

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДА ОБЩЕГО ВОЗДУХА ПАРОГЕНЕРАТОРА БКЗ 210-140 ТОМСКОЙ ГРЭС-2</b>

УДК 681.518.2:621.311.22:621.181

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б7В	Курапов Роман Максимович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Кац Марк Давыдович	к.ф.-м. н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Клемашева Елена Игоревна	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Мезенцева Ирина Леонидовна	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2021 г.

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

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Способен применять принципы системного мышления и подхода к решению профессиональных задач в теплоэнергетике, осуществлять поиск необходимой информации и применять при ее синтезе методику критического и логически правильного мышления	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P2	Формулировать задачи в области теплоэнергетики и теплотехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P3	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P4	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P5	Умеет толерантно воспринимать специфику межкультурного разнообразия с соблюдением этических норм и учетом социально-исторического и философского контекста	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
		Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P6	Непрерывно самообучаться и совершенствовать свои компетенции в области теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Поддерживать уровень физической подготовки, обеспечивающий полноценную социальную и профессиональную деятельность	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Учитывать социальные, правовые и культурные аспекты, вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности при осуществлении комплексной инженерной деятельности в области теплоэнергетики и теплотехники	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P9	Применять знания о методах защиты в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций, навыки оказания первой помощи	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Способен осуществлять поиск, обработку и анализ информации из различных источников и представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P11	Способен применять математические, естественнонаучные, инженерные знания, компьютерные технологии, методы анализа и моделирования в теоретических и экспериментальных исследованиях при решении профессиональных задач расчета тепловых процессов, оборудования и систем автоматизации в промышленных и энергетических установках	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P12	Способен вести инженерную деятельность, разрабатывать, оформлять и использовать техническую проектную и эксплуатационную документацию в соответствии с требованиями действующих нормативных документов	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления

Код	Результат освоения ООП	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
		производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P13	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач, владеть навыками выполнения специальных расчетов, разработки проектной и конструкторской документации при проектировании теплоэнергетического оборудования и построении АСУ ТП	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-2), CDIO Syllabus (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.015 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P14	Способен выполнять предпроектное обследование объектов проектирования, разработку эскизных проектов и предварительной технико-экономическое обоснование для теплового оборудования, объектов теплоэнергетики и автоматизированных систем	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК(У)-3), CDIO Syllabus (4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P15	Способен применять знания методов и средств автоматизации и контроля параметров, навыков выполнения измерений, а также теоретических основ метрологии и стандартизации при осуществлении контроля параметров технологических процессов и показателей качества рабочего тела и при организации метрологического обеспечения технологических процессов в теплоэнергетике	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P16	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия для объектов теплоэнергетики	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)
P17	Способен применять знания физико-химических, технологических процессов и технических условий производства на тепловых и атомных электрических станциях, демонстрировать знания назначения и принципов работы микропроцессорных устройств, технологических защит и блокировок в процессе ввода и эксплуатации АСУ технологическими процессами	Компетенции ФГОС ВО, СУОС ТПУ, CDIO Syllabus, АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 40.057 «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.178 «Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами»)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа энергетики  
 Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

**УТВЕРЖДАЮ:**  
 Руководитель специализации ООП  
Ю.К. Атрошенко  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б7В	Курапову Роману Максимовичу

Тема работы:

Автоматическая система контроля и управления расхода общего воздуха парогенератора БКЗ 210-140 Томской ГРЭС – 2	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	29.01.2021 № 29-59/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2021 года
--	------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Публикации с достижениями в области создания и использования АСР расхода общего воздуха барабанного парогенератора.</li> <li>2. Требования к системе контроля и управления расхода общего воздуха парогенератора:             <ul style="list-style-type: none"> <li>- двухуровневая система;</li> <li>- на основе микропроцессорной техники;</li> <li>- обеспечение степени затухания переходных процессов не ниже 0,75.</li> </ul> </li> </ol>
---------------------------------	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор по литературным источникам (технология объекта, структуры автоматизации, технических средств контроля и автоматизации). Выбор оптимальных вариантов.</li> <li>2. Проектирование автоматической системы контроля и регулирования питания водой парогенератора на базе современных технических средств.</li> <li>3. Экспериментальное определение динамических и статических характеристик объекта управления; параметрический синтез системы управления (расчет ОПН регулятора, построение переходных процессов по каналу возмущения со стороны РО и задания оценка качества переходных процессов).</li> <li>4. Исследование влияющих факторов на качество переходных процессов на модели объекта.</li> <li>5. Разработка мнемосхемы для АСУ расхода общего воздуха парогенератора.</li> <li>6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li> <li>7. Социальная ответственность.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Схема функциональная.</li> <li>2. Схема принципиальная электрическая щита управления.</li> <li>3. Схема монтажная.</li> <li>4. Общий вид щита управления.</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p>	
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	
<p>Социальная ответственность</p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>01.12.20</p>
--	-----------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>	<p>М.Д. Кац</p>	<p>к.ф.-м. н.</p>		<p>01.12.20</p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5Б7В</p>	<p>Курапов Роман Максимович</p>		<p>01.12.20</p>

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 93 страниц, 14 рисунков, 30 таблиц, 27 источника литературы, 11 л. графического материала.

Ключевые слова: парогенератор, автоматическая система контроля и регулирования, автоматизация, теплоэнергетика, расход общего воздуха.

Объектом автоматизации является парогенератор БКЗ 210-140.

Цель работы – модернизация автоматической системы регулирования расхода общего воздуха парогенератора БКЗ 210–140.

В данной работе выбрана структура АСР, разработана функциональная схема, принципиальная электрическая схема, монтажная схема и общий вид щита управления, произведен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация, рассчитан регулятор и получены прямые оценки качества, разработано программное обеспечение среднего и верхнего уровня, проведена оценка коммерческой ценности проекта, а также рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

## Содержание

1 Анализ объекта автоматизации .....	10
2 Выбор структуры автоматической системы регулирования .....	12
3 Разработка функциональной схемы АСР расхода общего воздуха парового котла.....	18
4 Выбор технических средств АСР расхода общего воздуха парового котла	20
5 Разработка принципиальной электрической схемы .....	33
6 Разработка монтажной схемы системы регулирования .....	35
7 Разработка общего вида щита управления .....	37
8 Расчёт параметров настройки ПИ-регулятора .....	39
9 Мнемосхема .....	43
10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	45
11 Социальная ответственность .....	62
Заключение .....	74
Список использованных источников .....	74
Приложение А Статическая и динамическая характеристика системы.....	79
Приложение Б Временные показатели проведения научного исследования .	91
Графический материал (на отдельных листах):	
Схема структурная – ФЮРА.421000.011 С1;	
Схема функциональная – ФЮРА. 421000.011 С2;	
Заказная спецификация – ФЮРА.421000.011 СО1;	
Схема электрическая – ФЮРА.421000.011 Э3;	
Перечень элементов – ФЮРА.421000.011 ПЭ3;	
Схема монтажная – ФЮРА.421000.011 Э4;	
Общий вид щита управления – ФЮРА.421000.011 ВО;	

## Введение

Уровню автоматизации в теплоэнергетика занимает ведущее место по уровню автоматизации среди других отраслей промышленности.

Стоит отметить, что теплоэнергетические установки располагаются непосредственно у конечного потребителя, т.е. населения, либо очень близко к нему.

В соответствии с этим данное обстоятельство накладывает определенные требования к теплоэнергетическим комплексам:

- 1) безопасность для окружающих;
- 2) надежность и замкнутость системы;
- 3) снижения уровня загрязнений воздушного и водного бассейна, прилегающей территории – экологический аспект;
- 4) оперативность локализации и устранения ЧС на производстве;
- 5) инновации и передовые технологии – как возможность комплексного решения и улучшения вышеперечисленных аспектов.

Автоматизация парового котла позволяет задать наиболее благоприятные рабочие параметры работы котла, улучшить работу котла, поднять условия труда, повысить экономичность и надежность, сократить количество персонала занимающегося обслуживанием котла, ввести постоянный контроль и управление за всей цепочкой технологического процесса. Современные котельные установки оборудованы различными системами: автоматический процесс сжигания топлива, регулирование питания, поддержка параметров горячей воды и пара.

## 1 Анализ объекта автоматизации

### 1.1 Технологическая схема парогенератора. Назначение его отдельных элементов

В качестве объекта автоматизации выбран паровой котел марки БКЗ-210-140. Котел изготовлен Барнаульским котельным заводом и установлен на Томской ГРЭС-2.

Котел однобарабанный, П-образной компоновкой поверхности нагрева, а также с естественной циркуляцией. Технические характеристики котла БКЗ-210-140 приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Технические характеристики котла БКЗ-210-140

Параметр	Значение
Расход свежего пара на выходе, т/ч	210
Давление свежего пара на выходе, МПа	13,8
Температура свежего пара, °С	560
Топливо	Антрацит
КПД брутто, %	84,5

### 1.2 Котельный агрегат как объект регулирования

Паровой котел, как объект автоматизации, является сложной системой, состоящей из множества локальных АСР, выполняющих свою функцию. Котлоагрегат можно рассматривать как сложную динамическую систему, обладающую не стационарностью, множеством не линейно изменяющихся параметров, имеющую большую инерционность, запаздывание.

Технологическая схема котла представлена на рисунке 2 [2].

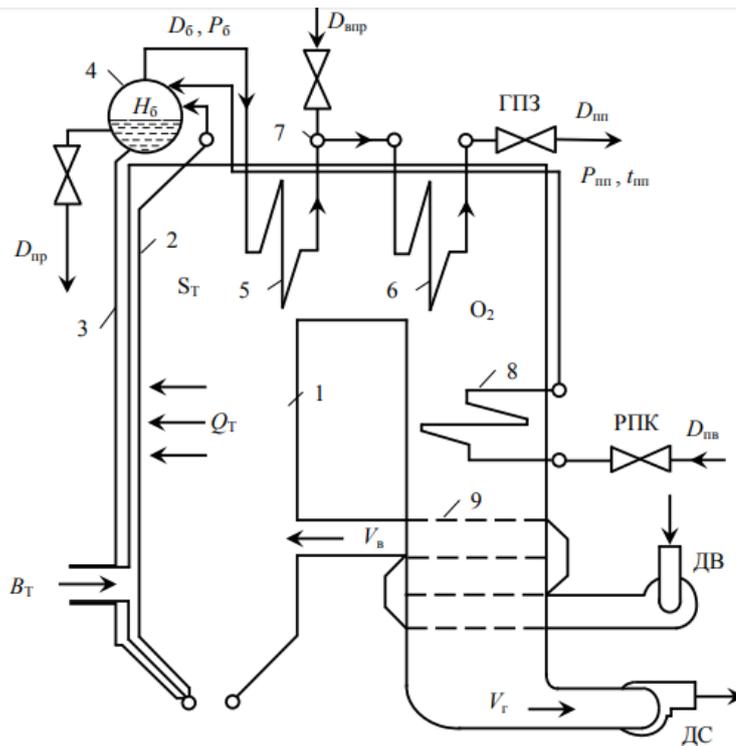


Рисунок 1 – Технологическая схема барабанного парового котла средней мощности

На рисунке 1 под цифрами изображено:

- 1) топка;
- 2) подъёмные трубы;
- 3) опускные трубы;
- 4) барабан котла;
- 5) первый пакет пароперегревателей;
- 6) второй пакет пароперегревателей;
- 7) ПО – пароохладитель;
- 8) водяной экономайзер;
- 9) воздухоподогреватель.

## 2 Выбор структуры автоматической системы регулирования

При рассмотрении парогенераторов, как объекта регулирования необходимо понимать, что для обеспечения экономичной и что не мало важно надежной работы котла при стационарных и переходных режимах работы парогенератора, необходимо установить и контролировать значения различных параметров.

Автоматические системы регулирование расхода воздуха парогенератора включает несколько локальных систем:

- система расхода общего воздуха;
- система разрежения воздуха в топке котла;
- система регулирования давления первичного воздуха.

Самая простая в исполнении система регулирования расхода общего воздуха «топливо-воздух» основана на точном измерение расхода топлива, поступающего в топку. Она используется для жидкого и газообразного топлива, но использование с твердыми видами топлива проблематично из-за невозможности точно измерить его расход. Так же широко распространены котлоагрегаты в которых используется схема «пар- воздух».

### 2.1 Схема системы автоматического регулирования «тепло-воздух»

В данной схеме импульс по «теплу», используется для косвенного вычисления расхода топлива и является сигналом задания. Сигналы от дифференциатора, которые показывает изменение давления в барабане котла, и от датчика расхода пара формируют импульс по «теплу» на входе регулятора воздуха. Датчик содержания кислорода в дымовых газах является корректирующим. В соответствии с импульсом по «теплу» регулирующим органом корректируется расход общего воздуха.

Схема системы с последовательным воздействием на воздух приведена на рисунке 2 [2].

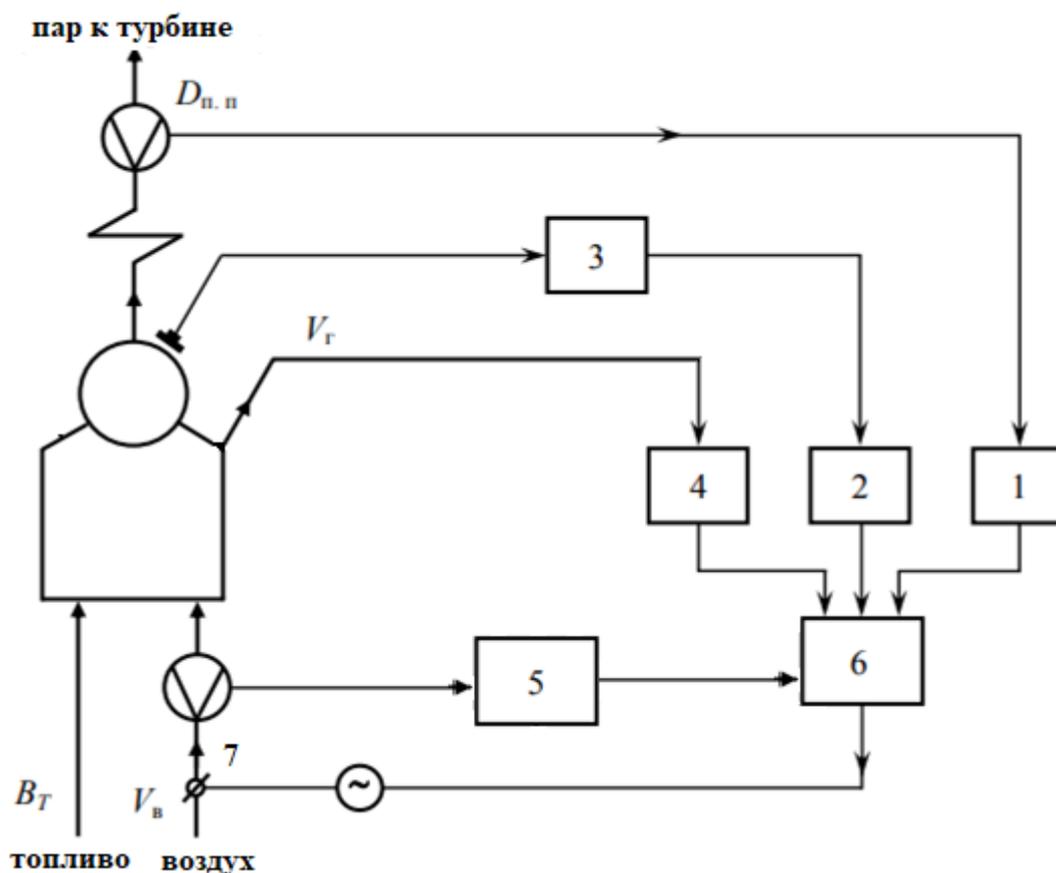


Рисунок 2 – Схема «тепло-воздух» с последовательным воздействием на воздух

На рисунке 2 под цифрами изображено:

- 1) датчик расхода пара;
- 2) дифференциатор;
- 3) датчик давления пара в барабане;
- 4) датчик расхода воздуха;
- 5) датчик содержания кислорода в дымовых газах;
- 6) регулятор воздуха;
- 7) регулирующий орган.

Данная схема при динамично меняющейся нагрузке позволяет точно определять тепло выделяющегося в топке по показаниям расходомера пара. Вследствие данной схема подходит для котлоагрегатов работающих в не стационарных режимах.

Схема системы с параллельным воздействием на воздух приведена на рисунке 3 [2].

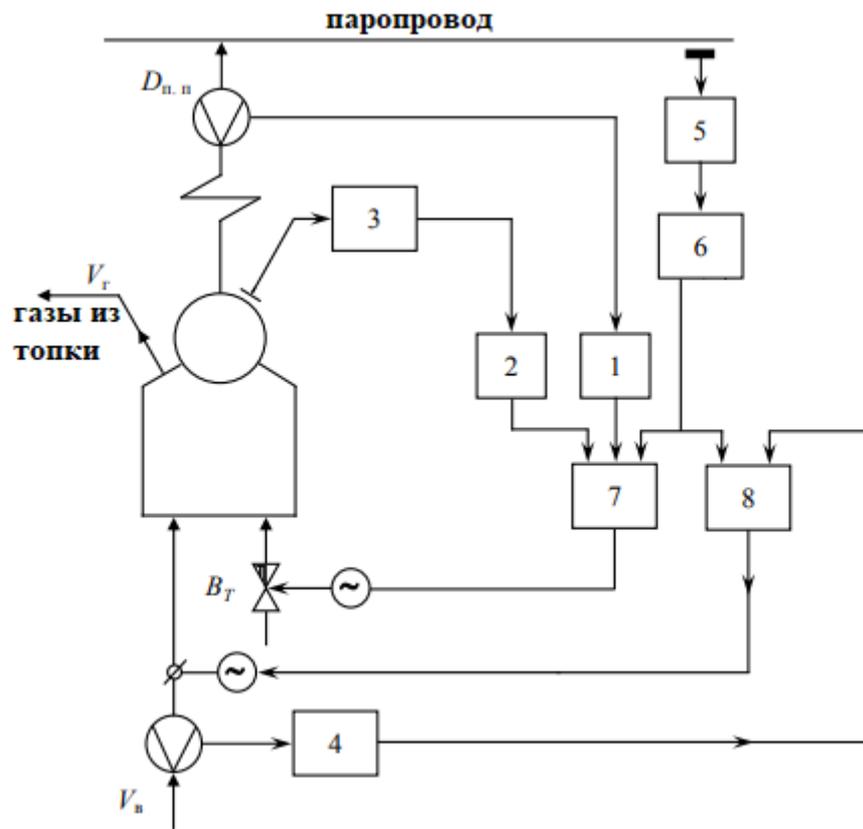


Рисунок 3 – Схема регулирования «тепло-воздух» с параллельным воздействием на воздух

На рисунке 3 под цифрами изображено:

- 1) датчик расхода пара;
- 2) дифференциатор;
- 3) датчик давления пара в барабане;
- 4) датчик расхода воздуха;
- 5) датчик давления пара;
- 6) корректирующий регулятор;
- 7) регулятор тепловой нагрузки;
- 8) регулятор воздуха.

Принцип работы данной системы регулирования заключается в следующем. Импульс по «теплу» формируется на входе регулятора тепловой

нагрузки аналогично предыдущей схеме по сигналу от датчиков расхода пара и давления пара в барабане и дифференциатора.

Давление перегретого пара является задающим сигналом для регулирования расхода общего воздуха и расхода топлива в топку котла. Импульс от корректирующего регулятора должен быть равен импульсу по «теплу» для работ парогенератора в стационарном режиме. Сигнал с датчика расхода воздуха выступает в качестве отрицательной обратной связи на регулятор воздуха, а расход воздуха изменяется регулирующим устройством регулятора воздуха.

Работа регулятора воздуха и регулятора тепловой нагрузки взаимосвязана, поэтому при поломке второго, первый не сможет корректно работать, что сказывается на общей надежности системы [2].

Изменение импульса по теплу имеет малое запаздывания и постоянную времени. Так же система учитывает как внутренние, так и внешние возмущения.

## 2.2 Схема регулирования «пар-воздух»

В данной схеме содержание кислорода в газах исходящих из топки котла будет сигналом для корректирующего регулятора. Содержание кислорода говорит об избытке или недостатке воздуха и не зависит от количества топлива в топке котла. Использовать сигнал по кислороду в качестве задающего невозможно из-за отсутствия датчиков с требуемым быстродействием.

К недостаткам данной схемы относиться то, что при динамично меняющейся нагрузке падает точность определения тепла выделяющегося в топке по показаниям расходомера пара. Поэтому схема подходит для случаев, когда котлоагрегат работает в стационарном режиме [3].

Включая импульс по «теплу» в систему, который формируется по сигналу от датчиков расхода пара и давления пара в барабане и дифференциатора, характеризующий количество теплоты, то можно

увеличить динамические свойства регулятора. Такая схема получила название «теплота-воздух» и была рассмотрена ранее.

Большую часть времени паровой котёл работает в условиях мало изменяющихся нагрузок. Если изменения нагрузки плавное и редкое, то схема автоматической системы регулирования «пар-воздух» будет наиболее подходящей из-за лучшей надёжности и простотой исполнения в реальном промышленном объекте [3].

Томская ГРЭС 2 работает в режиме изменяющихся нагрузок из-за теплофикации. Поэтому следует выбирать схему «Тепло-воздух» с последовательным воздействием на воздух.

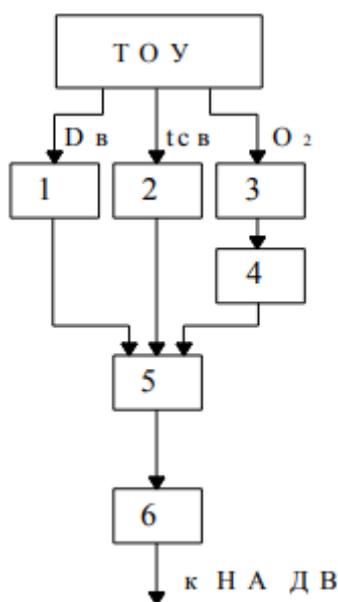


Рисунок 4 – Схема регулирования «пар-воздух»

На рисунке 4 обозначено:

- 1) датчик расхода общего воздуха;
- 2) датчик расхода пара;
- 3) газоанализатор кислорода;
- 4) корректирующий регулятор;
- 5) регулятор общего воздуха;
- 6) исполнительный механизм (ИМ);
- 7) НА – направляющий аппарат; ДВ – дутьевой вентилятор.

Структурная схема автоматической системы регулирования расхода общего воздуха парового котла приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.011 С1.

Для измерения расхода общего воздуха и свежего пара используются датчики расхода ПП4 и ПП1. Для измерения давления в барабане котла используется датчик давления ПП3, а для измерения содержания кислорода в топочных газах используется газоанализатор ПП2. Для измерения положения вал исполнительного механизма используется датчик положения ДП. Унифицированный сигнал от поступает на контроллер РУ, микропроцессор контроллера использует эти значения для вычисления управляющих выходных сигналов.

Выходной сигнал подается на пусковое устройство ПУ. ПУ передает сигнал на исполнительный механизм. Вал ИМ вращается и меняет положение регулирующего органа РО. Регулирующим органом является направляющий аппарат дутьевого вентилятора. В случае необходимости ручное управление осуществляется через БРУ.

### 3 Разработка функциональной схемы АСР расхода общего воздуха парового котла

Функциональная схема является основным техническим документом, в котором требуется отразить функционально-блочную структуру узлов контроля, технологический процесс, расположенные на объекте приборы и средства автоматизации [5].

Получение информации о состоянии технологического процесса и оборудования осуществляется посредством технического контроля, при проведении которого определяется соответствие оборудования установленным техническим требованиям.

В данной работе приведена АСР расхода общего воздуха парового котла. В этом случае контролируются следующие участки пароводяного тракта: барабан котла и участок парового тракта между выходом пара из котла и главной паровой задвижкой. Участки газовоздушного тракта: участок, проходящий через воздухоподогреватель, а также участок на выходе из топки котла. На этих участках расположены точки отбора измерительной информации.

Точка воздействия на регулируемый параметр находится на газовоздушном тракте на участке за дутьевым вентилятором.

Перечень регулируемых и контролируемых параметров и их диапазоны измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Регулируемые и контролируемые параметры

Контролируемые параметры:	Диапазон изменения
Расход перегретого пара, т/ч	До 210
Содержание кислорода в дымовых газах, об. %	До 10
Расхода общего воздуха, м <sup>3</sup> /ч	До 37000
Поворот вала исполнительного механизма, %	0-100
Давление в барабане котла, МПа	13,8
Регулируемый параметр:	
Угол поворота лопастей направляющего аппарата дутьевого вентилятора, град.	0-90

Функциональная схема АСР расхода общего воздуха парового котла представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.011 С2.

Измерение давления в барабане котла производится датчиком давления 1а. Измерение расхода общего воздуха осуществляется преобразователем разности давлений 2а. Измерение расхода перегретого пара осуществляется на сужающей диафрагме 3а при помощи уравнительного конденсационного сосуда 3б преобразователем разности давлений 3в. Унифицированный сигнал от преобразователей разности давления поступает на вход контроллера.

Измерение содержания кислорода в дымовых газах осуществляется газоанализатором 4а.

Микропроцессор контроллера использует значения этих параметров для вычисления управляющего выходного сигнала. Выходной сигнал подается на пусковое устройство 5б исполнительного механизма 5в. В исполнительный механизм направляющего аппарата встроены блок датчика положения 5г, который может передавать информацию о положении вала исполнительного механизма на контроллер. Для ручного задания положения предусмотрен блок ручного управления 5а.

4 Выбор технических средств АСР расхода общего воздуха парового котла

#### 4.1 Программируемый логический контроллер

Для реализации алгоритмов управления и упрощения системы управления используем программируемый контроллер.

В зависимости расположения модулей ввода-вывода промышленных контроллеров различают: моноблочные ПЛК, модульные ПЛК, распределенные ПЛК.

Согласно ГОСТ Р 58604-2019 к контроллерам, используемых на тепловых электрических станциях предъявляются следующие требования [6]:

- контроллеры должны оперативно и без потерь обрабатывать внутренние и внешние события и обмениваться информацией и командами с другими элементами системы;

- в составе устройства должна быть внутренняя память;

- программное обеспечение ПЛК, должно соответствовать ГОСТ 24.104 и новому ГОСТ Р 8.654;

- контроллеры должны быть оснащены высокопроизводительными операционными системами.

На основании вышеприведенных требований рассмотрим два контроллера различных фирм зарубежного и отечественного производителя.

##### 4.1.1 Программируемый контроллер фирмы Siemens

Контроллер модульной конструкции SIMATIC S7-300 для систем различной сложности. Эффективному применению контроллера способствует наличие широкой гаммы центральных процессоров, модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов и модулей блоков [7].

Произведем подбор модулей программируемого контроллера SIMATIC S7-300.

#### 4.1.1.1 Модуль центрального процессора CPU 312 6ES7 312-1AE14-0AB0

Предназначен для построения систем управления низкой степени сложности. Есть возможность подключения до 6 модулей S7-300 на систему локального ввода-вывода. Имеет встроенный интерфейс MPI [8]. Технические данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Технические данные модуля центрального процессора CPU 312

Параметры	Характеристики
Питание	
Номинальное значение напряжения питания	24 В
Память	
Встроенная память для выполнения программы и хранения данных	32 Кбайт
Емкость энергозависимой памяти для сохранения блоков данных	32 Кбайт
Габариты и масса	
Габариты (ШхВхГ) в мм.	40x125x130
Масса	270

#### 4.1.1.2 Модуль питания PS 307

Модуль предназначен для формирования напряжения 24 В для обеспечения питания модулей контроллера. Технические данные приведены в таблице 4 [8].

Таблица 4 – Технические данные модуля питания PS 307

Параметры	Характеристики
Значение напряжения на входе 60Гц	230 В переменного тока
Выходные данные	
Номинальное значение выходного напряжения	24 В постоянного тока
Допустимый диапазон	24 В $\pm$ 3 %

#### 4.1.1.3 Модуль ввода аналоговых сигналов SM 331-7HF01-0AB0

Модуль предназначен для подключения к контроллеру аналоговых датчиков. Выполняет преобразования аналоговых сигналов при помощи встроенных аппаратных средств [8]. Технические данные приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические данные модуля ввода аналоговых сигналов SM 331-7HF01-0AB0

Параметры	Характеристики
Конструктивные особенности	
Габариты (ШxВxГ) в мм.	40x125x117
Масса	0,23 кг
Характеристика модуля	
Общее количество входов	8
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	4x2
Характеристика модуля	
Общее количество входов	8
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	4x2
Подключение внешних цепей через	40-полюсный фронтальный соединитель
Напряжение, токи, потенциалы	
Напряжение питания входной электроники модуля	24 В
Выходной ток одного канала для цепи питания датчиков	30 мА

#### 4.1.1.4 Модуль вывода аналоговых сигналов SM 332-5HD01-0AB0

Модуль преобразует цифровые сигналы контроллера в требуемые унифицированные аналоговые сигналы [8]. Технические данные представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические данные модуля вывода аналоговых сигналов SM 332-5HD01-0AB0

Параметры	Характеристики
Конструктивные особенности	
Габариты (ШхВхГ) в мм.	40x125x117
Масса	0,220 кг
Подключение внешних цепей через	20-полюсный фронтальный соединитель
Характеристики модуля	
Общее количество выходов	4
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	1x4
Напряжение, токи, потенциалы	
Напряжение питания нагрузки	24 В
Данные для выбора исполнительных устройств	
Выходные сигналы	От 0 до 20 мА; от 4 до 20 мА
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при горизонтальной установке	От 0 до +60 °С
Диапазон температур при вертикальной установке	От 0 до +40 °С

#### 4.1.1.5 Модуль ввода-вывода дискретных сигналов SM 327-1BH00-0AB0

Модуль предназначен для преобразования дискретных сигналов подключенных устройств в логический вид для обработки центральным процессором и наоборот [8]. Технические данные представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические данные модуля ввода-вывода дискретных сигналов SM 327-1BH00-0AB0

Параметры	Характеристики
Конструктивные особенности	
Габариты (ШхВхГ) в мм.	40x125x117
Масса	0,22 кг
Подключение внешних цепей через	20-полюсный фронтальный соединитель

Продолжение таблицы 7

Параметры	Характеристики
Дискретные входы и выходы	
Количество входов	8; 8 встроенных, 8 параметрируемых по отдельности
Количество выходов	8 параметрируемых по отдельности
Напряжение, токи, потенциалы	
Номинальное значение напряжение внешних цепей	24 В
Данные для выбора датчиков	
Номинальное входное напряжение	24 В
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при горизонтальной установке	От 0 до +60°C
Диапазон температур при вертикальной установке	От 0 до +40°C

4.1.2 Программируемый логический контроллер фирмы Элеси ЭЛСИ-ТМК.

Модульный программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК для систем малого и среднего масштаба. Предназначен для измерения непрерывных сигналов и применяется для систем телемеханики и автоматике технологических объектов [9].

Произведем подбор модулей программируемого логического контроллера ЭЛСИ-ТМК.

4.1.2.1 Процессорный модуль ТС 711 А8

Процессорные модули ТС предназначены для логической обработки данных и выдачи сигналов управления в соответствии с прикладной программой, а также обмена данными между модулями [9]. Технические данные приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Технические данные процессорного модуля ТС 711 А8

Параметры	Характеристики
Процессор	
Тип процессора	Sitara (ARM Cortex-F8)
Тактовая частота, МГц	600
Память	
Объем оперативной памяти RAM, Мб	512
Объем энергонезависимой памяти (ЭНП), Мб	512
Поддержка модулей ввода/вывода	
Количество поддерживаемых модулей	10
Режимы работы	
Переключатель режимов работы	3-х позиционный
Режимы работы	Основной, резервный, сервисный

#### 4.1.2.2 Модуль дискретного ввода TD 721 16I 024DC

Модуль для преобразования входных дискретных сигналов и обеспечения сопряжения контроллера с различными датчиками, устройствами и исполнительными механизмами [9]. Технические данные представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Технические данные модуля ввода дискретных сигналов TD 721 16I 024DC

Параметры	Характеристики
Дискретные входы	
Общее количество входов, шт	16
Тип контакта	«сухой»
Эксплуатационные и конструктивные параметры	
Диапазон рабочих температур, °С	От 0 до +60
Масса	0,8 кг
Размеры, мм	25x193x143

#### 4.1.2.3 Модуль дискретного вывода TD 716 32O 024DC

Модуль для преобразования логических команд контроллера в выходные дискретные сигналы [9]. Технические данные приведены таблице 10.

Таблица 10 – Технические данные модуля вывода дискретных сигналов TD 716 32O 024DC

Параметры	Характеристики
Дискретные выходы, шт	32
Электрические параметры	
Потребляемая мощность, Вт	6
Эксплуатационные и конструктивные параметры	
Рабочая температура, °С	От -25 до +60
Масса, кг	0,8

#### 4.1.2.4 Модуль аналогового ввода ТА 715 24IDC

Модуль для измерения, нормализации и обработки сигналов постоянного тока или напряжения постоянного тока в составе контроллера ЭЛСИ-ТМК [9]. Технические данные приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Технические данные модуля аналогового ввода ТА 715 24IDC

Параметры	Характеристики
Аналоговые входы, шт	24
Схема подключения датчиков	2-х проводная
Электрические параметры	
Потребляемая мощность, Вт	6
Эксплуатационные и конструктивные параметры	
Диапазон рабочих температур, °С	От 0 до +60
Масса	0,8 кг
Размеры, мм	25x193x142

#### 4.1.2.5 Модуль аналогового вывода TA 714 80 DC

Модуль для формирования сигналов постоянного тока или напряжения постоянного тока в составе контроллера ЭЛСИ-ТМК [9]. Технические данные приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Технические данные модуля аналогового вывода TA 714 80 DC

Параметры	Характеристики
Аналоговые выходы	
Выходы, шт	8
Время преобразования, мс	От 20 до 2000
Схема подключения датчиков	2-х проводная
Диапазон рабочих температур, °С	От 0 до+60
Размеры ШхВхГ, мм, не более	50x193x136

Сравнивая два контроллера фирмы Siemens и Элеси, отдадим предпочтение контроллеру фирмы Siemens. Контроллеры данной фирмы давно зарекомендовали себя на рынке, как одни из самых качественных и надежных продуктов. Кроме того, контроллер S7 300 больше подходит по техническим данным, имеет больший функционал и конструкция модулей выгодна тем, что для подключения сигналов к контроллеру используются фронтальные соединители. Фронтальные соединители с зажимными контактами упрощают выполнение монтажных работ, позволяют производить, не демонтируя внешние соединения, замену модулей.

#### 4.2 Средства измерения расхода

##### 4.2.1 Датчики расхода пара

##### 4.2.1.1 Датчик дифференциального давления АИР-20/М2-МВ ДД 460 АЗ С05 2,5 МПа 16 МПа С КР2

Характеристики датчика:

– верхний предел измеряемого перепада давления от 0 до 2,5 МПа;

- максимальное статическое давление до 16 МПа
- выходной сигнал RS-485.

Цена: 37120 рублей [10].

#### 4.2.1.2 Датчик дифференциального давления Метран 150CD от ПГ «Метран»

Основные характеристики преобразователя:

- измерение разности давления нейтральных к нержавеющей стали сред (воздух, пар, различные жидкости);
- преобразование перепада давления в унифицированный сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА и HART-протокол;
- верхний предел измеряемого перепада давления (ВПИ) – ряд значений от  $\pm 250$  до  $\pm 6,3$  МПа;
- максимальное статическое давление до 40 МПа.

Цена: 30000 рублей [11].

Выбран датчик Метран 150CD из-за более выгодной цены и наличия унифицированного выходного сигнала. Для него выберем диафрагму ДВС 32–200 и сосуд уравнительный конденсационный СК-40-13-Б.

#### 4.2.2 Датчик расхода воздуха

Расход воздуха будет рассчитан по разнице давления на воздухоподогревателе.

1) Характеристики преобразователя разности давлений Метран-150CDR от ПГ «Метран»:

- диапазон измерения от 0 до 0,25 кПа;
- выходной аналоговый сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА;
- напряжение питания постоянного тока от 10 до 42 В;
- масса, не более 3,2 кг;

- преобразователь рассчитан на круглосуточную работу;
- средний срок службы 20 лет;
- цена 25000 рублей [12].

2) Характеристики датчика давления АИР-20/М2-Н ДД 400/8 АЗ С05 4 МПа КР2 от НПП «Элемер»:

- диапазон измерения от 0 до 0,63 кПа;
- выходной аналоговый сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА;
- напряжение питания постоянного тока от 12 до 42 В;
- масса, не более 2,7 кг;
- преобразователь рассчитан на круглосуточную работу;
- средний срок службы 15 лет;
- Цена 38000 рублей [13].

Датчик давление Метран 150CDR дешевле, поэтому выберем его.

#### 4.3 Средства измерения содержания кислорода

Датчик кислорода Oxymitter 4000 Rosemount OХТ4CDRNF, с возможностью прямой замены для опасных зон без пламегасителя.

- Диапазон измерения чистого O<sub>2</sub> от 0 до 10 %;
- нижний предел измерения 0.05 %;
- температурные пределы процесса: от 0 до 704 °С;
- температура окружающей среды от от -40 до 85 °С.

Цена: 660000 рублей [14].

Анализатор дымовых газов ФГУП СПО «Аналитприбор» АКВТ-01 ИБЯЛ413415003-01 для измерения концентрации кислорода в дымовых газах в системах оптимизации и контроля процессов горения.

- диапазон измерения от 0 до 20 % об. O<sub>2</sub>;
- температура пробы от 20 до 850 °С.

Цена: 208000 рублей [15].

Выберем АКВТ-01 газоанализатор из-за более низкой цены.

#### 4.4 Средства измерения давления

Датчик давления Метран 150TG от ПГ «Метран» для измерения и непрерывного преобразования в унифицированный аналоговый токовый сигнал величины избыточного давления.

- диапазон измерения от 0 до 16 МПа;
- выходной аналоговый сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА;
- напряжение питания постоянного тока от 10 до 30 В;
- масса, не более 3,2 кг;
- преобразователь рассчитан на круглосуточную работу;
- средний срок службы 20 лет.

Цена: 29000 рублей [12].

Датчики давления АИР-20/ М2-Н-ДИ-190 от НПП «Элемер».

- диапазон измерения от 0 до 16 МПа;
- выходной аналоговый сигнал постоянного тока от 4 до 20 мА;
- напряжение питания постоянного тока от 9 до 42 В;
- масса, не более 0,6 кг;
- преобразователь рассчитан на круглосуточную работу;
- средний срок службы 15 лет.

Цена: 28000 рублей [13].

Выберем датчик давление Метран 150TG, так как в предыдущих пунктах были выбраны датчики от ПГ «Метран», а стоимость сравнима с аналогичным датчиком от НПП «Элемер».

#### 4.5 Исполнительный механизм

Производитель дутьевых вентиляторов серии ВДН поставляет для управления направляющим аппаратом исполнительный механизм МЭО-

630/63-0,25У-92К [16]. Поэтому в расчете исполнительного механизма нет надобности.

#### 4.6 Указатель положения вала исполнительного механизма

В качестве указателя положения вала исполнительного механизма выберем датчик положения БСПТ-ПВТ. Датчик предназначен для установки в исполнительные электрические механизмы для преобразования положения вала МЭО в унифицированный токовый сигнал и сигнализации или блокирования в крайних или промежуточных положениях выходного органа. [17].

Таблица 13 – Характеристики БСПТ-ПВТ

Параметры	Характеристики
Назначение	определение положения выходного вала электрического исполнительного механизма
Напряжение питания	24 В АС
Потребляемая мощность	2,5 Вт
Масса, не более	3,4 кг
Выходной сигнал	от 0 до 5 мА, от 0 до 20 мА, от 4 до 20 мА

#### 4.7 Пусковое устройство

Пускатель ПБР-3И может выполнять следующие функции [18]:

– реверсивное управление двигателем электропривода (ЭП) по командам ОТКРЫТЬ, ЗАКРЫТЬ, подаваемым на дискретные входы пускателя;

– выполнение команд управления от контроллера или компьютера, подключаемого через интерфейс RS-232;

– остановка ЭП в крайних положениях по сигналам концевых или моментных выключателей;

– формирование выходного сигнала ГОТОВНОСТЬ;

В качестве устройства оперативного управления по месту используется блок ручного управления БРУ-42И.

Решения по выбору технических средств автоматизации приведены в заказной спецификации, представленной на листе с шифром ФЮРА.421000.011 СО1.

## 5 Разработка принципиальной электрической схемы

Данная схема определяет полный состав приборов, аппаратов и устройств, связи между устройствами. На основе этой схемы происходит разработка монтажных таблиц щитов и пультов, схем внешних соединений и др. [19].

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы или устройства, необходимые для осуществления и контроля в изделии заданных электрических процессов, все электрические связи между ними, а также электрические элементы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи [19].

Электрическая схема АСР расхода общего воздуха парового котла приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.011 Э3. Перечень элементов электрической схемы представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.011 ПЭ3.

На листах 1-2 с шифром ФЮРА.421000.011 Э3 представлена электрическая схема подсистемы ввода-вывода аналоговых сигналов и электрическая схема подключения питания к модулю питания контроллера А1 и обеспечение питанием модуля сигнального процессора А2.

Подсистема ввода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль ввода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Siemens А3;
- 20-полюсный фронтальный соединитель ХР1 для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами;
- преобразователи аналоговых сигналов UY1...4, пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;
- п-образные соединители S1 и S2, предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;
- блок зажимов ХТ1.

Подсистема вывода аналоговых сигналов включает в себя:

– модуль вывода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Siemens A4;

– 20-полюсный фронтальный соединитель XP2 для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами;

– преобразователи аналоговых сигналов UY5...6, пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;

– п-образные соединители S2 и S3, предназначенные для подключения модулей к внутренней шине контроллера;

– блоки зажимов XT2.1...2.

Подсистема аналогового ввода-вывод обеспечивает безопасное подключение аналоговых сигналов к сигнальному модулю контроллера.

На листах 3-4 с шифром ФЮРА.421000.011 Э3 представлена электрическая схема подсистемы ввода и вывода дискретных сигналов.

Подсистема включает в себя:

– модуль ввода-вывода дискретных сигналов программируемого логического контроллера Siemens A5;

– фронтальный соединитель для сигнальных модулей, предназначенный для подключения к контроллеру внешних входных и выходных цепей XP3;

– релейный модуль K1...10, предназначенный для повышения нагрузочной способности управляющих выходов слаботочного, низковольтного оборудования посредством релейных «сухих» контактов;

– п-образный шинный соединитель S3.2, S4.1, предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;

– блоки зажимов XT3.

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов обеспечивает безопасное подключение дискретных сигналов к модулю контроллера.

## 6 Разработка монтажной схемы системы регулирования

Схема соединений внешних проводок – это комбинированная схема, на которой показывают электрические и трубные связи между приборами и средствами автоматизации, установленными на технологическом оборудовании, вне щитов и на щитах, а также подключения проводок к приборам и щитам. На схеме должны быть изображены изделие, его входные и выходные элементы (разъемы, зажимы и т.п.) и подводимые к ним концы проводов и кабелей внешнего монтажа, указаны данные о подключении изделия [19].

Данные о проводах и кабелях (марку, сечение и др.) указывают около линий, которые изображают провода и кабели, в этом случае допускается не присваивать обозначения проводам и кабелям, а при изображении их в виде условных обозначений, дают расшифровку на поле схемы.

Для соединения и разветвления электрических кабелей на схемах соединений показывают электрические клеммные коробки, а при прокладке проводов в защитных трубах – протяжные коробки.

Монтажная схема АСР расхода общего воздуха парового котла представлена на листах с шифром ФЮРА.421000.011 Э4.

В верхней части монтажной схемы расположен силовой щит ХТ7, в нижней части расположен щит управления и его клеммные блоки ХТ0...6. В средней части показаны внешние соединения датчиков Метран-150, газоанализатора АКВТ-01, исполнительного механизма МЭО-630, пускателя ПБР-3И блока ручного управления БРУ-42И со щитом управления. Для соединений применены изолированные провода. В цепях измерения, управления, питания применены провода и кабели с медными жилами. В маркировке кабеля указан тип кабеля, количество и сечение жил, длина кабеля. На монтажной схеме используются следующие виды кабелей:

- 1) КВВГ – контрольный кабель с изоляцией из ПВХ пластиката с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова;

2) КРВГ – контрольный кабель с изоляцией из резины с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката без защитного покрова;

3) ШТЛ – шнур телефонный линейный с изоляцией из композиции полиэтилена и оболочкой из ПВХ пластиката;

4) ПВС – медный провод со скрученными жилами, имеющий поливинилхлоридную изоляцию и такую же оболочку;

5) DB9F-DB9F – кабель нуль модемный для соединения двух устройств через последовательные СОМ порты.

Для соединения и разветвления кабелей используются соединительные коробки (КС-20).

## 7 Разработка общего вида щита управления

Щит управления систем контроля и регулирования является конструктивным элементом предназначенным для размещения приборов и аппаратуры системы. В щит рационально распределяют приборы, регуляторы, средства сигнализации и дистанционного управления, а так же элементы коммутации, проводки, средства защиты и блокировки, а также другие вспомогательные устройства [19].

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.011 ВО. Перечень составных частей представлен на отдельном листе с шифром ФЮРА.421000.011 ПВО.

Внутри шкафа управления размещена система контроля и регулирования, а также вспомогательная аппаратура. В верхней части шкафа расположен осветительный прибор EL1 и концевой выключатель SQ1. В верхнем ряду расположен контроллер S7-300 AC1, во втором ряду расположены средства защиты системы питания и управления, а именно автоматические выключатели QF1...3, разделительные преобразователи UY1...6, устройство защиты от перенапряжений Z01, блок питания G1 и щитовая розетка XS1. В третьем ряду расположена вспомогательная аппаратура – реле K1...12, KK1. В нижней части шкафа вертикально в несколько рядов расположены групповые обжимы XT0, XT01, XT02, XT1, XT2, XT3. На лицевой стороне двери показано расположение фильтрующего вентилятора M1.

Для размещения оборудования выбран системный шкаф VXSE 5850.600 производителя Rittal. Размеры шкафа 600x1600x400 мм. Оборудование размещено на монтажных шинах с перфорацией NS 35/7,5 производителя Phoenix Contact. Для прокладки сигнальных и силовых проводов используются перфорированные короба 40x40 производителя Efael.

Монтаж шкафа управления осуществляется на цоколь, состоящий из двух 8620.50 VX угловых элементов цоколя и двух 8620.70 VX боковых панелей цоколя.

## 8 Расчёт параметров настройки ПИ-регулятора

АСР подачи общего воздуха должна обеспечить [1]:

- устойчивую работу устройства управления и ограниченную частоту его включения (не более шести включений в минуту);
- поддержание при заданной постоянной нагрузке котла содержание избыточного кислорода в дымовых газах с максимальным отклонением менее  $\pm 0,5\%$  (при постоянной времени кислородомера не более 1,5 мин);
- протекание переходных процессов, вызываемых скачкообразным изменением на 10% номинальной нагрузки, с максимальным отклонением содержания кислорода в дымовых газах 1%  $O_2$  (при постоянной времени кислородомера не более 1.5 мин).

Для АСР расхода воздуха критерии качества переходного процесса выбираются из требований АСР уровня воды в барабане [1]:

Перерегулирование от 20 до 25 %;

Степень затухания от 90 до 95 %.

Согласно техническому заданию обеспечить степень затухания переходных процессов не ниже 0,75.

В приложении А приведен расчет статических и динамических характеристик системы, а так же расчет настройки ПИ-регулятора.

Статические характеристики датчиков давления определялись экспериментально при помощи установки изображенной на рисунке 5.

Компрессор предназначен для нагнетания давление в сосуд. При помощи манометра регистрируется давление созданное компрессором, а по мультиметру ток на выходе датчика давления.

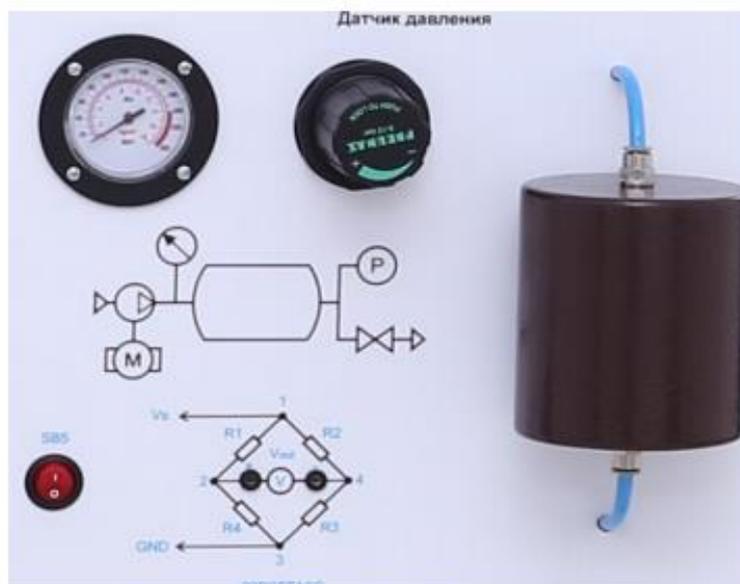


Рисунок 5 – Установка для исследования датчика давления

Расчет оптимальных параметров настройки регулятора был произведен методом расширенных амплитудно-фазо-частотных характеристик (РАФЧХ). Суть метода заключается в том, что РАФЧХ звена находится путем подстановки в передаточную функцию оператора  $p = (i - m) \cdot \omega$ , где  $m$  – степень колебательности. Поиск оптимальных параметров настройки регулятора производится по границе заданного запаса устойчивости системы до экстремума принятого критерия качества.

В результате расчетов получены оптимальные параметры настройки регулирующего устройства:

$$K_p = 0,397;$$

$$T_u = 0,86 \text{ с.}$$

### 8.1 Построение переходного процесса и оценка его качества

Как видно из структурной схемы на рисунке А.5, возмущающее воздействие по расходу топлива или по тепловосприятию приложены непосредственно на вход корректирующего регулятора. Поэтому АСР исследуется только по управляющему воздействию.

Передаточная функция замкнутой системы по управляющему воздействию будет равна:

$$W_{зс}^y(p) = \frac{W_{кр}(p) \cdot W_{об1}(p)}{1 + W_{кр}(p) \cdot W_{об1}(p)}. \quad (1)$$

Построение переходного процесса по задающему воздействию при вычислении численного интеграла (22) в среде MathCAD.

$$y(\tau) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} Re(W_{з.с}(i\omega)) \cdot \frac{\sin(\omega \cdot \tau)}{\omega} \cdot d\omega. \quad (2)$$

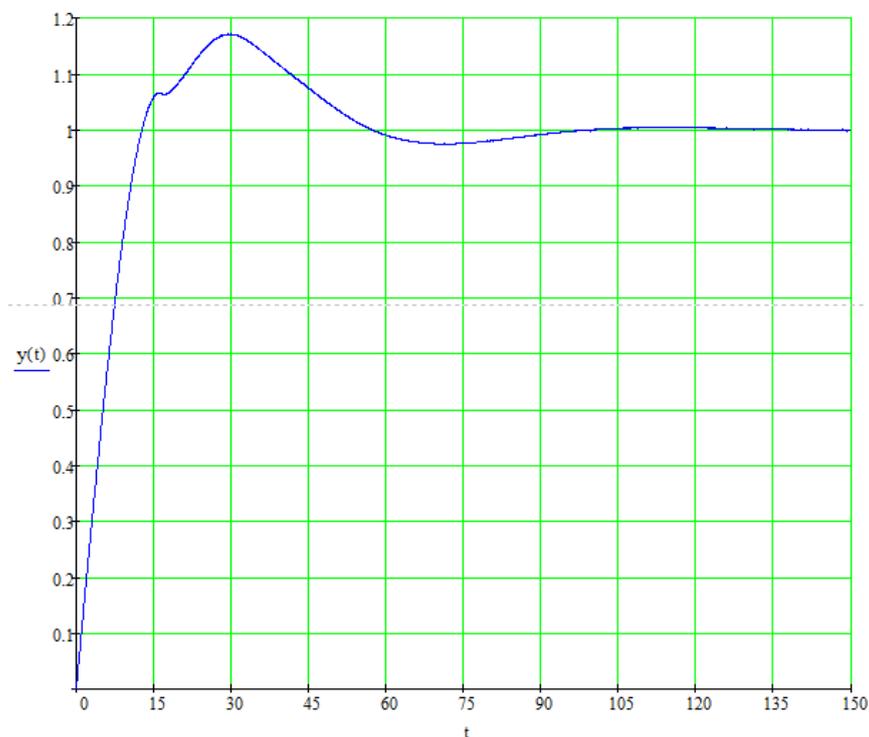


Рисунок 6 – Переходный процесс по каналу задающего воздействия

Используя рисунок 6, произведём оценку качества переходного процесса в замкнутой АСР.

Прямые критерии качества:

1) Максимальная динамическая ошибка:  $A_1 = 0,171$ ;

2) Перерегулирование:  $\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} = \frac{0,171}{1} \cdot 100\% = 17,1\%$ , где  $y(\infty)$  –

уровень установившегося значения регулируемой величины при времени переходного процесса  $t$ ;

3) Степень затухания переходного процесса:  $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0}{0,171} = 1$ ;

4) Статическая ошибка:  $\varepsilon_{СТ} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0$ ;

Время регулирования:  $t_p = 51$  с, при величине  $\delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 0,05$ .

## 9 Мнемосхема

Для выбранного контроллера была разработана мнемосхема системы расхода общего воздуха при помощи программного обеспечения SIMATIC WinCC V16 и TIA Portal V16. Мнемосхема может быть применима на рабочем месте оператора или на панельном компьютере установленном по месту

На мнемосхеме есть лампы сигнализации аварии направляющего аппарата дутьевого вентилятора, аварии дутьевого вентилятора. Также сигнализации о включении режима локального и ручного управления управления, в котором ПЛК останавливает вычисления. Есть поле, в котором можно задать угол поворота направляющего аппарата, а также поле задания концентрации кислорода.

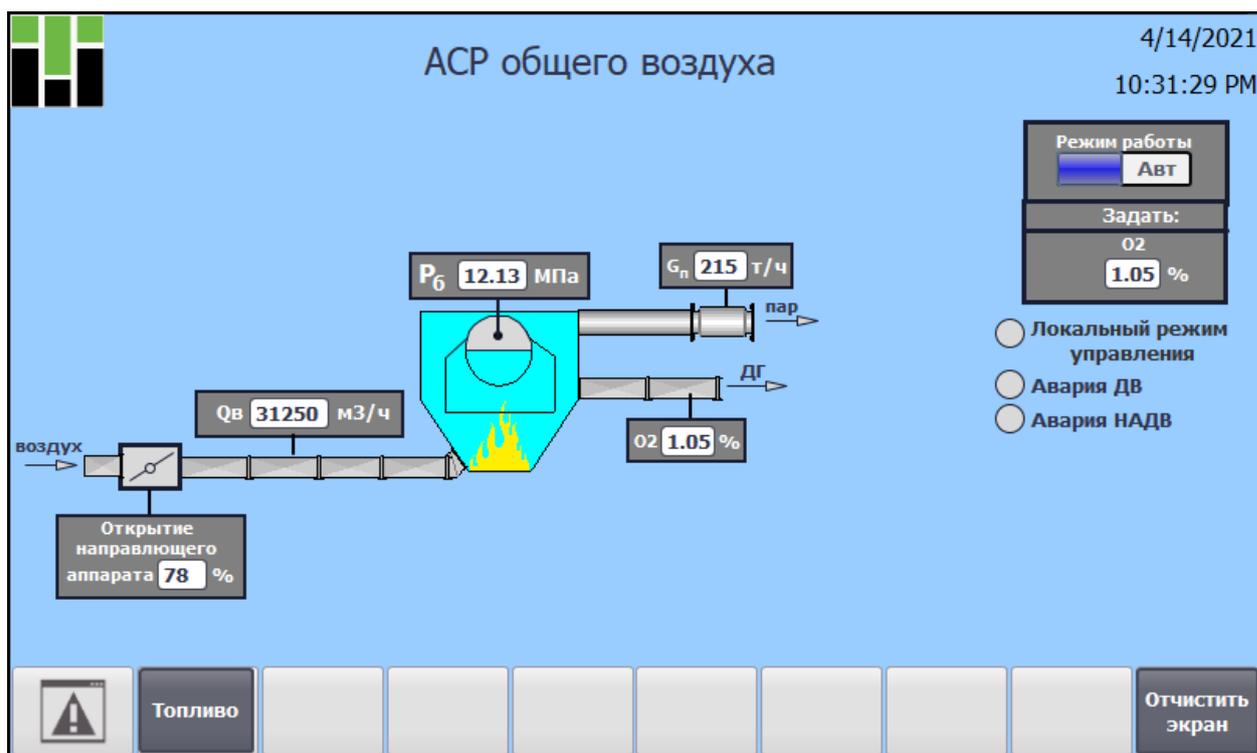


Рисунок 6 – Мнемосхема

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б7В	Курапов Роман Максимович

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Должностной оклад инженера – 17000 руб. Должностной оклад научного руководителя – 30000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент – 1,3; Накладные расходы – 16%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды: для руководителя и исполнителя – 30,2%.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Описание потенциальных потребителей результатов исследования SWOT-анализ
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Планирование работ в рамках выполнения проекта Разработка графика выполнения проекта Формирование бюджета проекта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

**Перечень графического материала:**

1. Матрица SWOT
2. Диаграмма Ганта.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	08.02.2020
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Клемашева Елена Игоревна	канд.экон.наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Б7В	Курапов Роман Максимович		

## 10 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является оценка коммерческой ценности разработанной автоматической системы регулирования расхода общего воздуха парового котла Томской ГРЭС-2 с точки зрения финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением ряда задач:

- составить перечень работ и оценить время их выполнения;
- составить смету затрат на проект;
- рассчитать интегральный показатель ресурсоэффективности.

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

#### 10.1.1 SWOT-анализ

SWOT анализ – это метод оценки ситуации и будущих перспектив проекта, основная задача которого: определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды. На основании анализа делаются вывод: правильно развивается проект, какие риски нужно предусмотреть, что следует делать, каковы перспективы проекта [21].

Осуществим SWOT анализ, данный анализ позволяет определить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы со стороны внешней окружающей среды, а также на основании данного анализа можно определить, как правильно развивается проект, какие перспективы у данного проекта, на какие риски стоит обратить внимание при осуществлении данного проекта. В таблице 14 приведена Матрица SWOT.

Таблица 14 – Матрица SWOT

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

По указанным данным видно, что возможности и сильные стороны системы способствуют развитию спроса.

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

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

#### 10.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Разрабатываемая система регулирования температуры перегретого пара предназначена для станций, вырабатывающих тепловую и (или) электрическую энергию с применением парового котла БКЗ-210-140. Например, Бийская ТЭЦ-3, Томская ГРЭС-3, Западно-Сибирская ТЭЦ и т.д.

Потребность в эффективной системе регулирования расхода общего воздуха парогенератора испытывают все типы станций, производящих электрическую и тепловую энергию.

### 10.2 Планирование научно-исследовательских работ

#### 10.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ, установлена продолжительность работ, построен график проведения научного исследования.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по видам работ приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель темы
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	3	Выбор направления исследования	Исполнитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель темы
Теоретические исследования	5	Поиск и анализ существующих проектных решений	Исполнитель
	6	Сравнение существующих проектных решений, определение достоинств и недостатков, поиск способ усовершенствования	Исполнитель
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель темы
	8	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель темы
Проведение ОКР			
Разработка технической документации и проектирование	9	Разработка проектной конструкторской документации, подбор оборудования	Исполнитель
	10	Разработка мероприятий связанных с охраной труда и экологической безопасностью	Исполнитель
	11	Оценка коммерческого потенциала, ресурсоэффективности, ресурсосбережения	Исполнитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	12	Составление пояснительной записки ВКР	Исполнитель

### 10.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожи}$  используется следующая формула [1]:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5}, \quad (3)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;  $t_{мини}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка), чел.-дн.;  $t_{маxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной работы  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [21].

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (4)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого воспользуемся формулой [1]:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (5)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в рабочих днях;  $k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле [1]:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (6)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  – количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Количество календарных дней в 2021 году составило 365 дней, количество выходных и праздничных дней – 118 дней.

Коэффициент календарности равен [1]:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48.$$

Для руководителя коэффициент календарности равен:

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22.$$

В таблице Б.1 указан перечень работ, исполнители и временные показатели выполнения проекта.

Пример расчета для первой строки:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел. -дн.};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 2 \text{ дня};$$

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} = 2 \cdot 1,22 = 2,44 \text{ дней}.$$

### 10.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

В данном разделе построен ленточный график проведения научных работ 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 [21]. Календарный план-график построен на основе таблицы Б.1 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

Таблица 16 – Календарный план-график проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал.дн.												
				февраль		март			апрель			май			
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3	■											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	7	▨											
3	Проведение экспериментальных исследований, направленных на увеличение эффективности установок	Исполнитель	36		▨	▨	▨	▨	▨						
4	Разработка функциональной, структурной схемы и подбор оборудование	Исполнитель	25						▨	▨	▨				
5	Разработка щита управления САУ	Руководитель	7								■				
6	Разработка схемы взаимодействия уровней управления	Исполнитель	3								▨				
7	Проектирование мнемосхемы	Исполнитель	5									▨			
8	Написание раздела «Социальная ответственность»	Исполнитель	5									▨			
9	Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Исполнитель	4										▨		
10	Оформление пояснительной записки ВКР	Исполнитель	7											▨	

■ - Руководитель      ▨ - Исполнитель

### 10.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

#### 10.3.1 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по теме [21]. Затраты на оборудование приведены в таблице 4.

Таблица 17 – Расчет бюджета

Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
Персональный компьютер	1	50 000	50 000
Итого			50 000

Затраты на амортизации используемого ПК, руб./год рассчитываются по формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.пк}} \cdot C_{\text{пк}}}{T_{\text{кал}} \cdot T_{\text{сл}}}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{исп.пк}}$  – время использования ПК;  $C_{\text{пк}}$  – цена ПК;  $T_{\text{кал}}$  – календарное время;  $T_{\text{сл}}$  – срок службы ПК.

$$K_{\text{ам}} = \frac{102 \cdot 50000}{365 \cdot 3} = 4657 \text{ руб./год.}$$

#### 10.3.2 Основная заработная плата исполнителей проекта

В данную статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоёмкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок [21].

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату [1]:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (8)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20% от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле [1]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (9)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [1]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (10)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня  $M=11,1$  месяца, 5-дневная рабочая неделя; в 48 раб.дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная рабочая неделя;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, раб. дн. (таблица 18).

Месячный должностной оклад работника [1]:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (11)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );  $k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,15-0,2 (т.е. 15-20% от  $Z_{тс}$ );  $k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска.

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней		
Количество нерабочих дней (выходные, праздничные дни)	365 66	365 118
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	52	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	219

Месячный должностной оклад руководителя и исполнителя:

$$З_{\text{м}}^{\text{рук}} = З_{\text{тс}}^{\text{рук}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 30000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 58500 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{м}}^{\text{инж}} = З_{\text{тс}}^{\text{инж}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$З_{\text{дн}}^{\text{рук}} = \frac{З_{\text{м}}^{\text{рук}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{58500 \cdot 10,1}{247} = 2431,5 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{дн}}^{\text{инж}} = \frac{З_{\text{м}}^{\text{инж}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{33150 \cdot 11,07}{219} = 1675,7 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата руководителя и исполнителя:

$$З_{\text{осн}}^{\text{рук}} = З_{\text{дн}}^{\text{рук}} \cdot T_{\text{р}} = 2431,5 \cdot 6 = 14589 \text{ руб.},$$

$$З_{\text{осн}}^{\text{инж}} = З_{\text{дн}}^{\text{инж}} \cdot T_{\text{р}} = 1675,7 \cdot 69 = 115623,3 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведен в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{тс}}$ , руб.	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$ , руб.	$З_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	30000	0,3	0,2	1,3	58500	2431,5	6	14589
Исполнитель	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1675,7	69	115623,3
Итого $З_{\text{осн}}$								130212,3

### 10.3.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодно оплачиваемого отпуска и т.д.) [21].

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [1]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (12)$$

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

$$Z_{\text{доп}}^{\text{рук}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} = 0,12 \cdot 14589 = 1750,7 \text{ руб},$$

$$Z_{\text{доп}}^{\text{инж}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} = 0,12 \cdot 115623,3 = 13874,8 \text{ руб}.$$

### 10.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФОМС) от затрат на оплату труда работников [21].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [1]:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (13)$$

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и исполнителя:

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{рук}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{рук}} + Z_{\text{доп}}^{\text{рук}}) = 0,302 \cdot (14589 + 1750,7) = 4934,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{внеб}}^{\text{инж}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}}^{\text{инж}} + Z_{\text{доп}}^{\text{инж}}) = 0,302 \cdot (115623,3 + 13874,8) = 39108,4 \text{ руб.}$$

### 10.3.5 Услуги сторонних организаций

Оплата услуг сторонних организаций включает расходы, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями [21].

В данном случае к ним относятся печатные услуги, включающие в себя печать листов различного формата, в том числе чертежей, и брошюровка.

$$Z_{\text{контр}} = 1000 \text{ руб.}$$

### 10.3.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле [1]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (14)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16% [21].

Величина накладных расходов:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}} + Z_{\text{контр}} + A) \cdot k_{\text{нр}} =$$

$$= (130212,3 + 15625,5 + 44043 + 1000 + 4657) \cdot 0,16 = 30860,2 \text{ руб.}$$

### 10.3.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции [21].

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Амортизационные отчисления	4657	Пункт 2.1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	130212,3	Пункт 2.2
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15625,5	Пункт 2.3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	44043	Пункт 2.4
5. Услуги сторонних организаций	1000	Пункт 2.5
6. Накладные расходы	30860,2	Пункт 2.6
7. Бюджет затрат НТИ		22373 руб.

10.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной,

социальной и экономической эффективности исследования

10.4.1 Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом [1]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (15)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;  $a_i$  – весовой коэффициент;  $b_i$  – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для проведения сравнительной оценки рассмотрим три варианта реализации автоматической системы регулирования, в каждой из которых используется разная схема регулирования расхода воздуха:

- схема «теплота-воздух» – исп. 1;
- схема «топливо-воздух» – исп. 2;
- схема «пар-воздух» – исп. 3.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен с помощью таблицы 21.

Таблица 21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда	0,05	5	5	5
2. Динамическая точность системы	0,2	5	3	5
3. Простота эксплуатации	0,05	4	5	4
4. Надежность	0,2	5	4	4
5. Качество регулирования	0,2	5	4	5
6. Простота наладки	0,1	3	5	4
7. Срок эксплуатации	0,2	4	3	4
ИТОГО	1	4,55	3,8	4,45

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 4,55,$$

$$I_{p2} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 = 3,8,$$

$$I_{p3} = 0,05 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 4,45.$$

Показатели ресурсоэффективности для 1 и 3 вариантов исполнения проекта равны 4,55 из 5 и 4,45 из 5 соответственно, что говорит об эффективности использования ресурсов.

## Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела была проведена оценка коммерческой ценности проекта.

В первой части определена структура работ в рамках научного исследования и трудоемкость их выполнения, разработана диаграмма Ганта.

Во второй части определен и сформирован бюджет научно-технического исследования, выполнен расчет материальных затрат, затрат на оборудование, основной заработной платы исполнителей, дополнительной заработной платы исполнителей, отчислений во внебюджетные фонды и накладные расходы.

В третьей части определен интегральный показатель ресурсоэффективности, по которому можно судить об экономии ресурсов для достижения поставленной цели.

Анализируя полученные результаты, можно оценить, сколько финансовых средств и времени потребуется на реализацию данного проекта и о том насколько проект будет востребован на рынке.

## Задание для раздела «Социальная ответственность»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б7В	Курапов Роман Максимович

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

Тема ВКР:

<b>Автоматическая система регулирования расхода общего воздуха парогенератора БКЗ-210-140 Томской ГРЭС-2</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: Автоматическая система регулирования расхода общего воздуха парогенератора БКЗ-210-140. Область применения: Томская ГРЭС-2.
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	-Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ; -ГОСТ 22614-77 «Система "человек-машина". Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования»; -ГОСТ 22615-77 «Система "человек-машина". Выключатели и переключатели типа "Тумблер»; -ГОСТ Р ИСО 9355-2-2009 «Эргономические требования к проектированию дисплеев и механизмов управления. Часть 2. Дисплей»; -ПУЭ. Правила устройства электроустановок. Издание 7.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	Вредные факторы: -отклонение показателей микроклимата; -недостаточная освещённость рабочей зоны; - повышенный уровень шума -повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны. Опасные факторы: -возможность поражения электрическим током.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Атмосфера: повышенная концентрация NO в выбросах Гидросфера: повышенное использование питательной воды на впрыск
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные ЧС: -техногенные ЧС (пожары, взрывы, угроза взрывов). Наиболее типичная ЧС: -пожар.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	08.02.2021
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Ассистент	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5Б7В	Курапов Роман Максимович		

## 11 Социальная ответственность

В данной выпускной квалификационной работе была разработана автоматическая система регулирования расхода общего воздуха парогенератора БКЗ-210-140, находящегося в эксплуатации на Томской ГРЭС-2.

Система автоматического регулирования расхода общего воздуха предназначена для поддержания наиболее экономичного режима сжигания топлива в топке парогенератора. При эксплуатации данной системы регулирования уменьшится количество требуемого персонала и произойдет понижение стоимости отпускаемой тепловой и электрической энергии.

### 11.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К категории опасных производственных объектов относится площадка главного корпуса ГРЭС, где и находится разработанная система.

III класса опасности - для опасных производственных объектов, осуществляющих теплоснабжение населения и социально значимых категорий потребителей, определяемых в соответствии с законодательством Российской Федерации в сфере теплоснабжения, а также иных опасных производственных объектов, на которых применяется оборудование, работающее под избыточным давлением 1,6 мегапаскаля и более (за исключением оборудования автозаправочных станций, предназначенных для заправки транспортных средств природным газом) или при температуре рабочей среды 250 градусов Цельсия и более [22].

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

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

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

– ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск сроком не меньше 7 календарных дней для работников, занятых на работах с подклассом вредности 3.2, 3.3 и 3.4 или на опасных работах;

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

– выдача специальной одежды, обуви, других средств индивидуальной защиты, а также смывающих и обезвреживающих средств [23].

Лица, принимаемые на работу по обслуживанию тепломеханического оборудования, должны пройти предварительный медицинский осмотр и в дальнейшем проходить его периодически в сроки, установленные для персонала энергопредприятий [24].

У лиц, обслуживающих оборудование основных цехов электростанций и тепловых сетей, и лиц, допущенных к выполнению специальных работ, должна быть сделана об этом запись в удостоверении о проверке знаний [24].

Весь персонал должен быть обеспечен по действующим нормам спецодеждой, спецобувью и индивидуальными средствами защиты в соответствии с характером выполняемых работ и обязан пользоваться ими во время работы [3].

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

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

- перечень газоопасных мест в цехе (районе);
- отравляющее действие вредных веществ и признаки отравления ими;
- правила производства работ и пребывания в газоопасных местах;
- правила пользования средствами защиты органов дыхания;
- пожароопасные вещества и способы их тушения;
- правила эвакуации лиц, пострадавших от вредных веществ, из газоопасных мест и способы оказания им доврачебной помощи.

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

- возможность осуществления всех необходимых движений и перемещений для эксплуатации и технического обслуживания оборудования;
- обеспечивать необходимые зрительные и звуковые связи между оператором и оборудованием;
- предусмотрены необходимые средства защиты человека-оператора от воздействия опасных и вредных факторов, а также условия для экстренного ухода человека-оператора с рабочего места;
- взаимное расположение пульта управления, кресла, органов управления и средств отображения информации должно производиться в соответствии с антропометрическими показателями, структурой деятельности, психофизиологическими и биомеханическими характеристиками человека-оператора.

## 11.2 Производственная безопасность

В таблице 22 представлен перечень вредных и опасных факторов, которые могут возникать при разработке, изготовлении и эксплуатации автоматической системы регулирования.

Таблица 22 – Вредные и опасные факторы

Факторы	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
Недостаточная освещённость		+	+	СанПиН 1.2.3685-21 [4]
Отклонение показателей микроклимата		+	+	СанПиН 1.2.3685-21 [4]
Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны		+	+	СанПиН 1.2.3685-21 [4]
Повышенный уровень шума		+	+	СанПиН 1.2.3685-21 [4]
Поражение электрическим током		+	+	Электробезопасность – ГОСТ 12.1.038-82 [5]

#### 11.2.1 Недостаточная освещенность

Правильное освещение сохранит зрение персонала. Поэтому соблюдение норм освещенности, ведет к снижению утомляемости на рабочем месте. Низкий уровень освещения может вызвать у человек снижение работоспособности и ухудшение состояние здоровья. При низком уровне освещения стоит заменить или добавить источники освещения. Освещённость рабочей зоны при VI разряде зрительной работы должна быть 200 лк согласно СанПиН 1.2.3685-21 [25].

#### 11.2.2 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат влияет на теплообмен человеческого организма. Основная роль в теплообменных процессах у человека принадлежит физиологическим механизмам регуляции теплоотдачи через поверхностные ткани, которая может осуществляться конвекцией, излучением, испарением. В обычных микроклиматических условиях человек 30 % всего тепла отдает путем

конвекции, 45 % - теплоизлучением и 25 % - испарением пота. Для нормального протекания физиологических процессов в организме человека необходимо, чтобы выделяемое организмом тепло отводилось в окружающую среду. Соответствие между количеством этого тепла и охлаждающей способностью среды характеризует ее как комфортную. В условиях комфорта у человека не возникает беспокоящих его тепловых ощущений - холода или перегрева. Величина тепловыделения организмом человека зависит от степени физического напряжения в определенных микроклиматических условиях и составляет от 80 Дж/с (состояние покоя) до 500 Дж/с (тяжелая работа).

Работа оператора в данном объекте относится к классу лёгких работ. Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте должны соответствовать величинам, приведённым в таблице 23. Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте должны соответствовать значениям, приведённым в СанПиН 1.2.3685-21 в таблице 24 [25].

Таблица 23 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочем месте

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

Таблица 24 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочем месте

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

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

### 11.2.3 Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны

Сжигание в котлах газа может сопровождаться поступлением в воздух рабочей зоны оксида углерода, никеля, ванадия, диоксида серы, оксида азота, углеводородов, аммиака, сероводорода, триоксикрезилфосфата и других химических веществ. В случае неисправностей в газопроводах газ может поступать в цеха. Решающий фактором улучшения условий труда – оборудование рабочих мест эффективными системами общей и местной вентиляции.

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

ПДК в воздухе помещения рабочей зоны: оксид углерода – 20,0 мг/м<sup>3</sup>, диоксид серы – 10 мг/м<sup>3</sup>, оксид азота – 5,0 мг/м<sup>3</sup> [25].

#### 11.2.4 Повышенный уровень шума

Работа агрегатов сопровождается постоянным высоко- и низкочастотным шумом. Уровни шума в котельно-турбинных цехах находятся в определенной зависимости от мощности оборудования, вида используемого топлива.

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.

Для снижения влияния шума на организм необходимо проводить комплекс мер:

– определение на основе шумовых карт участков цехов с наименьшим уровнем звука для выбора маршрутов движения персонала, мест проведения ремонтных работ и профилактического обслуживания агрегатов;

– создание комнат реабилитации для отдыха машинистов. При этом температура стен и воздуха должна составлять от 15 до 17 °С или температура стен от 10 до 14 °С, воздуха от 23 до 25 °С, уровень шума - до 50 дБ А;

– обеспечение рабочих в зависимости от спектрального состава шума достаточным количеством средств индивидуальной защиты.

В таблицах 25 и 26 допустимые уровни шума на производстве [25].

Таблица 25 – Предельно допустимые уровни инфразвука на рабочих местах

Эквивалентные уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц				Эквивалентный общий уровень звукового давления, дБ	Максимальный текущий общий уровень инфразвука, дБ
2	4	8	16		
100	95	90	85	100	120

Таблица 26 – Предельно допустимые уровни звукового давления воздушного ультразвука на рабочих местах

Третьоктавные полосы частот, кГц	Уровни звукового давления, дБ
12,5	80
16,0	90
20,0	100
25,0	105
31,5-100,0	110

### 11.2.5 Поражение электрическим током

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

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

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

- использование защитного заземления и зануления;
- использование средств индивидуальной защиты;
- контроль изоляции проводов, а также технического состояния приборов;
- Соблюдение организационных мер обеспечения безопасности [26].

### 11.3 Обоснование мероприятий по снижению воздействия

Важным моментом в комплексе мероприятий направленных на совершенствование условий труда являются мероприятия по охране труда.

Кроме технических устройств, в помещении операторов должна быть оборудована система вентиляции, система микроклимата, система освещения, а также проведена шумоизоляция помещения.

Рабочее место оператора должно быть аттестовано по условиям труда. Оператор должен быть ознакомлен с результатами специальной оценки условий труда его рабочего места, знать параметры имеющихся вредных и опасных факторов, планы профилактических мероприятий, полагающиеся ему льготы и компенсации за работу во вредных условиях труда.

Меры предосторожности при работе с шкафом управления:

- соблюдать ТБ при работе с электрооборудованием;
- шкаф должен быть закрыт на замок, а ключ храниться у дежурного;

- для работ с электрооборудованием допускается персонал имеющий соответствующий допуск и подписанное разрешение начальником цеха [24].

#### 11.4 Экологическая безопасность

Снижение образования NO достигается путем воздействия главным образом на максимальную температуру горения, что обеспечивается вводом газов рециркуляции, воды и пара в зону горения или в дутьевой воздух, а также трехступенчатым сжиганием топлива, снижающим максимальную температуру и содержание кислорода в зоне максимальных температур. Выход «топливных» NO в меньшей мере зависит от максимальной температуры, но сильно зависит от избытка воздуха, поэтому здесь более эффективным является ступенчатое горение. АСР расхода общего воздуха призвана уменьшить выбросы NO в атмосферу.

При недостаточном качестве собственного конденсата происходит повышенное использование питательной воды на впрыск. В следствие повышается потребность станции в потреблении воды. При соблюдении эксплуатационного регламента водно-химического режима барабанного котла высокого давления качество собственного конденсата будет достаточным, чтобы избежать повышенного водопотребления.

#### 11.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

Для предотвращения пожаров на объекте следует:

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

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

– создать пожарно-техническую комиссию и добровольные пожарные формирования [27].

Порядок действия в результате возникновения пожара:

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

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

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

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

д) после прибытия на место пожара первого подразделения ГПС МВД России руководителем тушения пожара является старший начальник этого подразделения;

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

ж) руководитель тушения пожара имеет право приступить к тушению энергооборудования под напряжением только после получения письменного допуска на тушение от начальника смены энергообъекта.

## Выводы по разделу

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

Знание правовых норм трудового законодательства, вредных и опасных факторов, а также возможных ЧС на рассматриваемом объекте помогут устранить возможные факторы и ситуации, влияющие негативно на состояние здоровья оператора

## Заключение

В ходе выполнения работы был произведен анализ объекта автоматизации, структуры автоматизации, технических средств контроля и автоматизации, а также произведен выбор оптимальных вариантов.

Была спроектирована автоматическая система контроля и регулирования расхода общего воздуха парогенератора на базе современных технических средств.

Было произведено экспериментальное определение динамических и статических характеристик объекта управления и рассмотрен корневой метод параметрического синтеза с использованием РАФЧХ. Для заданной степени затухания ( $\psi = 0,75$ ) переходного процесса в системе были выбраны оптимальные настройки для регулятора, согласно второму интегральному критерию.

Полученные оценки качества:

- максимальная динамическая ошибка:  $A_1 = 0,171$ ;
- перерегулирование:  $\sigma = 17,1 \%$ ;
- степень затухания переходного процесса:  $\psi = 1$ ;
- статическая ошибка:  $\varepsilon_{СТ} = 0$ ;
- время регулирования:  $t_p = 51 \text{ с}$ .

Полученные результаты соответствуют требованиям, предъявляемым к АСР расхода воздуха.

## Список использованных источников

1. Технические характеристики котла Е-210-13,8-560 (БКЗ-210-140). Чертеж. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belenergetics.ru/tec/kotel-e-210-138-560-bkz-210-140/> свободный. – Загл. с экрана.
2. Андык В.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами на ТЭС : учебник / В.С. Андык ; Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 408 с.
3. Выбор структуры системы автоматизации газоздушного тракта парогенератора БКЗ-210-140 [Электронный ресурс] / А. М. Крживка, А. Д. Долбилина // Теплофизические основы энергетических технологий сборник научных трудов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 6-8 октября 2011 г., Томск: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; ред. коллегия: Г. В. Кузнецова ; А. С. Заворина ; К. В. Бувакова . — Томск : Изд-во ТПУ , 2011 . — С. [268-270]
4. Наладка автоматического регулирования барабанных паровых котлов/А. С. Ключев, А. Т. Лебедев, С. И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.
5. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподач: учебное пособие / А.В. Волошенко, В.В. Медведев, И.П. Озерова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 104 с.
6. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ Р 58604-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Тепловые электрические станции. Автоматизированные системы управления технологическими процесса. Условия создания. Нормы и требования. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200169004>, свободный. – Загл. с экрана.
7. Siemens S7-300 Программируемый контроллер. [Электронный

ресурс] – Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

8. Программируемы контроллеры S7-300. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

9. Программируемый логический контроллер ЭЛСИ-ТМК. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://elesy.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

10. ЭЛЕМЕР [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/catalog/datchiki-davleniya-i-manometry/datchiki-davleniya/air-20-m2-mb>, свободный. – Загл. с экрана.

11. ЭлефантКИП [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://elefantkip.ru/datchiki/preobrazovateli-davleniya/pd200-dd-model-155-datchik-differentsialnogo-davleniya-obshchepromyshlennyu/?gclid=CjwKCAiAmrOBbA0EiwArn3mfKKR5yv-f\\_oeOZvdALQh4tG7lIBhudfbMH-cCWyp0rKc1kVcYBa-SxoCwyoQAvD\\_BwE](https://elefantkip.ru/datchiki/preobrazovateli-davleniya/pd200-dd-model-155-datchik-differentsialnogo-davleniya-obshchepromyshlennyu/?gclid=CjwKCAiAmrOBbA0EiwArn3mfKKR5yv-f_oeOZvdALQh4tG7lIBhudfbMH-cCWyp0rKc1kVcYBa-SxoCwyoQAvD_BwE), свободный. – Загл. с экрана.

12. Датчики давления Метран-150. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.emerson.ru/documents/automation/каталог-датчики-давления-метран-150-раздел-каталога-метран-ru-4848826.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

13. Преобразователи давления измерительные АИР-20/М2-Н. Каталог продукции. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.elemer.ru/upload/iblock/36d/order\\_air\\_20h.pdf](https://www.elemer.ru/upload/iblock/36d/order_air_20h.pdf), свободный. – Загл. с экрана.

14. Instrumart [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.instrumart.com/products/38932/rosemount-analytical-oxymitter-4000-oxugen-transmitter> свободный. – Загл. с экрана.

15. ООО «КИПКомплект» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://kipkomplekt.ru/text/akvt-01.php>, свободный. – Загл. с экрана.

16. ООО «Электродвигатель-НК» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://insat.ru/prices/info.php?pid=7066>, свободный. – Загл. с экрана.
17. БСПТ-ИВТ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.zeim.ru/production/docs/d/11458.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
18. Пускатели бесконтактные реверсивные ПБР 3И. Руководство по эксплуатации. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.zeim.ru/production/docs/d/13440.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.
19. Основная схемотехническая проектная и конструкторская документация при разработке АСУ ТП / Кафедра автоматизации теплоэнергетических процессов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – 101 с.
20. Ключев А.С., Товарнов А.Т. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. – М.: Энергия, 1970. -280 с.
21. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
22. 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9046058?marker=7E20KB>, свободный.
23. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/1245916/mod\\_resource/content/1/trudkod.pdf](https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/1245916/mod_resource/content/1/trudkod.pdf), свободный.
24. Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200035102>, свободный.
25. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды

обитания" [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<https://docs.cntd.ru/document/573500115>, свободный.

26. Поражения электрическим током [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200313>, свободный.

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

## Приложение А

(обязательное)

### Статическая и динамическая характеристика системы

#### А.1 Расчет статической характеристики датчиков

##### А.1.1 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя давления

Ранее был выбран измерительный преобразователь давления Метран 150TG. В таблице А.1 приведена статическая характеристики измерительного преобразователя давления в барабане парогенератора Метран 150TG.

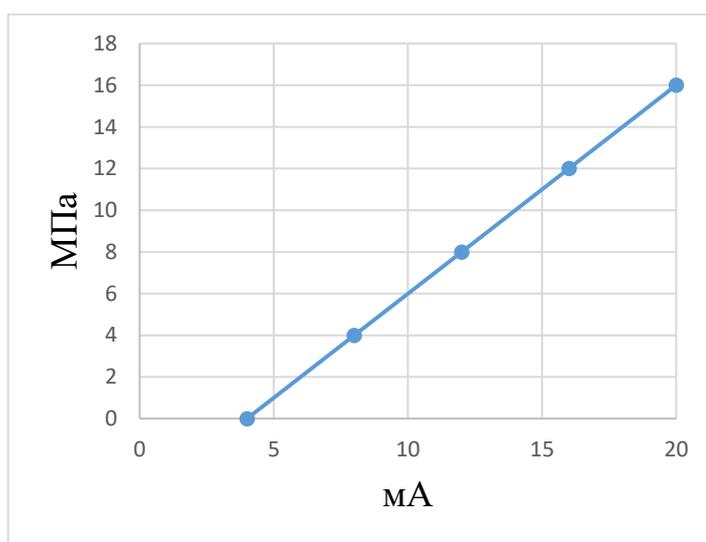


Рисунок А.1 – Статическая характеристика измерительного преобразователя типа Метран 150TG

Таблица А.1 – Статическая характеристики измерительного преобразователя давления

Давление, МПа	0	4	8	12	16
Ток, мА	4	8	12	16	20

По таблице А.1 строится зависимость тока от давления, из которой находится искомое значение  $K_{P6}$  (мА/ МПа).

Коэффициент передачи измерительного преобразователя давления в барабане рассчитывается по формуле:

$$K_{P6} = \frac{\Delta I}{\Delta P} = \frac{16}{16} = 1 \frac{\text{мА}}{\text{МПа}}, \quad (\text{А. 1})$$

где  $\Delta I$  – изменение значение выходного сигнала датчика уровня;

$\Delta P$  – соответствующий ему перепад давления.

А.1.2 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя расхода пара.

Был выбран измерительный преобразователь расхода пара Метран 150СD. В таблице А.2 приведена статическая характеристики измерительного преобразователя давления в барабане парогенератора Метран 150СD.

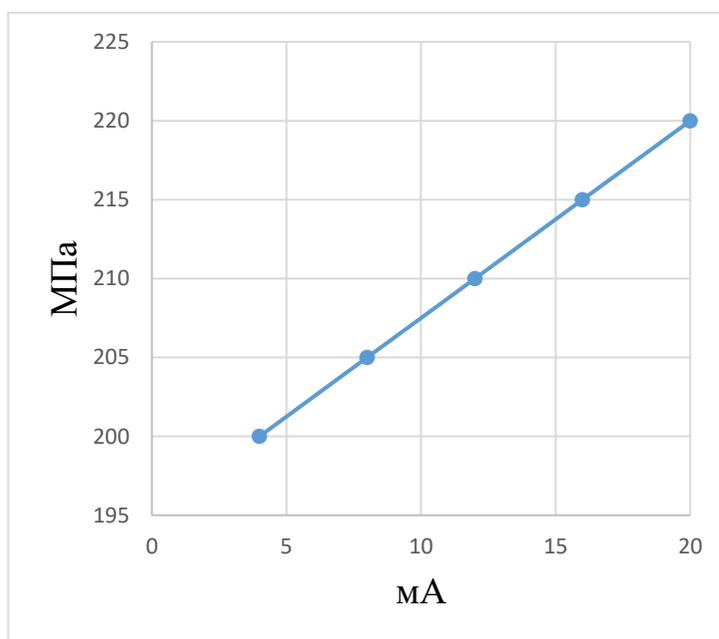


Рисунок А.2 – Статическая характеристика измерительного преобразователя Метран 150СD

Таблица А.2 – Статическая характеристики измерительного преобразователя расхода пара

Расход, т/ч	200	205	210	215	220
Ток, мА	4	8	12	16	20

По таблице А.2 строится зависимость тока от расхода, из которой находится искомое значение коэффициента передачи измерительного преобразователя расхода пара  $K_D$  (мА/ (т/ч)).

$$K_D = \frac{\Delta I}{\Delta D} = \frac{16}{20} = 0,8 \frac{\text{мА}}{\left(\frac{\text{т}}{\text{ч}}\right)}, \quad (\text{А. 2})$$

где  $\Delta I$  – изменение значение выходного сигнала датчика расхода пара;

$\Delta D$  – соответствующий ему расход пара.

А.1.3 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя расхода воздуха.

Наиболее распространен способ измерения расхода воздуха по перепаду давлений на воздухоподогревателе его первой ступени.

Был выбран измерительный преобразователь расхода пара Метран 150СD. В таблице А.3 приведена статическая характеристики измерительного преобразователя давления Метран 150СDР.

Таблица А.3 – Статическая характеристика измерительного преобразователя расхода воздуха

Перепад давления, Па	80	90	100	110	120
Ток, мА	4	8	12	16	20

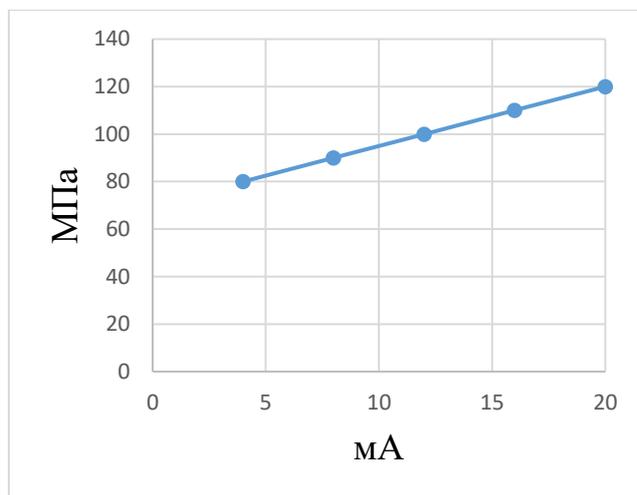


Рисунок А.3 – Статическая характеристика измерительного преобразователя Метран 150CDR

По таблице 16 строится зависимость тока от расхода воздуха, из которой находится искомое значение коэффициента передачи измерительного преобразователя расхода воздуха  $K_V$  (мА/ (Па)).

$$K_V = \frac{\Delta I}{\Delta V} = \frac{16}{40} = 0,4 \frac{\text{мА}}{\text{Па}}, \quad (\text{А. 3})$$

где  $\Delta I$  – изменение значение выходного сигнала датчика расхода воздуха;

$\Delta V$  – соответствующий ему расход воздуха.

#### А.1.4 Расчет коэффициента передачи измерительного преобразователя кислородомера.

Передающую функцию кислородомера  $W_{O_2}(P)$  можно принять в виде последовательного соединения апериодического звена и звена транспортного запаздывания.

$$W_{O_2}(P) = \frac{1}{T_{O_2}P + 1} \cdot e^{-p\tau}, \quad (\text{А. 4})$$

где  $T_{O_2} \approx 70\text{с}$ ;

$\tau \approx 17\text{с}$ .

### А.1.5 Расчет коэффициента передачи регулирующего органа.

На барабанных котлах чаще всего используют осевые направляющие дутьевых вентиляторов. Их расходную характеристику, как правило, определяют экспериментально. На рисунке А.4 приведен вид расходной характеристики осевого направляющего аппарата вентилятора.

Кривая 1 – расходная характеристика направляющего аппарата.

Кривая 2 – расходная характеристика направляющего аппарата при определении расхода воздуха на местных сопротивлениях.

Как видно из рисунка А.4, кривые 1 и 2 нелинейные. Коэффициент передачи регулирующего органа  $K_{po}$  находится проведением касательной к рабочей точке характеристики и расчетом ее наклона к оси  $\varphi$ .

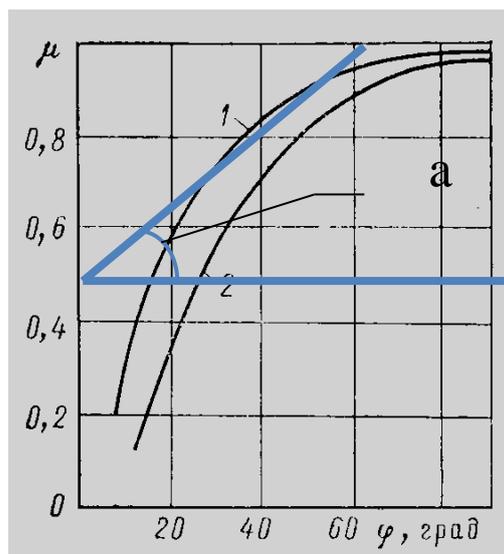


Рисунок А.4 – Расходные характеристики осевого направляющего аппарата

$$K_{po} = a = 0,7, \quad (\text{А. 5})$$

где  $a$  – угол наклона касательной к оси  $\varphi$ .

### А.2 Расчет динамических характеристик объекта регулирования

АСР состоит из внутреннего, предназначенного для поддержания соотношения топлива-воздух, и внешнего контура, служащего для коррекции

соотношения топлива-воздух по содержанию кислорода в дымовых газах. Передаточную функцию регулирующего органа отнесем к объектам регулирования. Структурная расчетная схема АСР расхода воздуха изображена на рисунке А.5.

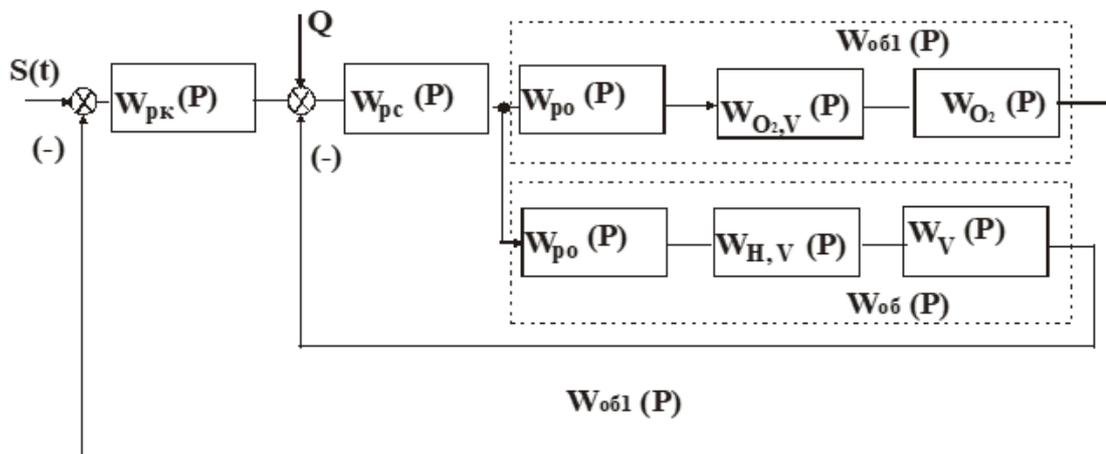


Рисунок А.5 – Расчетная структурная схема АСР подачи общего воздуха

При последующих расчетах приняты следующие допущения:

1) в динамическом отношении регулирующий орган представляет собой усилительное звено

$$W_{po}(P) = K_{po}. \quad (A.6)$$

2) передаточная функция измерительного преобразователя расхода воздуха представляет собой усилительное звено

$$W_V(P) = K_V. \quad (A.7)$$

Внутренний контур образован: стабилизирующим регулятором  $W_{p,c}(P)$ , регулирующим органом  $W_{po}(P)$ , объектом регулирования  $W_{H,V}(P)$ , измерительным преобразователем расхода воздуха  $W_V(P)$ .

Внешний контур образован: корректирующим регулятором  $W_{p,k}(P)$ , регулирующим органом  $W_{po}(P)$ , объектом регулирования участком по содержанию кислорода в дымовых газах при возмущении расходом воздуха  $W_{O2,V}(P)$ , измерительным преобразователем кислородомером  $W_{O2}(P)$ .

А.2.1 Участок воздушного тракта от напора дутьевых вентиляторов до места измерения расхода воздуха

Динамические свойства участка с достаточной для практических расчетов точностью могут быть представлены передаточной функцией последовательного соединения апериодического звена первого порядка с запаздывающим звеном

$$W_{HV}(p) = \frac{k_{HV} \cdot e^{-p\tau_{HV}}}{T_{HV}P + 1}, \quad (\text{A.8})$$

$$\text{где } k_{HV} = \frac{P_H}{V_H}; \quad (\text{A.9})$$

$$T_{HV} = \frac{\Phi_B}{V_H}; \quad (\text{A.10})$$

$$\tau_{HV} = \frac{L}{w_{в.п}}; \quad (\text{A.11})$$

$V_H$  – расход воздуха при номинальной нагрузке котла, м<sup>3</sup>/с;

$P_H$  – среднее давление воздуха при номинальной нагрузке, Па;

$\Phi_B$  – объем воздухоподогревателя между местами отбора сигнала по перепаду давлений, м<sup>3</sup>;

$L$  – расстояние по воздушному пути между местами отбора сигнала по перепаду давлений, м;

$w_{в.п}$  – скорость воздуха при номинальной нагрузке котла, м/с.

Определим передаточную функцию последовательного соединения апериодического звена первого порядка с запаздывающим звеном:

$$W_{HV}(p) = \frac{k_{HV} \cdot e^{-p\tau_{HV}}}{T_{HV}P + 1} = \frac{160}{4620} \cdot e^{-p \frac{6,2}{4}} = \frac{0,03 \cdot e^{-p1,55}}{\frac{300}{10,3}P + 1}.$$

## А.2.2 Участок «содержание кислорода в дымовых газах – расход воздуха»

Динамические свойства участка котла по каналу  $O_2$  – расход воздуха (без учета датчика  $O_2$ ) также могут быть представлены передаточной функцией последовательного соединения апериодического звена первого порядка с запаздывающим звеном

$$W_{O_2V}(p) = \frac{k_{O_2V} \cdot e^{-p\tau_{O_2V}}}{T_{O_2V}p + 1}, \quad (\text{A.12})$$

$$\text{где } k_{O_2V} = \frac{O_{2H}}{V_H} = \frac{21 \cdot (\alpha_H - 1)}{\alpha_H \cdot V_H} \quad (\text{A.13})$$

$$T_{O_2V} = \frac{O_{2H} \cdot \Phi_\Gamma}{21 \cdot V_H} = \frac{(\alpha_H - 1) \cdot \Phi_\Gamma}{\alpha_H \cdot V_H}; \quad (\text{A.14})$$

$$\tau_{O_2V} = \frac{L_B}{w_{B,H}} + \frac{L_\Gamma}{w_{\Gamma,H}}; \quad (\text{A.15})$$

$\alpha_H$  – коэффициент избытка воздуха при номинальной нагрузке котла;

$\Phi_\Gamma$  – газовый объем котла между серединой горелок и местом отбора сигнала по  $O_2$ ,  $m^3$ ;

$L_B$  – длина пути воздуха от напора вентиляторов до горелок,  $m$ ;

$L_\Gamma$  – расстояние между серединой горелок и местом отбора сигнала по  $O_2$ ,  $m$ ;

$w_{B,H}$ ,  $w_{\Gamma,H}$  – средние скорости воздуха и дымовых газов при номинальной нагрузке котла,  $m/s$ .

Определим передаточную функцию последовательного соединения апериодического звена первого порядка с запаздывающим звеном:

$$W_{O_2V}(p) = \frac{\frac{21 \cdot (1,26 - 1)}{1,26 \cdot 160} \cdot e^{-8,5p}}{\frac{(1,26 - 1) \cdot 78}{1,26 \cdot 160} p + 1} = \frac{0,03 \cdot e^{-8,5p}}{0,1p + 1}.$$

## 4.2.3 Расчет параметров передаточной функции объекта регулирования внутреннего контура

Согласно рисунку А.5 передаточная функция объекта регулирования запишется как

$$W_{об}(P) = K_{po} \cdot W_{HV}(P) \cdot K_v, \quad (A.16)$$

где  $K_{po}$ ,  $K_v$  -коэффициенты передачи регулирующего органа и измерительного преобразователя расхода воздуха;

$W_{HV}(P)$  – передаточная функция участка от дутьевых вентиляторов до места измерения расхода воздуха.

Следовательно, передаточную функцию объекта регулирования можно записать как

$$W_{об}(P) = \frac{K_{po} \cdot K_{hv} \cdot K_v \cdot e^{-\tau_{hv}P}}{T_{hv}P + 1} = \frac{0,4 \cdot 0,03 \cdot 0,7 \cdot e^{-8,5p}}{0,1p + 1} = \frac{0,0084 \cdot e^{-8,5p}}{0,1p + 1}.$$

В качестве метода расчета стабилизирующего регулятора принять метод РАФЧХ. Заменяем оператор  $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ , в результате получаем выражение для РАФЧХ объекта регулирования:

$$W_{об}(P) = \frac{0,0084 \cdot e^{-8,5(-m\omega + i\omega)}}{0,1(-m\omega + i\omega) + 1}.$$

Используя программу Mathcad, рассчитываем расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до  $\omega=5 \text{ с}^{-1}$ .

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$Re_{об}(m, \omega) = Re(W_{об}(m, i\omega)). \quad (A.17)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$Im_{об}(m, \omega) = Im(W_{об}(m, i\omega)). \quad (A.18)$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ):

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{Re_{об}(m, \omega)^2 + Im_{об}(m, \omega)^2}. \quad (A.19)$$

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

$$\varphi_{об}(m, \omega) = \arctg\left(\frac{Im_{об}(m, \omega)}{Re_{об}(m, \omega)}\right). \quad (A.20)$$

Расчётные формулы корневого метода для ПИ-регулятора имеют вид:

$$\frac{K_p}{T_u} = \frac{T_{hv} \cdot \omega \cdot \tau_{hv} (m^2 + 1)}{K_{hv} \cdot \tau_{hv}^2 \cdot e^{m \cdot \omega \cdot \tau_{hv}}} \left[ \omega \cdot \tau_{hv} \cdot \cos(\omega \tau_{hv}) - \left( m \cdot \omega \cdot \tau_{hv} - \frac{\tau_{hv}}{T_{hv}} \right) \cdot \sin(\omega \tau_{hv}) \right]; \quad (\text{A.21})$$

$$K_p = \frac{T_{hv}}{K_{hv} \cdot \tau_{hv} \cdot e^{m \cdot \omega \cdot \tau_{hv}}} \left[ \left( 2m \cdot \omega \cdot \tau_{hv} - \frac{\tau_{hv}}{T_{hv}} \right) \cdot \cos(\omega \tau_{hv}) + \left( \omega \tau_{hv} - m^2 \cdot \omega \cdot \tau_{hv} + m \frac{\tau_{hv}}{T_{hv}} \right) \cdot \sin(\omega \tau_{hv}) \right], \quad (\text{A.22})$$

где  $m$ - заданный показатель колебательности переходного процесса в АСР.

Если принять  $m=0,366$  и подставить известные коэффициенты, то получится:

$$\frac{K_p}{T_u} = \frac{30 \cdot \omega \cdot 1,55(0,366^2 + 1)}{0,03 \cdot 1,55^2 \cdot e^{0,366 \cdot \omega \cdot 1,55}} \left[ \omega \cdot 1,55 \cdot \cos(1,55 \omega) - \left( 0,366 \cdot \omega \cdot 1,55 - \frac{1,55}{30} \right) \cdot \sin(1,55 \omega) \right];$$

$$K_p = \frac{30}{0,03 \cdot 1,55 \cdot e^{0,366 \cdot \omega \cdot 1,55}} \left[ \left( 0,732 \cdot \omega \cdot 1,55 - \frac{1,55}{30} \right) \cdot \cos(1,55 \omega) + \left( 1,55 \omega - 0,366^2 \cdot \omega \cdot 1,55 + 0,366 \frac{1,55}{30} \right) \cdot \sin(1,55 \omega) \right].$$



Рисунок А.6 – Область параметров настройки ПИ-регулятора

На рисунке А.6 представлена область параметров настройки ПИ-регулятора. Частота  $\omega = 3,814$  является резонансной, так как при её значении наблюдается максимум отношения  $\frac{K_p}{T_u}$ , то есть минимум первого интегрального критерия.

$$K_p = 157,74;$$

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{157,74}{2011,83} = 0,08 \text{ с.}$$

Передаточная функция стабилизирующего регулятора:

$$W_{pc}(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u P}\right) = 157,74 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,08 \cdot P}\right).$$

#### 4.2.4 Расчет параметров настройки корректирующего регулятора

Путем структурных преобразований находим передаточную функцию эквивалентного объекта

$$W_{об1}(P) = \frac{W_{pc}(P) \cdot W_{O2V}(P) \cdot W_{O2}(P) \cdot K_{po}}{1 + W_{pc}(P) \cdot W_{об}(P)}. \quad (\text{A.23})$$

Следовательно, передаточную функцию эквивалентного объекта можно записать как

$$W_{об1}(P) = \frac{157,74 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,08 \cdot P}\right) \cdot \frac{0,03 \cdot e^{-8,5p}}{0,1P + 1} \cdot \frac{e^{-17p}}{70P + 1} \cdot 0,7}{1 + 157,74 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,08 \cdot P}\right) \cdot \frac{0,0084 \cdot e^{-8,5p}}{0,1P + 1}}.$$

Используя программу Mathcad, рассчитываем расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до  $\omega=0,5 \text{ с}^{-1}$  по формулам (17-20).

На рисунке А.7 представлена область параметров настройки ПИ-регулятора. Частота  $\omega = 0,35$  является резонансной, так как при её значении наблюдается максимум отношения  $\frac{K_p}{T_u}$ , то есть минимум первого интегрального критерия.

$$K_p = 0,397;$$

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{0,397}{0,46392} = 0,86 \text{ с.}$$

Передаточная функция стабилизирующего регулятора:

$$W_{ps}(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u P}\right) = 0,397 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,86 \cdot P}\right).$$

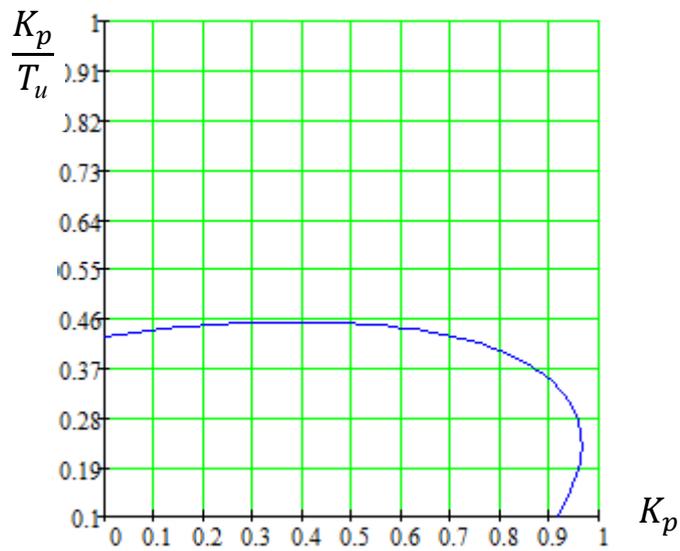


Рисунок А.7 – Область параметров настройки ПИ-регулятора

## Приложение Б

(обязательное)

### Временные показатели проведения научного исследования

Таблица Б.1 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях	
	$t_{min}$ , чел.-дни		$t_{max}$ , чел.-дни		$t_{ож}$ , чел.-дни		$T_{pi}$		$T_{ki}$	
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	2	-	3	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	4	-	5	-	4,6	-	5	-	7
Проведение экспериментальных исследований, направленных на увеличение эффективности установок	-	22	-	25	-	23,8	-	24	-	36
Разработка функциональной, структурной схемы и подбор оборудования	-	15	-	18	-	16,8	-	17	-	25

Продолжение таблицы Б.1

Название работы	Трудоемкость работ						Длительность в работ в рабочих днях		Длительность в работ в календарных днях	
	$t_{min}$ , чел.-дни		$t_{max}$ , чел.-дни		$t_{ож}$ , чел.-дни		$T_{pi}$		$T_{ki}$	
	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель	Руководитель	Исполнитель
Разработка щита управления САУ	3	4	4	5	3,6	4,6	4	5	5	7
Разработка схемы взаимодействия уровней управления	-	1	-	2	-	1,4	-	2	-	3
Проектирование мнемосхемы	-	3	-	4	-	3,6	-	4	-	5
Написание раздела «Социальная ответственность»	-	2	-	5	-	3,8	-	4	-	5
Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффектив- ность и ресурсосбереже- ние»	-	2	-	3	-	2,6	-	3	-	4
Оформление пояснительной записки ВКР	-	3	-	6	-	4,8	-	5	-	7