

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 (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Система автоматического регулирования давления газообразного топлива после регулирующего клапана парового котла

УДК 621.182.232-62-52

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Григорьев Иван Васильевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Медведев В.В.	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Трубченко Т.Г.	доцент, к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
13.03.01	Антонова А.М.	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные</i>	
P1	Применять математические, естественнонаучные, инженерные, гуманитарные, социально-экономические знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>теплоэнергетических и теплотехнических установок, автоматизированных систем управления, средств автоматизации и контроля.</i>
P2	Формулировать задачи в области <i>теплоэнергетики и теплотехники, автоматизированных систем управления, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.</i>
P3	Проектировать <i>теплоэнергетические и теплотехнические системы, автоматизированных систем управления и их компоненты.</i>
P4	Планировать и проводить испытания и экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>систем теплоэнергетики и теплотехники, автоматизированных систем управления, их оборудования, интерпретировать данные и делать выводы.</i>
P5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>теплоэнергетики и теплотехники, автоматизированных систем управления</i>
P6	Применять практические знания принципов и технологий <i>теплоэнергетической и теплотехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
P7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>теплоэнергетики и теплотехники.</i>
P8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>теплоэнергетики и теплотехники.</i>
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>теплоэнергетики и теплотехники.</i>
P10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
P11	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области <i>теплоэнергетики и теплотехники</i>
P12	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области <i>теплоэнергетики и теплотехники.</i>

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 (НОЦ) НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель профиля
Озерова И.П.

(Подпись)

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Григорьеву Ивану Васильевичу

Тема работы:

Система автоматического регулирования давления газообразного топлива после регулирующего клапана парового котла	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	135-41/с от 14.05.2020 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30 мая 2020 г.
--	----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Технические характеристики трубопровода системы топливоподачи парового котла как объекта автоматизации. Структура и технические характеристики аналогов системы автоматического регулирования давления газового топлива после регулирующего клапана парового котла. Типовые схемные и конструкторские проектные решения. Примеры расчетов параметров систем автоматического регулирования.
--------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Системный анализ объекта автоматизации. Постановка задачи выбора структуры и проектирования системы автоматического регулирования давления газового топлива после регулирующего клапана парового котла. Формулирование технических требований к системе автоматического регулирования давления газового топлива. Разработка функциональной схемы системы и выбор технических средств. Разработка и оформление принципиальной электрической и монтажной схем системы автоматического регулирования. Расчет параметров системы автоматического регулирования. Разработка и оформление чертежа общего вида щитовой конструкции. Вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности, ресурсосбережения и социальной ответственности.
Перечень графического материала	Структурная схема САР Функциональная схема САР. Принципиальная электрическая схема САР. Монтажная схема САР. Чертеж общего вида щитовой конструкции САР. Заказная спецификация.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н. Трубоченко Татьяна Григорьевна
Социальная ответственность	Ассистент ООД ШБИП Немцова Ольга Александровна
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
06.02.2020 г.	

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Медведев В.В.	к.т.н., доцент		06.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Григорьев И.В.		06.02.2020 г.

Принятые сокращения

АСР – автоматическая система регулирования;

ТЭЦ – теплоэлектростанция;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ИМ – исполнительный механизм;

ТП – технический проект;

ПЭВМ – персональная электронно – вычислительная машина;

EIA – Energy Information Administration (независимое агентство в составе федеральной статистической системы США, ответственное за сбор, анализ и распространение информации об энергии и энергетике).

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страницы, 7 рисунков, 27 таблиц, 42 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: автоматическая система регулирования, давление газа, топливоподача, газообразное топливо, природный газ.

Объектом исследования является система топливоподачи парового котла Томской ТЭЦ-3.

Цель работы – разработка системы автоматического регулирования давления газообразного топлива после регулирующего клапана парового котла.

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы (ВКР) проводился анализ объекта автоматизации, проводился выбор технических средств автоматизации, разрабатывалась схемная документация системы давления газообразного топлива, а также рассчитывались оптимальных параметров настройки регулятора.

Разработанная система с учетом доработок по реальным характеристикам процесса может быть использована как часть системы автоматического управления парового котла.

Оглавление

Введение.....	9
1 Анализ объекта автоматизации	11
2 Выбор структуры АСР давления газообразного топлива.....	13
3 Разработка функциональной схемы АСР	15
4 Выбор технических средств АСР	17
4.1 Выбор датчика давления	17
4.2 Выбор регулирующего устройства	19
4.3 Выбор исполнительного механизма	21
4.4 Выбор блока управления исполнительным механизмом	22
4.5 Выбор блока ручного управления.....	23
4.6 Выбор технических средств отображения/задания информации	23
5 Проектирование электрической принципиальной схемы	24
6 Проектирование схемы внешних проводок	26
7 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР	28
8 Разработка мнемосхемы проекта	29
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	32
9.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки технического проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	32
9.2 Планирование технического проекта.....	36
9.3 Бюджет технического проекта.....	45
9.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	52
Заключение по разделу	56
10 Социальная ответственность	60
10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	60
10.2 Производственная безопасность.....	61
10.3 Экологическая безопасность.....	67

10.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	69
	Заключение по разделу	71
	Заключение	72
	Список использованных источников	73
	Приложение А. Расчёт оптимальных параметров настройки регулятора	78

Графический материал: на отдельных листах

ФЮРА.421000.002 С1	Схема структурная
ФЮРА.421000.002 С2	Схема функциональная комбинированная
ФЮРА.421000.002 СО1	Спецификация оборудования к схеме функциональной
ФЮРА.421000.002 Э3	Схема электрическая принципиальная
ФЮРА.421000.002 ПЭ3	Перечень элементов к электрической схеме
ФЮРА.421000.002 Э5	Схема подключений внешних проводок
ФЮРА.421000.002 ВО	Общий вид щита автоматизации

Введение

Природный газ – большое скопление газов, образующееся в недрах земли при разложении органических веществ. По большей части состоит из метана с небольшим количеством азота и углекислого газа. С экологической точки зрения природный газ является самым экологически чистым видом топлива, по сравнению с другими видами ископаемого топлива. Использование газа в качестве топлива на ТЭС имеет и другие преимущества. Во-первых, упрощается эксплуатация станции, вследствие отсутствия шлака. Во-вторых, природный газ позволяет ТЭС работать по циклу ПГУ, что существенно повышает их эффективность.

На данный момент природный газ – основное топливо российской энергетики. По итогам 2016 тепловые электростанции израсходовали 163,5 млрд м³ природного газа. Доля угля при этом была значительно меньше – 109,4 млрд тонн [1]. На данный момент разница в потреблении еще более существенна. В связи с этим тема работы выглядит еще более актуальной.

Система автоматического регулирования (АСР) — совокупность программных и аппаратных средств, а также персонала, предназначенная для стабилизации некоторой регулируемой величины в рамках технологического процесса. АСР применяются в различных отраслях промышленности, энергетике, транспорте и т. п. Принцип действия системы автоматического регулирования заключается в том, чтобы обнаруживать отклонения параметров, характеризующих процесс работы объекта, от требуемого режима и воздействовать на объект или процесс для их устранения.

Нестабильность давления – основная проблема в газопроводах, и, в частности, в сетях газоснабжения ТЭЦ, где это наиболее критично. Непостоянство давления газа на входе в котел может приводить к нестабильной работе горелки. Чтобы избежать подобных проблем в процессе работы необходимо поддерживать давление газа на входе в топку парового котла на постоянном значении с помощью системы автоматического регулирования давления топлива.

1 Анализ объекта автоматизации

В качестве объекта автоматизации рассмотрим топливную систему парового котла БКЗ-500-140 Томской ТЭЦ-3. Проектным топливом для ТЭЦ-3 является Березовский бурый уголь Канско-Ачинского месторождения. Однако в ходе строительства ТЭЦ-3 было получено разрешение на использование природного газа в качестве топлива для первого энергоблока. В связи с этим строительство сооружений топливоподачи было прекращено и в настоящее время ТЭЦ-3 может работать только на природном газе [3].

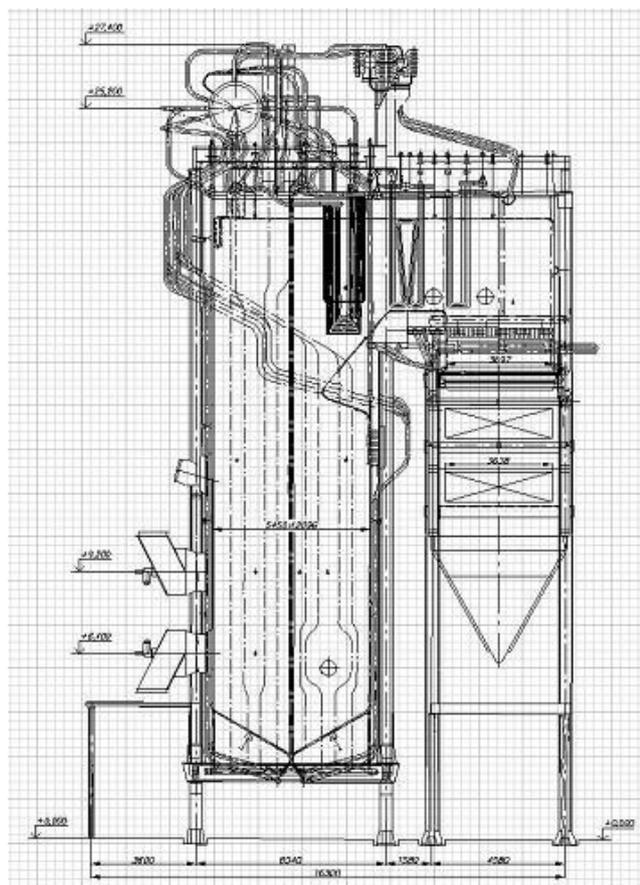


Рисунок 1 – Чертеж котла серии БКЗ

Котел имеет паропроизводительность 500 т/ч, давление пара 140 кгс/см², температуру – 550 °С. Котел изготовлен Барнаульским котельным заводом и введен в эксплуатацию в 1996 году. Основным топливом является природный газ, резервным – мазут.

Котлы серии БКЗ – вертикально-водотрубные, с естественной циркуляцией, однобарабанные, однокорпусный, П-образной компоновки с уравновешенной тягой [4].

Ввиду сжигания газообразного топлива топка оборудована газомазутными горелками. На боковых и на фронтальной стенке топочной камере предусмотрены от 2-х до 8-ми горелочных устройств. Прямоточные главные горелочные устройства располагаются под углом к горизонтали. Сбросные горелки находятся над главными и формируют в середине топочной камеры закрученный поток топливовоздушной смеси с противоположным направлением вращения. Для розжига котлоагрегат оборудуется 2-мя муфельными горелочными устройствами, расположенных с боков топки.

Перед сжиганием природного газа на ТЭЦ происходит его очистка от твердых механических примесей, а после через систему регулирования давления газ распределяется по горелочным устройствам. Исходя из технических требований, давление природного газа, перед подачей в топку котлов ТЭЦ необходимо поддерживать в диапазоне 0,2...0,3 МПа.

2 Выбор структуры АСР давления газообразного топлива

В работе был рассмотрен вариант построения автоматической системы регулирования давления газообразного топлива на входе парового котла, заключающейся в воздействии с помощью исполнительного механизма на регулирующий орган на топливной магистрали, использующий импульсы по давлению газа и давлению свежего пара, стабилизируя давление в газопроводе.

Структура системы была выбрана на основании анализа литературы [5], где представлены типовые решения автоматизации систем топливоподачи паровых котлов.

Контроллер в данной системе будет выполнять функции:

- измерение давления газообразного топлива после регулирующего клапана;
- измерение положения задвижки;
- измерение давления свежего пара;
- регулирование давления газообразного топлива;

На нижнем уровне АСР находятся:

- датчики измерения давления пара и газа;
- исполнительный механизм, воздействующий на регулирующий орган.

В системе предусмотрена, в случае необходимости, возможность участия оператора, который будет решать следующие задачи:

- контроль параметров процесса регулирования;
- ручное управление системой.

Структурная схема данной системы автоматического регулирования представлена на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.002 С1.

Природный газ поступает в топку парового котла, в процессе его сжигания на выходе образуется свежий пар. Датчик давления ДД измеряет давление на топливной магистрали и передают унифицированный выходной сигнал в микропроцессорный контроллер МПК. Контроллер выдает

управляющее воздействие и через пускатель ПУ подает его на исполнительный механизм ИМ, который управляет положением регулирующего органа РО. Ручное управление исполнительным механизмом возможно через блок ручного управления БРУ. Сигнал по положению вала ИМ подается на МПК через ПУ. Задание параметров и вывод информации осуществляется через панель оператора АРМ.

3 Разработка функциональной схемы АСР

Функциональная схема – схема, определяющая функционально-блочную структуру узлов управления или контроля, или технологического процесса. Кроме того, схема определяет оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации. Схема представляет собой чертеж, на котором условными обозначениями изображаются технологическое оборудование, органы управления и коммуникации, а также средства автоматизации с указанием связей между ними.

Изображенная таким образом схема должна ясно показывать принцип работы системы и способы взаимодействия средств автоматизации между собой.

Функциональные части изображаются в виде условных графических обозначений, установленных в соответствующих стандартах по правилам выполнения функциональных схем [6].

На схеме показывается только та регулирующая и запорная арматура, которая показывает относительное расположения отборных устройств и первичных измерительных преобразователей или непосредственно участвует в процессе работы системы автоматизации.

При разработке функциональных схем систем автоматизации необходимо учитывать связь основных средств автоматизации между собой, методику регулирования основных технологических параметров, а также способы контроля за состоянием технологического оборудования системы.

В данном пункте была разработана функциональная схема АСР давления газообразного топлива. Схема представлена на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.002 С2.

В рамках разработки схемы были определены измерительные каналы и каналы управления. Датчик давления 1а формирует унифицированный токовый сигнал 4...20 мА о давлении газа и свежего пара. Также существует измерительный канал (4) о положении вала исполнительного механизма 2в, поступающий в контроллер (МПК) через пускатель 2а и сигнал задания,

поступающий в контроллер с панели оператора АРМ. Исходя из измеренных значений, контроллер формирует импульсный управляющий сигнал, который подается на пускатель, управляющий электрическим приводом исполнительного механизма. При необходимости, ручное управление ИМ реализуется через блок ручного управления 2б с передней панели щита автоматизации.

Заказная спецификация технических средств автоматизации выполняется по форме, приведенной в ГОСТ 21.110 – 82 на основании выбора технических средств системы и функциональной схемы автоматизации [6].

4 Выбор технических средств АСР

Технические средства автоматизации включают в себя приборы, с помощью которых осуществляется регулирование, контроль и управление автоматической системой.

При выборе необходимо учитывать специфику системы и совместимость технических средств между собой. Предпочтение в свою очередь отдается серийно выпускаемым техническим средствам автоматизации российского производства для удешевления и унификации АСР при проектировании.

4.1 Выбор датчика давления

Выбор первичных измерительных преобразователей должен быть обусловлен предельными значениями измеряемых параметров, характеристиками среды, а также характеристиками выходных сигналов, которые преобразователи будут выдавать в систему автоматизации.

В данном случае будем рассматривать датчики с унифицированным выходным сигналом, которые могут применяться для газовых сред и в необходимом диапазоне температур. Рассмотрим датчики давления фирмы «ИТеК ББМВ» и «ЭЛЕМЕР».

4.1.1 Датчики давления ЭНИ-100, фирма «ИТеК ББМВ»

Преобразователи давления Эни-100 предназначены для преобразования измеряемого давления пара, жидкости (в том числе нефтепродуктов) или газа (газовой смеси) в унифицированный токовый выходной сигнал 4...20 мА и (или) цифровой сигнал на базе HART-протокола. Различные модификации датчиков позволяют использовать их для измерения избыточного, абсолютного давления, давления разрежения или разности давлений в различных диапазонах [7].

Таблица 1 – Технические данные датчика давления ЭНИ-100

Диапазон измерения	избыточное (ДИ) от (0...0,16) кПа до (0...60) МПа;
Выходные сигналы	4...20 мА+HART
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	0,2 %
Диапазон температур окружающей среды	В3 (УХЛ4, +5...+50 °С), С3 (УХЛ3.1, -10...+70 °С), С2 (У2, -40...+80 °С), Д2 (УХЛ1, -60...+80 °С)
Цена	15000 руб.

4.1.2 Датчик давления ЭЛЕМЕР АИР-10Н:

Датчики АИР-10Н – микропроцессорные 8-ми диапазонные малогабаритные датчики давления, обеспечивающие возможность их использования в современных системах управления технологическими процессами.

Датчики предназначены для преобразования всех видов давления (в зависимости от модификации) в унифицированный выходной токовый сигнал 4...20 мА и/или цифровой сигнал в стандарте HART-протокола.

Таблица 2 – Технические данные датчика давления АИР-10Н

Диапазон измерений	избыточное давление (ДИ) — 0,4 кПа...60 МПа;
Выходные сигналы	4...20 мА+HART
Предел допускаемой основной приведенной погрешности	0,1 %
Климатические исполнения	В4 (+5...+50 °С), С2 (-40...+70 °С), С3 (-10...+50 °С, -25...+70 °С)
Степень пылевлагозащиты	IP65
Цена	20000 руб.

Выбираем датчики давления ЭНИ-100 фирмы ИТеК ББМВ как более дешевые и подходящие по параметрам для реализации данной системы: ЭНИ-100-ДИ-2135 с максимальным верхним пределом измерений 100 кПа.

4.2 Выбор регулирующего устройства

В качестве регулирующего устройства используется контроллер. В данном случае рассмотрим несколько вариантов контроллеров российского производства фирмы «ЭлеСи» и «ОВЕН». Для реализации задачи необходимо 2 аналоговых входа для датчика давления и положения вала ИМ, а также достаточное количество дискретных входов для соединения с блоком управления ИМ. При выборе также необходимо учитывать цену контроллера.

4.2.1 ПЛК Элсима-М01, производство «ЭлеСи».

Программируемый логический контроллер Элсима используется для построения систем автоматизации и локальной автоматики с небольшим количеством сигналов. Контроллер выполнен в виде моноблока с возможностью подключения отдельных модулей расширения при необходимости [9]. Основные технические характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические данные ПЛК Элсима-М01

Параметры	Характеристики
Тип процессора	Cortex ARM8
Тактовая частота	300 МГц
Объем оперативной памяти RAM	128 Мб
Коммуникации	Ethernet (Modbus TCP/IP, NTP) RS-485 (Modbus RTU) USB
Количество дискретных входов	20 шт.
Количество дискретных выходов тип "Открытый коллектор"	4 шт.
Количество дискретных выходов, тип "Реле"	2 группы по 2 шт.
Количество универсальных аналоговых входов	4 шт.
Количество аналоговых выходов	2 шт.
Напряжение питания	20...28 В постоянного тока
Потребляемая мощность	не более 7 Вт

Продолжение таблицы 3

Материал корпуса	Металлический
Размеры, ШxВxГ, мм	160x116x59
Средний срок службы	не менее 12 лет
Диапазон рабочих температур	0..+60 °С
Относительная влажность	50...95 %
Атмосферное давление	84,0...106,7 кПа
Цена	30000 руб.

4.2.2 ПЛК154, производство фирмы «ОВЕН».

ОВЕН ПЛК154 – моноблочные контроллеры с аналоговыми дискретными и входами/выходами. Применяются для малых систем автоматизации [10].

Преимущества:

- компактный корпус;
- большое количество интерфейсов;
- встроенные часы реального времени;
- встроенный аккумулятор.

Основные технические характеристики представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Технические характеристики контроллера ОВЕН ПЛК154

Параметры	Характеристики
Тип процессора	32-разрядный RISC-процессор на базе ядра ARM9
Тактовая частота	200 МГц
Объем оперативной памяти RAM	8 Мб
Коммуникации	Ethernet 100 Base-T RS-232 RS-485
Количество дискретных входов	4 шт.
Количество дискретных выходов, тип "Реле"	4 шт.
Количество универсальных аналоговых входов	4 шт.

Продолжение таблицы 4

Количество аналоговых выходов	4 шт.
Напряжение питания	~90...264 В, 47...63 Гц
Потребляемая мощность	15 ВА
Размеры, ШxВxГ, мм	105x90x65
Средний срок службы	8 лет
Диапазон рабочих температур	до -20 °С
Цена	27000 руб.

Выбираем контроллер Элсима–М01. Он имеет большую стоимость, но обладает необходимыми для реализации АСР характеристиками. Выбранный ПЛК имеет 4 аналоговых и 20 дискретных входов, что более чем достаточно для данной системы.

4.3 Выбор исполнительного механизма

Исполнительный механизм (ИМ) – устройство в системе автоматического регулирования или управления, для непосредственного механического перемещения регулирующего органа объекта управления. По типу привода бывают электрические, гидравлические, пневматические, а также комбинированные исполнительные механизмы [11]. Для данной системы в качестве типового решения будет использоваться однооборотный фланцевый исполнительный механизм с электрическим приводом (МЭОФ).

Дальнейший выбор необходимого типа ИМ определяется типом используемой запорной арматуры на объекте регулирования.

При выборе исполнительных механизмов типа МЭОФ необходимо учитывать номинальный крутящий момент на выходном валу M_n , номинальное время полного хода выходного вала T_n , номинальное значение полного хода выходного вала φ_n [11]. Основываясь на [11] и подобных системах регулирования, выберем ИМ с $M_n = 250 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Исходя из возможных вариантов, выбираем механизм типа МЭОФ-250/10-0,25ЦС1-2-08К. Данный исполнительный механизм снабжен

цифровым блоком датчиков БД-2-ОС-24, питаемый от постоянного напряжения 24 В, который способен регистрировать положение вала, температуру двигателя, момент и т.п. Питание двигателя ИМ осуществляется от сети 380 В. Номинальное время полного хода вала – 10 с. Номинальное значение полного хода – 0,25 об. Примерная цена – 25000 руб. [12].

4.4 Выбор блока управления исполнительным механизмом

В качестве блока управления исполнительным механизмом будем использовать пускатель серии ПБР-ЗИМ-БД, работающий с ИМ выбранного в п. 4.3 типа. Пускатели бесконтактные реверсивные интеллектуальные используются для бесконтактного управления электроприводом исполнительного механизма в составе автоматических систем регулирования или управления.

Пускатель выполняет следующие функции:

- бесконтактное реверсивное управление электродвигателем ИМ, осуществляемое по дискретным командам «ОТКРЫТЬ» и «ЗАКРЫТЬ», подаваемым на пускатель с управляющего устройства;
- передача информации о состоянии рабочего органа арматуры управляющему устройству дискретными и аналоговыми сигналами;
- остановка электродвигателя по достижении крайних положений рабочим органом арматуры по сигналам концевых или путевых выключателей;
- блокировка управления электроприводом;
- торможение электродвигателя методом обратного включения;
- защитное отключение двигателя в случае возможных неисправностей электродвигателя, передача соответствующих дискретных сигналов управляющему устройству, а также индикация неисправности светодиодным индикатором [13].

Выбираем ПБР-ЗИМ-БД-9-СДУ, рассчитанный на максимальный ток цепи 9 А и обладающий дополнительным интерфейсом RS-485 для подключения блока ручного управления. Цена – 38000 руб. [14].

4.5 Выбор блока ручного управления

Блок ручного управления БРУ-И осуществляет дистанционное управление регулирующей и запорной арматурой и работает в комплекте с пускателями интеллектуальными реверсивными ПБР-И, ПБР-ИМ.

БРУ-И переключает цепи управления от контроллера (автоматический режим управления) на ручное управление от кнопок «Больше» и «Меньше» на лицевой панели. На лицевой панели установлены четырехразрядный цифровой индикатор, переключатель режимов управления «Автомат» - «Ручное», светодиодные индикаторы режимов работы [15].

Выберем блок БРУ-42И-03, работающий с ПБР-ЗИМ-БД по каналу RS-485 Modbus. Питание осуществляется от цепи постоянного тока 220 В.

4.6 Выбор технических средств отображения/задания информации

Вследствие использования контроллера фирмы «ЭлеСи» для вывода информации о состоянии системы будем использовать панель оператора Элсима-НМІ01.

Панель оператора Элсима-НМІ01 предназначена для наглядного отображения значений параметров и оперативного управления контроллером Элсима-М01, контроллерами серии Элси-ТМК либо контроллеров сторонних производителей с поддержкой системы исполнения CodeSys.

Панель подключается к контроллеру Элсима-М01 по каналу Ethernet LAN. Питание осуществляется от сети постоянного тока 24 В [16].

На основании выбранных технических средств составлена спецификация, приведенная на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.002 СО1.

5 Проектирование электрической принципиальной схемы

Электрическая схема показывает состав приборов и средств автоматизации, входящих в состав щита управления (автоматизации). Эти схемы используются для изучения принципа действия системы, а также в процессе пусконаладочных работ и эксплуатации. Основное назначение электрических схем – отражение взаимосвязи отдельных приборов, средств автоматизации и вспомогательной аппаратуры с электрической точки зрения.

Электрические схемы выполняются в соответствии с правилами выполнения схем, использования условных графических обозначений и маркировки цепей, а также правилами буквенно-цифрового обозначения элементов схем, установленных требованиями государственных стандартов.

На схеме должны быть однозначно определены все элементы и устройства, входящие в состав изделия и изображенные на схеме.

Линии связи между элементами схемы в некоторых случаях, чтобы не усложнять, могут быть оборваны. Обрывы линий при этом сопровождаются маркировкой.

Данные об элементах схемы записываются в перечень элементов, связь которого с условными графическими обозначениями элементов осуществляется через позиционные обозначения [6].

По итогам данного раздела была разработана электрическая схема соединений щита автоматизации рассматриваемой АСР, которая приведена на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.002 ЭЗ.

Для маркировки цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры. В данной схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1...100, для цепей питания щита 101...200.

Электропитание щита автоматизации осуществляется от распределительного щита питания переменным напряжением 220 В, 50 Гц.

Питание контроллера осуществляется от сети постоянного тока 24 В с блока питания G1.

Унифицированные токовые сигналы 4...20 мА с датчиков давления поступают на клеммник ХТ2 (исходя из монтажной схемы), с которого через преобразователь сигналов АА2 с использованием гальванической развязки поступают на аналоговые входы контроллера АА1. Подключение датчика осуществляется с помощью сопротивления 250 Ом в соответствии с требованиями производителя [7].

Контроллер АА1 обрабатывает информацию, полученную с датчика, и на основе программно заданных алгоритмов формирует управляющий сигнал, который передается на пусковое устройство через клеммную колодку ХТ4.

Сигнал обратной связи о положении регулирующего органа контроллер АА1 получает с пускового устройства с помощью унифицированного токового сигнала 4...20 мА, поступающего на аналоговый вход контроллера [14].

Блок ручного управления исполнительным механизмом соединен с пусковым устройством по каналу RS-485 через клеммную колодку ХТ3. Для согласования линии используют терминальный (концевой) резистор, сопротивление которого выбирается равным 120 Ом, мощность – 0,25 Вт [17]. Резистор ставят на конце или вначале линии.

Вывод информации о состоянии параметров системы происходит через панель оператора АА4, подключенной к контроллеру по протоколу Ethernet через разъем RJ-45 [14].

6 Проектирование схемы внешних проводок

Монтажная схема или схема соединений внешних проводок представляет собой схему, на которой схематически линиями показаны электрические и трубные проводки между приборами и средствами автоматизации, установленными вне щита, а также их подключения к клеммам щита управления (автоматизации).

Схемы в общем случае должны содержать: первичные приборы и необходимые для них соединения (при наличии); защитное зануление систем автоматизации; технические требования (указания).

Выбор проводов и кабелей производят в соответствии с указаниями руководящего материала РМ4-6-84, согласно [6].

Монтажная схема представлена на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.002 Э5.

В нижней части чертежа в виде условного прямоугольника изображен щит автоматизации, внутри которого показаны сборки зажимов, к которым показано подключение внешних приборов и средств автоматизации. Кроме того, на схеме условно изображены исполнительный механизм и пусковое устройство, собственно расположенные вне щита автоматизации, внутри которых указаны зажимы, и показаны соединения между ними.

В левой части в виде окружностей показан датчик давления, обозначения которого соответствуют функциональной схеме АСР, подключенный к клеммам щита автоматизации.

Также на монтажной схеме показан ввод питания щита автоматизации и исполнительного механизма 220 и 380 В соответственно.

Связь блока датчиков ИМ с ПУ осуществляется посредством интерфейса RS-485.

Для монтажной схемы внешних электрических и трубных проводок выберем соответствующие изолированные провода и кабели.

Выбор марок проводов и кабелей для электропроводки САР уровня проводим в соответствии с рекомендациями [6]. При выборе кабелей для

соединения ИМ и ПБР также ориентируемся на руководства по эксплуатации приборов [12, 14]. Характеристики кабелей и выбранных проводов представлены в таблице 5 [18].

Таблица 5 – Характеристики проводов и кабелей АСР

№ проводки	Марка	Кол-во жил	Номинальное сечение, мм ²	Примечания
1	КВВБГнг-LS	4	2,5	
7				
9				
2	КВВГнг-LS	3	0,75	
4		12	0,75	
6		3	1	
8		3	2,5	
3	КИПЭВнг-LS	2x2	0,6	RS-485
10	КИПЭВнг-LS	2x2	0,6	
5	КВВГЭнг-LS	3	1	

7 Разработка чертежа общего вида щитовой конструкции АСР

Щиты автоматизации используются для размещения в них средств автоматического управления (регулирования) технологическими процессами, средств сигнализации, защиты и блокировки, а также других устройств, показанных на электрической схеме соединений щита. Чертеж общего вида щита автоматизации должен наглядно показывать расположение всех используемых элементов внутри, а также схематично отражать линии связи и питания оборудования.

На чертежах общих видов необходимо показывать виды спереди, сбоку, на внутренние плоскости, фрагменты вида (при необходимости), перечень элементов (спецификацию).

На чертежах общих видов все элементы изображаются упрощенно (схематично) в виде внешних очертаний.

Номера позиций присваиваются каждому элементу щита в порядке записи их в перечень составных частей и наносятся на полках линий-выносок.

Перечень составных частей щита выполняется на этом же листе, либо на отдельном листе формата А4. Нумерация позиций составных частей должна быть сквозной в пределах всего перечня [6].

Учитывая конструктивные особенности оборудования, выбираем щит шкафной малогабаритный шириной 500 мм (Щит монтажный ЩМП-3-0 650x500x220 У2, IP54). Относящие к данной серии щиты используются для размещения управляющей аппаратуры, а также автоматики и сигнализации. По своей конструкции данные щиты являются металлическим цельносварным корпусом, выполненным в навесном стиле [19].

Общий вид щита автоматизации и перечень элементов к нему представлен на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.002 ВО. На чертеже показан внешний вид элементов электрической схемы и их размещение в щите автоматизации в масштабе 1:10. Также показано приблизительное размещение электрической проводки питания (24 В и 220 В) и линий связи (импульсные, цифровые и аналоговых сигналов).

8 Разработка мнемосхемы проекта

На мнемосхеме наглядно графически показывается функциональная схема управляемого (регулируемого) объекта или системы. На ней изображаются основные элементы системы, а также элементы сигнализации и управления. Мнемосхема изображается для верхнего уровня системы автоматического регулирования (SCADA-системы) и размещается на панелях оператора щитов управления или персональном компьютере.

В процессе управления (регулирования) мнемосхема является основным источником информации о состоянии параметров системы, назначении приборов и органов управления, характере, протекающей в ней процессов, как в случае нормальной работы системы, так и, что более важно, в случае нарушения технологического режима или аварии.

В данной работе мнемосхема разрабатывалась в упрощенной форме и не в полной мере отражает принципы работы АСР, но в соответствии со следующими требованиями:

- наглядность и понятность отображения основных объектов системы;
- мнемосхема должна включать только те элементы, которые непосредственно используются для управления АСР;
- элементы сигнализации и регистрации технологических параметров должны не должны дезориентировать и своевременно и наглядно отображаться оператору.

Исходя из заданных принципов, была разработана мнемосхема, представленная на рисунке 2.

На данной мнемосхеме изображен паровой котел с трубопроводами пара и газа. Желтым цветом показано давление P1 газообразного топлива, которое можно задавать. В левой нижней части показан регулятор и его положение в %. Также существует возможность переключения режимов управления. При ручном режиме управление регулятором осуществляется вручную с помощью блока ручного управления. На дополнительных экранах

мнемосхемы можно увидеть графики изменения давления и положения регулирующего органа.

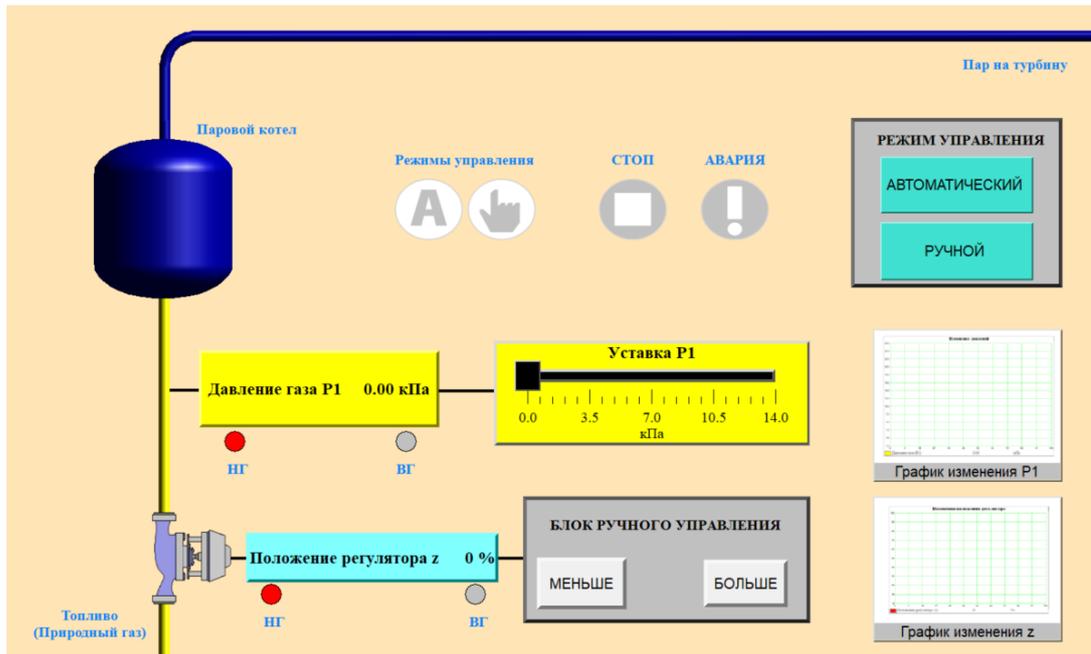


Рисунок 2 – Главное окно мнемосхемы

Элементы сигнализации мнемосхемы представляют собой индикаторы, сигнализирующие красным цветом о достижении критических параметров давления и положения регулятора, а также индикация режима работы и аварии системы.

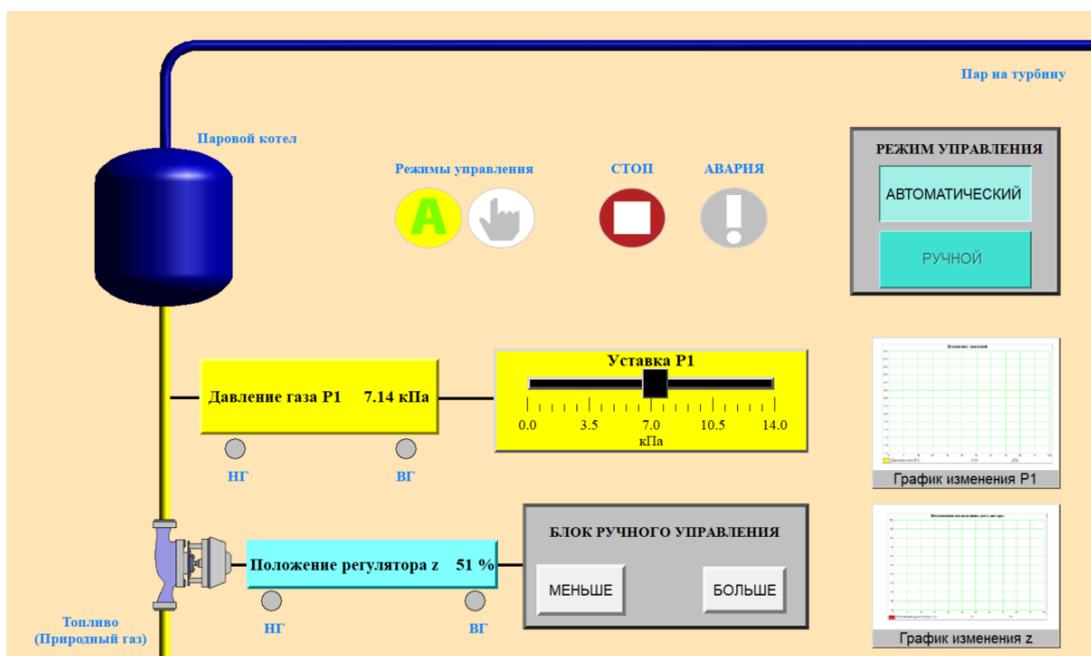


Рисунок 3 – Функционирование мнемосхемы в автоматическом режиме

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Григорьев Иван Васильевич

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 технического проекта (ТП): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклад руководителя – 33664 руб.; Оклад инженера – 15860 руб.; Материальные затраты – 1500 руб.; Затраты на оборудование – 30000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизации: 33,3 % Накладные расходы – 16 %; Районный коэффициент – 30 %.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды (страховые взносы) – 30%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности ТП с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета технического проекта	Планирование работ; Разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на проектирование
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта	Описание потенциального экономического эффекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Календарный план-график проектирования проекта
4. Бюджет затрат ТП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 16.04.2020 г.

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Григорьев Иван Васильевич		

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение конкурентоспособности, перспективности и успешности выбранного проектного решения.

9.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности разработки технического проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

9.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений позволяет производить сравнения между конкурирующими разработками и определить тенденции для ее дальнейшего роста.

В результате анализа существующих решений регулирования давления было выбрано несколько конкурирующих систем:

1. Использование регуляторов давления;

Данное проектное решение предусматривает установку на трубопровод регулятора давления, который представляет собой автономное устройство, способное самостоятельно поддерживать заданное давление в трубопроводе. Регуляторы не требуют источников питания, а исполнительный механизм внутри перемещается за счет изменения давления контролируемой среды. Это достаточно простое решение проблемы регулирования давления, которое не может быть автоматизировано стороны. В качестве примера, можно использовать регуляторы давления фирмы «Emerson» [20].

2. Использование дистанционных регуляторов давления;

Системы с так называемыми дистанционными регуляторами давления представляют собой гораздо более сложные решения по автоматизации. Они включают в себя отдельный блок управления, исполнительный механизм и датчики давления, сигналы с которых позволяют поддерживать давление в газопроводе в заданном диапазоне с необходимой точностью, независимо от

колебания давления на входе. Примером могут служить линейно – осевые регуляторы давления газа «ЛОРД-Э», являющиеся аналогом регулирующего клапана [21].

3. Использование регулирующей арматуры и контроллера.

Данное проектное решение включает в себя одноконтурную или двухконтурную АСР, состоящую из датчиков давления, регулирующего органа (регулирующего клапана), исполнительного механизма (МЭО) и регулирующего устройства (контроллера). Контроллер, обрабатывая сигналы с датчиков давления, осуществляет перемещение исполнительного механизма, тем самым поддерживает давление в заданных значениях. Данный вариант разработки представляет собой совокупность типовых проектных решений для подобных систем автоматического регулирования топливоподачи паровых котлов [5].

Выбранные проектные решения приведены в таблице 6 под номерами 1, 2 и 3 соответственно. Позиция выбранных вариантов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1 (100%).

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		1	2	3	1	2	3
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
2. Надежность	0,2	4	3	4	0,8	0,6	0,4
3. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,25	3	4	5	0,75	1	1,25
4. Простота эксплуатации	0,05	4	3	4	0,2	0,15	0,2

Продолжение таблицы 6

5. Качество интеллектуального интерфейса	0,15	2	4	5	0,3	0,6	0,75
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,15	4	2	3	0,6	0,3	0,45
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
Итого	1	24	24	30	3,35	3,45	3,95

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле [22]:

$$K_i = \sum B_i \cdot B_i, \quad (9.1)$$

где K_i – конкурентоспособность первого, второго или третьего решения;

B_i – вес i -го критерия (в долях единицы);

B_i – баллы i -го показателя.

Пример оценки конкурентоспособности приведем 1 конкурента:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,35.$$

По результатам анализа можно увидеть, что выбранное проектное решение является конкурентоспособным. Раздельная система регулирования обладает достаточно проста, надежна и удобна в эксплуатации. Также обладает высокими функциональными и интеллектуальными возможностями, что позволяет осуществлять более эффективное, по сравнению с конкурентами, регулирование процесса.

Два других рассматриваемых решения имеют более низкую функциональность и качество интеллектуального интерфейса. Что может негативно сказаться на качестве выполняемых функций.

В дальнейшем планируется рассматривать только выбранную систему регулирования.

9.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный

анализ проекта. SWOT-анализ позволяет оценить ситуацию и будущие перспективы проекта. Его основными задачами являются определение сильных и слабых сторон проекта, возможностей и угроз со стороны внешней окружающей среды. На основании данного анализа делаются выводы: правильно развивается проект, какие риски нужно предусмотреть, что следует делать, каковы перспективы проекта [22]. Матрица SWOT-анализа данного проектного решения представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Доступная стоимость 2. Высокая функциональность и надежность оборудования 3. Простота и удобство эксплуатации 4. Использование современных технологических решений 4. Безопасность 	<p>Слабые стороны проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая адаптивность системы 2. Отсутствие гибкости в применении 3. Сложность монтажа
<p>Возможности проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повсеместное использование природного газа в качестве топлива 2. Рост цен на газовые ресурсы 3. Повышение стоимости конкурентных разработок 4. Высокий интерес инвесторов к новым разработкам 	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и возможности»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Доступная стоимость в совокупности с большими перспективами использования в будущем позволят повысить конкурентоспособность проекта; 2. Рост цен на топливо в перспективе способен повысить спрос на энергоэффективные системы регулирования расхода и давления. 3. Проект может быть привлекателен для инвесторов из-за высоких показателей надежности, доступной стоимости и относительной безопасности. 	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и возможности»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможно устранение слабых сторон проекта вследствие повсеместного распространения за счет усовершенствования различных сторон системы. 2. Анализ слабых сторон конкурентных разработок и устранение их в собственном проекте.

Продолжение таблицы 7

<p>Угрозы проекта</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Тенденции к переходу на альтернативные источники энергии 2. Повышение цен на компоненты системы 3. Усовершенствование конкурентных технических решений и снижение цен на них 	<p>Результаты анализа полей «Сильные стороны и угрозы»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможное удорожания проекта вследствие повышения цен на ее компоненты и спада экономики; 2. Постоянная разработка новых технологических решений, в том числе и вложением в НИР, для устранения разрыва с конкурентными проектами. 	<p>Результаты анализа полей «Слабые стороны и угрозы»</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Опасность снижения спроса на подобные проектные решения вследствие перехода на альтернативную энергетику и низкой адаптации системы к реалиям окружающего среды. 2. Для минимизации угроз необходимо проработать решения по унификации и адаптации системы автоматического регулирования к тенденциям развивающегося мира.
---	---	--

По результатам SWOT – анализа были выявлены такие достоинства разрабатываемой системы, как относительно невысокая стоимость, высокая функциональность и надёжность оборудования. Проект включает в себя современные технологические решения, которые долгое время будут актуальны.

Однако у проекта существует ряд недостатков, связанных в первую очередь с привязкой к системам газификации паровых котлов, а также не учетом некоторых параметров окружающей среды, так или иначе влияющих на процесс регулирования давления. Устранение этих недостатков проекта возможно с учетом проведения дополнительных исследований, анализа степени влияния данных параметров на регулируемые параметры и последующей доработкой системы. Также необходимо проработать методы унификации применения данной разработки на различные паровые котлы и системы газоснабжения для повышения конкурентоспособности решения.

9.2 Планирование технического проекта

Структура работ в рамках разработки ТП

Проектирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках проектирования системы автоматического регулирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения технического проекта.

Для выполнения ТП формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проектирования системы автоматического регулирования, провести распределение исполнителей, в состав которых входят руководитель и инженер, по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ от разработки технического задания и до оформления итогового отчета, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8 [22].

Таблица 8 – Перечень этапов работ при проектировании

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления проекта	Руководитель, инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель
Теоретические исследования	5	Разработка вариантов проектирования	Инженер
	6	Анализ существующих решений и разработок	Инженер
	7	Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	Инженер
	8	Проведение теоретических расчетов и обоснований во выбранному варианту	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель

Продолжение таблицы 8

Проведение ОКР			
Разработка технической документации	10	Разработка схемной и конструкторской документации проекта	Инженер
	11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
	12	Вопросы ресурсо- и энергоэффективности проекта	Инженер
	13	Оценка надежности полученных результатов	Руководитель
Оформление отчёта по НИР	14	Составление пояснительной записки по проекту	Инженер

Как видно из таблицы 8 проектирование электроснабжения предприятия подразделяется на 14 этапов. Большую часть работ выполняет инженер.

Определение трудоёмкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проекта.

Трудоемкость выполнения разработки системы автоматического регулирования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула [22]:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (9.2)$$

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

$t_{\min\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Скорость работы исполнителя на каждом этапе напрямую зависит от его опыта в проектировании и анализе систем автоматизации. В случае, если исполнитель сталкивается с подобной задачей впервые, то работа займет больше времени, и наоборот, опытный исполнитель выполнит работу в кратчайшие сроки. Рассчитаем ожидаемое значение трудоёмкости для каждого этапа:

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож2} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 7}{5} = 5,2 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож3} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож4} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож5} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож6} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 7}{5} = 5,2 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож7} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 5}{5} = 2,6 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож8} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 21}{5} = 12,6 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож9} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 7}{5} = 4 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож10} = \frac{3 \cdot 14 + 2 \cdot 21}{5} = 16,8 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож11} = t_{ож12} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 7}{5} = 4,6 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож13} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 5}{5} = 3,2 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

$$t_{ож14} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 14}{5} = 9,8 \text{ чел.} - \text{дн.};$$

Исходя из ожидаемой трудоёмкости продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, определяется по следующей формуле [4]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожіi}}{Ч_i}, \quad (9.3)$$

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

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

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

Работа по выбору направления проекта осуществляется совместно руководителем и инженером, следовательно, ее продолжительность, исходя из (9.3), будет равна:

$$T_{p3} = \frac{3,2}{2} \approx 2 \text{ дн.}$$

Остальные виды работ выполняются последовательно и по отдельности каждым участником процесса разработки, поэтому соответственно продолжительность каждой работы T_{pi} численно будет равна $t_{ожіi}$, полученный ответ округляем до ближайшего целого значения.

Построение графика проведения технического проекта

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения работ по проектированию в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. На диаграмме помимо задач, располагается последовательность, с которой необходимо выполнять работу.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой [22]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (9.4)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [22]:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (9.5)$$

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

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

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

Определим коэффициент календарности на 2020 год [23], по (9.5):

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{366}{366 - 118} = 1,476,$$

Тогда длительность первой работы в календарных днях, согласно (9.4):

$$T_{ki} = 2 \cdot 1,476 = 2,952 \approx 3 \text{ дн.}$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе округлим до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу 9.

Таблица 9 – Временные показатели проведения ТП

Название работы	Трудоёмкость работ (чел-дни)			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Подбор и изучение материалов по теме	4	7	5,2	Инженер	5	7
Выбор направления проекта	2	5	3,2	Руководитель, инженер	2	3

Продолжение таблицы 9

Календарное планирование работ	1	3	1,8	Руководитель	2	3
Разработка вариантов проектирования	3	5	3,8	Инженер	4	6
Анализ существующих решений и разработок	4	7	5,2	Инженер	5	7
Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	1	5	2,6	Инженер	3	4
Проведение теоретических расчетов и обоснований во выбранному варианту	7	21	12,6	Инженер	13	19
Оценка эффективности полученных результатов	2	7	4	Руководитель	4	6
Разработка схемной и конструкторской документации проекта	14	21	16,8	Инженер	17	25
Вопросы безопасности и экологичности проекта	3	7	4,6	Инженер	5	7
Вопросы ресурсо- и энергоэффективности проекта	3	7	4,6	Инженер	5	7
Оценка надежности полученных результатов	2	5	3,2	Руководитель	3	4
Составление пояснительной записки по проекту	7	14	9,8	Инженер	10	15
Итого	54	117	79,2	Руководитель, инженер	80	116

На основании таблицы построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках разработки данного проекта. План-график представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Календарный план-график проведения проекта

Вид работы	Исполнители	T_{ki} , дн.	Продолжительность выполнения работ													
			февраль		март			апрель			май					
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3														
Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	7														
Выбор направления проекта	Руководитель, инженер	3														
Календарное планирование работ	Руководитель	3														
Разработка вариантов проектирования	Инженер	6														
Анализ существующих решений и разработок	Инженер	7														
Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	Инженер	4														
Проведение теоретических расчетов и обоснований во выбранному варианту	Инженер	19														
Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	6														

Согласно составленному календарному плану с учетом вероятностного характера выполнения работ (благоприятный, неблагоприятный) продолжительность проектирования составляет 11 полных декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая третьей декадой мая, с 11 февраля по 31 мая.

Далее, по диаграмме Ганта можно наглядно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Продолжительность выполнения проекта в календарных составит 116 дней, из которых 100 дней – продолжительность выполнения работ инженером, а 16 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

9.3 Бюджет технического проекта

При планировании бюджета ТП должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета ТП используется следующая группировка затрат по статьям [22]:

- материальные затраты ТП;
- затраты на оборудование;
- амортизационные отчисления;
- заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

9.3.1 Материальные затраты

Данная статья включает в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания разработки проекта;
- покупные материалы, используемые в процессе создания проекта для обеспечения нормального технологического процесса или расходуемые на

другие производственные и хозяйственные нужды, а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относящихся к основным средствам [22].

Работа является исследовательской, все работы проводились с помощью специализированного программного обеспечения. Исследования проводятся на базе НИ ТПУ, то есть ПО приобретено с корпоративной лицензией для образовательного учреждения и, следовательно, студентам и преподавателям предоставляется бесплатно. В данном случае материальные затраты составляют, необходимые для работы канцелярские принадлежности, приобретаемые самостоятельно. Стоимость в среднем составит 1500 рублей.

9.3.2 Затраты на оборудование

В данную статью бюджета включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам [22]. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 11.

Таблица 11 – Стоимость оборудования

Наименование оборудования	Количество, шт	Цена за ед., руб	Затраты, руб
Персональный компьютер	1	30000	30000
Итого:			30000

9.3.3 Амортизационные отчисления

Данная статья составляет постепенное погашение стоимости оборудования, используемого при разработке и изнашивающегося в процессе работы и от времени.

Рассмотрим расчет амортизации ПК:

- первоначальная стоимость $C_{перв}$ составляет 30000 рублей;

- срок полезного использования T_c для машин офисных код 330.28.23.23 составляет 2-3 года, берем 3 года;
- планируем использовать ПК для написания ВКР в течение 4 месяцев.

Норма амортизации [24]:

$$H_a = \frac{1}{T_c} \cdot 100 = \frac{1}{3} \cdot 100 = 33,33 \%. \quad (9.6)$$

Годовые амортизационные отчисления [24]:

$$A_z = C_{перв} \cdot \frac{H_a}{100} = 30000 \cdot 0,33 = 9900 \text{ руб.} \quad (9.7)$$

Итоговая сумма амортизации основных средств [24]:

$$A = \frac{A_z}{12} \cdot 4 = 3300 \text{ руб.} \quad (9.8)$$

9.3.4 Основная заработная плата исполнителей

В настоящую статью включается основная заработная плата всех работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 – 30 % от тарифа или оклада [22]. Расчет основной заработной платы приведён в таблице 17.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле [22]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (9.9)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.;

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

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

(таблица 9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [22]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (9.10)$$

где Z_m – оклад работника за месяц, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя);

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб. дн. (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени (для 6-дневной недели)

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней (выходные/праздничные дни)	118	118
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	200	200

Месячный должностной оклад работника [22]:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_{\text{д}}) \cdot k_p, \quad (9.11)$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30 % от Z_{mc});

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Тарифная заработная плата Z_{mc} для руководителя составляет 33664 руб., а для инженера – 15860 руб. Следовательно, исходя из (9.11), месячный оклад каждого работника составит:

$$Z_m^{\text{рук-ля}} = 33664 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 70021,12 \text{ руб.};$$

$$Z_m^{\text{инж}} = 15860 \cdot (1 + 0,3 + 0,3) \cdot 1,3 = 32988,80 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработанная плата тогда, согласно (8.10), составит:

$$Z_{\text{дн}}^{\text{рук-ля}} = \frac{70021,12 \cdot 10,4}{200} = 3641,10 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн}}^{\text{инж}} = \frac{32988,80 \cdot 10,4}{200} = 1715,42 \text{ руб.}$$

В этом случае основная заработная плата, согласно (9.9) равна:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{рук-ля}} = 3610,10 \cdot 13 = 46931,30 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = 1715,42 \cdot 69 = 118363,98 \text{ руб.}$$

Результаты расчета представим в виде таблицы 13.

Таблица 13 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{мс}}$, руб.	$k_{\text{нр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Руководитель	33664	0,3	0,2	1,3	70021,12	3641,10	13	46931,30
Инженер	15860	0,3	0,2	1,3	32988,80	1715,42	69	118363,98
Итого:								165295,28

9.3.5 Дополнительная заработная плата исполнителей

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций [22].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [4]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (9.12)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{\text{доп}}^{\text{рук-ля}} = 0,12 \cdot 46931,30 = 5631,76 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп}}^{\text{инж}} = 0,12 \cdot 118363,98 = 14203,68 \text{ руб.}$$

Общая заработная плата $Z_{\text{зн}}$ исполнителей рассчитывается по формуле [22]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (9.13)$$

и представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$, руб.	$Z_{доп}$, руб.	$Z_{зп}$, руб.
Руководитель	46931,30	5631,76	52563,06
Инженер	118363,98	14203,68	132567,66
Итого:			185130,72

9.3.6 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников [22].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [22]:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{зп}, \quad (9.14)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений за уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Рассчитаем величину внебюджетных отчислений:

$$Z_{внеб}^{рук-ля} = 0,3 \cdot 52563,06 = 15768,92 \text{ руб.};$$

$$Z_{внеб}^{инж} = 0,3 \cdot 132567,66 = 39770,30 \text{ руб.}$$

Результаты для наглядности представим в виде таблицы 15.

Таблица 15 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	46931,30	5631,76
Инженер	118363,98	14203,68
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30 %	
Итого:	55539,22	

9.3.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [22]:

$$Z_{накл} = (Z_m + Z_{об} + A + Z_{зн} + Z_{внеб}) \cdot k_{нр}, \quad (9.15)$$

где Z_m – материальные затраты, руб.;

$Z_{об}$ – затраты на оборудование, руб.;

A – амортизационные отчисления, руб.;

$Z_{зн}$ – общая заработная плата исполнителей, руб.;

$Z_{внеб}$ – отчисления во внебюджетные фонды, руб.;

$k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16 %. В этом случае накладные расходы, согласно (9.15), составят:

$$Z_{накл} = (1500 + 30000 + 3300 + 185130,72 + 55539,22) \cdot 0,16 = 44075,20 \text{ руб.}$$

9.3.8 Формирование бюджета затрат

Рассчитанная величина затрат проектной работы является основной для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается проектной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку [22]. Данные бюджета затрат ТП приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат

Наименование	Сумма, руб.	Удельный вес, %
Материальные затраты Z_m	1500,00	0,47
Затраты на оборудование $Z_{об}$	30000,00	9,39
Амортизационные отчисления A	3300,00	1,03
Затраты на основную заработную плату $Z_{осн}$	165295,28	51,73
Затраты на дополнительную заработную плату $Z_{дон}$	19835,44	6,21

Продолжение таблицы 16

Отчисления во внебюджетные фонды $Z_{внеб}$	55539,22	17,38
Накладные расходы $Z_{накл}$	44075,20	13,79
Итого:	319545,14	100

В данном разделе было выполнено планирование научно технического проекта по разработке системы автоматического регулирования. В данном разделе были определен объем работ по разработке и произведено распределение обязанностей, а также рассчитано время, необходимое для выполнения работы. Общая продолжительность работ составила 116 календарных дней, 100 из которых работы выполняются инженером, а 16 – руководителем проекта.

Во второй части данного раздела, исходя из анализа всех статей затрат, был сформирован общий бюджет технического проекта, который составил 319545,14 руб., большую часть которого (51,73 %) составляет основная заработная плата участников.

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности выбранного проектного решения. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности [22].

Для более компетентной оценки экономической эффективности рассмотрим себестоимость разработки данного проектного решения

9.4.1 Себестоимость выбранного проектного решения и аналогов

Себестоимость проекта оценим на основе данных п. 4 данной работы и приведем в таблице 17.

Таблица 17 – Себестоимость выбранного проектного решения

Наименование	Цена, руб.	Кол-во, шт./м.	Стоимость, руб.
Программируемый логический контроллер Элсима-М-01-24Р	30000	1	30000
Преобразователь давления измерительный ЭНИ-100-ДИ	15000	1	15000
Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-ЗИМ-БД-9-СДУ	38000	1	38000
Исполнительный механизм МЭОФ-250/10-0,25ЦС1-2-08К	25000	1	25000
Блок ручного управления БРУ-42И-03	20000	1	20000
Панель оператора Элсима-НМ101	15000	1	15000
Блок питания EF A AC/24DC-1	5000	1	5000
Преобразователь измерительный разделительный ET 421	5000	1	5000
Щит автоматизации ЩИП-3-0 650x500x220	5800	1	5800
Кабель КВВГнг-LS 4x2,5	65	35	2275
Кабель КВВГнг-LS 3x0,75	24	13	312
Кабель КВВГнг-LS 3x2.5	60	5	300
Кабель КВВГнг-LS 3x1	40	16	640
КВВГнг-LS 12x0,75	93	10	1395
КИПЭВнг-LS 2x2x0.6	160	15	2400
КИПЭВ 1x2x0,6	87	3	261
КВВГЭнг-LS 3x1	50	9	450
Итого:			166833

Эффективность оценим по сравнению с конкурентными решениями п. 8.1.1 данной работы:

1. Примерная стоимость системы на рынке 150000 руб.;
2. Примерная стоимость АСР на рынке 200000 руб.

9.4.2 Интегральный показатель финансовой эффективности

Данный показатель технического проекта получается в ходе оценки бюджета трех (или более) вариантов исполнения проекта. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель) с которым соотносятся

финансовые значения по всем вариантам исполнения. Он определяется как [22]:

$$I_{фин}^i = \frac{\Phi_i}{\Phi_{max}}, \quad (9.16)$$

где $I_{фин}^i$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_i – стоимость i -ого варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта.

$$I_{фин}^1 = \frac{150000}{200000} = 0,75;$$

$$I_{фин}^2 = \frac{200000}{200000} = 1;$$

$$I_{фин}^{тек} = \frac{166833}{200000} = 0,83;$$

9.4.3 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения технического проекта можно определить следующим образом [22]:

$$I_i^p = \sum a_i \cdot b_i, \quad (9.17)$$

где I_i^p – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -ого варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^b – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливаемая экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Сравнительная оценка ресурсоэффективности рассматриваемых аналогов приведена в таблице 18.

Таблица 18 – Сравнительная оценка ресурсоэффективности

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущее исп.	Исп. 1	Исп. 2
Рост производительности труда	0,3	5	4	5
Удобство в эксплуатации	0,2	5	4	4
Газосбережение	0,3	4	3	4
Надежность	0,2	4	3	4
Итого	1			

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_{тек.}^P = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 = 4,9;$$

$$I_{исп1}^P = 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,3 = 3,8;$$

$$I_{исп2}^P = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 = 4,7;$$

9.4.4 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель эффективности разработки I^i вычисляется на основании рассчитанных выше показателей по формуле [22]:

$$I_{испi} = \frac{I_i^P}{I_{фин}^i}. \quad (9.18)$$

Для разрабатываемой системы:

$$I_{тек} = \frac{4,9}{0,83} = 5,904;$$

Для рассматриваемых аналогов:

$$I_{исп1} = \frac{3,8}{0,75} = 5,067;$$

$$I_{исп2} = \frac{4,7}{1} = 4,7;$$

Сравнительная эффективность разрабатываемой системы и рассматриваемых аналогов рассчитывается как:

$$\Theta = \frac{I_{тек.}}{I_i}. \quad (9.19)$$

Сравнительная эффективность разрабатываемой системы с аналогами приведена в таблице 19.

Таблица 19 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Текущее решение	Аналог №1	Аналог №2
Интегральный финансовый показатель $I_{фин}$	0,83	0,75	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности I^P	4,9	3,8	4,7
Интегральный показатель эффективности I	5,904	5,067	4,7
Сравнительная эффективность Θ разработки к аналогам		1,165	1,256

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что разрабатываемая система автоматического регулирования давления газообразного топлива превосходит существующие аналоги по данному показателю.

Заключение по разделу

В ходе данного раздела выпускной квалификационной работы был проведен анализ коммерческого потенциала проектируемой системы автоматического регулирования давления газообразного топлива.

В первой части были изучены и проанализированы различные варианты построения системы. По результатам оценочной карты был выбран наиболее конкурентоспособный и перспективный вариант разработки.

В дальнейшем, проведя SWOT – анализ выбранного проектного решения, были выявлены сильные и слабые стороны проекта с учетом угроз и возможностей для него. Также в ходе этого были разработаны методы ликвидации существенных недостатков и адаптации решения к тенденциям окружающей среды для повышения конкурентоспособности проекта.

Затем был определен объем и составлен план проектировочных работ, произведена оценка трудоемкости и разработан календарный график работ, который показал, что длительность выполнения проекта составит 116 календарных дней. Затем был сформирован бюджет для проектирования системы, который включает затраты на приобретение канцелярских товаров, закупку оборудования, заработную плату участников процесса разработки, отчисления во внебюджетные фонды и прочие накладные расходы. Общий бюджет проекта составил 319545,14 руб., большую часть которого (51,73 %) составляет основная заработная плата участников.

В последней части раздела была примерно оценена эффективность разработки по сравнению с аналогами. Выбранная система по данному показателю превосходит существующие аналоги. То есть выбранное проектное решение эффективно и конкурентоспособно на рынке.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Б6В	Григорьев Иван Васильевич

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01.Теплоэнергетика и теплотехника

Тема ВКР:

Автоматическая система регулирования давления газообразного топлива после регулирующего клапана парового котла

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Система регулирования давления применяется для поддержания заданных значений давления газообразного топлива в топке парового котла на ТЭЦ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Превышение уровня шума; Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; Опасность утечек газообразного топлива; Повышенный уровень электромагнитных излучений; Отклонение показателей микроклимата;
3. Экологическая безопасность:	анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); разработать решения по обеспечению экологической безопасности.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	перечислить возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; указать наиболее типичную ЧС.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
16.04.2020 г.	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б6В	Григорьев Иван Васильевич		

10 Социальная ответственность

Под социальной ответственностью обычно понимается необходимость субъекта отвечать за нарушение социальных норм. На производстве к вопросам социальной ответственности можно отнести работы по охране труда, окружающей среды, а также работы и принципы действия в чрезвычайных ситуациях.

Деятельность тепловой электростанции напрямую связана с негативным влиянием на окружающую среду через образование вредных выбросов в атмосферу и литосферу. При разработке систем необходимо ориентироваться на нормативно правовые акты по защите окружающей среды и при необходимости компенсировать наносимый ущерб.

Тема является достаточно актуальной, поскольку природный газ является более экологическим, чем другие ископаемые топлива, а при эффективном сжигании еще и энергетически выгодным топливом.

10.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны:

- Рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля.
- Аварийные органы управления следует располагать в пределах зоны досягаемости моторного поля, при этом следует предусмотреть специальные средства опознавания и предотвращения их непроизвольного и самопроизвольного включения.
- Средняя высота расположения средств отображения информации должна соответствовать для женщин 1320 мм, для мужчин – 1410 мм.
- Часто и очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, допускается располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 30^\circ$ и $\pm 15^\circ$

соответственно от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости соответственно под углом $\pm 30^\circ$ и $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости [25].

– При конструировании органов управления и их размещении в моторном поле рабочего места должны быть учтены следующие физиологические особенности двигательного аппарата человека: скорость и точность движения рук (ног), максимальное усилие, развиваемое руками (ногами) и др.

– Органы управления должны кодироваться формой, цветом, размером или другими видами алфавита кода или их комбинациями.

– Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям действующей нормативной документации. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток. А эксплуатация ПЭВМ в помещениях без естественного освещения допускается только при наличии расчетов, обосновывающих соответствие нормам естественного освещения и безопасность их деятельности для здоровья работающих.

– Помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

– Не следует размещать рабочие места с ПЭВМ вблизи силовых кабелей и вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПЭВМ [26].

10.2 Производственная безопасность

10.2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

В таблице 20 приведены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в процессе разработки, изготовления и эксплуатации системы автоматизации.

Таблица 20 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 [28])	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Повышенный уровень шума		+	+	1. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [29].
2. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	2. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [31].
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	3. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности [33].
4. Опасность утечек газообразного топлива			+	4. ГОСТ 12.1.007.76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности [35].
5. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	5. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [37].

10.2.1.1 Повышенный уровень шума

Источником шума могут служить котлы, турбины, электродвигатели и другое оборудование ТЭЦ, находящееся вблизи операторской.

Человеческий организм по-разному реагирует на шум разного уровня. Шумы уровня 70-90 дБ при длительном воздействии приводят к заболеванию нервной системы, а более 100 дБ - к снижению слуха, вплоть до глухоты. Шум создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Шум способен увеличивать содержание в крови таких гормонов стресса, как кортизол, адреналин и норадреналин - даже во время сна. Чем дольше эти гормоны присутствуют в кровеносной системе, тем выше вероятность, что они приведут к опасным для жизни физиологическим проблемам.

В производственных помещениях допустимый уровень шума, исходя из [30], составляет 80 дБ. При возможном превышении данных значений необходимо проводить мероприятия по его снижению.

Мероприятия по снижению уровня шума можно разделить на индивидуальные и групповые. Первые включают в себя индивидуальные средства защиты, такие как наушники, либо беруши. Вторые представляют собой использование шумоизоляции стен и потолочных перекрытий смежных к наиболее шумным цехам электростанции.

10.2.1.2 Повышенное значение напряжения в электрической цепи

Источником повышенных напряжений служат цепи питания переменного тока 380, 220 и постоянного 24 В.

Действие электрического тока на организм человека носит своеобразный и разносторонний характер. Проходя через организм человека, электрический ток производит термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое действие тока проявляется в ожогах тела, нагреве и повреждении кровеносных сосудов, нервов, мозга и других органов, и систем, что вызывает их серьезные функциональные расстройства. Электролитическое действие тока проявляется в разложении крови и других жидкостей в организме, вызывая тем самым значительные нарушения их физико-химических составов, а также ткани в целом. Биологическое действие тока выражается главным образом в нарушении биоэлектрических процессов, свойственных живой материи, с которыми связана ее жизнеспособность [32].

Постоянный и переменный ток оказывают различное воздействие на организм при напряжениях до 500 В. Опасность поражения постоянным током меньше, чем переменным. Допустимым следует считать ток, при котором человек может самостоятельно освободиться от электрической цепи. Его величина зависит от скорости прохождения тока через тело человека: при длительности действия более 10 с — 2 мА, а при 120 с и менее — 6 мА.

Для обеспечения электробезопасности необходимо точное соблюдение всех 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.

10.2.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных полей является все электрическое оборудование, расположенное как в щите автоматизации, так и непосредственно вблизи него.

Электромагнитное излучение (ЭМИ) угнетающе воздействует на иммунитет, сердце, кровеносные сосуды, эндокринные железы и нервную систему человека. Длительное нахождение в его зоне вызывает головные боли, бессонницу, стрессовые состояния. Постоянное облучение организма может привести к выпадению волос, обострению хронических болезней, развитию серьезных психических заболеваний. Особенно оно опасно для беременных женщин, так как может спровоцировать выкидыши, преждевременные роды, развитие пороков у ребенка.

Степень воздействия ЭМИ на организм человека зависит от напряжения, проходящего через окружающее его оборудование. Чем выше напряжение, тем сильнее воздействие электромагнитных волн. Предельно допустимые нормы, исходя из [34], показаны в таблице 21.

Таблица 21 – Предельно допустимые уровни ЭМИ для производственных помещений.

Диапазоны частот	Предельно допустимая энергетическая экспозиция		
	По электрической составляющей, (В/м) ² ·ч	По магнитной составляющей, (А/м) ² ·ч	По плотности потока энергии (мкВт/см ²)·ч
300 кГц – 3 МГц	20000,0	200,0	–
3 – 30 МГц	7000,0	не разработаны	–
30 – 50 МГц	800,0	0,72	–
50 – 300 МГц	800,0	не разработаны	–
300 МГц – 300 ГГц	–	–	200,0

Наиболее эффективным средством защиты от ЭМИ является снижение времени нахождения в близком контакте с его источниками. На предприятиях это обеспечивается нормированным рабочим графиком и обязательными перерывами. Во время работы защита может быть обеспечена с помощью экранирующих устройств на оборудовании или специальной одежды на рабочем персонале.

10.2.1.4 Опасность утечек газообразного топлива

Природные газы являются для человека серьезными источниками опасности. Основным компонентом природного газа является метан - бесцветный газ без запаха, крайне легко воспламеняющийся: может воспламеняться от пламени, искр, тепла. Возможен взрыв газа на открытом воздухе, в помещениях, в канализации и т. д. Взрыв может произойти, если помещение заполнится газом в объеме 5–15 % и он воспламенится. Источником утечек в данной системе могут стать изношенность газопровода или регулирующего органа, а также неправильная его установка.

Природный газ оказывает на людей главным образом удушающее воздействие. В отношении токсичности он не очень опасен - обладает легким наркотическим действием. Когда около 10 % пространства заполнено газом, это вызывает сонливость, возможны также головная боль и недомогание.

Когда количество газа увеличивается до 20-30%, это приводит к опасному дефициту кислорода, что может вызвать удушье.

Утечки газообразного топлива на ТЭЦ в целом недопустимы. Однако природный газ на 70 – 98 % состоит из метана, предельно допустимая концентрация которого в воздухе рабочей зоны, согласно [36], составляет 7000 мг/м³.

В качестве защиты рекомендуется осуществлять периодический контроль с помощью специальных приборов. Также необходимо четкое соблюдение норм и правил установки оборудования на газопровод и контроль за техническим состоянием оборудования.

10.2.1.5 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат в производственном помещении может изменяться на протяжении всего рабочего дня, а также быть различным на отдельных участках одного и того же цеха. В соответствии с [37], параметрами, характеризующим микроклимат являются:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха.

Неблагоприятное сочетание параметров микроклимата может вызвать перенапряжение механизмов терморегуляции, перегрев и переохлаждение организма. Поэтому на предприятии должны быть обеспечены оптимальные и комфортные условия для работы персонала на протяжении всего рабочего дня, которые определены [37]. Операторская работа на ТЭЦ относится к категории 1б по энергозатратам, согласно [37]. Оптимальные значения показателей приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21 – 23	20 – 24	60 – 40	0,1
Теплый	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1

Для поддержания оптимальных значений в помещениях устанавливаются системы отопления, кондиционирования, вентиляции и увлажнения. При правильном выборе их типа, производительности и оптимальной конструкции условия труда на рабочих местах поддерживаются в пределах норм с минимальными затратами средств, труда и энергии.

10.3 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность – важная часть любого производства и, в частности, любой проектируемой системы. Загрязнение окружающей среды, то есть изменение естественного состава ее элементов (воздуха, воды, почв) происходит в результате любой деятельности человека. Это приводит к ухудшению условий жизни населения, а также животного и растительного миров. В связи с этим предприятия должны стремиться к снижению вредных выбросов в атмосферу, литосферу и гидросферу.

Разрабатываемая система представляет собой регулирование давления газообразного топлива. Природный газ, как известно, гораздо более экологичное топливо, чем другие виды ископаемого топлива. К примеру, антропогенные выбросы парниковых газов при сжигании одной тонны условного топлива у природного газа в 1,7 раза меньше, чем у угля, и в 1,4 раза меньше, чем у мазута. На практике же уменьшение выбросов еще существенней из-за более высокой эффективности энергетических установок, использующих природный газ. В результате газовые электростанции выбрасывают примерно в два раза меньше углекислого газа, чем

электростанции, работающие на угле. Более подробно сравнение видов топлива показано в таблице 23 [38].

Таблица 23 – Выбросы загрязняющих веществ при сгорании ископаемого топлива (по данным EIA)

Загрязняющее вещество	Природный газ	Нефть	Уголь
Углекислый газ	60	80	100
Угарный газ	20	15	100
Оксиды азота	20 – 40	70	100
Оксиды серы	0	70	100
Ртуть	0	40 – 50	100

В таблице количество веществ, образующихся при сгорании угля, условно принято за 100 и, соответственно, по другим видам топлива показано в пропорции от 100. Как можно увидеть, при сгорании природного газа выделяются углекислый газ (CO_2), угарный газ (CO) и оксиды азота (NO_x), причем в значительно меньшем количестве, по сравнению с нефтью и углем.

Регулирование давление топлива, плюс ко всему, в некоторой мере позволит снизить общий расход топлива на горелки парового котла. Это приведет к общему снижению выбросов и так уже наиболее экологичного топлива в атмосферу.

Добыча природного газа важная отрасль экономики всех стран мира, в том числе и России. Но с другой стороны данный процесс приводит к изменению горизонтов геологической среды, что может привести к необратимым деформациям земной поверхности. Транспортировка топлива также осуществляется по трубопроводным сооружениям, проложенным по большей части в литосфере Земли. В целом современные магистральные газопроводы представляют собой взрывопожароопасный сосуд протяженностью в тысячи километров, представляющий огромную опасность как для человека, так и для окружающей среды.

С одной стороны, снижение потребления газа с использованием разрабатываемой АСР теоретически позволит также уменьшить и его добычу.

А с другой, разрушение земной поверхности добычей топлива можно снизить разве что активным переходом на использование альтернативных источников энергии.

10.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации (ЧС) представляют собой обстановку на определенной территории, сложившуюся в результате аварии, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые влекут за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью и (или) окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. ЧС могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера [39].

При эксплуатации данной системы автоматического регулирования, а также связанного с ней технического оборудования ТЭЦ могут возникнуть ряд ЧС техногенного характера, связанных с возгоранием электрической проводки или утечкой и последующим взрывом природного газа, вызванного наличием открытого огня поблизости.

При утечках топлива, необходимо в первую очередь немедленно обнаружить, а затем устранить утечку с помощью ремонта, либо замены проблемного участка газопровода. В случае возникновения короткого замыкания электрической проводки, необходимо обесточить участок цепи и после устранить неисправность. При появлении открытого огня необходимо воспользоваться средствами пожаротушения. Для предотвращения рассмотренных чрезвычайных ситуаций необходимо четкое и безукоризненное соблюдение все норм и правил по эксплуатации теплотехнического оборудования ТЭЦ.

В случае возникновения проводят мероприятия по ликвидации ЧС, направленных на выполнение следующих задач:

- прекращение или снижение до минимально возможного уровня воздействия вредных и опасных факторов, представляющих угрозу для жизни и здоровья людей, животных и окружающей среды;
- спасение жизни и сохранение здоровья людей;
- локализацию зон чрезвычайной ситуации, прекращение действия характерных для них опасных факторов;
- первоочередное жизнеобеспечение пострадавшего населения;
- приведение в пригодное к использованию состояние технических и материальных средств, зданий и сооружений, систем жизнеобеспечения населения [40].

Заключение по разделу

В заключение всего вышесказанного хочется отметить важность социальной ответственности перед другими людьми и окружающей средой, а также всего, что позволит снизить вредные воздействия на окружающий нас мир.

Разработанная система автоматического регулирования давления газообразного топлива с одной стороны направлена на поддержание давления топлива на постоянном значении, но с другой стороны может помочь на некоторые доли снизить расход природного газа, и вследствие чего уменьшить вредные выбросы в атмосферу.

В результате работы по разделу «Социальная ответственность» можно отметить следующее:

- в работе рассмотрена социальная ответственность предприятия (корпоративная социальная ответственность), указаны пагубные воздействия на окружающую среду;
- выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие при эксплуатации газообразного топлива на ТЭЦ;
- указаны методы и средства борьбы с этими факторами;
- описаны возможные ЧС и меры по их предотвращению и ликвидации.

Заключение

В ходе данной выпускной квалификационной работе была разработана система автоматического регулирования давления газообразного топлива после регулирующего клапана парового котла. Исходя из анализа объекта автоматизации осуществлен подбор необходимого оборудования и средств автоматизации и составлена требуемая по заданию схемная документация.

В рамках предполагаемой связи с верхним уровнем была разработана упрощенная мнемосхема системы, которая функционирует, и позволяет получить представление о структуре и принципе работы системы.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проведен анализ конкурентоспособности данного проектного решения, а также рассмотрены затраты на его разработку и реализацию.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы влияния данной системы на человека и окружающую его среду, проведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций при эксплуатации системы и определены действия как по их предотвращению, так и по устранению их последствий.

В приложении на основе анализа литературы был теоретически определены оптимальные параметры настройки ПИ-регулятора ($K_p = 0,53534$ $T_u = 1,39$ с.) и рассчитан переходный процесс, для которого также проведена оценка качества (степень затухания ψ равна 0,75, время регулирования – 18,5 с.). Уточнение переходной характеристики и параметров настройки регулятора необходимо проводить на реальном объекте.

Список использованных источников

1. Тепловая энергетика России. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8 свободный. Загл. с экрана.
2. Подача газа (подача топлива). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rielo.ru/azbuka/261.htm> свободный. – Загл. с экрана.
3. Томская ТЭЦ-3 – РосТепло Энциклопедия теплоснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
https://www.rosteplo.ru/w/%D0%A2%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%A2%D0%AD%D0%A6-3 свободный. – Загл. с экрана.
4. Котел БКЗ. Котлы паровые энергетические. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sibem-bkz.com/ru/steam-boilers-energetic/#id17-16> свободный. – Загл. с экрана.
5. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподачи: учебное пособие/ А.В. Волошенко, В.В. Медведев, И.П. Озерова; Национальный исследовательский Томский Политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 100 с.
6. Проектирование система автоматизации технологических процессов: Справочное пособие/ А.С. Клюев, Б.В. Глазов, А.Х. Дубровский, А.А. Клюев; Под ред. А.С. Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.: ил.
7. Датчик давления ЭНИ-100. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eni-bbmrv.ru/index.php/ru/catalog/item/24-datchiki-davleniya/1-datchik-davleniya-eni-100> свободный. – Загл. с экрана.
8. АИР-10Н — микропроцессорные датчики давления с протоколом HART. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://www.elemer.ru/production/pressure/air_10h.php свободный. – Загл. с экрана.

9. Технические характеристики, Программируемый логический контроллер Элсима-M01. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elesy.ru/products/products/elsyma/elsyma-m01/ti.aspx#subpagesMenu> свободный. – Загл. с экрана.

10. ПЛК100/150/154 контроллеры для малых систем с AI/DI/DO/AO. [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://owen.ru/product/plk100_150_154 свободный. – Загл. с экрана.

11. Проектирование функциональных схем систем автоматического контроля и регулирования: учебное пособие/ А.В. Волощенко, Д.Б. Горбунов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 109 с.

12. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/79-03-2020.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

13. Пускатели бесконтактные реверсивные ПБР-И, ПБР-ИК. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/production/cat/list/abs-zeim-pbr.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

14. Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-ЗИ. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/01-04-2019.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

15. Блок ручного управления БРУ-42И. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zeim.ru/production/docs/re/bru-42i.pdf> свободный. – Загл. с экрана.

16. Технические характеристики, Панель оператора Элсима VS01. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://elesy.ru/products/products/elsyma/panel'-operatora-jelsima-vs01/tehnicheskie-harakteristiki.aspx#subpagesMenu> свободный. – Загл. с экрана.

17. Резисторы С2–С3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.reom.ru/page.php?pageId=5&topic=43&catId=269> свободный. – Загл. с экрана.

18. Кабели и провода. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tinko.ru/catalog/category/1393/> свободный. – Загл. с экрана.

19. Щит монтажный ЩМП 650х500х220 IP54 У2 металлический. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.etm.ru/cat/nn/9724494/> свободный. – Загл. с экрана.

20. Natural Gas Technologies. Решения для газовой промышленности. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.emerson.com/documents/automation/europe-natural-gas-catalogue-ru-135122.pdf> свободный. Загл. с экрана.

21. ООО "НПП "Авиагаз-Союз+" - Регуляторы давления «ЛОРД-Э» с дистанционной настройкой (аналог регулирующего клапана). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.agrs.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=95:regulyat-ory-davleniya-lord-e&catid=9&Itemid=106 свободный. Загл. с экрана.

22. 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. Криницына; Томский Политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского Политехнического университета, 2014. – 36 с.

23. Производственный календарь 2020 (рабочие дни, праздники и выходные дни) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/law/ref/calendar/proizvodstvennyye/2020/> свободный. Загл. с экрана.

24. Экономика предприятия. Учебное пособие. Л.М. Борисова, Дукарт С.А. Томский политехнический университет. – Томск, 2011. – 63 с.
25. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 13 с.
26. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 18 с.
27. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> свободный. Загл. с экрана.
28. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. М.: Стандартиформ, 2019. – 23 с.
29. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. М.: Стандартиформ, 2019. – 50 с.
30. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901703278> свободный. Загл. с экрана.
31. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. М.: Стандартиформ, 2019. – 33 с.
32. Действие электрического тока на организм человека. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://delta-grup.ru/bibliot/16/42.htm> свободный. Загл. с экрана.
33. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.

34. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001537> свободный. Загл. с экрана.
35. ГОСТ 12.1.007.76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. – М.: Стандартинформ, 2007. – 10 с.
36. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартинформ, 2008. – 107 с.
37. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> свободный. Загл. с экрана.
38. Газ и экология. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.pro-gas.ru/ecolog/ecol_full/ свободный. Загл. с экрана.
39. ГОСТ Р 22.0.02-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.
40. Ликвидация чрезвычайной ситуации (ЧС). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fireman.club/inseklodepia/likvidaciya-chrezvychajnoj-situacii/> свободный. Загл. с экрана.
41. Андык В.С. Теория автоматического управления: учебное пособие: – Томск: Изд. ТПУ, 2005. – 108 с.
42. СТО ТПУ 2.5.01-2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://standard.tpu.ru/docs/standorg/ВКР_ориг1.htm свободный. – Загл. с экрана.

Приложение А. Расчёт оптимальных параметров настройки регулятора

Расчетная структурная схема системы регулирования имеет вид, представленный на рисунке 4:

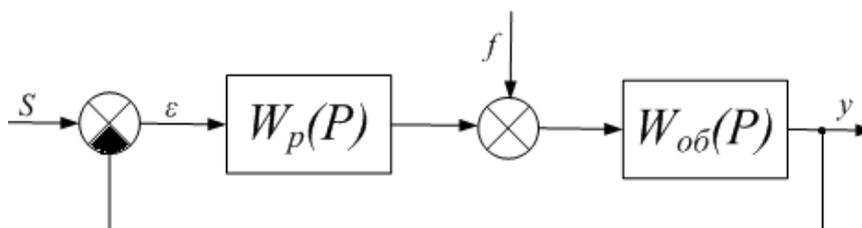


Рисунок 4 – Структурная схема системы регулирования

В системе будем использовать ПИ-регулятор, для построения расчета оптимальных характеристик которого используем корневой метод параметрического синтеза с применением расширенных амплитудно – фазово частотных характеристик (РАФЧХ).

В качестве требования запаса устойчивости системы установим степень затухания переходного процесса $\psi = 0,75$.

Степень колебательности переходных процессов в заданной системе регулирования m определяется, исходя из степени затухания ψ по формуле:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,75) = 0,221, \quad (1)$$

где ψ – степень затухания переходных процессов в системе регулирования.

Передаточную функцию объекта регулирования можно определить по формуле:

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

где P – оператор Лапласа.

Основываясь на теоретических сведениях о системе автоматического регулирования, а также анализе подобных систем запишем передаточную функцию объекта регулирования (2):

$$W_{об}(P) = \frac{2e^{-1,5P}}{(2P+1)}.$$

Определим расширенные частотные характеристики объекта регулирования. Произведем замену оператора $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ в формуле для передаточной функции объекта регулирования, в результате получаем выражение для РАФЧХ объекта регулирования:

$$W_{об}(m, i\omega) = \frac{2 \cdot e^{-1,5(-m\omega + i\omega)}}{(2 \cdot (-m\omega + i\omega) + 1)}.$$

Задавая диапазон изменения частоты $\omega = 0 \div 1 \text{ c}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,01 \text{ c}^{-1}$, рассчитываем расширенные частотные характеристики объекта.

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$\text{Re}_{об}(m, \omega) = \text{Re}(W_{об}(m, \omega)); \quad (3)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$\text{Im}_{об}(m, \omega) = \text{Im}(W_{об}(m, \omega)); \quad (4)$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ):

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{об}^2(m, \omega) + \text{Im}_{об}^2(m, \omega)}; \quad (5)$$

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \text{arctg} \left(\frac{\text{Im}_{об}(m, \omega)}{\text{Re}_{об}(m, \omega)} \right) - k\pi, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

Результаты расчётов сведём в таблицу 24.

Таблица 24 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

ω	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega)$
0	2	0	2	0
0,01	2,01390293	-0,07068899	2,01514316	-0,03508609
0,02	2,02459013	-0,14263456	2,02960829	-0,07033487
0,03	2,03194927	-0,21564525	2,04336015	-0,10573152

Продолжение таблицы 24

0,04	2,035882601	-0,28951814	2,05636541	-0,14126052
0,05	2,036308322	-0,36404015	2,06859296	-0,17690572
0,06	2,033161791	-0,43898968	2,08001414	-0,21265036
0,07	2,02639655	-0,51413827	2,09060306	-0,2484772
0,08	2,015985145	-0,58925249	2,10033678	-0,28436856
0,09	2,001919713	-0,66409591	2,10919556	-0,32030645
0,1	1,984212315	-0,73843119	2,11716299	-0,35627261
0,11	1,962895024	-0,81202209	2,12422615	-0,39224865
0,12	1,938019734	-0,88463565	2,13037572	-0,42821612
0,13	1,909657717	-0,9560442	2,13560603	-0,46415661
0,14	1,877898927	-1,02602735	2,13991507	-0,50005187
0,15	1,842851058	-1,09437386	2,1433045	-0,53588387
0,16	1,804638389	-1,1608834	2,14577958	-0,57163491
0,17	1,763400428	-1,22536807	2,14734906	-0,60728771
0,18	1,719290402	-1,28765375	2,14802507	-0,64282549
0,19	1,6724736	-1,34758133	2,14782294	-0,67823204
0,2	1,623125625	-1,40500751	2,14676103	-0,7134918
0,21	1,571430582	-1,45980559	2,14486047	-0,74858989
0,22	1,517579231	-1,51186586	2,14214498	-0,78351222
0,23	1,461767152	-1,56109583	2,13864055	-0,81824549
0,24	1,404192934	-1,60742024	2,13437523	-0,85277723
0,25	1,345056438	-1,65078085	2,12937884	-0,88709585
0,26	1,284557142	-1,69113601	2,12368266	-0,92119064
0,27	1,222892599	-1,72846012	2,11731922	-0,9550518
0,28	1,160257018	-1,76274289	2,11032198	-0,98867041
0,29	1,096839983	-1,79398853	2,10272509	-1,02203848
0,3	1,032825327	-1,82221475	2,09456314	-1,05514889
0,31	0,968390147	-1,84745178	2,08587094	-1,08799539
0,32	0,903703983	-1,86974129	2,07668326	-1,1205726
0,33	0,838928137	-1,88913524	2,06703468	-1,15287594
0,34	0,77421515	-1,90569482	2,05695937	-1,18490166
0,35	0,709708404	-1,91948929	2,04649094	-1,21664675
0,36	0,64554187	-1,9305949	2,03566229	-1,24810894
0,37	0,581839959	-1,9390938	2,02450549	-1,27928663
0,38	0,518717494	-1,94507306	2,01305168	-1,31017889
0,39	0,456279772	-1,94862368	2,00133093	-1,34078539
0,4	0,394622713	-1,94983969	1,98937224	-1,37110638
0,41	0,333833078	-1,94881729	1,97720342	-1,40114262
0,42	0,273988751	-1,94565412	1,96485108	-1,43089536
0,43	0,215159072	-1,9404485	1,9523406	-1,46036631
0,44	0,157405207	-1,93329887	1,93969609	-1,48955758
0,45	0,100780547	-1,92430314	1,92694039	-1,51847164
0,46	0,045331136	-1,91355825	1,91409511	-1,54711131
0,47	-0,0089039	-1,90115972	1,90118057	-1,5754797

Продолжение таблицы 24

0,48	-0,061891902	-1,88720128	1,8882159	-1,60358018
0,49	-0,113606236	-1,87177452	1,87521898	-1,63141636
0,5	-0,164025854	-1,85496868	1,86220657	-1,65899207
0,51	-0,213134857	-1,83687039	1,84919423	-1,68631129
0,52	-0,260922074	-1,81756352	1,83619647	-1,71337815
0,53	-0,307380658	-1,79712904	1,82322671	-1,74019694
0,54	-0,352507694	-1,77564492	1,81029736	-1,76677202
0,55	-0,396303822	-1,75318608	1,79741986	-1,79310784
0,56	-0,43877289	-1,72982436	1,78460471	-1,81920892
0,57	-0,479921618	-1,7056285	1,77186154	-1,84507983
0,58	-0,519759285	-1,68066413	1,75919915	-1,87072516
0,59	-0,558297436	-1,65499386	1,74662552	-1,89614952
0,6	-0,595549612	-1,62867726	1,73414791	-1,92135752
0,61	-0,631531098	-1,60177097	1,72177286	-1,94635377
0,62	-0,666258685	-1,57432875	1,70950625	-1,97114286
0,63	-0,699750463	-1,54640154	1,69735336	-1,99572933
0,64	-0,732025621	-1,5180376	1,68531886	-2,02011771
0,65	-0,763104265	-1,48928256	1,6734069	-2,04431247
0,66	-0,79300726	-1,4601795	1,6616211	-2,06831802
0,67	-0,821756079	-1,43076911	1,64996463	-2,09213874
0,68	-0,849372669	-1,40108973	1,63844022	-2,11577892
0,69	-0,875879331	-1,37117748	1,62705018	-2,13924281
0,7	-0,90129861	-1,34106636	1,61579645	-2,16253456
0,71	-0,925653202	-1,31078833	1,60468062	-2,18565827
0,72	-0,948965865	-1,28037344	1,59370397	-2,20861795
0,73	-0,971259341	-1,24984989	1,58286748	-2,23141755
0,74	-0,992556292	-1,21924414	1,57217183	-2,25406092
0,75	-1,01287924	-1,18858101	1,56161749	-2,27655184
0,76	-1,032250514	-1,15788376	1,55120467	-2,29889402
0,77	-1,050692205	-1,12717417	1,54093339	-2,32109108
0,78	-1,06822613	-1,09647262	1,53080347	-2,34314654
0,79	-1,084873795	-1,06579817	1,52081455	-2,36506387
0,8	-1,100656371	-1,03516866	1,51096612	-2,38684644
0,81	-1,115594669	-1,00460075	1,50125752	-2,40849754
0,82	-1,12970912	-0,97410999	1,49168796	-2,43002039
0,83	-1,143019761	-0,94371091	1,48225654	-2,45141812
0,84	-1,155546222	-0,91341705	1,47296224	-2,4726938
0,85	-1,16730772	-0,88324105	1,46380397	-2,49385039
0,86	-1,178323046	-0,85319468	1,45478052	-2,5148908
0,87	-1,188610568	-0,82328893	1,44589064	-2,53581787
0,88	-1,198188224	-0,793534	1,43713299	-2,55663434
0,89	-1,207073525	-0,76393941	1,42850618	-2,57734291
0,9	-1,215283554	-0,734514	1,42000878	-2,59794618
0,91	-1,222834969	-0,705266	1,41163929	-2,6184467

Продолжение таблицы 24

0,92	-1,22974401	-0,67620304	1,4033962	-2,63884694
0,93	-1,2360265	-0,64733225	1,39527795	-2,65914933
0,94	-1,241697853	-0,6186602	1,38728295	-2,67935619
0,95	-1,246773081	-0,59019301	1,37940962	-2,69946982
0,96	-1,251266799	-0,56193636	1,37165633	-2,71949244
0,97	-1,255193236	-0,53389552	1,36402144	-2,73942621
0,98	-1,258566242	-0,50607535	1,35650331	-2,75927324
0,99	-1,261399295	-0,47848036	1,34910031	-2,77903556
1	-1,263705512	-0,45111473	1,34181076	-2,79871516

Формулы расчета параметров для ПИ – регулятора по корневому методу имеют вид:

$$\frac{K_p}{T_u} = -\frac{\omega(m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)}; \quad (7)$$

$$K_p = -\frac{m \cdot \text{Im}_{o\delta}(m, \omega) + \text{Re}_{o\delta}(m, \omega)}{A_{o\delta}^2(m, \omega)}. \quad (8)$$

где K_p – коэффициент передачи, а T_u – постоянная интегрирования ПИ - регулятора.

Определим параметры настройки регулятора $\frac{K_p}{T_u}$ и K_p в диапазоне изменения частоты $\omega = 0 \div 1 \text{ c}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,01 \text{ c}^{-1}$, Результаты расчётов сведём в таблицу 25.

Таблица 25 – Результаты расчёта параметров настройки ПИ - регулятора

ω, c^{-1}	K_p/T_u	K_p
0	0	-0,5
0,01	0,000182578	-0,492090156
0,02	0,00072634	-0,483835396
0,03	0,001625103	-0,475242935
0,04	0,002872399	-0,466320068
0,05	0,004461479	-0,457074162
0,06	0,00638532	-0,447512656
0,07	0,008636633	-0,437643056
0,08	0,011207873	-0,427472935
0,09	0,014091242	-0,417009924
0,1	0,017278701	-0,406261713

Продолжение таблицы 25

0,11	0,020761976	-0,395236048
0,12	0,024532563	-0,383940725
0,13	0,028581743	-0,372383588
0,14	0,03290058	-0,360572529
0,15	0,037479939	-0,348515479
0,16	0,042310487	-0,336220408
0,17	0,047382704	-0,323695324
0,18	0,052686891	-0,310948264
0,19	0,058213175	-0,297987297
0,2	0,063951523	-0,284820517
0,21	0,069891745	-0,27145604
0,22	0,076023503	-0,257902005
0,23	0,082336322	-0,244166563
0,24	0,088819594	-0,230257884
0,25	0,095462591	-0,216184144
0,26	0,102254469	-0,20195353
0,27	0,109184277	-0,187574232
0,28	0,116240967	-0,173054442
0,29	0,123413402	-0,158402351
0,3	0,13069036	-0,143626144
0,31	0,138060549	-0,128734001
0,32	0,145512609	-0,113734091
0,33	0,153035124	-0,098634569
0,34	0,160616627	-0,083443575
0,35	0,16824561	-0,068169231
0,36	0,175910534	-0,052819636
0,37	0,183599831	-0,037402866
0,38	0,191301918	-0,021926969
0,39	0,1990052	-0,006399964
0,4	0,206698082	0,009170164
0,41	0,214368975	0,024775463
0,42	0,222006302	0,04040802
0,43	0,229598508	0,056059962
0,44	0,237134067	0,071723459
0,45	0,244601489	0,087390727
0,46	0,251989327	0,103054029
0,47	0,259286188	0,118705678
0,48	0,266480734	0,134338042
0,49	0,273561695	0,149943542

Продолжение таблицы 25

0,5	0,280517871	0,165514658
0,51	0,287338146	0,18104393
0,52	0,294011488	0,196523958
0,53	0,300526959	0,211947409
0,54	0,306873722	0,227307016
0,55	0,313041047	0,242595581
0,56	0,319018319	0,257805976
0,57	0,324795041	0,272931147
0,58	0,330360846	0,287964115
0,59	0,335705497	0,302897979
0,6	0,340818898	0,317725916
0,61	0,345691098	0,332441185
0,62	0,350312297	0,347037127
0,63	0,354672853	0,361507169
0,64	0,358763288	0,375844824
0,65	0,36257429	0,390043694
0,66	0,366096722	0,404097471
0,67	0,369321629	0,417999939
0,68	0,372240237	0,431744976
0,69	0,374843966	0,445326556
0,7	0,377124429	0,458738746
0,71	0,379073438	0,471975717
0,72	0,380683013	0,485031734
0,73	0,381945379	0,497901169
0,74	0,38285298	0,510578492
0,75	0,383398474	0,52305828
0,76	0,383574744	0,535335214
0,77	0,3833749	0,547404081
0,78	0,382792282	0,559259777
0,79	0,381820464	0,570897307
0,8	0,380453258	0,582311786
0,81	0,378684721	0,59349844
0,82	0,376509152	0,604452608
0,83	0,3739211	0,615169741
0,84	0,370915365	0,625645404
0,85	0,367487004	0,63587528
0,86	0,363631328	0,645855166
0,87	0,359343912	0,655580976
0,88	0,354620592	0,665048741

Продолжение таблицы 25

0,89	0,34945747	0,674254613
0,9	0,343850915	0,683194859
0,91	0,337797567	0,691865871
0,92	0,331294338	0,700264156
0,93	0,324338413	0,708386346
0,94	0,316927251	0,716229193
0,95	0,309058592	0,723789571
0,96	0,30073045	0,731064475
0,97	0,291941122	0,738051026
0,98	0,282689185	0,744746464
0,99	0,272973497	0,751148157
1	0,2627932	0,757253593

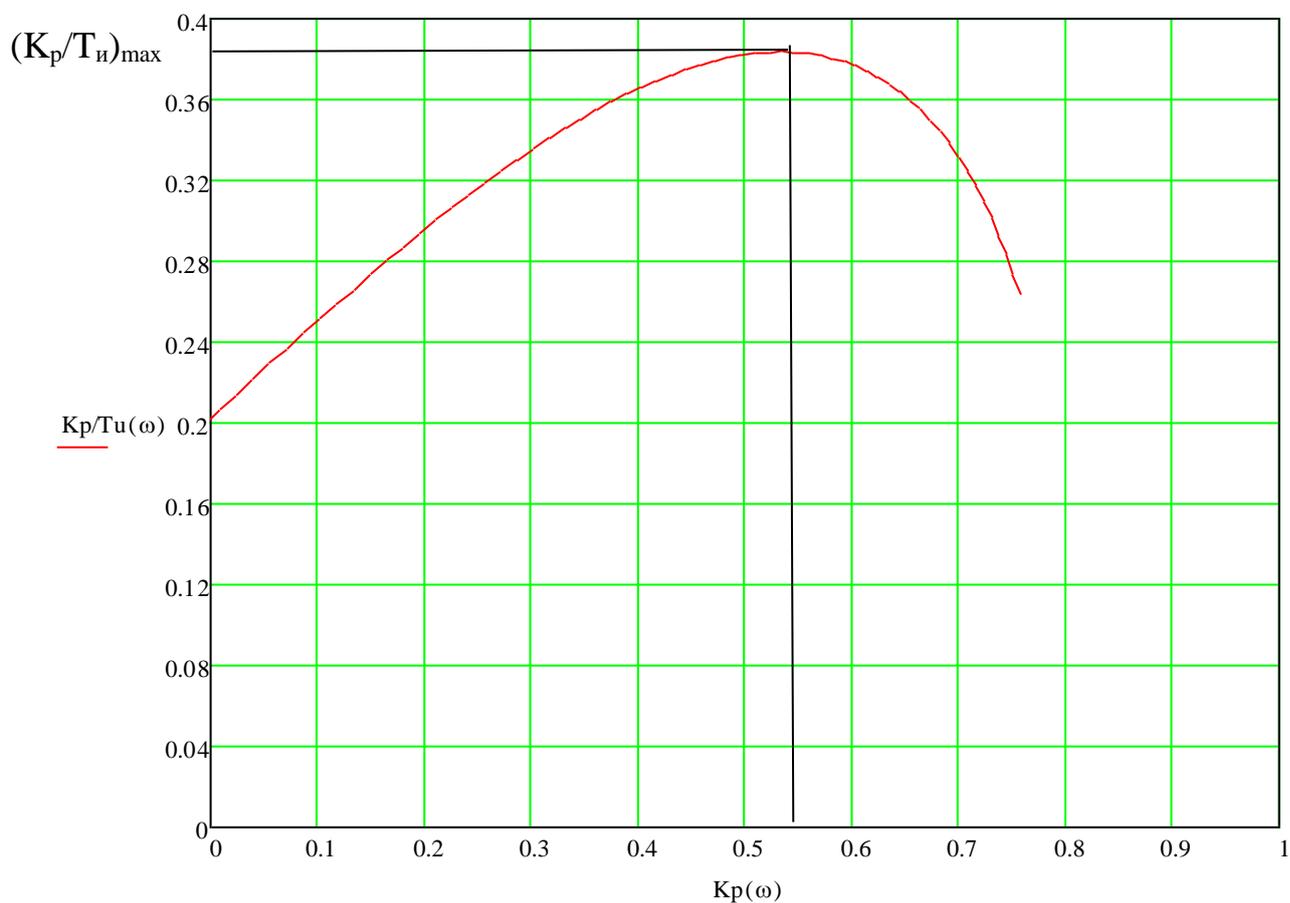


Рисунок 5 – Расчет настройки ПИ-регулятора

Полученная кривая построена для степени колебательности $m = 0,221$, что соответствует степени затухания процесса регулирования $\Psi = 0,75$. Таким

образом, все значения параметров $\frac{K_p}{T_u}$ и K_p , лежащие на этой кривой, обеспечивают требуемую степень затухания переходных процессов в системе.

Оптимальные параметры настройки регулятора определяются при достижении экстремума принятой оценки качества.

Для апериодических и колебательных переходных процессов целесообразно применять линейную интегральную оценку:

$$I_2 = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt; \quad (9)$$

Минимуму данной интегральной оценки соответствует точка $\left(\frac{K_p}{T_u} \right)_{\max}$

на линии заданного запаса устойчивости.

Используя данные таблицы 25 и рисунка 5, определим оптимальные параметры настройки регулятора:

$$K_p = 0,53534 \text{ и } \frac{K_p}{T_u} = 0,38357.$$

Резонансная частота замкнутой системы:

$$\omega_{рез} = 0,76 \text{ с}^{-1}.$$

Постоянная интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{0,74874}{0,13183} = 1,39 \text{ с}. \quad (10)$$

Передаточная функция по каналу задающего воздействия s–y:

$$W_{s-y} = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)}, \quad (11)$$

где $W_{об}(P)$, $W_p(P)$ – передаточная функция объекта и регулятора соответственно.

Исходя из полученных результатов и (11), запишем:

$$W_{s-y} = \frac{1,071e^{-1,5P} \cdot (1,39P + 1)}{1,39P \cdot (2P + 1) + 1,071e^{-1,5P} \cdot (1,39P + 1)}$$

Задав диапазон изменения частоты $\omega = 0 \div 5 \text{ c}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,01 \text{ c}^{-1}$, рассчитаем вещественную частотную характеристику замкнутой АСР $\text{Re}_{3.C}(\omega)$. Результаты расчёта приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы по каналу s–y

ω, c^{-1}	$\text{Re}_{3.C}(\omega)$
0	1
0,1	1,010331744
0,2	1,03988721
0,3	1,082759632
0,4	1,120477628
0,5	1,090387807
0,6	0,771222379
0,7	-0,38954787
0,8	-1,91707345
0,9	-1,93731162
1	-1,38335051
1,1	-0,94140847
1,2	-0,64358989
1,3	-0,44091575
1,4	-0,29789378
1,5	-0,19334681
1,6	-0,11466242
1,7	-0,05407264
1,8	-0,00660427
1,9	0,031043752
2	0,061132864
2,1	0,08525432
2,2	0,104552842
2,3	0,119866651
2,4	0,131817846
2,5	0,140872373
2,6	0,147380835
2,7	0,151606943
2,8	0,153747839
2,9	0,15394902
3	0,152315679
3,1	0,148921714
3,2	0,143817347
3,3	0,137036049

Продолжение таблицы 26

3,4	0,12860137
3,5	0,118534174
3,6	0,106860722
3,7	0,093621955
3,8	0,078884198
3,9	0,06275127
4	0,045377652
4,1	0,02698182
4,2	0,007858191
4,3	-0,01161463
4,4	-0,03097225
4,5	-0,04967287
4,6	-0,06711821
4,7	-0,08268826
4,8	-0,09578812
4,9	-0,10590179
5	-0,11264475
5,1	-0,11580554
5,2	-0,11536805
5,3	-0,11150975
5,4	-0,10457679
5,5	-0,09504181
5,6	-0,08345313
5,7	-0,07038449
5,8	-0,05639239
5,9	-0,04198484
6	-0,02760247
6,1	-0,01361066
6,2	-0,00029998
6,3	0,012107756
6,4	0,023450361
6,5	0,03361507
6,6	0,04252852
6,7	0,050147702
6,8	0,056452307
6,9	0,061438538
7	0,065114381
7,1	0,06749621
7,2	0,068606563
7,3	0,068472964
7,4	0,067127652
7,5	0,064608103
7,6	0,060958267
7,7	0,056230411

Продолжение таблицы 26

7,8	0,050487483
7,9	0,043805875
8	0,036278406
8,1	0,028017303
8,2	0,019156855
8,3	0,009855351
8,4	0,000295819
8,5	-0,00931495
8,6	-0,01874959
8,7	-0,02776591
8,8	-0,03611532
8,9	-0,04355385
9	-0,04985482
9,1	-0,05482235
9,2	-0,05830413
9,3	-0,06020187
9,4	-0,06047818
9,5	-0,05915872
9,6	-0,05632953
9,7	-0,05212988
9,8	-0,04674158
9,9	-0,04037639
10	-0,03326282

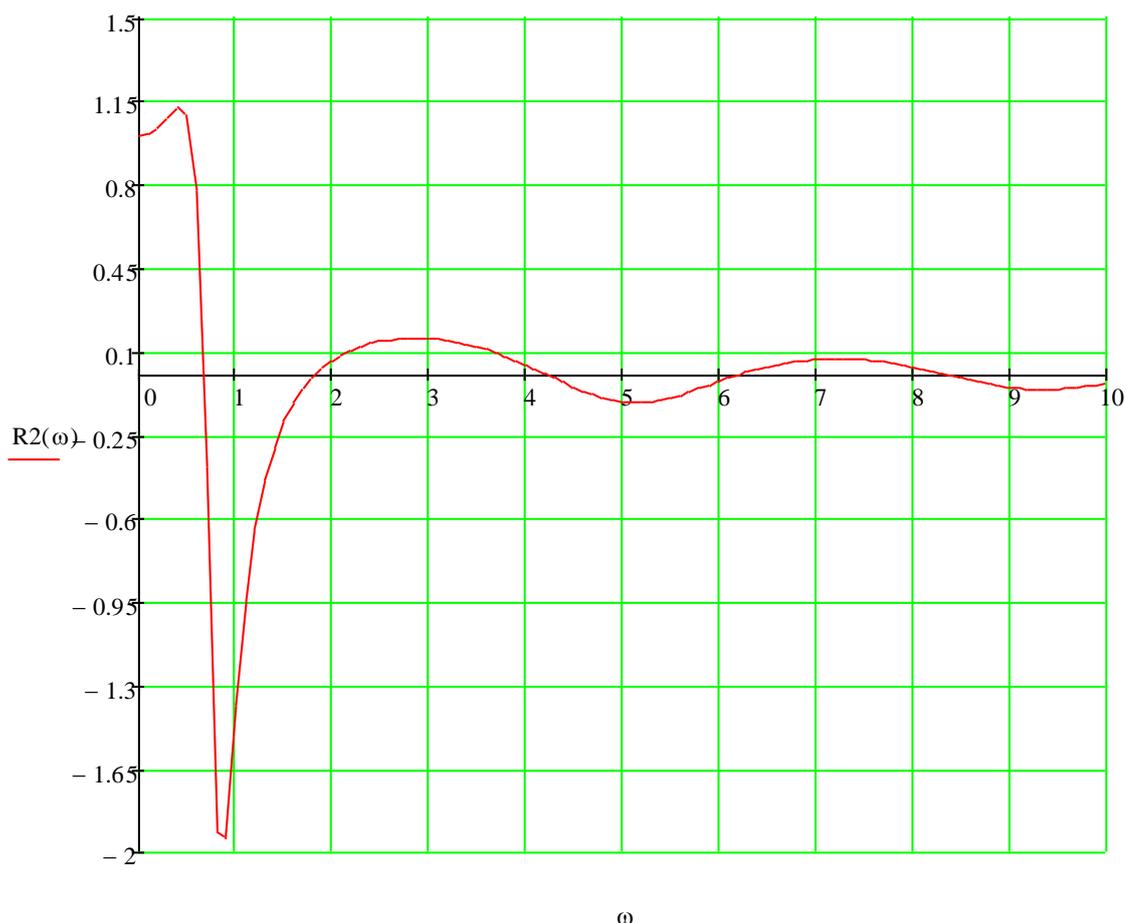


Рисунок 6 – График ВЧХ замкнутой системы по каналу s–y

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитывается по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\omega_c} \frac{\text{Re}_{3.C.}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) \cdot d\omega, \quad (12)$$

где ω_c – частота определяемая при бесконечно малом значении $\text{Re}(\omega)$. Для данных условий задачи возьмем $\omega_c = 10$.

Используя (12), рассчитаем переходный процесс в замкнутой АСР в интервале времени $t = 0 \div 50$ с. с шагом $\Delta t = 1$ с., Результаты расчета представим в таблице 27.

Таблица 27 – Результаты расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу s–y

t, с	y(t)
0	0
1	3,56938E-06

Продолжение таблицы 27

2	0,281027763
3	0,906104583
4	1,42499417
5	1,594921802
6	1,428791913
7	1,101137505
8	0,818456978
9	0,705413329
10	0,768818888
11	0,927259232
12	1,076084575
13	1,145210606
14	1,123620764
15	1,047703768
16	0,970114845
17	0,929283086
18	0,934693312
19	0,970505023
20	1,010526412
21	1,033978491
22	1,034117942
23	1,017519308
24	0,99709827
25	0,983932113
26	0,982348345
27	0,989838801
28	1,000188288
29	1,007494734
30	1,009023421
31	1,005712719
32	1,000552028
33	0,996593755
34	0,995430927
35	0,996629065
36	0,999386748
37	1,001509584
38	1,002288732
39	1,001726137
40	1,000479938
41	0,999356492
42	0,998866515
43	0,999005615
44	0,999670935
45	1,000261255

Продолжение таблицы 27

46	1,000556654
47	1,000486823
48	1,000199235
49	0,999891739
50	0,999326514

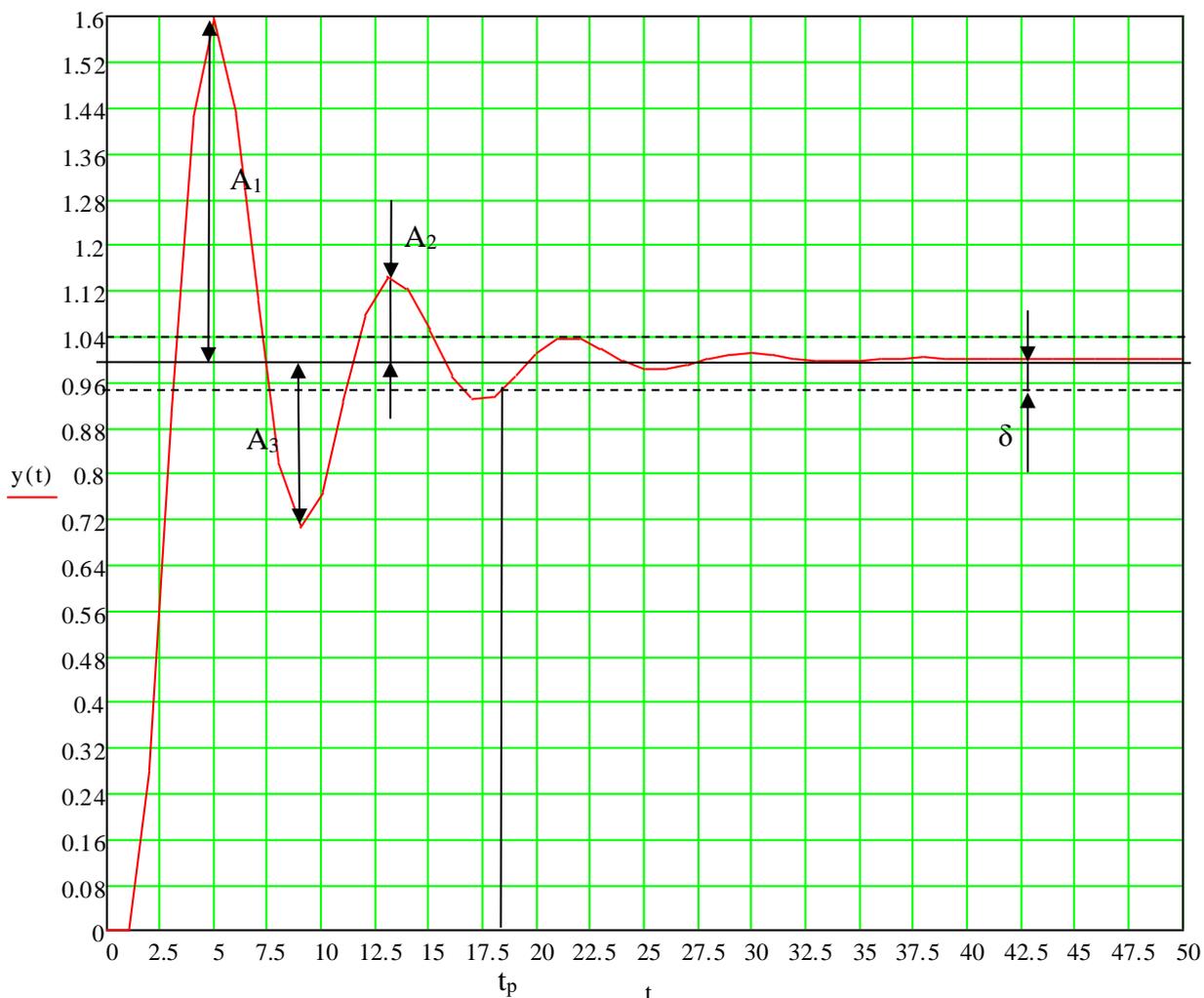


Рисунок 7 – Результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

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.

Произведём оценку качества переходного процесса, исходя из данных таблицы 27 и рисунка 7,

Прямые критерии качества:

1. Максимальная динамическая ошибка процесса: $A_1 = 0,5949$;
2. Перерегулирование σ , %:

$$\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100 = \frac{0,5949}{1} \cdot 100 = 59,49 \%, \quad (13)$$

где $y(\infty) = 1$ – установившееся значение регулируемой величины в момент времени $t = \infty$;

3. Степень затухания данного переходного процесса ψ :

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,1452}{0,5949} = 0,75, \quad (14)$$

где $A_2 = 0,1452$ – второй максимальный выброс регулируемой величины (рисунок 7);

4. Статическая ошибка переходного процесса ε_{cm} :

$$\varepsilon_{cm} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0, \quad (15)$$

где $S = 1(t)$ – единичная ступенчатая функция, подаваемая на вход системы;

5. Время регулирования процесса t_p , с при величине

$$\delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 0,05 \cdot 1 = 0,05:$$

$$t_p = 18,5 \text{ с.}$$