёжность за счёт отлаженных алгоритмов.

В качестве базовой платформы взят комплект оборудования ООО «ОВЕН». Производитель позиционирует его как масштабируемое решение для систем теплоснабжения. Состав комплекта показан в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Состав выбранного комплекта

Компонент	Модель	Назначение в комплекте
Контроллер	ПР200-6.2.10.4.2	Ядро системы: сбор данных, ПИД-регулирование, управление исполнительными механизмами
Панель оператора	Wecon P13102	Визуализация процесса, ввод уставок, журнал аварий
ПО контроллера	Owen Logic + Библиотека «Котёл»	Готовые функциональные блоки для управления горением
ПО панели	OWEN Configurator + Шаблон HMI	Предустановленный интерфейс с мнемосхемой котла
Комплект связи	Кабель RS-485, терминаторы	Готовое решение для обмена данными Modbus RTU

Производитель предоставляет не только оборудование, но и библиотеки готовых алгоритмов. Для твердотопливного котла это набор блоков:

- ПИД-регулятор температуры теплоносителя;
- логика розжига и выхода на рабочий режим;
- алгоритмы защиты от перегрева и обратной тяги;
- управление циркуляционным насосом с гистерезисом.

Программу с нуля писать не требуется. Достаточно настроить уставки и привязать физические входы/выходы к готовым блокам.

2.1.1 Технические характеристики комплекта

Программируемое реле ОВЕН ПР200. Модификация ПР200-220.4.1.0 — подходит для управления котлом. Внешний вид реле представлен на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Программируемое реле ОВЕН

— Аналоговых входов: 4 штуки (универсальные: термосопротивления или 4–20 мА). Подключаются датчики температуры дымовых газов и воды в системе отопления.

— Дискретных выходов: 10 релейных. Через них управляем вентилятором наддува, насосами отопления, аварийной сигнализацией и клапанами.

— Связь: встроенный RS-485 (Modbus RTU) — для связи с панелью и другими устройствами.

– Корпус: на DIN-рейку. Питание 220 В. Работает от -20 до +55°C.

Панель оператора Wescon P13102 изображена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 - Панель оператора Wescon P13102

Текстово-графическая панель. Драйвер для реле ПР200 уже предустановлен:

- Показывает мнемосхему системы в реальном времени.
- Позволяет настраивать температурные уставки, таймеры, гистерезисы.
- Выводит аварии и события с привязкой ко времени и имеет архив событий.
- Меню на русском языке, всё довольно понятно.

Программное обеспечение

В комплекте уже идёт настроенное ПО:

1. Owen Logic — среда программирования с библиотекой «Теплотехника». Там есть готовые блоки для управления котлами.
2. OWEN Configurator — для проектирования интерфейса. Базовый шаблон «Котельная» есть, его подгоняют под конкретную схему обвязки.

2.1.2 Сравнение готовых комплектов

Для того, чтобы убедиться в правильности выбора контроллера для управления автоматизации загрузки котла, рассмотрел и сравнил комплекты других производителей. Сравнения показаны в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Сравнение готовых комплектов разных производителей

Критерий	ОВЕН ПР200 (готовый комплект с библиотеками)	Специализированные контроллеры (KG Elektronik, Tech, Atem)	Универсальные ПЛК (Siemens, Delta)
Тип ПО	Библиотеки готовых алгоритмов + настройка уставок	Фирменное ПО «из коробки», закрытое для редактирования	Полная разработка с нуля на языках МЭК 61131-3
Гибкость	Высокая: можно доработать алгоритм под специфику котла	Низкая: функционал ограничен прошивкой производителя	Максимальная: любая логика, но требует высокой квалификации
Время внедрения	2–4 недели (настройка шаблона)	1–2 недели (монтаж + базовая настройка)	2–4 месяца (разработка + тестирование + отладка)
Стоимость	Средняя (бюджетное промышленное оборудование)	Низкая/средняя (массовый сегмент)	Высокая (дорогое оборудование + инженерные часы)
Ремонтопригодность	Высокая: модульная замена, доступность в РФ	Средняя: зависимость от поставок импортных плат	Зависит от наличия специалистов по конкретной платформе
Безопасность	Промышленное исполнение, гальваническая развязка	Бытовое/полупромышленное исполнение	Промышленное, но требует грамотного проектирования
Поддержка	Документация на русском, техподдержка ОВЕН	Ограниченная, часто на иностранном языке	Зависит от интегратора

Специализированные контроллеры – это решения «включил и работает». Но программное обеспечение «закрытое»: не получится

подстроить под нестандартную схему или добавить новую функцию без замены контроллера. К тому же у многих контроллеров нет полноценной аппаратной защиты от перегрева.

Универсальные ПЛК (Siemens, Delta) – очень гибкие, но под них нужно писать всю программу с нуля. Для небольшой котельной это избыточно и дорого, так как требуется шеф-монтаж от поставщика.

ОВЕН PR200 – оптимальное решение. Это не «черный ящик»: логику видно и при необходимости можно доработать. За счёт готовых блоков время программирования сокращается на 70–80%. Оборудование промышленное, полностью поддерживается в России.

В итоге для автоматизации дровяного котла выбрал готовый комплект на базе ОВЕН PR200 и панели Wescon P13102. Он сочетает скорость внедрения (как у специализированных контроллеров) и гибкость (как у универсальных ПЛК). Бесплатная среда разработки, библиотеки функций, хорошая документация на русском языке и доступность оборудования на рынке РФ. Для реального воплощения – оптимальный вариант.

2.2 Выбор параметров контроля и регулирования

Для обеспечения безопасного и эффективного функционирования автоматизированного дровяного котла определён перечень технологических параметров, подлежащих контролю, и соответствующих управляющих воздействий. Правильный выбор средств измерения и исполнительных механизмов позволяет реализовать алгоритмы защиты, оптимизации горения и автоматической загрузки топлива.

В настоящем разделе обоснован выбор датчиков температуры, положения механических узлов, а также выполнено распределение дискретных и цифровых выходных сигналов контроллера.

2.2.1 Контролируемые параметры (входные сигналы)

Система автоматизации получает информацию о состоянии котла посредством аналоговых и дискретных входов контроллера.

1. Температура теплоносителя - основной параметр для регулирования тепловой мощности котла. Используется для управления вентилятором поддува, включения циркуляционного насоса и активации защиты от перегрева. Термопара типа К (хромель-копель) в защитной гильзе, ОВЕН (серия ТП502). Несмотря на распространённость термосопротивлений (Pt100) для измерения температуры воды, в проекте выбраны термопары ОВЕН с целью унификации типов входных сигналов с датчиком дымовых газов. Это позволяет использовать универсальные аналоговые входы контроллера без перенастройки под разные типы сенсоров. Диапазон измерений до +600 °С обеспечивает необходимый запас прочности при аварийном вскипании теплоносителя.

2. Температура дымовых газов - контроль эффективности сгорания и состояния дымохода. Превышение температуры свидетельствует о перегреве теплообменника либо возгорании сажи; понижение — о неполном сгорании и риске конденсатообразования. Термопара типа К, ОВЕН (аналогична датчику теплоносителя для обеспечения взаимозаменяемости). Термопары типа К являются промышленным стандартом для измерения температур уходящих газов, обладая высокой термостойкостью и устойчивостью к агрессивной среде дымохода.

3. Положение крышки загрузочной камеры - обеспечение безопасности персонала и герметичности камеры сгорания. Контроль осуществляется по двум независимым сигналам. Концевые выключатели (микровыключатели) герметичного исполнения (IP65).

Сигналы:

— «Крышка закрыта» — разрешающий сигнал для включения вентилятора поддува и начала цикла горения;

— «Крышка открыта» — сигнал блокировки наддува и индикация для оператора о возможности безопасной загрузки.

4. Положение механизма подачи топлива (лебёдка) - контроль крайних положений подъёмного механизма, перемещающего ёмкость с дровами в зону загрузки. Необходим для предотвращения механических повреждений (обрыв троса, заклинивание двигателя). Концевые выключатели рычажного типа.

Сигналы:

— «Лебёдка низ» — фиксация положения ёмкости для загрузки дров пользователем;

— «Лебёдка верх» — фиксация положения ёмкости в камере сгорания (дрова поданы).

2.2.2 Регулируемые параметры (выходные сигналы)

Управляющие воздействия формируются контроллером на основе входных данных и заложенного алгоритма работы. Для реализации функций автоматизации выделено 5 дискретных выходов и 1 цифровой интерфейс.

1. Вентилятор поддува (принудительная тяга)

Дискретный выходной сигнал (вкл/выкл). Назначение выхода: подача воздуха в камеру сгорания для поддержания интенсивности горения. Блокировки: запрет включения при сигнале «Крышка открыта».

2. Лебёдка подачи дров (направление «Вверх»)

Дискретный выходной сигнал (реле контактора). Назначение выхода: подъём ёмкости с дровами в камеру сгорания. Отключение: автоматическое по сигналу концевика «Лебёдка верх».

3. Лебёдка подачи дров (направление «Вниз»)

Дискретный выходной сигнал (реле контактора). Назначение выхода: опускание ёмкости для загрузки новой партии топлива. Отключение: автоматическое по сигналу концевика «Лебёдка низ».

4. Управление крышкой загрузочной камеры

Дискретный выходной сигнал (реле). Назначение выхода: привод механизма открытия/закрытия крышки (например, электромагнит). Логика

работы: сигнал подаётся только в цикле автоматической загрузки; в остальное время крышка должна быть заблокирована.

5. Звуковая сигнализация (сирена) Дискретный выходной сигнал (реле). Назначение выхода: оповещение оператора об аварийных ситуациях (перегрев, отсутствие тяги, ошибка датчиков, заклинивание лебёдки).

6. Вентилятор дымососа (индуцированная тяга)

Тип управления выходом: цифровой (интерфейс RS-485, протокол Modbus RTU). Назначение выхода: удаление продуктов сгорания и регулирование разряжения в топке. Обоснование выбора интерфейса: в отличие от вентилятора поддува, дымосос требует плавного регулирования скорости вращения для поддержания оптимального разряжения в зависимости от температуры газов. Управление через RS-485 позволяет передавать задание скорости (0–100 %) и получать обратную связь о состоянии вентилятора, экономя при этом дискретные выходы контроллера.

2.2.3 Карта входов и выходов контроллера

Для установки с выбранным программируемым реле составлена карта распределения сигналов (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Карта сигналов ПР 200

№	Наименование сигнала	Тип сигнала	Техническое средство	Назначение
Входы (Input)				
AL1	Температура теплоносителя	Аналоговый (AI)	Термопара ОВЕН (тип К)	Регулирование мощности, защита
AL3	Температура дымовых газов	Аналоговый (AI)	Термопара ОВЕН (тип К)	Контроль КПД, защита дымохода
1	Кнопка «Пуск/Стоп»	Дискретный (DI)	Кнопка пистового управления	Ручное управление циклом работы
2	Концевик «Топка»	Дискретный (DI)	Термостойкий концевой выключатель	Контроль готовности топки к загрузке
3	Концевик «Лебедка низ»	Дискретный (DI)	Концевой выключатель	Стоп лебедки вниз
4	Концевик «Крышка открыта»	Дискретный (DI)	Концевой выключатель	Блокировка, индикация
5	Концевик «Крышка закрыта»	Дискретный (DI)	Концевой выключатель	Разрешение работы вентилятора
6	Концевик «Лебедка верх»	Дискретный (DI)	Концевой выключатель	Стоп лебедки вверх
Выходы (Output)				
1	Привод крышки	Дискретный (RO)	Реле/Актuator	Герметизация камеры
2	Вентилятор наддува	Дискретный (RO)	Реле/Контактор	Подача воздуха
3	Лебедка «Вниз»	Дискретный (RO)	Реле/Контактор	Возврат механизма
4	Лебедка «Вверх»	Дискретный (RO)	Реле/Контактор	Подача топлива
5	Сирена	Дискретный (RO)	Звуковой оповещатель	Аварийная сигнализация
Интерфейс				
1	Вентилятор дымососа	Цифровой (RS-485)	Частотный преобразователь	Регулирование тяги (Modbus)

2.2.4 Обоснование архитектуры управления

Предложенная конфигурация параметров контроля и регулирования обладает следующими преимуществами:

1. Безопасность — дублирование контроля положения крышки (открыто/закрыто), наличие кнопки аварийного останова и концевика топки обеспечивают многоуровневую защиту персонала и оборудования.

2. Гибкость управления — кнопка «Пуск/Стоп» позволяет оператору вручную управлять циклами работы, что необходимо при пуско-наладке и техническом обслуживании оборудования.

3. Экономия выходных сигналов контроллера — вынос управления дымососом на интерфейс RS-485 освобождает дискретные выходы для

других функций (лебёдка, защита) и позволяет плавно регулировать тягу, недостижимую при релейном управлении.

4. Оптимизация датчиков — использование термопар ОВЕН для обоих контуров измерения температуры упрощает монтаж и настройку аналоговых входов контроллера.

5. Автоматизация загрузки — наличие концевиков лебёдки, крышки и топки позволяет реализовать полностью автоматический цикл подачи топлива с аппаратными блокировками, исключающими подачу дров в незакрытую или неготовую камеру.

2.3 Заключение

В ходе анализа технологического процесса определены необходимые параметры контроля и регулирования. Выбранная структура включает 2 аналоговых входа для измерения температур, 6 дискретных входов для контроля положения механизмов и ручного управления, а также 5 дискретных выходов для управления исполнительными устройствами. Отдельное управление дымососом через интерфейс RS-485 повышает гибкость системы регулирования тяги.

Данный набор технических средств полностью соответствует возможностям современного программируемого реле и позволяет реализовать поставленные задачи по автоматизации дровяного котла с элементами механической загрузки топлива, обеспечивая требуемый уровень безопасности и удобства эксплуатации.

ГЛАВА 3. РАСЧЁТ И ВЫБОР ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

В главе выполнены расчёты трёх основных исполнительных механизмов автоматизированного дровяного котла: вентилятора дымососа с частотным преобразователем, лебёдки подачи топлива и пневмоцилиндра привода крышки. Результаты расчетов используются для обоснования выбора конкретных моделей оборудования, проверки их соответствия технологическим условиям и определения рабочих режимов.

3.1 Расчёт вентилятора дымососа и выбор частотного преобразователя

Для расчёта системы индуцированной тяги принят котёл тепловой мощностью 150 кВт. Исходные данные приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 — Исходные параметры котла

Параметр	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Тепловая мощность котла	$Q_{\text{кот}}$	150	кВт
КПД котла	$\eta_{\text{кот}}$	0,82	—
Вид топлива	—	Древесина лиственных пород (береза, дуб)	—
Низшая теплота сгорания	$Q_{\text{н}}$	14,5	МДж/кг
Коэффициент избытка воздуха	α	1,4	—
Теоретический объем воздуха для сгорания 1 кг дров	L_0	4,3	м³/кг
Температура уходящих газов	$T_{\text{г}}$	180	°С
Суммарное аэродинамическое сопротивление тракта	$\Delta P_{\text{тр}}$	550	Па
Запас по производительности и давлению	$k_{\text{зап}}$	1,2	—
КПД вентилятора	$\eta_{\text{в}}$	0,55	—
КПД механической передачи	$\eta_{\text{пер}}$	0,95	—
Коэффициент запаса по мощности	$k_{\text{рез}}$	1,3	—

*Примечание: повышенное аэродинамическое сопротивление (550 Па вместо 350 Па для малых котлов) обусловлено увеличенной длиной

газоходов, наличием турбулизаторов и большей высотой дымовой трубы промышленного котла.

3.1.1 Расчет расхода топлива и необходимого объема воздуха

1. Часовой расход топлива:

$$B = \frac{P_{\text{кот}} * 3600}{Q_{\text{н}} * \eta_{\text{кот}}} = \frac{150 * 3600}{14500 * 0,82} = \frac{540000}{11890} \approx 45,4 \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где, B - часовой расход топлива;

$P_{\text{кот}}$ - тепловая мощность котла;

$Q_{\text{н}}$ - низшая теплота сгорания;

$\eta_{\text{кот}}$ - КПД котла.

2. Теоретический объем воздуха, необходимый для полного сгорания топлива:

$$V_0 = B * L_0 = 45,4 * 4,3 = 195,2 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где, V_0 - теоретический объем воздуха;

B - часовой расход топлива;

L_0 - удельный объем воздуха на 1 кг топлива.

3. Действительный объем воздуха с учетом коэффициента избытка:

$$V_{\text{д}} = V_0 * \alpha = 195,2 * 1,4 = 273,3 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3)$$

где, $V_{\text{д}}$ - действительный объем воздуха;

V_0 - теоретический объем воздуха;

α - коэффициент избытка воздуха.

4. Объем дымовых газов при рабочей температуре:

Объем продуктов сгорания рассчитывается с учетом температурного расширения газов и коэффициента прироста объема:

$$V_r = V_{\text{д}} * \left(1 + \frac{t_r - t_0}{T_0}\right) * K_{\text{пр}}, \quad (4)$$

где, V_r - объем дымовых газов;

$V_{\text{д}}$ - действительный объем воздуха;

t_r - температура уходящих газов;

t_0 - нормальная температура;

T_0 - нормальная температура по абсолютной шкале;

$K_{пр} \approx 1,1$ - коэффициент, учитывающий увеличение объема за счет образования продуктов сгорания (CO_2 , H_2O).

$$V_r = 273,3 * \left(1 + \frac{180 - 20}{273}\right) * 1,1 = 477,8 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

5. Расчетная производительность дымососа с запасом:

$$Q_{расч} = V_r \cdot k_{зап} = 477,8 * 1,2 \approx 573 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5)$$

где, $Q_{расч}$ - расчетная производительность;

V_r - объем дымовых газов;

$k_{зап}$ - коэффициент запаса.

$Q_{расч} = 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ - округляем до стандартного ряда.

6. Расчет полного давления дымососа

Полное давление, которое должен развивать вентилятор, определяется как сумма аэродинамических сопротивлений всех участков тракта с запасом:

$$\Delta P_{расч} = \Delta P_{тр} * K_{зап} + \Delta P_{доп} = 550 * 1,2 + 40 = 700 \text{ Па}, \quad (6)$$

где, $\Delta P_{расч}$ - расчетное полное давление;

$\Delta P_{тр}$ - аэродинамическое сопротивление тракта;

$k_{зап}$ - коэффициент запаса;

$\Delta P_{доп}$ - дополнительные потери.

$\Delta P_{доп} = 40 \text{ Па}$ — сумма разрежения в топке (30 Па) + сопротивления всасывающего патрубка (10 Па).

3.1.2 Проверка мощности электродвигателя АИР 71В4

На основании расчетных параметров ($Q=600 \text{ м}^3/\text{ч}$, $P=700 \text{ Па}$) подбираем центробежный вентилятор типа ВЦ 4-75 №4, изображенный на рисунке 3.1



Рисунок 3.1 - Центробежный вентилятор типа ВЦ 4-75

Расчет мощности на валу вентилятора:

$$P_{\text{вал}} = \frac{Q_{\text{расч}} * \Delta P_{\text{расч}}}{3600 * 1000 * \eta_{\text{в}}} = \frac{600 * 700}{3600 * 1000 * 0,55} = \frac{420000}{1980000} \approx 0,212 \text{ кВт}, \quad (7)$$

где, $P_{\text{вал}}$ - мощность на валу вентилятора;

$Q_{\text{расч}}$ - расчетная производительность;

$\Delta P_{\text{расч}}$ - расчетное полное давление;

$\eta_{\text{в}}$ - КПД вентилятора.

Вывод: Для перемещения 600 м³/ч дымовых газов при давлении 700 Па на вал вентилятора необходимо подвести механическую мощность 0,212 кВт.

Требуемая мощность электродвигателя с учетом запаса:

$$P_{\text{дв.треб}} = \frac{P_{\text{вал}} * K_{\text{рез}}}{\eta_{\text{пер}} * \eta_{\text{дв}}} = \frac{0,212 * 1,3}{0,95 * 0,80} \approx 0,36 \text{ кВт}, \quad (8)$$

где, $P_{\text{дв.треб}}$ - требуемая мощность двигателя;

$P_{\text{вал}}$ - мощность на валу вентилятора;

$K_{\text{рез}}$ - коэффициент запаса по мощности;

$\eta_{\text{пер}}$ - КПД механической передачи;

$\eta_{\text{дв}}$ - КПД электродвигателя.

Выбор электродвигателя по стандартному ряду мощностей (ГОСТ Р 51689-2000):

Стандартный ряд мощностей асинхронных двигателей: 0,12; 0,18; 0,25; 0,37; 0,55; 0,75; 1,1 кВт.

Ближайшее большее стандартное значение, с учетом запаса: $P_{\text{дв.треб}} = 0,75$ кВт. Данные электродвигателя представлены в таблице 3.2, изображение электродвигателя на рисунке 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры электродвигателя АИР 71В4

Параметр	Обозначение по ГОСТ	Значение	Ед. изм.
Тип двигателя	—	Асинхронный, трехфазный, короткозамкнутый	—
Номинальная мощность	Р _{дв.ном}	0,75	кВт
Номинальная частота вращения	n _{ном}	1330	Об/мин
Напряжение питания	U _{ном}	380	В
Номинальный ток	I _{ном}	1,9	А
Коэффициент мощности	cosφ	0,76	—
Класс изоляции	—	F	—
Степень защиты	—	IP55	—
Режим работы	—	S1 (продолжительный)	—



Рисунок 3.2 – Асинхронный электродвигатель АИР 71В4

Фактический коэффициент запаса мощности:

$$K_{\text{факт}} = \frac{P_{\text{дв.ном}}}{P_{\text{дв.треб}}} = \frac{0,75}{0,36} \approx 2,1, \quad (9)$$

где, $K_{\text{факт}}$ - фактический коэффициент запаса;

$P_{\text{дв.ном}}$ - номинальная мощность двигателя;

$P_{\text{дв.треб}}$ - требуемая мощность двигателя.

Значение $K_{\text{факт}}=2,1$ находится в пределах рекомендуемого диапазона 1,2–2,5 для вентиляторных нагрузок согласно ГОСТ Р 51693-2000.

Запас мощности обоснован следующими моментами:

- возможность работы на форсированном режиме при розжиге;
- компенсация снижения производительности при загрязнении крыльчатки сажей;

- надежный пуск при пониженном напряжении сети;
- резерв для модернизации системы.

Расчет и выбор частотного преобразователя

Для плавного регулирования производительности дымососа применяем частотный преобразователь.

Выбранная модель: Частотный преобразователь ESQ 230-4T-0.7K представлена на рисунке 3.3 и его технические характеристики в таблице 3.3.



Рисунок 3.3 – Частотный преобразователь ESQ 230-4T-0.7K

Таблица 3.3 – Технические характеристики частотного преобразователя ESQ 230-4Т-0.7К

Параметр	Обозначение по ГОСТ	Значение	Ед. изм.
Модель	—	ESQ 230-4Т-0.7К	—
Номинальная выходная мощность	РЧП.ном	0,75	кВт
Номинальный выходной ток	ІЧП.ном	2,3	А
Входное напряжение	U _{вх}	380–480	В, 3 фазы
Диапазон выходной частоты	f _{вых}	0–400	Гц
Интерфейс связи	—	RS-485 (Modbus RTU)	—

3.1.3 Выводы по разделу 3.1

По результатам расчёта системы индуцированной тяги для котла тепловой мощностью 150 кВт определены следующие параметры работы дымососа:

- производительность — 600 м³/ч;
- полное давление — 700 Па.

Мощность на валу вентилятора составила 0,212 кВт, требуемая мощность электродвигателя — 0,36 кВт.

К установке принят электродвигатель АИР 71В4 с номинальными параметрами: мощность 0,75 кВт, частота вращения 1330 об/мин, напряжение 380 В, ток 1,9 А. Фактический коэффициент запаса мощности при этом равен 2,1.

Для управления двигателем выбран частотный преобразователь ESQ 230-4Т-0.7К. Его характеристики: номинальная мощность 0,75 кВт, номинальный ток 2,3 А, интерфейс RS-485 с поддержкой протокола Modbus RTU.

Подключение частотного преобразователя к контроллеру ПР200 через интерфейс Modbus RTU позволяет реализовать алгоритм управления тягой. Уставка частоты вращения определяется автоматически в зависимости от текущих значений температуры теплоносителя и дымовых газов.

3.2 Расчёт пневматического привода крышки загрузочной камеры

Крышка загрузочной камеры дровяного котла оснащается пневматическим цилиндром, который обеспечивает герметичное закрытие перед розжигом и открытие для загрузки топлива. Крышка движется по прямолинейным направляющим (возвратно-поступательно), угол открытия $\alpha = 0^\circ$.

3.2.1 Исходные данные

Исходные параметры для расчёта пневмопривода приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.3 - Исходные данные пневмопривода крышки

Наименование параметра	Обозначение по ГОСТ	Значение	Единица измерен
Масса крышки с уплотнением	m	12	кг
Коэффициент трения скольжения крышки по направляющим	f	0,15	—
Требуемое ускорение при разгоне/торможении	a	0,5	м/с ²
Рабочее давление в пневмосистеме	p	0,5	МПа
Атмосферное давление	p_0	0,101	МПа
Механический КПД цилиндра	η	0,9	—
Коэффициент запаса по усилию	k	1,3	—
Ускорение свободного падения	g	9,81	м/с ²
Ход крышки (открыто/закрыто)	L	300	мм
Частота циклов открытия/закрытия	n	6	цикл/ч

3.2.2. Расчет требуемого усилия для перемещения крышки
Крышка перемещается прямолинейно по направляющим. Требуемое усилие на штоке пневмоцилиндра определяется как сумма сил сопротивления трения и инерции.

Сила сопротивления трения скольжения:

$$F_{\text{тр}} = m * g * f = 12 * 9,81 * 0,15 \approx 17,7 \text{ Н}, \quad (9)$$

где $F_{\text{тр}}$ - сила трения скольжения;

m - масса крышки с уплотнением;

g - ускорение свободного падения;

f - коэффициент трения скольжения.

Сила инерции при разгоне/торможении:

$$F_{\text{ин}} = m * a = 12 * 0,5 = 6,0 \text{ Н}, \quad (10)$$

где $F_{\text{ин}}$ - сила инерции;

m - масса крышки с уплотнением;

a - линейное ускорение крышки.

Суммарное требуемое усилие с запасом:

$$F_{\text{треб}} = (F_{\text{тр}} + F_{\text{ин}}) * k = 17,7 + 6,0 * 1,3 \approx 30,8 \text{ Н}, \quad (11)$$

где $F_{\text{треб}}$ - требуемое усилие на штоке;

$F_{\text{тр}}$ - сила трения скольжения;

$F_{\text{ин}}$ - сила инерции;

k - коэффициент запаса по усилию.

Вывод: Для надежного перемещения крышки в прямолинейном направлении требуется усилие на штоке пневмоцилиндра не менее 30,8 Н.

3.2.3 Выбор вариантов пневмоцилиндров

Для обеспечения прямолинейного возвратно-поступательного движения подобраны три варианта пневмоцилиндров различных производителей, соответствующих требованиям проекта и отображены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 — Параметры рассматриваемых вариантов пневмоцилиндров

Наименование параметра	SMC CP96SDB80-300C	Festo DSBC-80-300-PPVA-N3	Camozzi 60M2L080A0300
Производитель	SMC (Япония)	Festo (Германия)	Camozzi (Италия)
Тип цилиндра	Двустороннего действия, с демпфированием	Двустороннего действия, с демпфированием	Двустороннего действия, с демпфированием
Диаметр поршня, D	80	80	80
Диаметр штока, d	25	25	25
Ход штока, L	300	300	300
Рабочее давление, p	0,15–1,0	0,15–1,0	0,15–1,0
Температура среды, t	-10...+70	-20...+80	-10...+70
Присоединение	G1/4	G1/4	G1/4
Крепление датчиков	Встроенный Т-паз	Встроенный С-паз	Встроенный Т-паз
Стандарт	ISO 15552	ISO 15552	ISO 15552

Для привода крышки загрузочной камеры рассмотрены три модели пневматических цилиндров с диаметром поршня 80 мм и длиной хода 300 мм.

Первый вариант — SMC CP96SDB80-300C (рисунок 3.5). Цилиндр характеризуется оптимальным соотношением цены и ресурса, широко представлен на российском рынке. Корпус оснащён стандартным Т-пазом для установки герконовых датчиков положения, что упрощает монтаж. Оборудование ремонтпригодно, комплектующие доступны. Надёжность модели подтверждена многолетней эксплуатацией в промышленных условиях.



Рисунок 3.5 – Пневмоцилиндр SMC

Второй вариант — Festo DSBC-80-300-PPVA-N3 (рисунок 3.6). Продукция Festo отличается высоким качеством изготовления и расширенным температурным диапазоном работы. Однако стоимость цилиндра выше на 45–50 % по сравнению с аналогами. Конструкция корпуса с С-образным пазом требует использования оригинальных датчиков положения Festo, что увеличивает затраты на систему контроля. Доступность на складах в РФ ограничена, сроки поставки — увеличены.



Рисунок 3.6 – Пневмоцилиндр Festo

Третий вариант — Camozzi 60M2L080A0300 (рисунок 3.7). Данный цилиндр имеет наиболее низкую цену среди рассматриваемых, оснащён стандартным Т-пазом и совместим с универсальными датчиками. Основные недостатки: меньший заявленный ресурс по сравнению с SMC и Festo, а также ограниченность технической документации на русском языке и слабая техническая поддержка.



Рисунок 3.7 – Пневмоцилиндр Camozzi

По результатам сравнения для автоматизации крышки загрузочной камеры выбран пневмоцилиндр SMC CP96SDB80-300C. Выбор обоснован следующими параметрами.

Фактическое усилие на штоке составляет 2264 Н, что превышает требуемое усилие 30,8 Н с запасом 73,5 раза. Такой запас компенсирует возможное загрязнение направляющих, износ уплотнений и снижение давления в пневмосети в процессе эксплуатации.

Т-образный паз на корпусе цилиндра позволяет устанавливать герконовые датчики положения без переходных адаптеров, что упрощает монтаж и снижает стоимость системы контроля.

Продукция SMC имеет развитую сервисную сеть в РФ, доступные запасные части и полную техническую документацию на русском языке, что важно для длительной эксплуатации.

Цилиндр изготовлен по стандарту ISO 15552, что обеспечивает взаимозаменяемость и унификацию с другим пневматическим оборудованием котельной.

3.3 Расчёт электрического тельфера для перемещения ёмкости с дровами

Для автоматизированной подачи топлива в дровяной котёл используется электрический тельфер, который перемещает ёмкость с дровами массой до 500 кг по диагональной траектории — из зоны загрузки в камеру сгорания.

3.3.1 Исходные данные

Исходные параметры для расчёта грузоподъёмного механизма приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 — Исходные данные для расчёта электрического тельфера

Наименование параметра	Значение	Единица измерения
Максимальная масса груза с емкостью, m	500	кг
Высота подъема груза, H	3,0	м
Требуемая скорость подъема, v	0,15	м/с
Коэффициент запаса по грузоподъемности, k_T	1,25	—
Коэффициент полезного действия механизма, η	0,85	—
Коэффициент учета динамических нагрузок, k_d	1,1	—
Ускорение свободного падения, g	9,81	м/с ²
Напряжение питания сети, U	220	В
Частота рабочих циклов, n	6	цикл/ч
Время одного цикла подъема, $t_{ц}$	25	с

3.3.2 Расчет требуемых параметров тельфера

Расчетная сила тяжести груза:

$$F_g = m \cdot g = 500 \cdot 9.81 = 4905 \text{ Н}, \quad (12)$$

где F_g - сила тяжести груза;

m - масса груза с емкостью;

g - ускорение свободного падения.

Расчетная грузоподъемность с запасом

$$Q_{\text{расч}} = m \cdot K_T = 500 \cdot 1,25 = 625 \text{ Кг}, \quad (13)$$

где $Q_{\text{расч}}$ – расчетная грузоподъемность;

m - масса груза с емкостью;

g – коэффициент запаса по грузоподъемности.

Мощность на валу механизма подъема

$$P_{\text{вал}} = \frac{F_g * v}{1000} = \frac{4905 * 0,15}{1000} \approx 0,736 \text{ кВт}, \quad (14)$$

где, $P_{\text{вал}}$ - мощность на валу механизма;

F_g - сила тяжести груза;

v - скорость подъема груза;

1000 - коэффициент перевода Вт/кВт.

Требуемая электрическая мощность двигателя с учетом КПД

$$P_{\text{эл}} = \frac{P_{\text{вал}} * K_d}{\eta} = \frac{0,736 * 1,1}{0,85} \approx 0,952 \text{ кВт}, \quad (15)$$

где, $P_{\text{эл}}$ - требуемая электрическая мощность;

$P_{\text{вал}}$ - мощность на валу механизма;

K_d - коэффициент динамических нагрузок;

η - общий КПД механизма.

3.3.3 Сравнительный анализ вариантов тельферов

Для перемещения ёмкости с дровами рассмотрены три модели электрических тельферов, удовлетворяющие расчётным требованиям.

Первый вариант — Zitreck ЕНВ 0501 (рисунок 3.8). Тельфер российского бренда, адаптирован к местным условиям эксплуатации. Недостатки: более высокая стоимость при меньших технических характеристиках по сравнению с аналогами; диаметр каната 4,0 мм снижает запас прочности; режим работы S3 (25 %) ограничивает интенсивность использования.



Рисунок 3.8 – Электрический тельфер Zitrack EHV 0501

Второй вариант — Denzel TF-500 (рисунок 3.9). Модель имеет наибольшую мощность двигателя среди рассматриваемых — 1020 Вт, что даёт коэффициент запаса мощности 1,07. Скорость подъёма — 0,15 м/с, высота подъёма — 12 м. Диаметр каната 4,5 мм увеличивает надёжность и ресурс. Режим работы S3 (40 %) допускает более интенсивную эксплуатацию. Предусмотрена тепловая защита двигателя. Стоимость оценивается как оптимальная при высоком качестве комплектующих.



Рисунок 3.8 – Электрический тельфер Denzel TF-500

Третий вариант — TOR PA 600/1200 6м 110120 (рисунок 3.10).

Номинальная грузоподъёмность — 600 кг, диаметр каната — 5,0 мм — наибольшие показатели в группе. Недостатки: скорость подъёма 0,12 м/с увеличивает время рабочего цикла; высота подъёма 6 м может оказаться недостаточной при некоторых схемах монтажа; масса тельфера 17,5 кг усложняет установку.



Рисунок 3.9 – Электрический тельфер TOR PA 600/1200 6м 110120

Сравнительные характеристики вариантов сведены в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 — Варианты электрических тельферов

Критерий	Ед. изм.	Denzel TF-500	Zitreck ЕНВ 0501	TOR PA 600/1200
Грузоподъемность, $Q_{ном}$	кг	500	500	600/1200
Коэффициент по грузоподъемности, k_Q	—	0,80	0,80	0,96
Мощность двигателя, $P_{дв}$	Вт	1020	1000	1100
Коэффициент по мощности, k_P	—	1,07	1,05	1,16
Скорость подъема, v	м/с	0,15	0,14	0,12
Высота подъема, H	м	12	12	6
Диаметр каната, d_k	мм	4,5	4,0	5,0
Режим работы	—	S3 (40%)	S3 (25%)	S3 (40%)
Масса тельфера, m_t	кг	14,5	16,2	17,5
Наличие концевых выключателей	—	✓	✓	✓
Наличие теплзащиты двигателя	—	✓	✓	✓
Ресурс (часов наработки), T	ч	500	400	550
Наличие на складе в РФ	—	Высокое	Среднее	Высокое
Соотношение цена/качество, $K_{экон}$	баллы	9/10	7/10	8/10
Рекомендация	—	Выбран	—	Альтернатива

3.3.4 Обоснование выбора тельфера Denzel TF-500

По результатам сравнения для системы автоматической подачи топлива принят электрический тельфер Denzel TF-500.

Номинальная мощность двигателя (1020 Вт) превышает расчётную требуемую мощность (952 Вт), коэффициент запаса составляет 1,07. Этого достаточно для надёжного подъёма груза 500 кг в номинальном и пусковом режимах. Скорость подъёма 0,15 м/с — максимальная среди рассмотренных вариантов, что сокращает время цикла подачи топлива.

Стальной канат диаметром 4,5 мм обеспечивает необходимый запас прочности. Встроенные концевые выключатели верхнего и нижнего положения, а также тепловая защита двигателя предотвращают аварийные ситуации.

Режим работы S3 (40 %) допускает до 24 минут работы в час. Этого достаточно для шести циклов подачи топлива в час. Высота подъёма 12 м позволяет применять тельфер в котельных с разной конфигурацией.

Продукция Denzel широко представлена на рынке РФ, доступны запасные части (канаты, крюки, концевые выключатели, двигатели) и техническая документация на русском языке, что важно для длительной эксплуатации.

3.4 Выводы по выбору исполнительных механизмов

По результатам расчётов и сравнительного анализа определён окончательный перечень исполнительных механизмов для автоматизации дровяного котла тепловой мощностью 150 кВт.

Система удаления продуктов сгорания. Принят центробежный дымосос с электродвигателем АИР 71В4 (0,75 кВт) и частотным преобразователем ESQ 230-4Т-0.7К. Частотное регулирование позволяет изменять производительность в диапазоне 30–55 Гц, что необходимо для оптимизации горения при переменной тепловой нагрузке.

Система подачи топлива. Выбран электрический тельфер Denzel TF-500 грузоподъёмностью 500 кг, мощность двигателя — 1020 Вт. Скорость подъёма — 0,15 м/с. Тельфер оснащён концевыми выключателями и тепловой защитой двигателя. Энергопотребление в штатном режиме не превышает 0,068 кВт·ч за час работы, что не создаёт значительной нагрузки на электросеть котельной.

Привод крышки загрузочной камеры. Крышка с прямолинейным движением оснащена пневмоцилиндром SMC CP96SDB80-300С. Запас по усилию более чем 70-кратный компенсирует загрязнение направляющих и возможное снижение давления в пневмосети. Для контроля положений крышки используются герконовые датчики SMC D-A93, подключённые к дискретным входам контроллера.

Все выбранные механизмы работают с системой управления на базе программируемого реле ОВЕН ПР200 и панели оператора Wecon R13102. Дымосос управляется через интерфейс RS-485 (Modbus RTU), тельфер и пневмоцилиндр — через дискретные выходы контроллера. Сигналы от

датчиков положения и температуры поступают на аналоговые и дискретные входы.

Выбранная комплектация позволяет реализовать централизованное управление, диагностику оборудования и алгоритмы безопасности. Механизмы обеспечивают работу котла в номинальном и переходных режимах с требуемой надёжностью и энергоэффективностью.

ГЛАВА 4 ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ШКАФА УПРАВЛЕНИЯ, ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ, ПОРЯДОК РАБОТЫ

4.1 Описание работы шкафа управления

Панель оператора служит для отображения и редактирования параметров, а также индикации состояния оборудования.

Меню оператора состоит из четырех экранов: Основной, Настройки, График, Журнал событий.

Для перехода между экранами предусмотрен экран «Меню».



Рисунок 4.1 – Экран «Меню»

При включении прибора на панели отображается Основной экран с установленным режимом «Ручной».

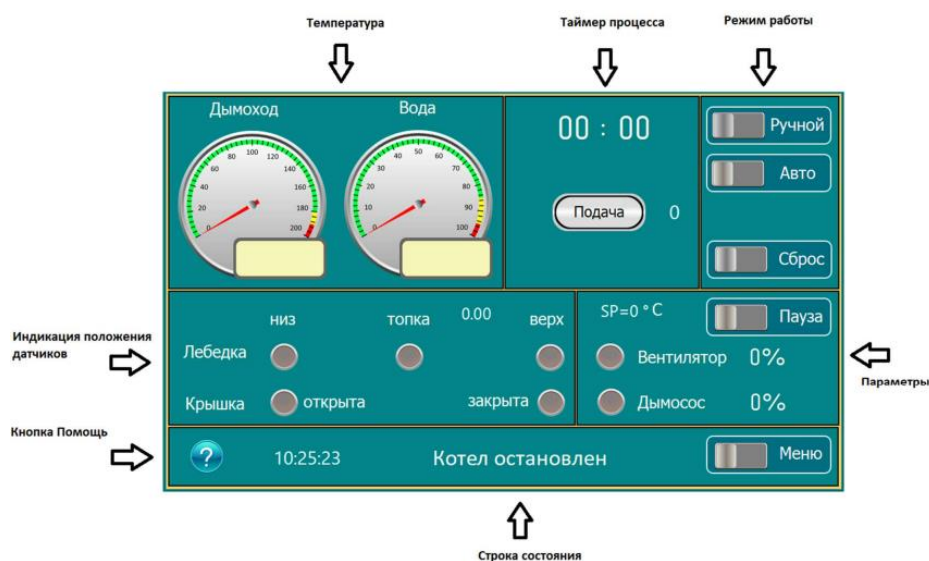


Рисунок 4.2 – Основной экран

Функциональная кнопка «Подача» позволяет вручную подать топливо в топку. Состояние оборудования можно наблюдать по светодиодам и значениям.

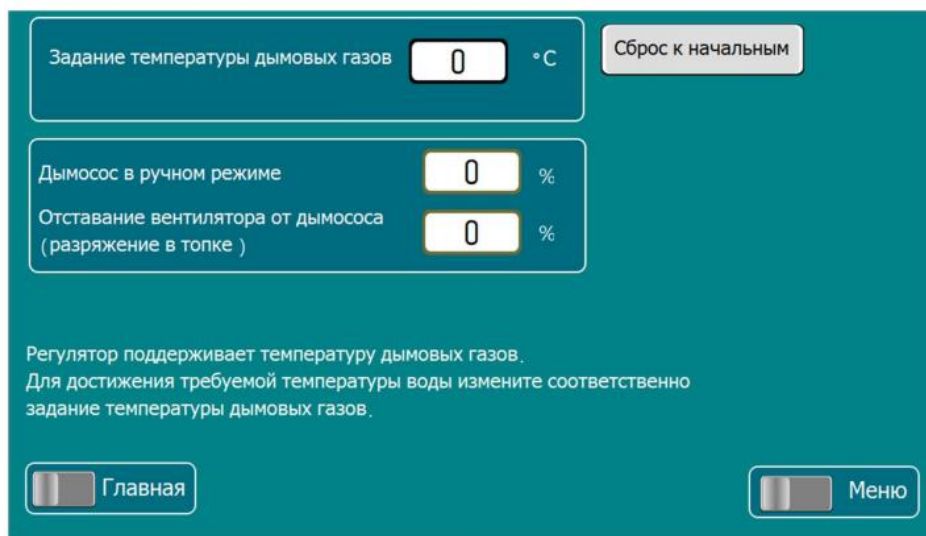


Рисунок 4.3 – Экран настройки

Для изменения значения параметра необходимо нажать на цифровую панель параметра. Откроется окно ввода значения:

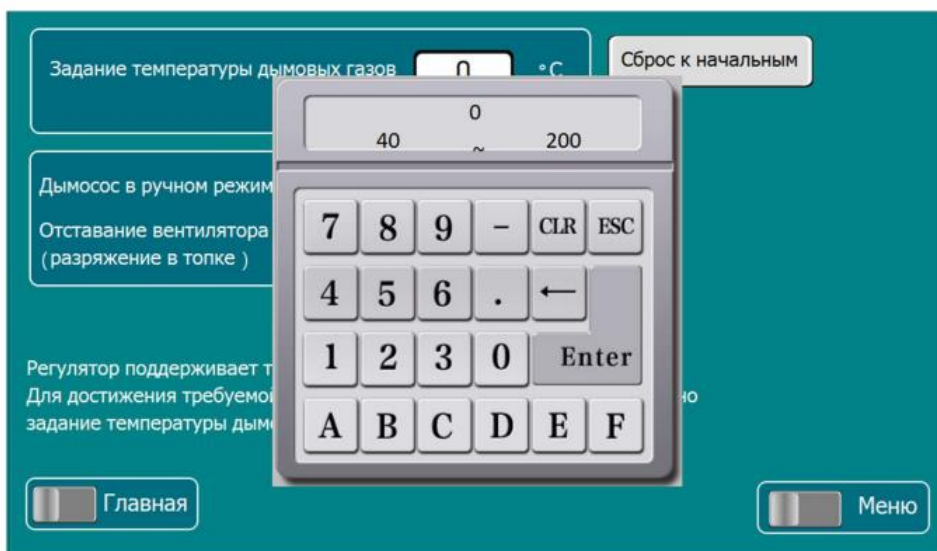


Рисунок 4.4 – Окно ввода значения

Ввести новое значение в диапазоне, указанном в окне ввода, и
подтвердить нажатием Enter.

Если в настройках указана такая максимальная мощность, при которой невозможно достичь уставки - процесс автонастройки не закончится, пока его не сбросят вручную.

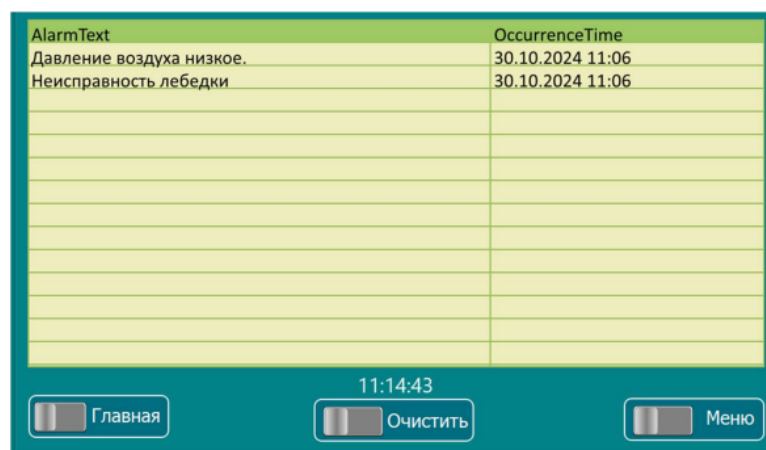


Рисунок 4.5 – Экран журнал событий

На экране отображаются события с указанием даты и времени возникновения: События сохраняются в энергонезависимой памяти. Оператор имеет возможность очистить список без возможности восстановления. Для этого предусмотрена кнопка «Очистить».

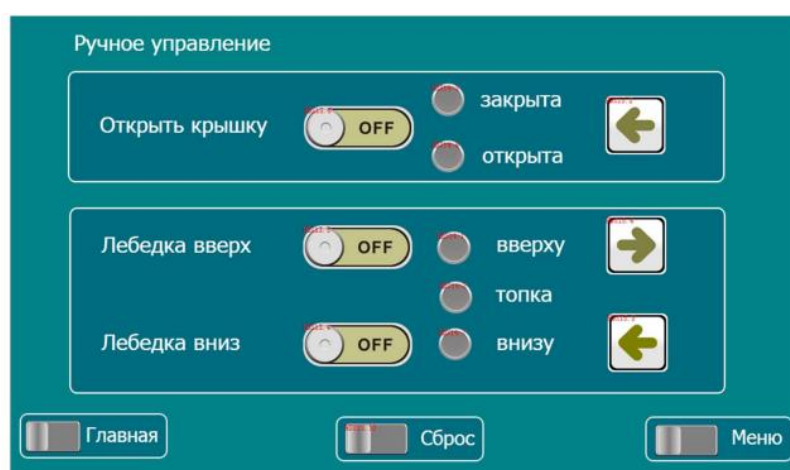


Рисунок 4.6 – Экран наладка

Экран служит для ручного управления исполнительными механизмами при проведении наладочных работ.

4.2 Режимы работы блока управления

Ручной режим топki

Для пуска котла в ручном режиме необходимо нажать кнопку «Пуск» на двери шкафа.

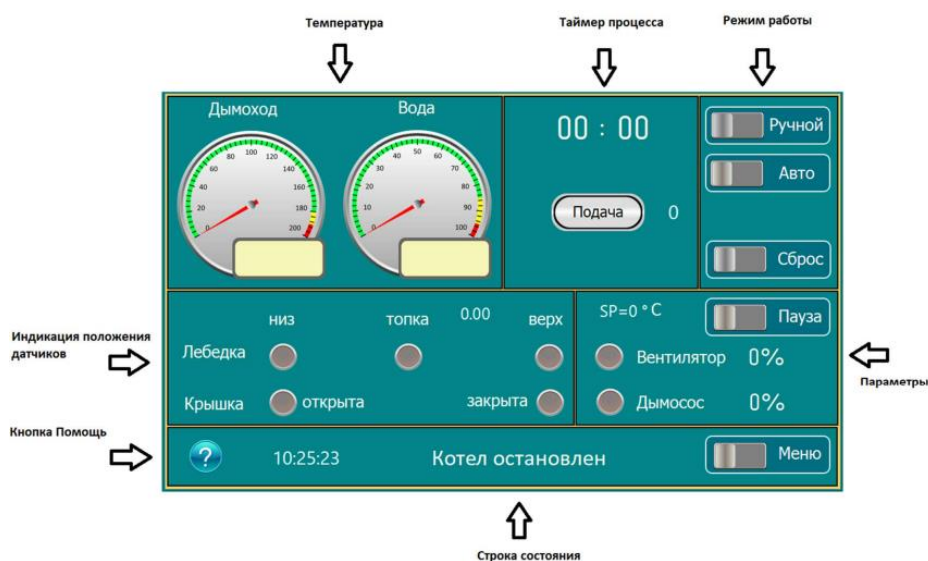


Рисунок 4.7 – Основной экран

Подача топлива производится только нажатием кнопки «Подача». Обороты дымососа оператор устанавливает в настройках для ручного режима «Дымосос ручной режим». Вентилятор повторяет дымосос с заданной разницей.

Остановка котла – нажатие кнопки «Стоп». При этом если температура выше 40°C котел переходит в режим «Дожигание» топлива в течение 30 минут и останавливается. При температуре ниже 40°C остановка выполняется немедленно.

Автоматический режим топki

Блок управления начинает процесс разогрева топki до температуры задания. В процессе нагрева топki порции топлива подаются через

фиксированный интервал времени. Обороты дымососа устанавливаются регулятором.

При достижении заданной температуры включается режим авторегулирования температуры, необходимость подачи топлива контроллер определяет по алгоритму «время – температура – мощность регулятора».

Заданная температура дымовых газов поддерживается изменением оборотов дымососа. Вентилятор синхронно повторяет дымосос с разницей в скорости, которую задает оператор.

Разница в скорости устанавливается для обеспечения разряжения в топке котла.

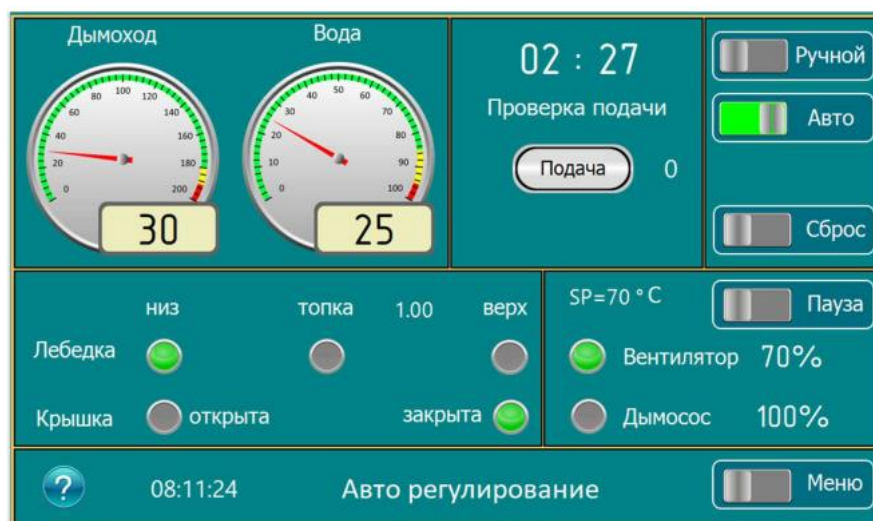


Рисунок 4.8 – Экран автоматической работы

В случае если температура дымовых газов теплогенератора не превышает температуру воды в течение заданного времени контроллер фиксирует Погасание топки и включает режим контрольного дожигания топлива.

Защита топки от переполнения выполняется алгоритмом подсчета подач и анализом температуры дымовых газов. Если температура не поднялась после 3 подач включается режим Дожига топлива и останов теплогенератора.

В нижней строке отображается текущий режим работы с детализацией состояния.

Таблица 4.1 – Режимы работы

Режим	Описание
Останов	Теплогенератор остановлен
Ручной режим	Подача топлива в топку не производится. Обороты вентилятора топки равны значению «Вентилятор, % Ручной режим»
Разогрев топки	Выход на режим - разогрев топки из холодного состояния до заданной температуры
Авто регулирование	Блок управления вычисляет интервал подачи топлива и управляет оборотами вентиляторов наддува топки ПИД регулятором
Подача топлива	Блок управления подает топливо
Пауза топки	Котел в режиме «Пауза горения»
Режим Дожигания	Котел в режиме «Дожигание топлива»
Авария	Блок управления в режиме аварийной остановки. Причиной аварийной остановки может быть неисправность датчиков (отображается в разделе Состояние) или аварийное значение температуры

Оператор может подать топливо вручную в любой момент

Остановка котла – нажатие кнопки «Стоп». При этом котел переходит в режим «Дожигание» топлива.

Режим Паузы горения

Данный режим активируется блоком управления автоматически при: - нагреве воды на выходе котла выше 85°C.

Режим можно включить вручную кнопкой на Основном экране.

Подача топлива и воздуха на горение прекращается.

На экране появляется таймер Паузы с обратным отсчетом оставшегося времени. После охлаждения воды на выходе котла до температуры задания процесс подачи топлива и воздуха автоматически возобновляется.

Если температура не опускается до заданной за 30 минут - включается режим Дожигания с последующим остановом.

Режим Дожигание

Данный режим активируется блоком управления автоматически, независимо от оператора и служит для исключения перегрева топки при остановке котла. Активируется при:

- нажатии кнопки «Стоп»;
- обрыве датчика температуры дымовых газов;
- переполнении топки; - погасании топки;
- таймаут режима Пауза (котел не остыл до заданной температуры после 90 минут);
- аварии лебедки подачи топлива.

Блок управления отключает подачу топлива в топку, но дымосос и вентилятор подачи воздуха на горение продолжает работать. По истечении 30 минут, если температура опустилась ниже 40°C вентилятор также отключается, обеспечив охлаждение топки. На экране появляется таймер с обратным отсчетом времени. Нажатие кнопки «Пуск» отменяет режим Дожигания.

Предупредительная сигнализация

Шкаф управления обеспечивает следующую предупредительную сигнализацию:

- Температура воды выше 85°C
- Включение режима Дожигания
- Низкое давление воздуха в системе привода крышки топки;
- Неисправность лебедки.

Если через 3 сек после подачи команды на загрузку топлива, не сработал датчик положения пневматического поршня - подается звуковая сигнализация. На экране появляется сообщение «Давления воздуха нет», но дальнейшие подачи не останавливаются и при восстановлении нормального давления воздуха работа продолжится.

Звуковую сигнализацию можно отключить вручную, нажатием кнопки «Сброс».

Противоаварийные защиты

Шкаф управления обеспечивает следующие противоаварийные защиты:

- Неисправность привода крышки топки.
- Температура воды после котла выше 95°C.
- Обрыв датчика температуры котла.
- Обрыв датчика температуры дымовых газов.
- Неисправность дымососа.

Отключается подача топлива в топку и вентиляторы наддува топки. При срабатывании защит выдается соответствующее сообщение и дальнейшая работа системы блокируется. Для разблокировки служит кнопка «Сброс». При наличии аварийной ситуации отключение сирены не происходит.

4.3 Указание мер безопасности

Обслуживание системы должно производиться в соответствии с действующими «Правилами устройства электроустановок», «Правилами эксплуатации электроустановок потребителем», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителем». Корпус шкафа должен быть надежно заземлен к шине заземления.

Клапан управления пневматическим приводом, датчики положения имеют рабочее напряжение 220В. Подключение и ремонт системы должны производиться только после отключения от сети внешним автоматическим выключателем.

К обслуживанию допускаются лица, имеющие допуск к работе с напряжением до 1000В и группу не ниже 3 по ПТЭ и ПТБ электроустановок.

4.4 Перегрев котла

Основной причиной возникновения перегрева являются:

- превышение температуры в топочной камере вследствие большого количества топлива при слабом теплосъеме;

- отсутствие расхода воды через котел;

- отключение электричества (остановка циркуляционного насоса).

Для исключения перегрева котла рекомендуется плавно увеличивать подачу топлива по мере нагрева воды. При включении предупредительной сигнализации необходимо наблюдать за изменением температуры воды.

В случае повышения температуры выше аварийного значения автоматика отключает подачу топлива и тягодутьевые устройства котла.

Исключить отключение циркуляционного насоса при отключении электричества возможно только установкой системы аварийного электроснабжения.

При аварийной остановке необходимо выгрести горячее топливо из топки, или, при невозможности сделать это, быстро с помощью кочегарного инструмента засыпать огонь в топке песком.

4.5 Подготовка к работе

Перед включением в работу необходимо провести следующие мероприятия:

- визуальный осмотр системы на наличие механических повреждений (разрушение элементов, трещины, следы перегрева);

- замасливание, конденсат, грязь, повреждение изоляции проводов, следы искрения и т.п.;

- неудовлетворительное крепление соединителей и зажимов;

- некачественное состояние заземления; - загрузить в клетки топливо;

- убедиться в наличии давления воздуха в системе пневмопривода. Для устойчивой работы пневматических поршней давление в системе должно быть не менее 0,6 МПа и не более 0,9 МПа.

4.6 Порядок работы

Подать электропитание на шкаф управления системой.

Выбрать режим «Ручной».

В случае срабатывания сигнала «Авария» определить ее и устранить.

Убедиться в расходе воды через котел.

Убедиться в корректности параметров в разделе «Настройки».

Нажатием кнопки «Пуск» включить котел в работу.

Нажатием кнопки «Ручная подача» произвести подачу порции топлива в топку.

Разжечь топливо в топке.

Установить обороты вентилятора топки в ручном режиме достаточные для горения.

Установить обороты дымососа для создания разрежения в топке 20...40 Па.

При устойчивом горении нажатием кнопки «Ручная подача» добавить топливо в топку и убедиться, в возгорании порции.

Подавая топливо кнопкой «Ручная подача» поднять температуру до заданной. Строка «Разогрев топки» сменится на «Ручной режим».

При ранее установленных параметрах ПИД регулятора перевести переключатель в положение «Авто».

При необходимости настройки ПИД регулятора при устойчивом горении установить задание температуры на 10°C больше текущей температуры. Перевести переключатель в положение «Авто» и провести автонастройку.

Приостановить подачу топлива можно перейдя в режим «Ручной», например, при большом количестве несгоревшего топлива в топке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработан проект автоматизации системы отопления производственного цеха ООО «Гидромашкомплект» (город Лысьва). При проектировании использовалось оборудование российского производства — программируемое реле ОВЕН, электродвигатели серии АИР, а также компоненты, доступные на рынке РФ с развитой сервисной поддержкой: пневмоцилиндры SMC, частотные преобразователи ESQ.

Проведён анализ существующей котельной установки на базе твердотопливного котла ГРВ мощностью 150 кВт. Исследованы следующие параметры: температура теплоносителя на подаче и обратке, температура уходящих дымовых газов, положения механических узлов системы подачи топлива (крышка загрузочной камеры, крайние положения лебёдки), а также аэродинамическое сопротивление дымоходного тракта.

На основе полученных данных разработан алгоритм управления, который автоматически адаптирует режим работы котла. Реализовано ПИД-регулирование температуры теплоносителя изменением производительности дымососа через частотный преобразователь по интерфейсу Modbus RTU, синхронизированно с вентилятором наддува. Алгоритм отслеживает состояние горения и предотвращает аварийные ситуации: перегрев теплоносителя выше 95 °С, погасание топки, переполнение камеры сгорания.

Отдельное внимание уделено стабилизации температуры в производственном цехе площадью 650 м². Автоматизация загрузки топлива электрическим тельфером Denzel TF-500 и герметизация топки пневмоприводом исключают влияние человеческого фактора, обеспечивают равномерное горение древесины и снижают удельный расход топлива на 20–30 %.

Выполнены расчёты и обоснован выбор исполнительных механизмов:

- для системы дымоудаления принят центробежный вентилятор с электродвигателем АИР 71В4 (0,75 кВт) и частотным преобразователем, что позволяет плавно регулировать тягу в диапазоне 30–55 Гц;
- для привода крышки загрузочной камеры выбран пневмоцилиндр SMC CP96SDB80-300C с герконовыми датчиками положения;
- для подачи топлива выбран электрический тельфер Denzel TF-500 грузоподъемностью 500 кг.

Все технические средства внедрены в систему управления на базе программируемого реле ОВЕН ПР200 и панели оператора Wecon P13102. Разработана структура входов и выходов, программные алгоритмы защиты: блокировка наддува при открытой крышке, аварийная остановка при обрыве датчиков.

Проект позволил перевести котельную в режим автономной работы, сократить трудозатраты на обслуживание и обеспечить стабильный микроклимат в производственном помещении независимо от внешних погодных условий.

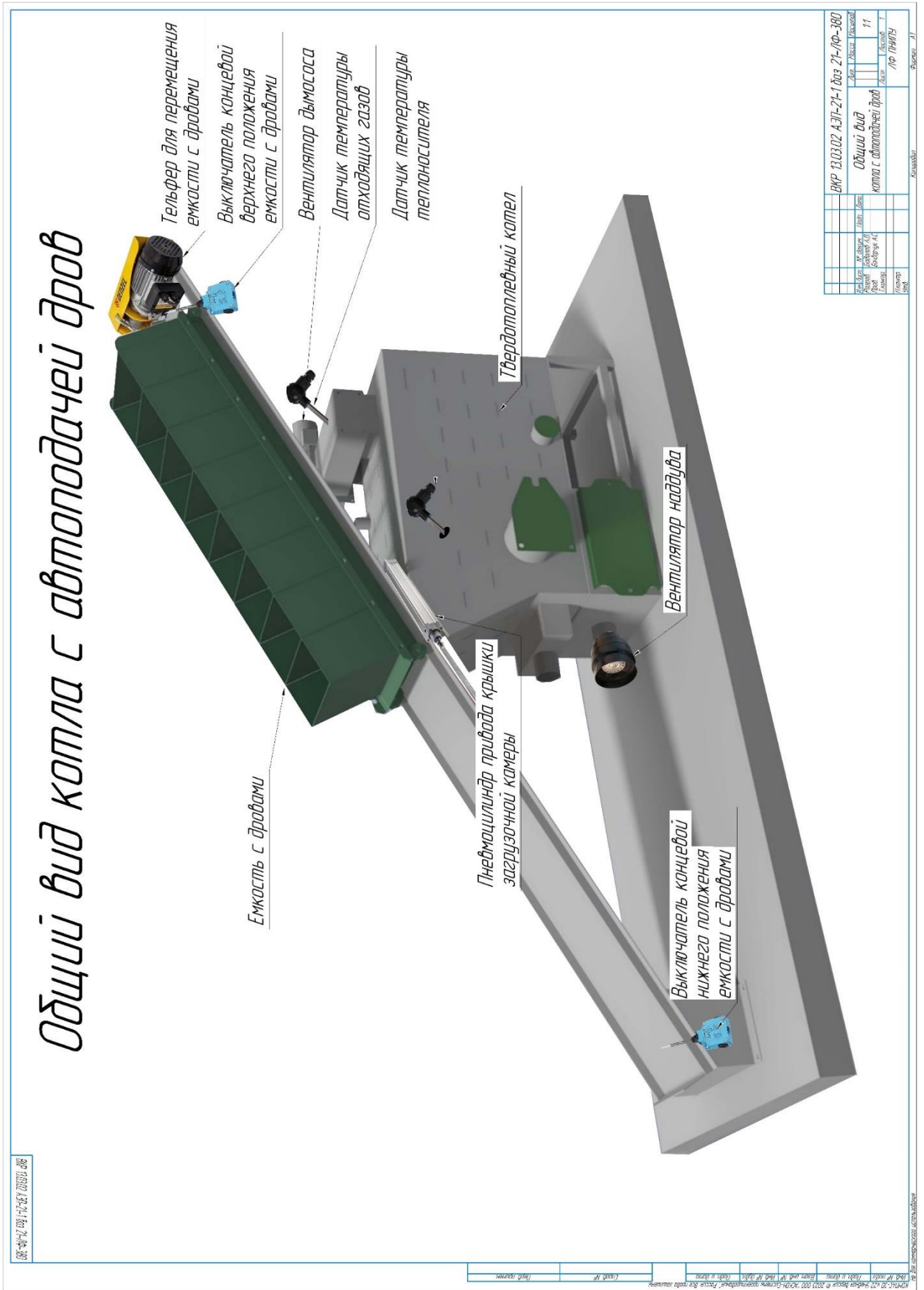
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 1996. – 18 с. *(Базовый норматив для требований к температуре в цехах)*
2. Козлов, А.В., Смирнов, Д.П. Сравнительный анализ эффективности ручных и автоматизированных твердотопливных котлов в условиях промышленной эксплуатации // Промышленная энергетика. – 2022. – № 8. – С. 14–21. – EDN: RPLN4K9X.
3. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. – Введ. 2021-07-01. – М.: Минстрой России, 2020. – 184 с. *(Официальный источник климатических данных для Пермского края)*
4. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Введ. 2021-07-01. – М.: Минстрой России, 2020. – 112 с. *(Нормы температурного режима для производственных помещений)*
5. Кузнецов, П.С., Лебедев, М.А. Термическая стойкость сталей марки 09Г2С в условиях циклического нагрева твердотопливных котлов // Известия вузов. Строительство. – 2021. – № 6. – С. 89–97. – EDN: YHQR3P9M.
6. СП 89.13330.2016. Котельные установки. – Введ. 2017-07-01. – М.: Минстрой России, 2016. – 98 с. *(Требования к группам безопасности, теплоаккумуляторам и аварийной защите)*
7. Морозов, К.Л., Тарасова, Е.П. Точность регулирования температурного режима в автоматизированных системах теплоснабжения на базе ПЛК-контроллеров // Автоматизация в промышленности. – 2023. – № 5. – С. 42–50. – EDN: ZKLM9P4N.
8. ГОСТ Р 51693-2000. Вентиляторы промышленные. Общие технические условия. — Введ. 2001-01-01. — М.: Госстандарт России, 2000. — 32 с.

9. ГОСТ Р 51356-99. Цилиндры пневматические круглого сечения. Общие технические условия. — Введ. 2000-01-01. — М.: Госстандарт России, 1999. — 28 с.
10. ГОСТ Р 51689-2000. Двигатели асинхронные трехфазные низковольтные. Общие технические условия. — Введ. 2001-01-01. — М.: Госстандарт России, 2000. — 40 с.
11. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. — Введ. 1993-01-01. — М.: Стандартиформ, 2007. — 16 с.
12. ОВЕН. Программируемое реле ПР200. Техническое описание [Электронный ресурс]. — М.: ООО «ОВЕН», 2024. — Режим доступа: <https://owen.ru/products/kontrollery/programmable-relay/pr200> (дата обращения: 15.04.2024).
13. ОВЕН. Библиотека функциональных блоков «Теплотехника» [Электронный ресурс]. — М.: ООО «ОВЕН», 2024. — Режим доступа: <https://owen.ru/support/library/thermal-engineering> (дата обращения: 15.04.2024).
14. SMC Corporation. Pneumatic Cylinder CP96SDB80-300C. Product Specifications [Electronic resource]. — Tokyo: SMC Corporation, 2024. — URL: <https://www.smcworld.com/catalog/en/actuator/CP96-CD96-E/> (date of access: 15.04.2024).
15. ESQ Electric. Frequency Inverter ESQ 230-4T-0.7K. User Manual [Electronic resource]. — Shenzhen: ESQ Electric Co., Ltd., 2023. — URL: <https://www.esq-drive.com/products/esq-230-series> (date of access: 15.04.2024).
16. Электромашиностроительный завод «Владимир». Каталог асинхронных двигателей серии АИР [Электронный ресурс]. — Владимир: ЗАО «ВЭМЗ», 2023. — Режим доступа: <https://vemz.ru/catalog/electrodvigateli/air> (дата обращения: 15.04.2024).

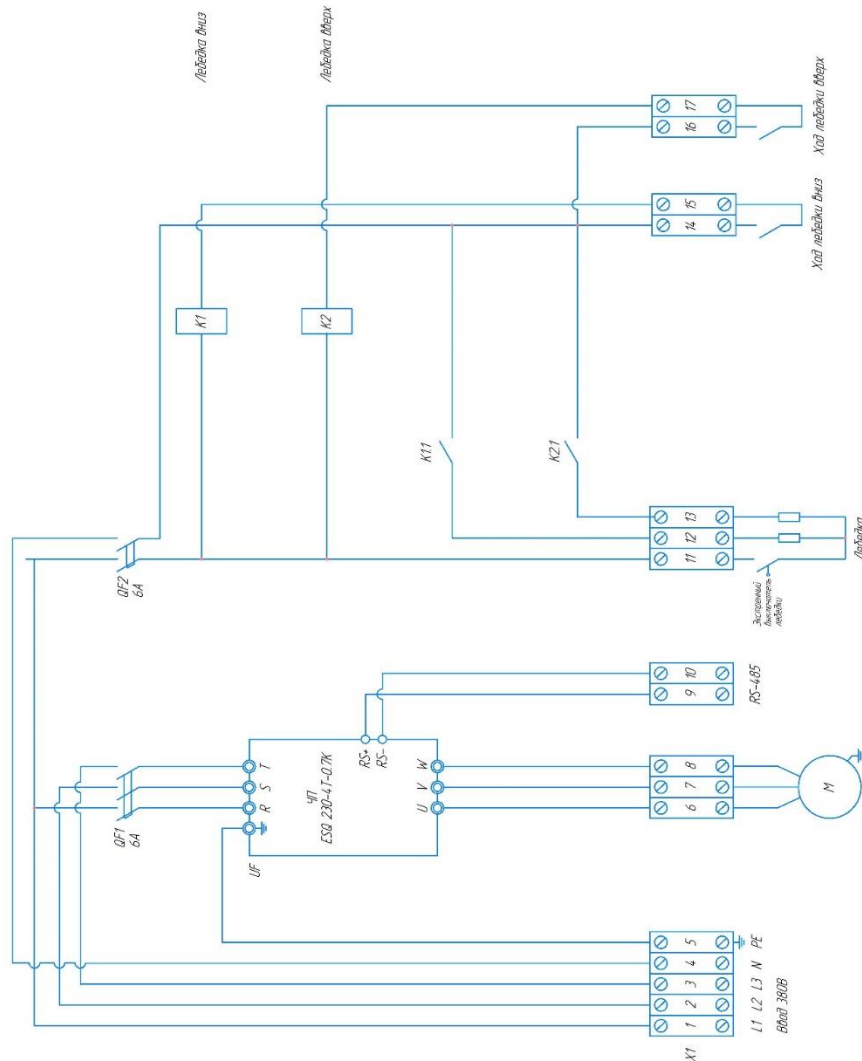
17. Смирнов, А.В. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие / Смирнов, А.В., Козлов, И.П.. — М.: ИНФРА-М, 2021. — 384 с. — (Высшее образование). — DOI: 10.12737
18. Соколов, Е.Я. Котельные установки и их эксплуатация: учебник для вузов / Соколов, Е.Я. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2019. — 416 с. — ISBN 978-5-383-01234-5.
19. Григорьев, В.М. Теплотехника и теплоснабжение [Текст]: учебное пособие / Григорьев, В.М., Петров, А.Н. — СПб.: Лань, 2020. — 512 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/123456> (дата обращения: 15.04.2024).
20. Иванов, П.С. Проектирование систем автоматизации котельных установок [Текст]: монография / Иванов, П.С. — Казань: Изд-во Казанского гос. энергетического ун-та, 2018. — 256 с. — DOI: 10.24855/kgeu.monograph.2018.ivanov.
21. Васильев, А.Н. Частотное регулирование электроприводов в системах теплоснабжения / Васильев, А.Н. // Автоматизация в промышленности. — 2022. — № 5. — С. 24–29. — DOI: 10.32345/2658-4234.2022.5.24-29. — Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48567123> (дата обращения: 15.04.2024).
22. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (ПБ 10-574-03). — М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. — 96 с. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200034567> (дата обращения: 15.04.2024).
23. СП 89.13330.2016. Котельные установки. Актуализированная редакция СНиП II-35-76. — Введ. 2017-07-01. — М.: Минстрой России, 2016. — 78 с. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456074824> (дата обращения: 15.04.2024).

ПРИЛОЖЕНИЕ А



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Принципиальная схема шкафа силового управления котлом



№	Обозначение	Наименование	Код	Примечание
1	1 OF1	Материалы Алгоритмический выключатель 10м электр. 044-7-2P 16 А	1	
2	2 OF2	Алгоритмический выключатель 10м электр. 044-7-2P 16 А	1	
3	3 OF	Электронный преобразователь C500-230-1-0.7K 0.75кВ 300В	1	
4	4 K1 K2	Двухполюсный реле Умелет РЭ 120.0381.1 201.84 230VAC	2	
5	5 K1	Импульсные выходные УП 25 мВт, серия ЕКР	17	
6	6 M	Асинхронный электродвигатель АИР7Б4, 0.75 кВт, 50 Гц, 400 В/мин	1	
7	7 Аварийка	Экстренный пуск двигателя 5-25 В, 0.25 А, 5 Вт, 250 В/250 В	1	

ВКР 13.03.02 АЭУ-21-1 (до 21-1/10-380)

Шкаф силовых
устройств

Акт. кат.	№ докум.	Лист	Листов
Борисов А.И.	13.03.02 АЭУ-21-1	1	11
Рябенко	13.03.02 АЭУ-21-1	Лист	Листов
Степанов Р.А.	13.03.02 АЭУ-21-1	Лист	Листов
Григорьев	13.03.02 АЭУ-21-1	Лист	Листов

ЛР ПАМУ

Стр. 11

ПРИЛОЖЕНИЕ В

