

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»



Школа: Инженерная школа энергетики
Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
АСР температурного режима муфельного предтопка

УДК 681.51:536.5:621.182.231

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Паномарев Дмитрий Андреевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	д.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	—		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Атрошенко Юлиана Константиновна	к.т.н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники****Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике**

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
Универсальные компетенции	
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»



Школа: Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

ООП/ОПОП: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике
и теплотехнике

Отделение школы: НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Атрошенко Ю.К.

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
5Б93	Паномарев Дмитрий Андреевич

Тема работы:

АСР температурного режима муфельного предтопка	
Утверждена приказом директора ИШЭ	10.02.2023, № 41-34/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Работа направлена на создание автоматической системы регулирования температурного режима муфельного предтопка угольного котла с применением современных технических средств автоматизации. Требуется подбор технических средств автоматизации, разработка проектной, схемотехнической и конструкторской документации
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i>	Введение 1. Анализ объекта автоматизации. 2. Выбор структуры автоматической системы регулирования. 3. Разработка функциональной схемы АСР. 4. Выбор технических средств автоматизации и контроля АСР. 5. Разработка монтажной схемы внешних соединений.

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	6. Разработка принципиальной электрической схемы щита управления. 7. Разработка общего вида щита управления. 8. Расчет параметров настройки ПИ-регулятора. 9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 10. Социальная ответственность.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Схема структурная. 2. Схема функциональная. 3. Схема электрических соединений. 4. Схема монтажная внешних проводок. 5. Общий вид щита управления.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н., Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Ст. преподаватель ООД ШБИП, Мезенцева Ирина Леонидовна

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2023
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Глушков Дмитрий Олегович	д.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Паномарев Дмитрий Андреевич		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 92 с., 9 рис., 31 табл., 18 источника, 14 листов графического материала.

Ключевые слова: оптимизация процесса горения, муфельный предтопок, паровой котел, суспензионное топливо, автоматическая система регулирования, программируемый логический контроллер, повышение КПД, минимизация потерь.

Объектом автоматизации является муфельный предтопок.

Цель работы – разработка автоматической системы регулирования температурного режима муфельного предтопка.

В процессе работы были разработаны структурные, функциональные и монтажные схемы для системы автоматического регулирования температурного режима муфельного предтопка. Также разработаны и оформлены электрическая принципиальная схема и общий чертеж щита управления. Была составлена заказная спецификация на приборы и средства автоматизации, а также перечень элементов электрической схемы. Был выполнен расчет ПИ-регулятора. В результате выполнения работы был создан полный комплект конструкторской документации для системы автоматического регулирования температурного режима муфельного предтопка.

Оглавление

Введение.....	10
1 Анализ объекта автоматизации	11
2 Выбор структуры автоматической системы регулирования	13
3 Разработка функциональной схемы АСР	16
4 Выбор технических средств автоматизации и контроля АСР.....	18
4.1 Средства измерения температуры.....	18
4.1.1 Термоэлектрические преобразователь ТП-Б-У.....	18
4.1.2 Термопреобразователь сопротивления ТС-Б-У	19
4.2 Средства измерения давления	20
4.2.1 Датчик давления ИД-Ф.....	20
4.3 Средства измерения расхода.....	21
4.3.1 Ультразвуковой расходомер US-800.....	22
4.3.2 Расходомер Метран-150RFA	22
4.4 Газоанализатор	23
4.4.1 Газоанализатор Ангор-С	23
4.5 Программируемый логический контроллер.....	24
4.5.1 Программируемый контроллер ПЛК-200-01-CS	24
4.6 Модуль аналогового ввода MB210-101	25
4.7 Модуль аналогового вывода МУ210-502	26
4.8 Блок питания БП 60К-24	26
5 Разработка принципиальной электрической схемы	28
6 Разработка монтажной схемы.....	31
7 Разработка общего вида щита управления	33
8 Расчет параметров настройки ПИ-регулятора	34
8.1 Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ регулятором и объектом с передаточной функцией	35
8.2 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора.....	42

8.3	Расчёт, построение и оценка качества переходных процессов в замкнутой АСР при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия.....	43
8.3.1	Переходный процесс в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия	43
8.3.2	Оценка качества регулирования	47
8.4	Переходный процесс при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия.....	48
8.5	Оценка качества регулирования.....	51
9	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	53
9.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	53
9.1.1	Анализ конкурентных технических решений	53
9.1.2	SWOT-анализ.....	55
9.2	Планирование научно-исследовательских работ	58
9.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	58
9.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ	59
9.3	Бюджет научно-технического исследования	62
9.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования .	63
9.3.2	Расчет амортизации специального оборудования	64
9.3.3	Основная заработная плата исполнителей темы	65
9.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	67
9.3.5	Накладные расходы.....	67
9.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	69
	Выводы по разделу.....	72
10	Социальная ответственность	75
	Введение.....	75
10.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	75

10.2 Производственная безопасность	78
10.2.1 Отсутствие или недостаток необходимого освещения	79
10.2.2 Отклонение показателей микроклимата.....	79
10.2.3 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	82
10.2.4 Повышенный уровень шума	83
10.2.5 Поражение электрическим током.....	84
10.3 Экологическая безопасность.....	84
10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	85
Выводы по разделу.....	88
Заключение	89
Список использованных источников	90
ФЮРА.421000.014 С1 Схема структурная	
ФЮРА.421000.014 С 2 Схема функциональная	
ФЮРА.421000.014 СО Спецификация приборов и средств автоматизации	
ФЮРА.421000.014 Э4 Схема электрических соединений	
ФЮРА.421000.014 ПЭ Перечень элементов схемы электрических соединений	
ФЮРА.421000.014 С 4 Схема монтажная внешних проводок	
ФЮРА.421000.014 ВО Общий вид щита управления	

Введение

Проблема эффективного использования низкосортного топлива и повышения интенсивности воспламенения является актуальной в современной энергетике.

В связи с этим, необходимо принимать меры для уменьшения потерь топливно-энергетических ресурсов за счет улучшения технико-экономических показателей работы предприятий.

Использование низкокалорийного топлива стало немаловажным аспектом развития энергетического сектора. Оптимизация процесса горения играет значительную роль в достижении поставленных задач. Ее цель заключается в сокращении потерь тепла с недожогом и, как результат, в достижении максимально возможного коэффициента полезного действия для заданного режима работы оборудования.

Целью настоящей работы является разработка автоматической системы регулирования температурного режима муфельного предтопка.

1 Анализ объекта автоматизации

В данной работе рассматривается муфельный предтопок, технические характеристики которого приведены в таблице 1.

Муфельный предтопок – это цилиндрическая камера, облицованная теплоизоляционным материалом, на торцевой стенке которой располагается форсунка для подачи топлива. На рисунке 1 изображена схема муфельного предтопка.

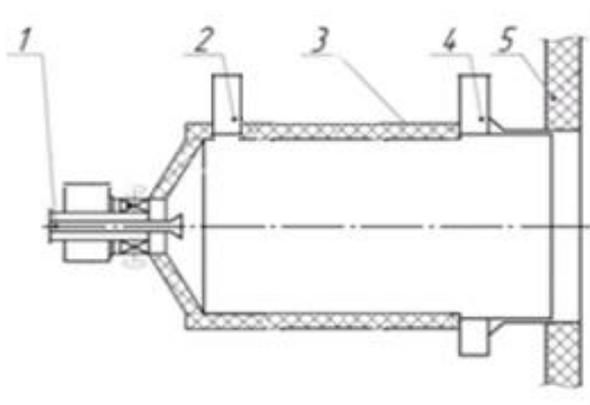


Рисунок 1 – Схема муфельного предтопка:

- 1 – форсунка; 2 – вторичный воздух; 3 – теплоизоляционный материал;
4 – первичный воздух; 5 – фронтальная стенка топки

Муфельный предтопок, как ключевой элемент системы, играет важную роль в обеспечении оптимальных условий для интенсивного воспламенения низкосортного топлива. Его основная функция заключается в создании высокой температуры, необходимой для инициирования процесса горения. Благодаря этому, задержка зажигания и недожог, которые характерны для низкокалорийного топлива, успешно преодолеваются [1].

Одним из основных преимуществ использования муфельного предтопка является возможность полного сгорания топлива, поступающего в топку котлоагрегата. Это достигается за счет создания оптимальных условий для интенсивного воспламенения, что позволяет извлечь максимальную энергию из каждой частицы топлива. Такой подход значительно улучшает

энергетическую эффективность системы в целом и способствует экономии топливно-энергетических ресурсов.

Таблица 1 – Технические характеристики муфельного предтопка

Параметры	Численное значение
Диаметр, мм	200
Длина, мм	800
Давление, МПа	3
Температура, °С	1200

Однако, преимущества муфельного предтопка не ограничиваются только экономическими показателями. Эта техническая составляющая также играет существенную роль в сфере охраны окружающей среды. Полное сгорание топлива в муфельном предтопке снижает выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, что в свою очередь снижает негативное воздействие на окружающую среду и способствует улучшению качества воздуха.

Таким образом, муфельный предтопок представляет собой важный компонент системы, который не только обеспечивает оптимальные условия для интенсивного воспламенения низкосортного топлива, но и способствует более эффективному использованию энергии и сокращению негативного воздействия на окружающую среду. Развитие и совершенствование данной технологии имеет большое значение для достижения энергетической эффективности и устойчивого развития промышленных предприятий.

2 Выбор структуры автоматической системы регулирования

Начальная температура поверхности муфельного предтопка зависит от нагревательных элементов, которые установлены на циркуляционной трубе муфельного предтопка, а также от нагревательного элемента, который прогревает воздух, поступающий в муфельный предтопок.

Когда поверхность муфельного предтопка достигает температуры самовоспламенения топлива, появляется возможность подачи суспензии в муфельный предтопок, что становится началом автоматической системы регулирования процесса горения.

Автоматическая система регулирования процесса горения в топке котла включает две основные составные части: автоматическую систему регулирования расхода общего воздуха и автоматическую систему регулирования расхода топлива. Выбор конкретной системы зависит от используемого топлива и особенностей работы станции [2].

Существующая схема регулирования экономичности топливо-воздушного соотношения изображена рисунке 2. В ней используется пропорциональная зависимость, которая была установлена в процессе испытания расхода топлива и расхода воздуха для обеспечения полного сгорания топлива [3].

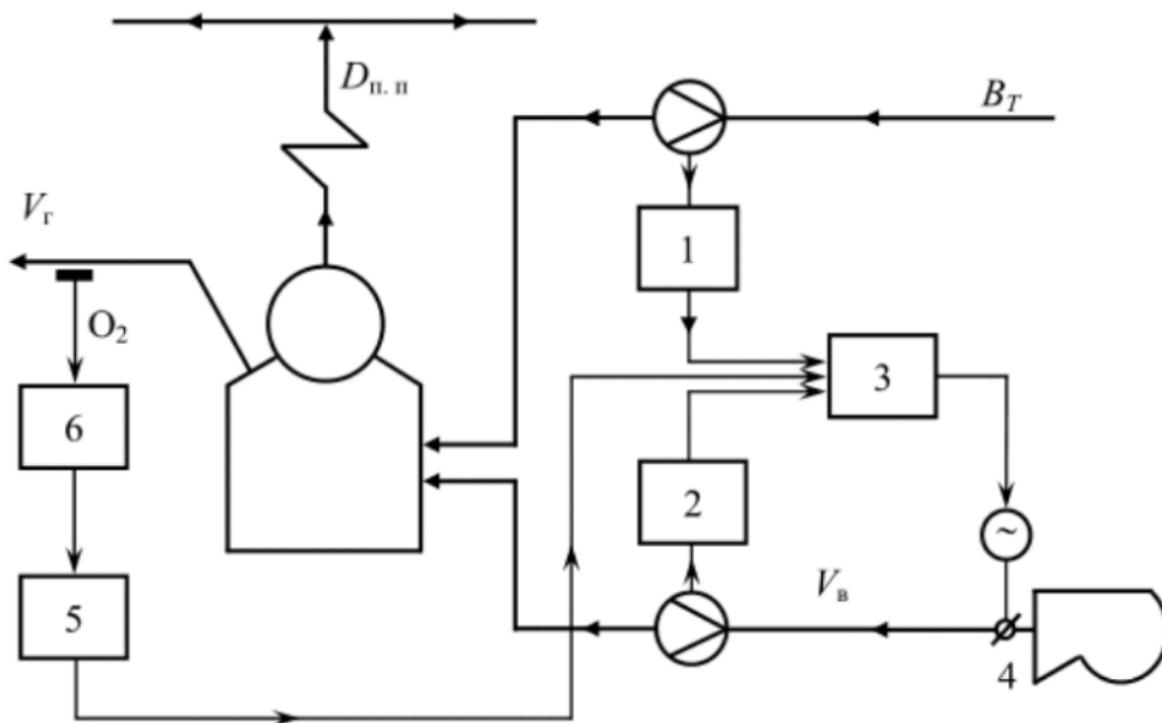


Рисунок 2 – Схема регулирования экономичности по соотношению «топливо-воздух» [8]:

1 – датчик расхода топлива; 2 – датчик расхода воздуха; 3 – регулирующее устройство; 4 – дутьевой вентилятор; 5 – корректирующий регулятор; 6 – газоанализатор; V_T – расход топлива; V_B – расход воздуха; V_T – расход дымовых газов

На листе с шифром ФЮРА.421000.014 С1 представлена структурная схема автоматической системы регулирования температурного режима муфельного предтопка.

Структурная схема представляет собой комплексную модель автоматизированной системы управления, которая включает в себя три уровня.

На нижнем уровне располагаются физические устройства и исполнительные механизмы, а именно: датчики, приводы, насосы и прочие устройства.

На среднем уровне располагаются контроллеры и средства автоматизации, которые выполняют обработку и анализ информации, полученной с нижнего уровня. Этот уровень отвечает за принятие решений и формирование управляющих команд для физических устройств на нижнем

уровне. Здесь осуществляется логика управления, алгоритмы регулирования и координация работы различных устройств для достижения заданных целей процесса.

На верхнем уровне находится автоматизированное рабочее место оператора, где тот, в свою очередь, осуществляет мониторинг состояния системы. Оператор имеет доступ к визуализации данных, представленных в виде графиков, диаграмм и интерфейса управления.

3 Разработка функциональной схемы АСР

Функциональная схема представляет собой ключевой технический документ, отображающий функционально-блочную архитектуру контрольных узлов, технологический процесс, а также инструменты и автоматизированные средства, размещенные на объекте.

Сведения о состоянии технологического процесса и оборудования контролируются через технический контроль, в ходе которого определяется соответствие оборудования установленным техническим требованиям.

В рамках выпускной квалификационной работы разрабатывается система автоматического регулирования температурного режима муфельного предтопка.

В данном случае контролируются следующие технологические параметры: расход суспензионного топлива в зависимости от объема подаваемого воздуха и скорость изменения давления в барабане котла. Точки отбора измерительной информации также расположены на участках воздушного тракта: участок, проходящий через воздухоподогреватель, а также участок на выходе из топки котла.

Функциональная схема АСР температурного режима муфельного предтопка представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.014 С2.

Сигнал о температуре предварительно нагретого вторичного воздуха поступает в контроллер через канал 2, в то время как сигнал от термоэлектрического преобразователя, расположенного в муфельном предтопке котла, передается через канал 20.

Информация о содержании O_2 и CO в дымовых газах поступает в контроллер через канал 10, что позволяет регулировать расход суспензионного топлива и воздуха с помощью частотного преобразователя.

Поток поступающего воздуха разделяется на два потока: первичный и вторичный. Их расход измеряется через каналы 7 и 9 соответственно.

Для передачи информации о давлении в барабане используется канал 6. Каналы 13 и 15 отправляют контроллеру данные о работе заслонок на воздухопроводе первичного и вторичного воздуха. Регулирующий сигнал от контроллера направляется на пусковое устройство через каналы 14 и 16, где сигнал усиливается и активирует электрический привод исполнительного механизма.

4 Выбор технических средств автоматизации и контроля АСР

4.1 Средства измерения температуры

В ходе разработки автоматической системы регулирования процесса горения имеется необходимость контролировать температуру в различных точках системы, таких как трубопровод подачи первичного воздуха, вторичного воздуха и муфельный предтопка.

Для этой цели планируется использовать термоэлектрические преобразователи, в частности, термопары.

Выбор конкретного типа термопары будет зависеть от характеристик рабочей среды, требуемого диапазона измерения температуры и монтажных размеров. Особое внимание уделено датчику, устанавливаемому в муфельном предтопке, который должен иметь верхний предел измерения до 1250 °С и защитную жаропрочную головку, позволяющую работать в условиях высоких температур и соответствующую необходимым классам допуска.

В результате использования термопар в разрабатываемой системе регулирования горения будет обеспечен точный и надежный контроль температуры в различных точках системы, что позволит оптимизировать процесс горения и обеспечить безопасную и эффективную работу системы.

4.1.1 Термоэлектрические преобразователь ТП-Б-У

Термоэлектрический преобразователь используется для измерения и контроля температуры в различных средах. Он состоит из термопары, состоящей из двух проводников различных материалов, соединенных в точке измерения.

Основные технические характеристики ТП-Б-У:

- температурный диапазон измерений: 0...1250 °С;
- вид спая: одиночный;

- исполнение монтажной части: погружной;
- тип крепления: неподвижный штуцер;
- длина наружной части: 250мм;
- резьба: М20х1,5;
- материал защитной гильзы: ХН45Ю;
- выходной сигнал: токовый, 4...20 мА.

4.1.2 Термопреобразователь сопротивления ТС-Б-У

Датчик температуры ТС-Б-У является устройством, предназначенным для измерения и контроля температуры в различных точках производственного процесса.

Принцип работы основан на биметаллическом элементе, который состоит из двух слоев различных металлов с разными коэффициентами теплового расширения.

Основные технические характеристики:

- температурный диапазон измерений: -20...+100 °С;
- длина монтажной части: 1000 мм;
- класс допуска; $\pm 0,25$ %;
- тип крепления: неподвижный штуцер;
- длина наружной части: 120 мм;
- резьба: М20х1,5;
- выходной сигнал: токовый, 4...20 мА.

Для контроля температуры в муфельном предтопке используется термоэлектрический преобразователь ТП-Б-У.

Этот тип термопары подходит для измерения температуры в данном участке, так как имеет необходимый диапазон измеряемых температур и соответствующую длину монтажной части.

Для измерения температуры предварительно нагретого вторичного воздуха также рекомендуется использовать термопару модели ТП-Б-У. Этот выбор обусловлен соответствием данной модели требованиям технологической схемы и условиями использования в указанной точке.

4.2 Средства измерения давления

Для измерения давления в трубопроводах и котлах требуется применение специальных средств для измерения давления. Датчики давления различаются по принципу работы и обладают разнообразными характеристиками.

Основные критерии выбора датчиков давления:

- тип измеряемого давления;
- тип измеряемой среды;
- диапазон измерений;
- погрешность измерений;
- параметры окружающей среды;
- тип выходного сигнала датчика давления;
- присоединение к процессу.

4.2.1 Датчик давления ИД-Ф

Данный датчик давления используются для мониторинга давления жидкостей и газов в различных промышленных приложениях.

Они относятся к типу пьезорезистивных датчиков давления малого диапазона и могут использоваться для измерения давления до 40 бар [7].

Датчик состоит из чувствительного элемента, который изготовлен из керамики, и электронного блока управления, который читает и обрабатывает

сигнал с чувствительного элемента и выдает выходной сигнал в соответствии с измеренным давлением.

Основные технические характеристики:

- максимальное давление: 2,5 МПа;
- погрешность измерений: $\pm 0,075$ %;
- температурный диапазон: $-40...+70$ °С;
- резьба: М20х1,5;
- выходной сигнал: токовый, 4...20 мА;
- индикация: отсутствует.

4.3 Средства измерения расхода

Средства измерения расхода используются для определения объема или массы подаваемых жидкостей или газов за определенный период времени. Такие средства могут быть механическими, электронными или комбинированными.

Электронные средства измерения расхода используются для измерения объема или массы жидкости или газа посредством датчиков, подключенных к системам управления. Эти датчики могут быть основаны на таких технологиях, как ультразвуковые волны, лазерное измерение, магнитный эффект и другие.

Средства измерения расхода находят широкое применение в различных отраслях, таких как производство, энергетика, нефтегазовая промышленность, пищевая промышленность и другие. Важно, чтобы выбранное средство измерения расхода соответствовало задаче и обладало необходимой точностью и надежностью.

4.3.1 Ультразвуковой расходомер US-800

Данный датчик позволяет измерить расход суспензии в трубопроводе. Принцип работы основан на измерении скорости звука в среде и обладает высокой точностью и стабильностью измерений.

Расходомер выполнен из устойчивых к коррозии материалов и имеет защиту от воздействия агрессивных сред. Он оборудован датчиком, который устанавливается на трубопроводе и измеряет скорость звука, проходящего через жидкость или газ. Информация о расходе передается на цифровой дисплей, который отображает текущие значения расхода и объема [6].

Основные технические характеристики:

- исполнение: одноканальный;
- внутренний диаметр: 32 мм;
- максимальное давление: 2,5 Мпа.

4.3.2 Расходомер Метран-150RFA

Принцип работы расходомера Метран-150RFA основан на методе переменного перепада давления. Имеет высокую точность измерений, благодаря использованию ультразвуковой технологии. Он способен измерять расход как в прямом, так и в обратном направлении потока. Кроме того, обладает широким диапазоном измерения [5].

Для измерения расхода первичного и вторичного воздуха был выбран расходомер Метран-150RFA.

Основные технические характеристики:

- исполнение: одноканальный;
- внутренний диаметр: 50 мм;
- максимальное давление: 3 МПа.

4.4 Газоанализатор

Газоанализатор используется для анализа состава газов в различных измерительных системах. Они могут определять концентрацию различных газов в воздухе, в том числе таких важных индикаторов, как кислород, диоксид углерода, углеводороды и другие.

Они широко применяются в различных областях, включая промышленность, медицину, науку, охрану окружающей среды и т.д.

Газоанализаторы бывают портативными и стационарными, могут работать на батарейках или от электропитания и оснащены различными сенсорами и аналитическими инструментами, чтобы обеспечить максимальную точность и надежность измерений.

4.4.1 Газоанализатор Ангор-С

Ангор является стационарным многокомпонентным газоанализатором, который применяется для измерения содержания O_2 , CO и NO в отходящих газах топливосжигающих установок.

Ангор-С оснащен высокотемпературными сенсорами, что позволяет оптимизировать процесс горения топлива с высокой эффективностью, осуществляя оптимизацию по CO и O_2 .

Основные технические характеристики:

- определяемый компонент: O_2 , CO ;
- диапазон измерений: 0...25 ppm, 0...2500 ppm;
- температура среды: 0...1300 °C.

4.5 Программируемый логический контроллер

Для обеспечения функциональности алгоритмов управления и упрощения системы управления мы применяем программируемый контроллер. В зависимости от расположения модулей ввода-вывода в промышленных контроллерах, существуют три типа: моноблочные ПЛК, модульные ПЛК и распределенные ПЛК.

Согласно ГОСТ Р 58604-2019, к контроллерам, применяемым на тепловых электрических станциях, предъявляются определенные требования:

- одним из таких требований является возможность использования контроллеров в составе автоматизированных систем управления технологическим процессом для реализации предусмотренных алгоритмов контроля и управления в реальном времени;

- контроллеры должны обеспечивать надлежащую оперативность и надежность при обработке внутренних и внешних событий, а также эффективный обмен информацией и командами с другими компонентами системы;

- контроллеры должны быть оборудованы операционными системами высокой производительности. Это означает, что операционная система, установленная на контроллере, должна обладать высокой скоростью выполнения операций, эффективным распределением ресурсов и низкой задержкой при обработке данных.

На основании вышеприведенных требований выбираем программируемый контроллер фирмы ПЛК-200-01-CS.

4.5.1 Программируемый контроллер ПЛК-200-01-CS

ПЛК-200-01-CS предназначенный для автоматизации и управления различными технологическими процессами. Контроллер обладает высокой

производительностью и надежностью, что делает его идеальным выбором для применения в различных отраслях, включая производство, энергетику, транспорт и другие.

Он обладает следующими характеристиками:

- контроллер имеет компактный и удобный для установки размер, что позволяет его легко интегрировать в различные системы и оборудование;
- оснащен мощным процессором, который обеспечивает быструю обработку данных и выполнение сложных алгоритмов управления;
- большой объем оперативной памяти для хранения программы и данных, что позволяет контроллеру эффективно выполнять свои задачи;
- ПЛК-200-01-CS обеспечивает разнообразные входы и выходы для подключения к различным устройствам и сенсорам;
- контроллер обладает высокой степенью надежности и стабильности в работе, что позволяет ему безопасно и надежно управлять технологическими процессами [4].

Ниже приведены результаты выбора модулей программируемого контроллера ПЛК-200-01-CS.

4.6 Модуль аналогового ввода MB210-101

Модуль аналогового ввода MB210-101 предназначен для сбора и преобразования аналоговых сигналов из внешних источников в цифровой формат.

Основное предназначение модуля состоит в измерении физических параметров, таких как температура, давление, уровень и другие аналоговые величины, и передаче полученной информации контроллеру или другому устройству для обработки и принятия соответствующих управляющих решений.

Основные технические характеристики модуля:

- количество входов: 8 АІ;
- разрядность АЦП: 16 бит;
- типы поддерживаемых сигналов: 0...5 мА, 0...20 мА, 4...20 мА;
- напряжение питания: 10...48 В;
- потребляемая мощность: не более 4 Вт при питании 24 В.

4.7 Модуль аналогового вывода МУ210-502

Модуль аналогового вывода МУ 210-502 является компонентом системы автоматизации и контроля, предназначенным для генерации аналоговых сигналов для управления внешними устройствами и исполнительными механизмами.

Основные технические характеристики модуля:

- количество входов: 6 АО;
- разрядность АЦП: 12 бит;
- типы поддерживаемых сигналов: 0...20 мА, 4...20 мА;
- напряжение питания: 10...48 В;
- потребляемая мощность: не более 5 Вт при питании 24 В.

4.8 Блок питания БП 60К-24

БП60К-24 представляет из себя блок питания переменного тока, который является оптимальным выбором для свободно программируемых контроллеров.

Он имеет выходное напряжение постоянного тока 24 В и мощность 60 Вт. Имеет высокую надежность, что делает его идеальным выбором для использования в системах автоматизации и управления.

Этот блок питания предназначен для использования в широком диапазоне приложений, таких как системы контроля доступа, системы автоматического управления, телекоммуникационные устройства и многие другие.

Основные технические характеристики блока питания:

- входное напряжение переменного тока: 85...264 В;
- входное напряжение постоянного тока: 110...370 В;
- температура окружающего воздуха: -20...+50 °С;
- выходное напряжение: 24 В.

5 Разработка принципиальной электрической схемы

Электрическая принципиальная схема определяет полный состав приборов, устройств и связи между ними.

На основе электрической принципиальной схемы разрабатывается монтажная схема внешних проводок [9].

Лист 1 с шифром ФЮРА.421000.014 Э4 содержит электрическую схему подсистемы электрического питания и микроклимата щита управления.

Подсистема электрического питания включает себя:

- автоматические выключатели (QF1, QF2), предназначенные для защиты разделительных и групповых цепей;
- щитовая розетка (XS1);
- блоки зажимов (XT0, XT1), используемые для соединения проводов;
- устройство защиты от перенапряжений (Z1), предназначенное для защиты устройств от перенапряжений при протекании импульсов тока через сеть;
- модуль питания G1, обеспечивающий напряжение 24В для устройств.

Подсистема электрического питания обеспечивает питание всех элементов щита управления и имеет защиту от перенапряжений.

Подсистема микроклимата включает в себя:

- концевой выключатель (SQ1), предназначенный для замыкания и размыкания рабочей цепи;
- осветительный прибор (EL1), предназначенный для освещения;
- реле контроля температуры (KK1), предназначенное для контроля температуры в шкафу управления.

Подсистема микроклимата щита управления поддерживает оптимальную температуру шкафа, что является одной из основ обеспечения безаварийной работы.

На листе 2 с шифром ФЮРА.421000.014 Э4 представлена распределительные клеммы, через которые происходит подача питания на приборы.

Помимо этого, там же расположены modbus индикаторы, которые устанавливаются на дверь щита управления и дублируют значения с датчиков.

Клеммный блок ХТЗ служит для индикации работы силового оборудования. Частотный преобразователь, в зависимости от состояния работы, либо замыкает, либо размыкает данную цепь.

На листе 3 с шифром ФЮРА.421000.014 Э4 представлен моноблочный программируемый логический контроллер А1, который, помимо того, что является центральным процессором и обрабатывает информацию, выступает так же в роли модулей дискретного ввода и вывода.

В зависимости от уровня подаваемого напряжения на дискретный ввод контроллера А1, а именно, замыкания или размыкания цепи, которая проходит через клеммный блок ХТЗ, происходит программная обработка данного входа и последующее срабатывание дискретного вывода контроллера.

Дискретный вывод, в зависимости от сигнала, размыкает, либо замыкает цепь. После замыкания цепи, происходит подача питания на электромагнитное реле К1...К3. Реле, в свою очередь, коммутирует цепь подачи питания на светодиод HL2...HL4, который выступает индикатором работы силового оборудования.

С помощью реле К4...К9 происходит управление силовым оборудованием через частотный преобразователь.

На листе 3...6 с шифром ФЮРА.421000.014 Э4 представлена подсистема ввода/вывода аналоговых сигналов.

Аналоговый ввод А3, А4 служит для ввода сигналов с датчика и последующего вывода значения в Scada-систему.

Аналоговый вывод А5 используется для регулирования частоты и напряжения, подаваемого на силовое оборудование.

Нормирующий преобразователь UY1...UY24 выполняет функцию гальванического разделения сигнала токовой петли, которая предотвращает возможность короткого замыкания между устройствами и служит защитой от электрических помех.

6 Разработка монтажной схемы

Схема внешних проводок представляет собой комбинированную схему, на которой отображены электрические связи между силовым оборудованием и средствами автоматизации, установленными в помещении, как вне щитов, так и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам.

На этой схеме должны быть изображены изделие и его входные и выходные элементы, такие как разъемы, зажимы и другие. Также важно указать данные о подключении изделия.

Информация о проводах и кабелях, включая их марку, сечение и другие характеристики, указывается рядом с линиями, которые представляют провода и кабели. В этом случае можно использовать условные обозначения для проводов и кабелей и предоставить расшифровку на самой схеме.

Для соединения и разветвления электрических кабелей на схемах соединений показывают соединительные клеммные коробки.

Монтажная схема АСР температурного режима муфельного предтопка представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.014 С4.

В правой верхней части схемы находится силовой щит, а в нижней части расположен щит управления и соответствующие клеммные блоки.

В левой верхней части схемы отображены внешние соединения датчиков расхода, температуры, давления и газоанализатора.

В средней части схемы отображены исполнительные механизмы.

Стоит отметить, что все приборы для управления силовым оборудованием располагаются в силовом щите.

Для соединений использованы изолированные и экранированные провода.

В монтажной схеме используются следующие виды кабелей:

- КВВГ – контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластиката и оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова;
- КВВГнг – контрольный кабель с медной жилой, изоляцией из ПВХ и оболочкой из ПВХ пониженной горючести. Для соединения и разветвления кабелей применяются соединительные коробки, такие как КС-10 и КС-20;
- РК-50-2-11 – представляет собой специализированный кабель, который используется для соединения блока управления с датчиками. Он обладает определенными характеристиками, которые делают его подходящим для данной задачи.

7 Разработка общего вида щита управления

Щит управления систем контроля и регулирования является структурным компонентом, предназначенным для установки оборудования системы.

Внутри щита размещаются приборы, регуляторы, средства сигнализации и дистанционного управления, а также элементы коммутации, проводка, средства защиты и блокировки.

Общий внешний вид щита управления представлен на листе с кодом ФЮРА.421000.014 ВО.

Внутри щита управления размещена система контроля и регулирования, а также вспомогательное оборудование.

В верхней части шкафа расположены осветительный прибор EL1 и концевой выключатель SQ1.

В верхнем ряду находится контроллер А1 и модули аналогового ввода/вывода А2...А5. Так же, здесь располагаются блок питания G1, блок сетевого фильтра Z1, автоматические выключатели QF1...QF2, реле контроля температуры КК1 и щитовая розетка XS1.

В средней части шкафа расположены нормирующие преобразователи UY1...UY24 и блок зажимов XT2.

В нижней части шкафа вертикально размещены групповые оборки зажимов.

Для размещения оборудования выбран компактный шкаф АЕ 1016.600 от производителя Rittal. Размеры шкафа составляют 1100x700x300 мм. Оборудование установлено на монтажных шинах с перфорацией NS 35/7,5 от производителя Phoenix Contact. Для прокладки сигнальных и силовых проводов используются перфорированные короба размером 40x40 от производителя Efafel.

8 Расчет параметров настройки ПИ-регулятора

В данной работе будет произведен анализ и вычисление границы заданного запаса устойчивости автоматической системы регулирования (АСР) с использованием пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора и объекта с передаточной функцией.

Это будет выполнено с применением инженерного метода, известного как корневой метод, и с использованием разработанной режимно-амплитудной частотной характеристики (РАФЧХ). В таблице 2 приведены параметры передаточной функции объекта, требования к запасу устойчивости системы и критерий для оптимальной настройки.

Таблица 2 – Параметры передаточной функции объекта

Коэффициент передачи объекта, K	Порядок объекта, n	Постоянная времени объекта, T	Степень затухания, ψ	Интегральный критерий качества
1,3	1	45	0,9	I_1

На рисунке 3 представлен вид структурной схема системы регулирования.

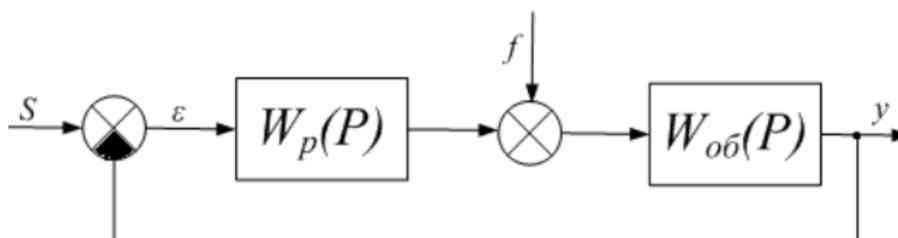


Рисунок 3 – Структурная схема системы регулирования

8.1 Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ регулятором и объектом с передаточной функцией

Для расчёта и построения границы заданного запаса устойчивости АСР с ПИ-регулятором, воспользуемся корневым методом параметрического синтеза систем автоматического регулирования с применением расширенных амплитудно-фазовых частотных характеристик (РАФЧХ). По исходным данным рассчитаем время запаздывания объекта:

$$\tau = \frac{T}{5 \cdot n} = \frac{45}{5 \cdot 1} = 9 \text{ с.} \quad (1)$$

Определим границы заданной степени колебательности соответствующей степени затухания $\psi = 0,90$ (таблица 3):

$$m = 0,366;$$

$$M = 1,55.$$

Таблица 3 – Таблица соответствия оценок запаса устойчивости

ψ	0	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	0,998	1
m	0	0,221	0,256	0,302	0,366	0,477	0,989	∞
M	∞	2,38	2,08	1,81	1,55	1,29	1	1

Передаточная функция объекта регулирования определяется по формуле:

$$W_{об}(P) = \frac{K}{\prod_{i=1}^n (T_i \cdot P + 1)} \cdot e^{-P\tau}, \quad (2)$$

где P – оператор Лапласа.

Если порядок объекта $n=1$, то выражение примет вид:

$$W_{об}(P) = \frac{K \cdot e^{-P\tau}}{(T \cdot P + 1)}, \quad (3)$$

Тогда после подстановки значений выше приведенных параметров получаем окончательное выражение для передаточной функции объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{1,3 \cdot e^{-9 \cdot P}}{(45 \cdot P + 1)}.$$

Определим расширенные частотные характеристики объекта регулирования. Расширенные частотные характеристики какого-либо звена можно получить подстановкой в передаточную функцию этого звена $W(P)$ оператора $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ или $p = -\eta + i \cdot \omega$, в выражениях для оператора Лапласа ω – частота, c^{-1} . В первом случае расчётные формулы метода обеспечивают получение границы заданной степени колебательности системы m , а во втором – получение границы заданной степени устойчивости системы η в пространстве параметров настройки регулятора [10].

Заменим оператор $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$, в результате получаем выражение для РАФЧХ объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{1,3 \cdot e^{-9 \cdot (-m\omega + i\omega)}}{(45 \cdot (-m\omega + i\omega) + 1)}.$$

Используя программное обеспечение Mathcad, предварительно задав начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ c}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,001 \text{ c}^{-1}$, рассчитываем расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до $\omega = 0,3 \text{ c}^{-1}$.

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$Re_{об}(m, \omega) = Re(W_{об}(m, i\omega)). \quad (4)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$Im_{об}(m, \omega) = Im(W_{об}(m, i\omega)). \quad (5)$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ):

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{Re_{об}(m, \omega)^2 + Im_{об}(m, \omega)^2}. \quad (6)$$

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \arctg\left(\frac{Im_{об}(m, \omega)}{Re_{об}(m, \omega)}\right). \quad (7)$$

В таблице 4 приведены результаты расчётов значения частоты с $\omega = 0$ с⁻¹ до $\omega = 0,3$ с⁻¹ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,005$ с⁻¹.

Таблица 4 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega), \text{рад}$
0	1,3	0	2	0
0,005	1,342	-0,393	2,2	-0,258
0,01	1,181	-0,78	2,302	-0,539
0,015	0,875	-1,028	2,271	-0,819
0,02	0,549	-1,108	2,135	-1,073
0,025	0,282	-1,075	1,95	-1,289
0,03	0,08	-0,991	1,76	-1,468
0,035	-0,046	-0,893	1,589	1,524
0,04	-0,139	-0,797	1,44	1,398
0,045	-0,202	-0,71	1,315	1,289
0,05	-0,246	-0,632	1,21	1,194
0,055	-0,277	-0,564	1,121	1,108
0,06	-0,299	-0,504	1,046	1,031

Продолжение таблицы 4

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega), \text{рад}$
0,065	-0,314	-0,451	0,982	0,959
0,07	-0,325	-0,404	0,926	0,892
0,075	-0,333	-0,361	0,879	0,828
0,08	-0,338	-0,323	0,837	0,768
0,085	-0,341	-0,288	0,8	0,71
0,09	-0,343	-0,256	0,768	0,654
0,095	-0,343	-0,227	0,74	0,6
0,1	-0,343	-0,2	0,714	0,548
0,105	-0,342	-0,174	0,691	0,496
0,11	-0,34	-0,151	0,671	0,446
0,115	-0,337	-0,129	0,653	0,397
0,12	-0,334	-0,107	0,636	0,348
0,125	-0,331	-0,088	0,621	0,301
0,13	-0,327	-0,069	0,608	0,253
0,135	-0,323	-0,051	0,595	0,207
0,14	-0,318	-0,034	0,584	0,161
0,145	-0,313	-0,017	0,574	0,115
0,15	-0,308	-0,001	0,564	0,07
0,155	-0,302	0,013	0,556	0,025
0,16	-0,296	0,027	0,548	-0,02
0,165	-0,29	0,041	0,541	-0,064
0,17	-0,284	0,054	0,534	-0,108
0,175	-0,277	0,067	0,528	-0,152
0,18	-0,27	0,079	0,523	-0,195
0,185	-0,263	0,091	0,518	-0,239
0,19	-0,255	0,103	0,514	-0,282
0,195	-0,248	0,114	0,51	-0,325
0,2	-0,24	0,124	0,506	-0,368
0,205	-0,231	0,134	0,503	-0,41
0,21	-0,223	0,144	0,5	-0,453
0,215	-0,214	0,153	0,497	-0,495

Продолжение таблицы 4

ω, c^{-1}	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega), \text{рад}$
0,22	-0,205	0,162	0,495	-0,538
0,225	-0,196	0,17	0,492	-0,58
0,23	-0,187	0,178	0,491	-0,622
0,235	-0,177	0,186	0,489	-0,664
0,24	-0,167	0,193	0,488	-0,706
0,245	-0,157	0,2	0,487	-0,748
0,25	-0,147	0,206	0,486	-0,79
0,255	-0,137	0,212	0,485	-0,831
0,26	-0,126	0,217	0,485	-0,873
0,265	-0,116	0,222	0,484	-0,915
0,27	-0,105	0,227	0,484	-0,956
0,275	-0,094	0,231	0,484	-0,998
0,28	-0,083	0,235	0,485	-1,039
0,285	-0,072	0,238	0,485	-1,08
0,29	-0,061	0,241	0,486	-1,122
0,295	-0,05	0,243	0,486	-1,163
0,3	-0,038	0,245	0,487	-1,204

РАФЧХ объекта регулирования представлена на рисунке 4.

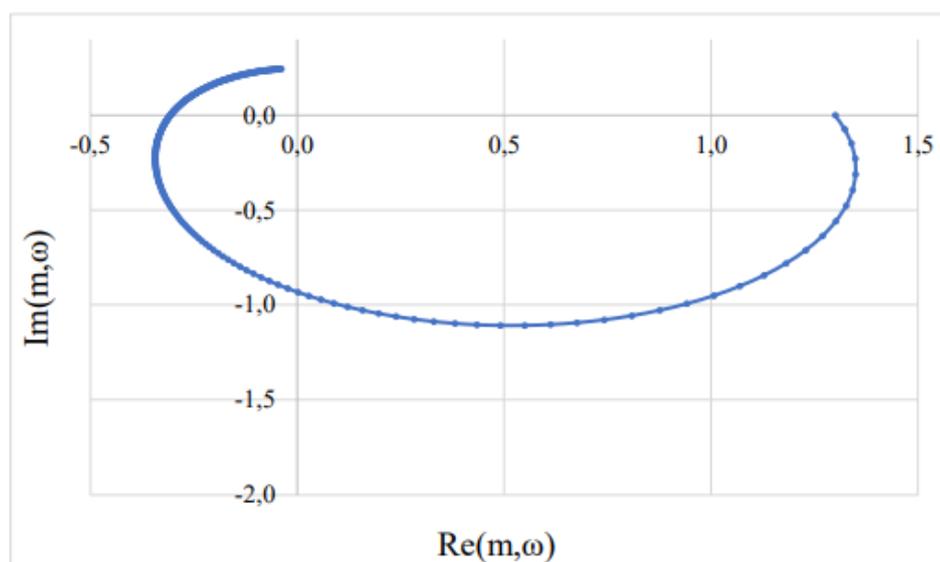


Рисунок 4 – РАФЧХ объекта регулирования

Расчётные формулы корневого метода для ПИ-регулятора имеют вид:

$$\frac{K_p}{T_i} = \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{06}(m, \omega)}{A_{06}^2(m, \omega)} \quad (8)$$

$$K_p = -\frac{m \cdot \text{Im}_{06}(m, \omega) + \text{Re}_{06}(m, \omega)}{A_{06}^2(m, \omega)} \quad (9)$$

где K_p – коэффициент передачи ПИ-регулятора;

T_i – постоянная интегрирования ПИ-регулятора.

Зададим диапазон изменения частоты $\omega = 0 \dots 0,3 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$, определим настройки регулятора $\frac{K_p}{T_i}$ частот [12].

Результаты расчётов сведём в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта настройки ПИ-регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\frac{K_p}{T_i}$	K_p
0	0	-0,769
0,01	0,004	-0,447
0,02	0,016	-0,094
0,03	0,034	0,277
0,04	0,055	0,658
0,05	0,078	1,037
0,06	0,1	1,406
0,07	0,119	1,758
0,08	0,134	2,084
0,09	0,143	2,379
0,1	0,144	2,637
0,11	0,136	2,853
0,12	0,119	3,025
0,13	0,091	3,149
0,14	0,053	3,224

Продолжение таблицы 5

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\frac{K_p}{T_i}$	K_p
0,15	0,003	3,25
0,16	-0,056	3,225
0,17	-0,126	3,152
0,18	-0,205	3,031
0,19	-0,292	2,866
0,2	-0,386	2,658
0,21	-0,486	2,412
0,22	-0,59	2,13
0,23	-0,696	1,818
0,24	-0,803	2,48
0,25	-0,909	1,121
0,26	-1,011	0,745
0,27	-1,108	0,358
0,28	-1,199	-0,036
0,29	-1,281	-0,431
0,3	-1,353	-0,824

При частоте равной 0,2 найдены оптимальные настройки ПИ-регулятора объекта. На рисунке 5 представлена область параметров настройки ПИ-регулятора.

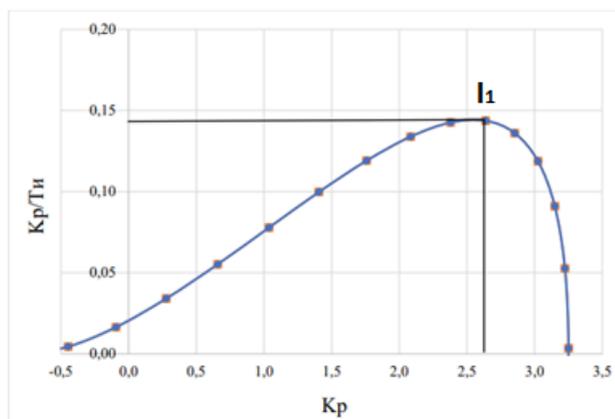


Рисунок 5 – Область параметров настройки ПИ-регулятора

Полученная кривая является границей заданной степени затухания $\psi_{\text{зад}} = 0,9$ процесса регулирования, что соответствует степени колебательности ($m = 0,366$). Таким образом, все значения $\frac{K_p}{T_i}$ и k_p , лежащие на этой кривой, обеспечивают определенную степень затухания (в данном случае $\psi = \psi_{\text{зад}} = 0,9$) [11].

8.2 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора

Поиск оптимальных параметров настройки регулятора осуществляется вдоль границы заданного запаса устойчивости системы регулирования, представленной на рисунке 3, до достижения экстремума принятого критерия качества. Принят второй критерий.

Для аperiodических и колебательных переходных процессов целесообразно применять интегральную оценку типа:

$$I_1 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt. \quad (10)$$

Используя данные из таблицы 4 и рисунка 3, определяем соответствующие параметры настройки:

$$K_p = 2,637 \text{ и } \max\left(\frac{K_p}{T_i}\right) = 0,144.$$

Резонансная частота замкнутой системы $\omega_{\text{рез}} = 0,1 \text{ с}^{-1}$.

В соответствии с заданным критерием качества работы системы оптимальные параметры настройки ПИ-регулятора имеют значения:

$$\frac{K_p}{T_i} \cdot 0,9 = 144 \cdot 0,9 = 0,1296; K_p = 2,917;$$

$$T_{и} = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_{и}}} = \frac{2,917}{0,1296} = 22,507 \text{ с.}$$

Передаточная функция регулятора:

$$W_p = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_{и}P}\right) = 2,637 \cdot \left(1 + \frac{1}{22,507 \cdot p}\right).$$

8.3 Расчёт, построение и оценка качества переходных процессов в замкнутой АСР при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия

8.3.1 Переходный процесс в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

Запишем передаточную функцию:

$$W_{s-y} = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)} = \frac{\frac{1,3 \cdot e^{-9 \cdot P}}{45 \cdot P + 1} \cdot 2,637 \cdot \left(1 + \frac{1}{22,507 \cdot P}\right)}{1 + \frac{1,3 \cdot e^{-9 \cdot P}}{45 \cdot P + 1} \cdot 2,637 \cdot \left(1 + \frac{1}{22,507 \cdot P}\right)},$$

где $W_{об}(P)$ – передаточная функция объекта;

$W_p(P)$ – передаточная функция регулятора.

Используя программу Mathcad и предварительно задав диапазон изменения частоты $\omega = 0 \dots 0,31 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$, рассчитываем вещественную частотную характеристику замкнутой системы.

Таблица 6 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы по каналу задающего воздействия

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}(\omega)$
0	1
0,01	1,012
0,02	1,043
0,03	1,084
0,04	1,123

Продолжение таблицы 6

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}(\omega)$
0,05	1,152
0,06	1,161
0,07	1,136
0,08	1,053
0,09	0,871
0,1	0,526
0,11	-0,036
0,12	-0,769
0,13	-1,432
0,14	-1,76
0,15	-1,744
0,16	-1,546
0,17	-1,301
0,18	-1,069
0,19	-0,87
0,2	-0,705
0,21	-0,57
0,22	-0,458
0,23	-0,366
0,24	-0,289
0,25	-0,224
0,26	-0,17
0,27	-0,123
0,28	-0,083
0,29	-0,048
0,3	-0,019
0,31	0,007

По данным таблицы 6 построим график вещественной частотной характеристики:

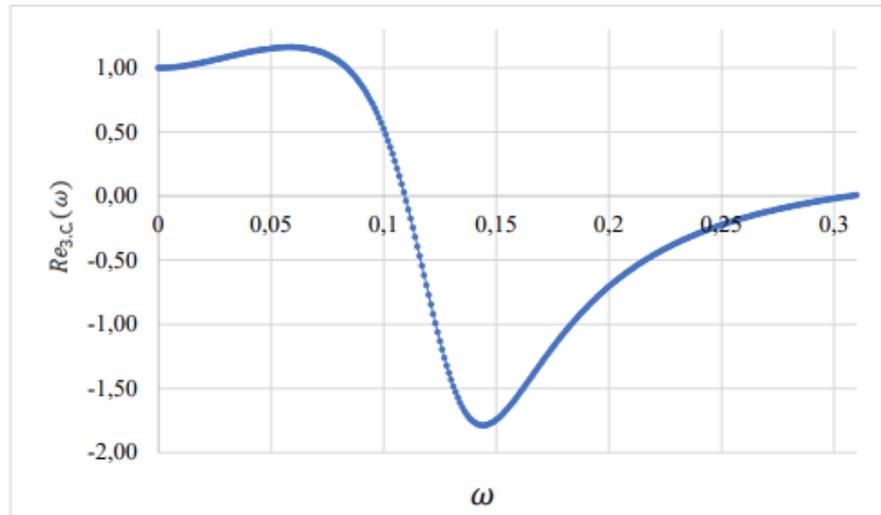


Рисунок 6 – График ВЧХ замкнутой системы по каналу задания

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитываем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega_{с.з.}} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega, \quad (11)$$

где $\omega_{с.з.} = 0,31 \text{ с}^{-1}$ – частота среза, при которой график $Re(\omega)$ стремится к 0, данная частота определена графическим способом из рисунка 4.

Задав диапазон изменения времени переходного процесса $t = 0 \dots 160 \text{ с}$ с шагом $\Delta t = 5 \text{ с}$, рассчитываем переходный процесс в замкнутой АСР. Результаты расчета представим в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

t, с	y(t)	t, с	y(t)	t, с	y(t)	t, с	y(t)
0	0	38	1,356	76	1,079	114	0,984
2	0	40	1,258	78	1,088	116	0,99
4	0,00001	42	1,159	80	1,09	118	0,996
6	0,00007	44	1,065	82	1,087	120	1,002
8	-0,00007	46	0,983	84	1,079	122	1,006
10	0,096	48	0,913	86	1,067	124	1,01
12	0,292	50	0,861	88	1,052	126	1,012
14	0,5	52	0,825	90	1,036	128	1,014
16	0,706	54	0,807	92	1,021	130	1,014
18	0,922	56	0,805	94	1,006	132	1,014
20	1,127	58	0,816	96	0,993	134	1,012
22	1,297	60	0,839	98	0,983	136	1,01
24	1,431	62	0,87	100	0,974	138	1,008
26	1,527	64	0,905	102	0,969	140	1,006
28	1,581	66	0,942	104	0,967	142	1,003
30	1,595	68	0,978	106	0,967	144	1
32	1,573	70	1,012	108	0,969	146	0,998
34	1,521	72	1,041	110	0,973	148	0,997
36	1,446	74	1,063	112	0,978	150	0,996

На рисунке 7 представлен результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия.

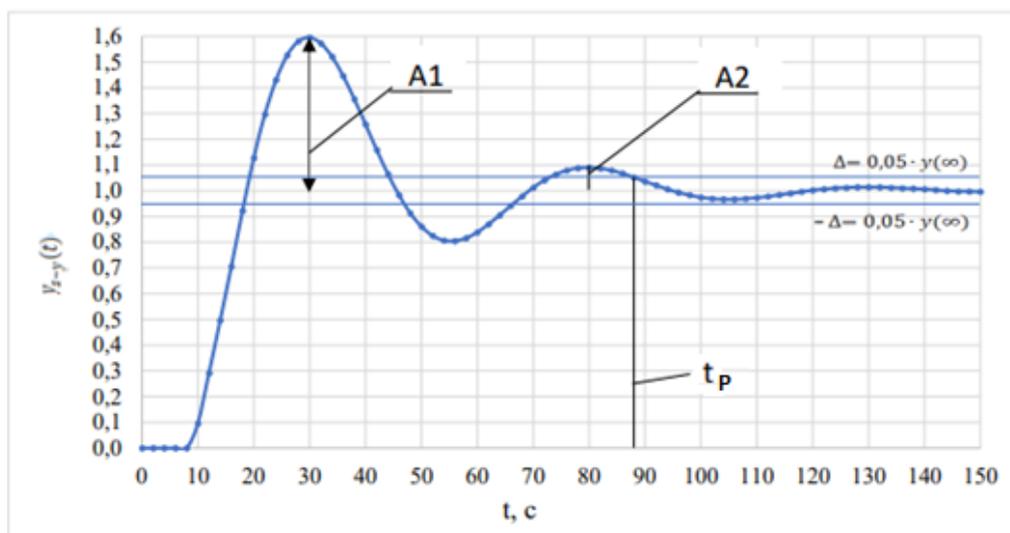


Рисунок 7 – Результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

8.3.2 Оценка качества регулирования

Под качеством регулирования понимают совокупность показателей или критериев, позволяющих оценить характер отклонения регулируемой величины под действием изменяющихся возмущений и судить о том, насколько система удовлетворяет поставленным требованиям при заданных конкретных ограничениях.

Используя данные таблицы 6 и рисунок 5, произведём оценку качества переходного процесса в замкнутой АСР [4].

Прямые оценки качества:

- 1) Динамическая ошибка: $A_1 = 0,595$;
- 2) Перерегулирование: $\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} = \frac{0,595}{1} = 59,5 \%$;
- 3) Статическая ошибка: $\varepsilon_{ст} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0$,

где S – величина сигнала задания;

$$4) \text{ Степень затухания: } \Psi = \frac{(A_1 - A_2)}{A_1} = \frac{0,595 - 0,09}{0,595} = 0,898,$$

где A_2 – вторая амплитуда колебаний.

$$5) \text{ Время регулирования } t_p = 89 \text{ с.}$$

8.4 Переходный процесс при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия

Для одноконтурной системы регулирования, определим передаточную функцию замкнутой АСР по каналу $f - y$:

$$W_{f-y} = \frac{W_{об}(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)} = \frac{\frac{1,3 \cdot e^{-9 \cdot P}}{45 \cdot P + 1} \cdot 2,637 \cdot \left(1 + \frac{1}{22,507 \cdot P}\right)}{1 + \frac{1,3 \cdot e^{-9 \cdot P}}{45 \cdot P + 1} \cdot 2,637 \cdot \left(1 + \frac{1}{22,507 \cdot P}\right)},$$

Рассчитаем ВЧХ замкнутой АСР с помощью Mathcad в диапазоне частот $\omega = 0,001 \dots 0,32 \text{ с}^{-1}$ и с шагом $\Delta\omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$, результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты расчета ВЧХ системы по каналу регулирующего воздействия

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$
0,001	0	0,136	-0,363	0,271	-0,057
0,01	0,021	0,145	-0,398	0,28	-0,046
0,019	0,072	0,154	-0,392	0,289	-0,035
0,028	0,143	0,163	-0,366	0,298	-0,025
0,037	0,221	0,172	-0,331	0,307	-0,017
0,046	0,298	0,181	-0,293	0,316	-0,009
0,055	0,367	0,19	-0,257	-	-
0,064	0,42	0,199	-0,224	-	-
0,073	0,449	0,208	-0,194	-	-
0,082	0,443	0,217	-0,167	-	-
0,091	0,385	0,226	-0,143	-	-

Продолжение таблицы 8

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re(\omega)$
0,1	0,264	0,235	-0,121	-	-
0,109	0,086	0,244	-0,103	-	-
0,118	-0,109	0,253	-0,086	-	-
0,127	-0,269	0,262	-0,071	-	-

На рисунке 8 представлен график ВЧХ замкнутой системы при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия.

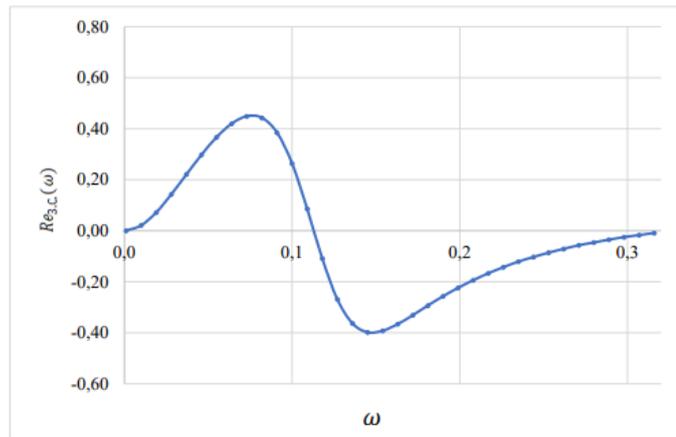


Рисунок 8 – График ВЧХ замкнутой системы при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия

Переходный процесс по каналу регулирующего воздействия рассчитаем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega_{\text{с.з.}}} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega, \quad (12)$$

где $\omega_{\text{с.з.}} = 0,32 \text{ с}^{-1}$ – частота среза, определяемая из графика ВЧХ.

Задав диапазон изменения времени переходного процесса $t = 0 \dots 450 \text{ с}$ и шаг $\Delta t = 10 \text{ с}$, рассчитываем переходный процесс АСР по каналу регулирующего воздействия. Результаты представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты расчета переходного процесса АСР при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия

t, с	y(t)	t, с	y(t)	t, с
0	0	30	0,312	60
2	-0,009	32	0,287	62
4	-0,013	34	0,256	64
6	-0,008	36	0,222	66
8	0,01	38	0,185	68
10	0,041	40	0,148	70
12	0,083	42	0,111	72
14	0,132	44	0,077	74
16	0,184	46	0,047	76
18	0,233	48	0,02	78
20	0,275	50	-0,001	80
22	0,307	52	-0,017	82
24	0,327	54	-0,028	84
26	0,333	56	-0,035	86
28	0,328	58	-0,037	88

По результатам расчёта построим график переходного процесса системы по каналу возмущения. Полученный график представлен на рисунке 9.

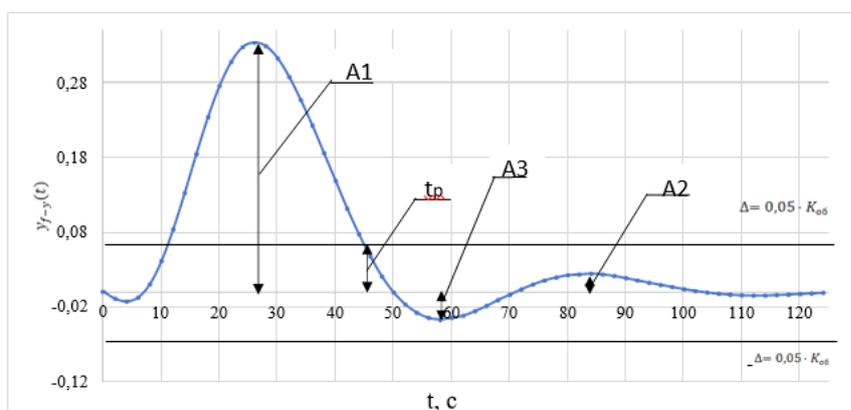


Рисунок 9 – График переходного процесса в АСР при возмущении f , идущем по каналу регулирующего воздействия

8.5 Оценка качества регулирования

Используя данные таблицы 9 и рисунка 9, произведём оценку качества переходного процесса в замкнутой АСР по каналу возмущающего воздействия $f - y$.

Прямые оценки качества:

- 1) Динамическая ошибка: $A_1 = 0,333$;
- 2) Перерегулирование: $\sigma = \frac{A_3}{A_1} = \frac{0,037}{0,333} = 11,11 \%$;
- 3) Статическая ошибка: $\varepsilon_{ст} = y(\infty) = 0$;
- 4) Степень затухания: $\Psi = \frac{(A_1 - A_2)}{A_1} = \frac{0,333 - 0,024}{0,333} = 0,93$,

где A_2 – вторая амплитуда колебаний.

- 5) Время регулирования $t_p = 30$ с, при величине $\delta = 0,05 \cdot K_{об} = 0,065$;

б) Динамический коэффициент регулирования:

$$R_D = \frac{(A_1 + y(\infty))}{K_{об}} = \frac{0,333 + 0}{2} = 16,65 \%$$

где $K_{об} = 1,3$ – коэффициент передачи объекта.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Б93	Паномареву Дмитрию Андреевичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30,2%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Перечень графического материала:

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Паномарев Дмитрий Андреевич		

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка коммерческой ценности разработанной автоматической системы регулирования температурного режима в муфельном предтопке с точки зрения финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы (проекта);
- расчет бюджета научно-исследовательской работы (проекта);
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

9.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

9.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Разрабатываемая система регулирования температурного режима в муфельном предтопке предназначена для котлов, вырабатывающих тепловую и (или) электрическую энергию с применением суспензионного топлива.

Потребность в эффективной системе регулирования температурного режима в муфельном предтопке возникает в связи с использованием суспензионного топлива.

Таблица 10 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Динамическая точность	0,2	2	4	4	0,4	0,8	0,8
2. Простота эксплуатации	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
3. Надежность	0,15	3	5	4	0,45	0,75	0,6
4. Качество регулирования	0,2	2	5	5	0,4	1	1
5. Простота наладки	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
3. Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Итого	1	26	34	32	3,0	4,3	4,1

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i,$$

где К – конкурентоспособность проекта;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

Б_i – балл показателя.

Пример расчета для конкурента 1:

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i = 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,02 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 3,0.$$

Анализируя полученные результаты, делаем вывод, что разработки под номерами 2 и 3 являются наиболее конкурентоспособными и выгодными.

Такие разработки проще в наладке и эксплуатации, обеспечивают большее качество регулирования и динамическую точность в отличие от варианта под номером 1.

В данной работе используется разработка под номером 2. Далее будем рассматривать только ее.

9.1.2 SWOT-анализ

SWOT анализ – это метод оценки ситуации и будущих перспектив проекта, основная задача которого: определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды. На основании анализа делается вывод: правильно развивается проект, какие риски нужно предусмотреть, что следует делать, каковы перспективы проекта [16].

Данный анализ позволяет определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды, а также на основании данного анализа можно определить, как правильно развивается проект, какие перспективы у данного проекта, на какие риски стоит обратить внимание при осуществлении данного проекта. В таблице 2 приведена Матрица SWOT.

Таблица 11 – Матрица SWOT

	Сильные стороны С1. Доступная стоимость; С2. Экономия топлива; С3. Данная система является экономически выгодной, ресурсоэффективной; С4. Простота и удобство эксплуатации; С5. Высокая надежность оборудования.	Слабые стороны Сл1. Сложность монтажа оборудования; Сл2. Вероятность сбоя программного обеспечения. Сл3. Использование зарубежных компонентов.
Возможности В1. Возможность внедрения на другие станции, как следствие, появление большого спроса на продукцию. В2. Высокий спрос инвесторов к новым разработкам.	1) Доступная стоимость и простота дают возможность внедрения на другие станции. 2) При достаточном финансировании инвесторов система развивается и становится более ресурсоэффективной и повышается надежность системы.	1) Инвесторы могут скомпенсировать траты на зарубежные компоненты. 2) Внедрение на другие станции влечет за собой привлечение новых специалистов, которые смогут усовершенствовать ПО.
Угрозы У1. Повышения цен на компоненты системы; У2. Появление новых более конкурентных систем.	1) Необходимо повышать надежность и тем самым быть конкурентным для новых систем. 2) Необходимо использовать компоненты отечественного производства для снижения стоимости самой системы, но не в ущерб ресурсу работы.	1) Из-за сложности монтажа и появления конкурентов, данная система может быстро стать невостребованной. 2) Из-за нестабильного курса рубля может повыситься стоимость на зарубежные компоненты системы.

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 12–15.

Таблица 12 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	+
	B2	+	-	-	+	+

Таблица 13 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	+
	B2	+	-	-

Таблица 14 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	-	+
	У2	-	-	+	+	+

Таблица 15 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	-	-
	У2	+	-	-

По результатам анализа сделаны выводы по разработке данной системы, к сильным сторонам относятся: невысокая стоимость, высокая функциональность и надёжность оборудования. Данный проект содержит

современные и отлично зарекомендовавшие себя проектные решения, которые будут актуальны на протяжении долгого времени. Что касается слабых сторон, связаны они в первую очередь со сложностью монтажа, а также система каждый год все больше исследуется, разрабатываются новые экспериментальные подходы и методики, которые могут стать дешевле и более надежны и как следствие быть конкурентом для данной системы.

9.2 Планирование научно-исследовательских работ

9.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса научно-исследовательских работ осуществляется в порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение количества исполнителей для каждой из работ;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы, приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Руководитель НР
	2	Календарное планирование выполнения НИР	Исполнитель, руководитель НР
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Исполнитель
	4	Выбор методов исследования	Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Исполнитель, Руководитель НР
	6	Подготовка образцов для эксперимента	Исполнитель
	7	Проведение эксперимента	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка полученных данных	Исполнитель
	9	Оценка правильности полученных результатов	Исполнитель, руководитель НР
Оформление отчета по НИР	10	Составление пояснительной записки	Исполнитель

9.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

В данном разделе определена трудоемкость работ руководителя темы и исполнителя. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностных характер.

Для определения ожидаемого значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (13)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (14)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого воспользуемся формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (15)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48, \quad (16)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Количество календарных дней в 2023 году составило 365 дней, количество выходных и праздничных дней – 118 дней.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 17.

Таблица 17 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель		
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения НИР	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18
9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
Итого:	7	59	15	84	10,2	69	68,5	102

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта, который приведен в таблице 18.

Таблица 18 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	$T_{ки}$, кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	4	■													
2	Календарное планирование выполнения НИР	Исп1 Исп2	4	■													
3	Обзор научной литературы	Исп2	11		■												
4	Выбор методов исследования	Исп2	6			■											
5	Планирование эксперимента	Исп1 Исп2	7			■											
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп2	9				■										
7	Проведение эксперимента	Исп2	25					■									
8	Обработка полученных данных	Исп2	18							■							
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп1 Исп2	5									■					
10	Составление пояснительной записки	Исп2	13												■		

■ – Исп. 1 (руководитель), ■ – Исп. 2 (исполнитель)

9.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

9.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты – это затраты организации на приобретение сырья и материалов для создания готовой продукции.

Таблица 19 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во, ед.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	340	4	1200
Картридж для лазерного принтера	3490	1	3490
Итого			4690

9.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался персональный компьютер.

Таблица 20 – Затраты на оборудование

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Персональный компьютер	1	3	50000	50000
Итого				50000

Норма амортизации рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (17)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (18)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем норму амортизации для персонального компьютера, с учётом того, что срок полезного использования составляет 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом [13]:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 50000}{12} = 1375 \text{ руб.}$$

9.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (19)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_\partial} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (20)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_∂ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя исполнителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_\partial} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.} \quad (21)$$

Должностной оклад работника за месяц для руководителя и исполнителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_\partial) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

(10)

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_\partial) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

(11)

где $Z_{мс}$ – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3;

k_∂ – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 21 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные дни, праздничные дни)	52/14	104/14
Потери рабочего времени (отпуск, болезнь)	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, руб$	k_{np}	k_d	k_p	$Z_{м}, руб$	$Z_{дн}, руб$	$T_p, раб.дн.$	$Z_{осн}, руб$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	13,5	28988,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	68,5	119402,4
Итого:								148391

Дополнительная заработная плата для руководителя и исполнителя определяется по формуле [13]:

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 28988,6 = 4348,3 \text{ руб.} \quad (22)$$

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 119402,4 = 17910,4 \text{ руб.}, \quad (23)$$

где $k_{дон}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

9.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды для руководителя и исполнителя определяется по формуле:

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (28988,6 + 4348,3) = 10001,1 \text{ руб.}$$

(14)

$$Z_{внеб} = k_{внеб}(Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (119402,4 + 17910,4) = 41193,8 \text{ руб.},$$

(15)

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование).

Общая ставка взносов составляет в 2023 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

9.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи и т.д. Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице ниже и используются для расчета накладных расходов[13].

Таблица 23 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
1375	4690	148391	22258,7	51194,9	227909,6

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр},$$

(24)

где k_{nr} – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости по форме, приведенной в таблице 24. Также, в таблице представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 24 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
	Текущий Проект	Исп.2	Исп.3	
Материальные затраты НИР	4690	3517,5	12194	Пункт 4.2.3.1
Затраты на специальное оборудование	1375	2318,9	5623,3	Пункт 4.2.3.2
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	148391	148391	148391	Пункт 4.2.3.3
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22258,7	22258,7	22258,7	Пункт 4.2.3.3
Отчисления во внебюджетные фонды	51194,9	51194,9	51194,9	Пункт 4.2.3.4
Накладные расходы	32355,8	33820,2	35263,5	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР	260265,4	261501,2	274925,4	Сумма ст. 1- 6

9.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (25)$$

где $I_{\text{финр}}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 260265,4$ руб, $\Phi_{\text{исп.2}} = 261501,2$ руб, $\Phi_{\text{исп.3}} = 274925,4$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{260265,4}{274925,4} = 0,94;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{261501,2}{274925,4} = 0,95;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{274925,4}{274925,4} = 1.$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра и приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1. Безопасность при использовании установки	0,15	4	4	4
2. Стабильность работы	0,2	4	4	5
3. Технические характеристики	0,2	5	3	4
4. Механические свойства	0,3	5	4	3
5. Материалоёмкость	0,15	5	4	5
ИТОГО	1	4,65	3,8	4,05

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 = 4,65;$$

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,80;$$

$$I_{p3} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,15 \cdot 5 = 4,05.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр.i}}. \quad (26)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,94} = 4,94, \quad I_{исп.2} = \frac{3,8}{0,95} = 4, \quad I_{исп.3} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других

вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта. Результат приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
Интегральный финансовый показатель разработки	0,95	0,95	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
Интегральный показатель эффективности	5,54	4,47	4,05
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НИР как наиболее подходящего и оптимального по сравнению с другими.

2. В ходе планирования для руководителя и исполнителя был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей.

Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 102 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней;

3. Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 260265,4 руб;

4. Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,84, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,65, по сравнению с 3,8 и 4,05;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,54, по сравнению с 4,47 и 4,05, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5Б93		ФИО Паномарев Дмитрий Андреевич	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	НОЦ И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Автоматическая система регулирования температурного режима в муфельном предтопке	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации. 	<p>Объект исследования: муфельный предтопок. Область применения экспериментальная установка. Рабочая зона: производственное помещение. Размеры помещения: 9x5 м.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Количество и наименование оборудования рабочей зоны: пеллетный котел Zota Pellet 63S – Вдоль фронта котла расположены шаровая мельница МШБ-500 и щековая дробилка ДЩ-1 – Для проведения ремонтных работ котельное отделение оборудовано лебедкой грузоподъемностью 3 т/с. – Рабочие процессы: регулирование температурного режима в муфельном предтопке.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ; – ГОСТ 22614-77 «Система "человек-машина". Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования»; – ГОСТ 22615-77 «Система "человек-машина". Выключатели и переключатели типа "Тумблер»; – ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009 «Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплеи»; – ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7.
<p>2. Производственная безопасность при разработке при эксплуатации):</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов. 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень шума – повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действием которого попадает работающий;

	<p>2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, способных вызвать ожоги тканей организма человека;</p> <p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: беруши, наушники, защитные очки, специализированная одежда, изоляция проводов.</p>
3. Экологическая безопасность при эксплуатации:	<p>Воздействие на литосферу: загрязнение твердыми частицами отходов;</p> <p>Воздействие на гидросферу: повышенное использование питательной воды на впрыск.</p> <p>Воздействие на атмосферу: повышенная концентрация NO в выбросах.</p>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации:	<p>Возможные ЧС: техногенные ЧС (пожары, взрывы, угроза взрывов).</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б93	Паномарев Дмитрий Андреевич		

10 Социальная ответственность

Введение

В данной выпускной квалификационной работе была разработана автоматическая система регулирования температурного режима муфельного предтопка.

Система автоматического регулирования температурного режима предназначена для поддержания наиболее экономичного режима сжигания топлива в топке парогенератора.

Актуальность раздела обусловлена необходимостью обеспечения мер безопасности производственного персонала, в виду того, что отрасли промышленности всегда связаны с риском для жизни сотрудников.

Рабочим процессом является автоматическая система регулирования температурного режима муфельного предтопка.

Рабочая зона представляет собой помещение 9х5 метров, которое включает в себя следующие оборудование: пеллетный котел Zota Pellet 63S, вдоль фронта котла расположены шаровая мельница МШБ-500 и щековая дробилка ДЩ-1.

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К категории опасных производственных объектов относится производственное помещение, где и находится разработанная система.

III класса опасности - для опасных производственных объектов, осуществляющих теплоснабжение населения и социально значимых категорий потребителей, определяемых в соответствии с законодательством Российской Федерации в сфере теплоснабжения, а также иных опасных производственных объектов, на которых применяется оборудование, работающее под избыточным давлением 1,6 мегапаскаля и более (за

исключением оборудования автозаправочных станций, предназначенных для заправки транспортных средств природным газом) или при температуре рабочей среды 250 градусов Цельсия и более.

По результатам специальной оценки условий труда рабочее место оператора может относиться к вредным условиям труда. Трудовой кодекс устанавливает несколько видов гарантий и компенсаций для работников, занятых на вредных и/или опасных работах:

- доплата за работу во вредных/опасных условиях – минимум 4% от тарифной ставки (оклада), действующей для работ с нормальными условиями труда;

- сокращенная продолжительность работы (рабочая неделя – не более 36 часов, рабочий день (смена) – максимум 8 часов при 36-часовой рабочей неделе, максимум 6 часов при 30-часовой рабочей неделе) для работников, занятых на работах с подклассом вредности 3.3 и 3.4 и на опасных работах;

- выдача молока и других равноценных пищевых продуктов либо лечебно-профилактического питания по установленным нормам;

- выдача специальной одежды, обуви, других средств индивидуальной защиты, а также смывающих и обезвреживающих средств.

Лица, принимаемые на работу по обслуживанию тепломеханического оборудования, должны пройти предварительный медицинский осмотр.

У лиц, обслуживающих оборудование основных цехов электростанций и тепловых сетей, и лиц, допущенных к выполнению специальных работ, должна быть сделана об этом запись в удостоверении о проверке знаний.

Персонал должен работать в спецодежде, застегнутой на все пуговицы. На одежде не должно быть развевающихся частей, которые могут быть захвачены движущимися (вращающимися) частями механизмов. Засучивать рукава спецодежды и подворачивать голенища сапог запрещается.

Персонал, обслуживающий оборудование в газоопасных местах, а также соприкасающийся с вредными веществами, должен знать:

- перечень газоопасных мест в цехе (районе);

- отравляющее действие вредных веществ и признаки отравления ими;
- правила производства работ и пребывания в газоопасных местах;
- правила пользования средствами защиты органов дыхания;
- пожароопасные вещества и способы их тушения;

Основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны оператора:

- возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования;

- обеспечивать необходимые зрительные и звуковые связи между оператором и оборудованием;

предусмотрены необходимые средства защиты человека-оператора от воздействия опасных и вредных факторов, а также условия для экстренного ухода человека-оператора с рабочего места;

10.2 Производственная безопасность

В таблице 27 представлен перечень вредных и опасных факторов, которые могут возникать при разработке, изготовлении и эксплуатации автоматической системы регулирования.

Таблица 27 – Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора АСУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристиками шума	СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
Отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	Требования к освещению устанавливаются СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*.
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов – ГОСТ 12.1.038-82.

10.2.1 Отсутствие или недостаток необходимого освещения

Правильное освещение сохранит зрение персонала. Поэтому соблюдение норм освещенности, ведет к снижению утомляемости на рабочем месте. Низкий уровень освещения может вызвать у человек снижение работоспособности и ухудшение состояние здоровья.

К наиболее типичным профессиональным заболеваниям при недостаточной освещенности можно отнести:

- близорукость;
- световое голодание.

При низком уровне освещения стоит заменить или добавить источники освещения. Освещённость рабочей зоны при VI разряде зрительной работы должна быть 200 лк согласно СанПиН 1.2.3685-21.

10.2.2 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат влияет на теплообмен человеческого организма. Основная роль в теплообменных процессах у человека принадлежит физиологическим механизмам регуляции теплоотдачи через поверхностные ткани, которая может осуществляться конвекцией, излучением, испарением. В обычных микроклиматических условиях человек 30 % всего тепла отдает путем конвекции, 45 % - теплоизлучением и 25 % - испарением пота. В условиях комфорта у человека не возникает беспокоящих его тепловых ощущений - холода или перегрева.

К наиболее типичным профессиональным заболеваниям при отклонении показателей микроклимата можно отнести:

- простудные заболевания;
- перегрев организма;
- нарушение терморегуляции организма.

Работа оператора в данном объекте относится к классу лёгких работ. Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте должны соответствовать величинам, приведённым в таблице 2. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте должны соответствовать значениям, приведённым в СанПиН 1.2.3685-21 в таблице 1.

Таблица 28 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С
Холодный	Iб (140 - 174)	21-23	20-24
Тёплый	Iб (140 - 174)	22-24	21-25
Период года	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
Холодный	60-40	0,1	
Тёплый	60-40	0,1	

Таблица 29 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте

Период года	Категория работ по уровням энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		
		Диапазон ниже оптимальных величин		Диапазон выше оптимальных величин
Холодный	Іб (140 - 174)	19-20,9		23,1-24
Тёплый	Іб (140 - 174)	20-21,9		24,1-28
Период года	Скорость движения воздуха, м/с		Относительная влажность воздуха, %	Температура поверхностей, °С
	Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин		
Холодный	0,1	0,2	18-25	15-75
Тёплый	0,1	0,3	19-29	15-75

Для того чтобы создать комфортные условия для работы персонала необходимо установить системы кондиционирования, отопления, вентиляции, увлажнения.

10.2.3 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

Сжигание в котлах газа может сопровождаться поступлением в воздух рабочей зоны оксида углерода, никеля, ванадия, диоксида серы, оксида азота, углеводородов, аммиака, сероводорода, триоксикрезилфосфата и других химических веществ.

Вредность запыленности и загазованности рабочего места обусловлена способностью вызывать профессиональные заболевания. Наиболее тяжелые заболевания возникают при попадании пыли в легкие. Эти виды заболеваний носят общее название пневмокониозов. Химические факторы загрязнения воздуха способны воздействовать на организм через дыхательную систему, желудочно-кишечный тракт или кожные покровы, ткани и слизистые оболочки. Вредные вещества, проникшие в организм человека, могут вызывать острые или хронические отравления [18].

ПДК в воздухе помещения рабочей зоны: оксид углерода – 20,0 мг/м³, диоксид серы – 10 мг/м³, оксид азота – 5,0 мг/м³.

Снижение влияния факторов можно осуществить при мониторинге технологического оборудования на наличие утечек для их незамедлительного устранения. Широкое распространение в системах контроля загазованности и запыленности получили датчики, определяющие концентрацию вредных веществ в помещении. При этом, такие датчики оснащаются средствами сигнализации для оповещения персонала.

Для уменьшения запыленности и загазованности в помещении устанавливается вытяжная система. Приточно-вытяжная вентиляция во всех помещениях работает постоянно, кроме летнего периода времени, что связано с остановкой котельной.

10.2.4 Повышенный уровень шума

В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты и т.д. В условиях сильного шума возникает опасность снижения и потери слуха, которая во много обусловлена индивидуальными особенностями человека. Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в таблице 30.

Для снижения воздействия шумовой завесы предлагается установка шумоподавляющих установок и панелей совместно с обеспечением сотрудников СИЗ органов слуха.

В качестве индивидуальных средств защиты от шума используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения шума [14].

Таблица 30 – Предельно допустимые уровни звука на рабочем месте оператора АСУ

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса
Напряженность легкой степени	легкая физическая нагрузка 80

10.2.5 Поражение электрическим током

Поражение электрическим током может произойти при взаимодействии с неисправными устройствами, которые подключены к сети питания 220, 380 В.

Часто основным симптомом поражения является ожог кожи, однако не все серьезные поражения могут быть визуально заметными. Пострадавшего обследуют на предмет нарушений сердечного ритма, переломов, вывихов, повреждений спинного мозга и других травм. Пострадавшему проводят мониторинг нарушений сердечного ритма, обрабатывают ожоги, в случае обширных внутренних ожоговых повреждений назначают внутривенные вливания и другие виды лечения.

Для обеспечения электробезопасности необходимо соблюдение все норм и правил эксплуатации электрического оборудования, таких как:

- использование защитного заземления и зануления;
- использование средств индивидуальной защиты;
- контроль изоляции проводов, а также технического состояния приборов;
- соблюдение организационных мер обеспечения безопасности.

10.3 Экологическая безопасность

1) Защита атмосферы

В процессе эксплуатации парового котла происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара [15].

Существует несколько методов очистки дымовых газов, а также активно применяется комбинирование различных методов. Для очистки дымовых газов от золы и твердых частиц используют фильтрование. Для

очистки дымовых газов от оксидов серы используется мокрая сероочистка, сухая очистка, мокросухая очистка.

2) Защита гидросферы

Для производства пара паровой котел использует воду из близлежащих водоемов. Перед тем как сбросить воду обратно в водоем ее остужают и очищают. Для очистки сточных вод используют механическую очистку, физико-химическую очистку, химическую очистку, биохимическую.

3) Защита литосферы

Твердые частицы, содержащиеся в дымовых газах, осаждаются на поверхности земли и загрязняют почву. Еще одним источником загрязнения являются зола и шлак, образующиеся в процессе сгорания топлива, которые далее складываются в золошлакоотвалах. Золошлакоотвалы загрязняют не только поверхность почвы. Твердые частицы через почву попадают в грунтовые воды, а также попадают в атмосферу.

Для предотвращения такого опасного источника загрязнения необходима своевременная утилизация золошлаковых отходов.

10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможными ЧС на объекте являются: взрыв и пожар. Короткое замыкание и взрыв могут привести к возникновению пожара на объекте.

Для предотвращения пожаров на объекте следует:

- проводить инструктаж с сотрудниками и проверять их знания по борьбе с пожаром;

- установить порядок регулярной проверки состояния пожарной безопасности предприятия, исправности технических средств тушения пожара, систем водоснабжения, оповещения, связи и других систем противопожарной защиты. Принимать необходимые меры к устранению обнаруженных недостатков, которые могут привести к пожару [16];

– создать пожарно-техническую комиссию и добровольные пожарные формирования.

Порядок действия в результате возникновения пожара:

а) при возникновении пожара на объекте первый заметивший очаг пожара должен немедленно сообщить начальнику смены энергообъекта или руководству энергопредприятия, а при наличии связи - в пожарную охрану и приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения;

б) начальник смены энергообъекта обязан немедленно сообщить о пожаре в пожарную охрану, руководству энергопредприятия и диспетчеру энергосистемы;

в) до прибытия подразделений ГПС МВД России руководителем тушения пожара является начальник смены энергообъекта;

г) отключение оборудования в зоне пожара производится дежурным персоналом энергопредприятия по распоряжению начальника смены энергообъекта;

д) решение о подаче огнетушащих средств принимается руководителем тушения пожара после проведения инструктажа и выполнения необходимых мер безопасности;

Рассмотрим категорию помещения – Г, а именно котельную. Необходимое количество огнетушителей определяется согласно суммарной площади помещения [17].

Классы возможных пожаров:

В – горение жидкостей и плавящихся материалов;

С – горение газов.

Таблица 31 – Нормы оснащения помещения огнетушителями

Класс пожара	Тип огнетушителя			
	Пенные и водные огнетушители	Порошковые огнетушители	Хладоновые огнетушители	Углекислотные
В	2	-	-	-
С	-	4	-	-

Выводы по разделу

В разделе Социальная ответственность были рассмотрены и проанализированы вопросы, обуславливающие социальную ответственность для разработанной автоматической системы регулирования. Как итог работы по разделу «Социальная ответственность» были изучены: негативные воздействия на окружающую среду; выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве; указаны методики и средства борьбы с этими факторами; описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению, а также описаны требования по поведению персонала при ЧС.

Стоит упомянуть, что все вышеперечисленные меры безопасности имеют практическую значимость и на данный момент успешно реализуются, поэтому полностью выполняется условие соответствия фактических значений потенциально возможных факторов нормативным значениям.

Категория помещения по электробезопасности: жаркие помещения.

Оператор АСУ должен иметь III группу по электробезопасности. Допуск персонала с III группой подразделяется на работу с сетями до и выше 1000 В, а также дает право единоличного обслуживания, осмотра, подключения и отключения электроустановок от сети.

Тяжесть труда, согласно СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» относится к категории 1б.

Согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» помещение относится к Г категории.

По воздействию на окружающую среду объект исследования относится ко 2 категории.

Заключение

В рамках выпускной квалификационной работы разработан комплект проектной документации на автоматическую систему регулирования температурного режима муфельного предтопка.

В процессе выполнения работы произведен анализ объекта автоматизации, а также разработаны структурная, функциональная и монтажная схемы системы регулирования.

Также разработаны и оформлены электрическая схема соединений и чертеж общего вида щита управления, составлены заказная спецификация приборов и средств автоматизации, перечень элементов электрической схемы и составных частей щита управления.

Данная работа содержит подробные расчеты оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора и оптимальных прямых оценок качества.

Список использованных источников

1. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 344 с
2. Бойко Е.А. Котельные установки и парогенераторы (конструкционные характеристики энергетических котельных агрегатов): Справочное пособие для курсового и дипломного проектирования студентов – «Промышленная теплоэнергетика» / Сост. Е.А.Бойко, Т.И.Охорзина; КГТУ. Красноярск, 2003. 223 с.
3. Андык В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на ТЭС : учебник / В.С. Андык ; Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 408 с.
4. ПЛК-200-01-CS Программируемый контроллер. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://owen-shop.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Промышленный расходомер газов Метран-150RFA. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.emerson.com/ru-ru/catalog/metran-150rfa-ru-ru>, свободный. – Загл. с экрана
6. Ультразвуковой расходомер US-800. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.td-rashodomer.ru/tech/tdocs/US-800_rashodomer_RE.pdf, свободный. – Загл. с экрана
7. Датчики давления ИД-Ф. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pointltd.by/index.php/datchiki-davleniya/1-id-f> – Загл. с экрана.
8. Актуальные проблемы энергетики. Оптимизация автоматической системы регулирования общего воздуха. Слуцкий А.Н. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/38839/Optimizaciya_avtomaticheskoy_sistemy_regulirovaniya_obshchego_vozduha.pdf?sequence=1&isAllowed=y, свободный. – Загл. с экрана.

9. Основная схемотехническая проектная и конструкторская документация при разработке АСУ ТП / Кафедра автоматизации теплоэнергетических процессов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – 101 с.

10. Андык В.С. Библиотека программ по расчету систем автоматического регулирования на программируемых микрокалькуляторах. Методические указания и программы к выполнению курсовых работ, курсовых и дипломных проектов для студентов специальности 210200. Томск: Изд. ТПИ, 1991.- 35 с.

11. Стефани Е.П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. Изд. 2-е, перераб. М.: Энергия, 1972.- 376 с.

12. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования.-М.: ГЭИ, 1961.-344 с.

13. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

14. 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9046058?marker=7E20KB>, свободный.

15. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/1245916/mod_resource/content/1/trudkod.pd, свободный.

16. Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200035102>, свободный.

17. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный.

18. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий 2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200007590#7D20K3>, свободный.