

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
Система автоматизированного управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив

УДК 681.51:662.96

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Фрицлер Валерия Яковлевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Высокоморная Ольга Валерьевна	к.ф-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель 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.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Направление: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Образовательная программа: Инженерия теплоэнергетики и теплотехники

Специализация: Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

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

ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин на объектах теплоэнергетики и теплотехники, использовать электронные приборы и устройства в производственной деятельности, осуществлять метрологическое обеспечение
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен применять знания назначения и принципов действия средств измерений, автоматизации, технологических защит и блокировок в процессе проектирования и эксплуатации АСУ ТП
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела
ПК(У)-7	Способен выполнять предпроектное обследование объекта автоматизации, разрабатывать проектную и конструкторскую документацию АСУ ТП
ПК(У)-8	Способен применять методы специальных расчетов и моделирования при построении АСУ ТП и АСУП

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель специализации ООП
Ю.К. Атрошенко
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б8В	Фрицлер Валерии Яковлевны

Тема работы:

Система автоматизированного управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 35-15/с от 04.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1 июня 2022 года
--	------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p>Объектом автоматизации в работе является система очистки дымовых газов от оксида азота, в которую входит барабанный паровой котел типа ТП-87 и бак с аммиачной водой емкостью 200 м³. Котлоагрегат рассчитан на:</p> <ul style="list-style-type: none"> – производительность 420 т/ч; – давление 14 МПа; – температура перегретого пара 570 °С. <p>Основное топливо – композиционное топливо, приготовленное на основе влажного отхода углебогащения. При разработке автоматизированной системы предусмотреть использование современных микропроцессорных технических средств автоматизации для реализации функций автоматического контроля параметров.</p>
---------------------------------	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>Введение</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Научно-исследовательская работа; 2. Анализ объекта автоматизации; 3. Разработка проектной документации; <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Выбор и обоснование структуры АСУ; 3.2. Разработка функциональной схемы АСУ; 3.3. Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации; 3.4. Разработка принципиальной электрической схемы АСУ; 3.5. Разработка монтажной схемы АСУ; 3.6. Разработка общего вида щита управления; 4. Расчет параметров настройки регулятора; 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 6. Социальная ответственность; <p>Заключение.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Схема структурная; 2. Схема функциональная; 3. Схема монтажная; 4. Схема принципиальная электрическая; 5. Общий вид щита управления.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Доцент ОСГН ШБИП, к.т.н., Кашук Ирина Вадимовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Старший преподаватель ООД ШБИП Мезенцева Ирина Леонидовна</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>15.02.2022 г.</p>
--	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Высокоморная Ольга Валерьевна	к.ф-м.н.		15.02.22

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Фрицлер Валерия Яковлевна		15.02.22

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 96 с., 10 рисунков, 38 таблиц, 63 источника, 10 листов графического материала.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, композиционное топливо, паровой котел, дымовые газы, водоугольное топливо, оксид азота, сжигание.

Объектом автоматизации является система очистки дымовых газов от оксида азота.

Цель работы – разработка автоматизированной системы управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив с применением современных технических средств автоматизации.

В процессе выполнения работы были проведены экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, выбрана структура системы регулирования горения, подобраны технические средства автоматизации, разработана проектная документация, включающая в себя функциональную и электрическую схемы, схему соединений и общий вид щита управления.

Итогом данной работы является разработанная автоматизированная система управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив с использованием современных технических средств автоматизации, в работе определены параметры настройки регулятора.

Оглавление

Введение.....	10
1 Научно-исследовательская работа	14
1.1 Материалы	16
1.2 Экспериментальная методика.....	16
1.3 Результаты измерений	19
2 Выбор и анализ объекта автоматизации	22
3 Разработка проектной документации.....	24
3.1 Выбор и обоснование структуры АСУ	24
3.2 Разработка функциональной схемы АСУ	26
3.3 Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации	27
3.3.1 Средства измерения расхода.....	27
3.3.2 Газоанализатор	29
3.3.3 Пусковое устройство	31
3.3.4 Исполнительный механизм.....	31
3.3.5 Программируемый логический контроллер.....	32
3.4 Разработка принципиальной электрической схемы	38
3.5 Разработка монтажной схемы АСУ	40
3.6 Разработка общего вида щита управления	41
4 Расчет параметров настройки регулятора	43
4.1 Идентификация объекта управления	43
4.2 Расчет параметров настройки регулятора	44
4.2.1 Расчет и построение границы заданного запаса устойчивости АСУ с ПИ-регулятором и объектом с передаточной функцией	45
4.2.2 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора... ..	50
4.2.3 Переходный процесс в замкнутой АСУ по каналу задающего воздействия	51
4.2.4 Оценка качества регулирования.....	55

5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	58
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	58
5.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	58
5.1.2	Анализ конкурентных технических решений	59
5.1.3	SWOT-анализ.....	60
5.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	63
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования	63
5.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	64
5.3	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	66
5.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического исследования	67
5.3.2	Расчет амортизации специального оборудования	67
5.3.3	Основная заработная плата исполнителя темы	68
5.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	70
5.3.5	Накладные расходы	70
5.4	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	71
	Вывод по разделу	73
6	Социальная ответственность	77
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
6.1.1	Специальные трудовые нормы правового законодательства.....	78
6.1.2	Эргономические требования к правильному расположению рабочей зоны.....	80
6.2	Производственная безопасность	81
6.2.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований	81
6.3	Экологическая безопасность.....	81
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	81

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований	86
6.4.2 обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	87
Вывод по разделу	87
Заключение	89
Список используемых источников.....	89
Графический материал:	На отдельных листах
ФЮРА.421000.011 С1	
ФЮРА.421000.011 С2	
ФЮРА.421000.011 СО1	
ФЮРА.421000.011 Э3	
ФЮРА.421000.011 ПЭ3	
ФЮРА.421000.011 Э4	
ФЮРА.421000.011 ВО	

Введение

Мировой спрос на тепловую и электрическую энергию растет высокими темпами ввиду экономического развития многих регионов [1]. На основании прогнозов [1] можно сделать вывод о том, что ископаемые топлива останутся еще продолжительное время (25-30 лет) ключевым ресурсом для обеспечения необходимого спроса на энергию, несмотря на современные тенденции увеличения доли возобновляемой энергетики в мире. В обозримом будущем сжигание угля будет по-прежнему играть важную роль в мировой энергетике [2].

Широкое использование ископаемого топлива привело к значительному загрязнению окружающей среды и изменению климата. Применение угля и мазута в качестве основных топлив в энергетическом секторе приводит к значительному загрязнению окружающей среды. В процессе сжигания данных топлив в атмосферу вместе с дымовыми газами поступают значительные объемы вредных веществ. К ним относятся летучая зола, оксиды серы и азота, углекислый газ, водяные пары и другие опасные вещества. Выбросы загрязняющих веществ предприятиями энергетического комплекса приводят к проблемам экологической деградации и опасности для здоровья и жизни людей. В частности, увеличивается число онкологических заболеваний и заболеваний дыхательных путей у людей, проживающих вблизи крупных котельных и станций. Крупные города России, Индии, Китая и других стран уже столкнулись с данными проблемами, следовательно, решение которых требует особого внимания. На данный момент на тепловых станциях устанавливаются различные фильтрационные установки и агрегаты, но они достаточно дорогостоящие и требуют надлежащего технического обслуживания. Мероприятия по уменьшению выбросов данных веществ в атмосферу при производстве энергии применяются во многих странах. Наиболее известными примерами являются «Киотский протокол» и «Парижское соглашение по климату», направленные на снижение выбросов парниковых газов в атмосферу и оперативное реагирование на угрозу изменения климата [3-10].

Но не только образование загрязняющих веществ при сжигании топлив представляет опасность для окружающей среды. Не меньшую опасность несут отходы, образующиеся при добыче и обработке топлив, а также в ходе работы энергетических установок. Например, в результате обогащения угля только в Кемеровской области ежегодно образуется более 2 млрд. тонн фильтр-кеков (отходов флотации угля) и угольных шламов [11]. Данные отходы складываются в специальных бункерах или хранятся открытым способом, нанося значительный вред окружающей среде, загрязняя атмосферу и подземные воды. Помимо этого, под такие хранилища отводятся значительные площади земельных участков, которые можно использовать другим образом. Кроме того, объекты энергетики являются источниками различных промышленных отходов, таких как турбинные и трансформаторные масла, которые накапливаются в значительных объемах по всему миру. В связи с этим особенно остро стоит задача по эффективной утилизации перечисленных отходов.

Одним из вариантов, позволяющих одновременно снизить образование загрязняющих веществ при сжигании топлив и утилизировать накопившиеся объемы отходов угольной промышленности, является использование последних в составе (ВУТ) и органоводоугольных (ОВУТ) топлив. Данные топлива представляют интерес с экологической, экономической и энергетической точек зрения. Выгода с экологической точки зрения заключается в том, что данные топлива содержат в своем составе воду, присутствие которой снижает количество оксидов серы и азота, выбрасываемых с дымовыми газами в атмосферу. Кроме того, в составе суспензионных топлив в качестве твердых горючих компонентов можно использовать угольные шламы и фильтр-кеки, а также добавлять жидкие горючие отходы промышленности (отработанные турбинные, трансформаторные масла, нефтешламы), тем самым утилизируя накопившиеся отходы. С экономической точки зрения выгода заключается в том, что топливные компоненты, используемые для приготовления данных топлив, имеют низкую стоимость, что положительно сказывается на стоимости итогового топлива. С энергетической точки зрения использование данных

топлив представляет интерес из-за расширения топливной и сырьевой базы данной отрасли [12-17].

На данный момент проведено достаточно исследований в сфере приготовления и сжигания ВУТ и ОВУТ. Например, исследования особенностей приготовления и применения ВУТ провела группа ученых, в состав которой входили сотрудники института теплофизики СО РАН, ООО «ПРОТЭН», г. Новосибирск, ОАО «СКЭК», г. Кемерово (Мальцев Л.И., Кравченко И.В., Лазарев С.И., Лапин Д.А.). Множество исследований в данной области проводится в Исследовательской школе физики высокоэнергетических процессов Томского Политехнического Университета [11-18]. За рубежом тематика суспензионных водоугольных топлив активно развивается в Китае, Польше, Японии [19-22].

Результаты экспериментов [18-22] дают четкое представление о преимуществах, связанных с использованием ВУТ и ОВУТ. Однако, следует отметить, что большинство исследований в данной области направленно прежде всего на изучение процессов приготовления и горения таких топлив, в то время как экологической составляющей уделяется меньше внимания. В ряде работ [23-26] была показана возможность снизить концентраций NO_x и SO_x в несколько раз при применении ВУТ.

Наряду с оксидами серы и пылью, выбросы NO_x в результате сжигания ископаемого топлива составляют более 75% от общего объема выбросов NO_x [10, 27-28], что подчеркивает необходимость внедрения и использования эффективных технологий по снижению концентраций NO_x в дымовых газах энергетических предприятий.

Среди технологий сокращения выбросов оксида азота, применяемых в различных промышленных процессах, связанных с сжиганием, селективное каталитическое восстановление (СКВ) и селективное некаталитическое восстановление (СНКВ), являются особенно примечательными методами [29,30]. Хотя процессы СКВ более эффективны, чем процессы СНКВ [31], последние обеспечивают преимущества, связанные с более низкими затратами на

установку, удобством и широкой применимостью, и поэтому более широко используются в промышленности [32].

Целью настоящей работы является создание комплекта конструкторской документации на автоматизированную систему управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив.

Для достижения поставленной цели следует сформулировать перечень подлежащих решению задач. В рамках ВКР необходимо:

- провести анализ объекта автоматизации;
- разработать комплект проектной документации;
- произвести расчет оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора и прямых оценок качества системы;
- рассчитать бюджет научно-технического исследования в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;
- рассмотреть вопросы безопасности в разделе «Социальная ответственность».

1. Научно-исследовательская работа

Результаты исследований характеристик горения водоугольных и органоводоугольных топлив демонстрируют преимущества данных топливных композиций перед традиционными котельными топливами с экологической точки зрения [18-22]. Они не только позволяют уменьшить количество антропогенных выбросов от предприятий энергетического комплекса, но и утилизировать накопившиеся отходы угольной промышленности, такие как фильтр-кек и угольный шлам. Кроме того, использование ОВУТ, содержащих в своем составе различные горючие промышленные отходы, способствует масштабной утилизации этой группы отходов.

Анализ литературы [23-23] по данной тематике показывает, что в качестве компонентов для органоводоугольных топлив может использоваться широкая группа отходов из разных отраслей промышленности. В качестве твердых горючих компонентов могут служить угли различных марок, отходы переработки и обогащения угля (фильтр-кек, угольный шлам), остаток пиролиза автомобильных шин, торф, опилки и др. В роли жидких горючих компонентов могут выступать различные промышленные и индустриальные отработанные масла, нефтешламы и нефтяные отложения, легковоспламеняющиеся жидкости и др. Для замедления расслоения данных топлив часто используются различные пластификаторы и эмульгаторы [33-35].

Поскольку одним из преимуществ ОВУТ является потенциальное снижение антропогенных выбросов в атмосферу, а также утилизация промышленных и индустриальных отходов, представляет интерес экспериментальное изучение различных составов данных топлив на предмет содержания в дымовых газах загрязняющих веществ, в первую очередь, оксидов серы и азота.

1.1 Материалы

Использован типичный отход углеобогажительных фабрик, формирующийся при флотации угля – фильтр-кек. Данный отход характеризуется высоким содержанием летучих, средними значениями зольности и теплоты сгорания. Содержание серы и азота в фильтр-кеке данной марки относительно невысокое. Поэтому в настоящем разделе данный угольный компонент выбран в качестве основного (базового). Отработанное турбинное масло характеризуется высокими энергетическими и стабилизирующими свойствами. Поэтому представляет интерес проанализировать значимость данного компонента с позиции концентраций антропогенных выбросов, образующихся при горении. Биомасса является экологически перспективным видом топлива. Биомасса часто используется в качестве дополнительного компонента суспензионных топлив для минимизации концентраций вредных выбросов.

С целью изучения экологических характеристик сжигания композиционных топлив в данном исследовании рассмотрены:

- (1) уголь 100%;
- (2) угольный шлам 50%, вода 50%;
- (3) угольный шлам 50%, вода 45%, отработанное турбинное масло 5%;
- (4) угольный шлам 50%, вода 45%, опилки 5%.

Массовые соотношения (доли) компонентов выбирались из нескольких условий. Во-первых, целесообразно вовлечение большего количества угольных отходов. Поэтому доля фильтр-кек варьировалась в диапазоне 45-50%. Во-вторых, сохранение вязкости и текучести суспензий в диапазонах (до 1000 Па·с), достаточных для распыления. Доля жидкой фазы в суспензии поддерживалась в диапазоне 45-50%. В реальной практике предполагается использование отхода углеобогащения в исходном виде (без сушки), что минимизирует стоимость процесса приготовления суспензии. В-третьих, важна возможность использования компонента, в частности биомассы, со средними и малыми

темпами формирования и накопленными объемами. Массовая доля в размере 5% не создаст высокого роста спроса (следовательно, цен) на требуемый компонент.

1.2 Экспериментальная методика

Использовался стенд, схема которого представлена на рисунке 1. Сжигание суспензий реализовано в трубчатой муфельной печи с электрическим нагревом. В центральной части печи располагалась полая керамическая труба с внутренним диаметром 55 мм, в которой концентрировалась тепловая энергия печи. Температура в печи варьировалась в диапазоне от 700 до 900 °С с шагом 50 °С. Данные температуры обеспечивают протекание всех характерных стадий зажигания и горения с активным выделением газообразных веществ.

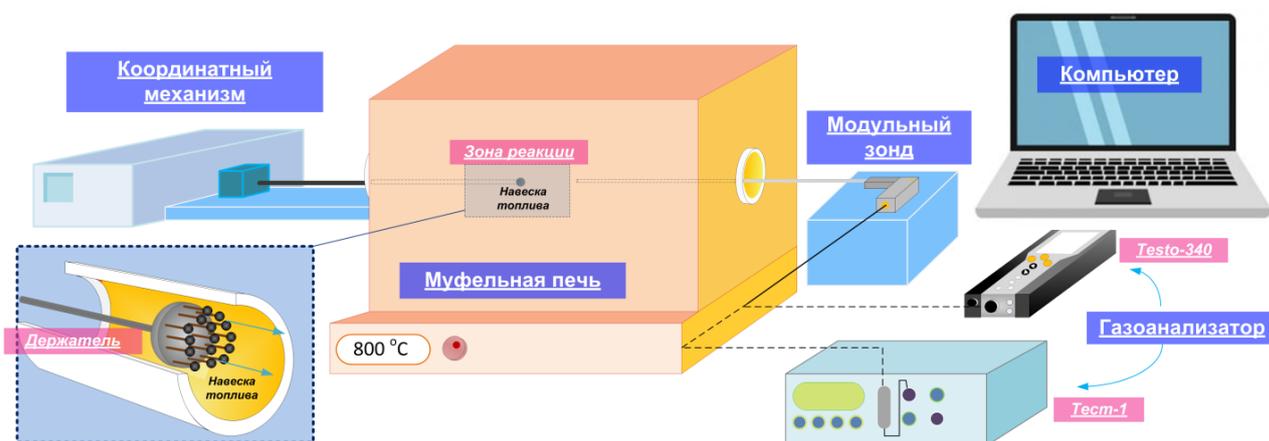


Рисунок 1 – Схема стенда для регистрации концентраций газовых антропогенных выбросов

Навеска топлива помещались в центральную часть керамической трубы с помощью координатного механизма. Применялось два типа держателей топлива. Суспензионные жидкие топлива подвешивались в виде капель (диаметр 2–3 мм) на металлическую конструкцию с 15 стержнями (рисунок 1, выносной элемент). Сухой уголь подавался на металлической сетке, по которой он распределялся тонким слоем. Сжигались навески (суспензий и угля) равной массы, которая в каждом эксперименте составляла 0.3 грамма для всех рассматриваемых топлив

(принималась в данной работе за единицу массы). Выбранное значение массы обеспечивало адекватную работу газоаналитического оборудования: объема газов было достаточно для регистрации концентраций, системы фильтрации и влагоудаления справлялись с очисткой газа, загрязнение газовых трактов происходило с более длительной задержкой по времени.

Зонд для отбора газовой пробы размещался рядом с навеской топлива. В момент начала эксперимента все отверстия (для ввода топлива и зонда) закрывались плотным слоем теплоизоляционного материала. Газ посредством тяги, создаваемой насосом газоанализатора, через модульный зонд, влагоотделитель и систему фильтров поступал к чувствительным элементам (сенсорам) газоанализатора. Анализ компонентного состава дымовых газов проводился с применением двух систем: промышленного анализатора дымовых газов Testo-340 и лабораторного газоанализатора Тест 1. Применение двух газоанализаторов обеспечивало высокую точность измерения регистрируемых параметров. Характеристики применяемых в экспериментах газоанализаторов представлены в таблице 1. Регистрировались компоненты газовой смеси: SO₂, NO_x.

Таблица 1 – Характеристики использованных газоанализаторов

Сенсор	Диапазон	Погрешность	Быстродействие
Testo 340			
O ₂ **	0–25 об. %	±0.2 об.%	< 20 с
CO	0–10000 ppm*	±10 ppm или ±10 % от изм. знач. (0–200 ppm) ±20 ppm или ±5 % от изм. знач. (201–2000 ppm) ±10 % от изм. знач. (2001–10000 ppm)	< 40 с
NO _x	0–4000 ppm	±5 ppm (0–99 ppm) ±5 % от изм. знач. (100–1999 ppm) ±10 % от изм. знач. (2000–4000 ppm)	< 30 с
SO ₂	0–5000 ppm	±10 ppm (0–99 ppm) ±10 % от изм. знач. (в ост. диапазоне)	< 40 с

Продолжение таблицы 1

Сенсор	Диапазон	Погрешность	Быстродействию
CO ₂ (пересчитывается через O ₂)	0–CO _{2max}	±0.2 об. %	< 40 с
Тест1			
O ₂	0–25%	±0.2 об. % (абсолютная)	≤ 15 с
H ₂ (поляграфический сенсор)	0–5%	±0.2 об. % (абсолютная)	≤ 35 с
CO ₂ (оптический сенсор)	0–30%	±2% (осн. приведенная)	≤ 25 с
CH ₄ (оптический сенсор)	0–30%	±5% (относительная)	≤ 25 с
CO	0–40000 ppm	±5% (относительная)	≤ 35 с
CO	0–4000 ppm	±5% (относительная)	≤ 35 с
NO	0–1000 ppm	±5% (относительная)	≤ 35 с
NO ₂	0–500 ppm	±7% (относительная)	≤ 45 с
SO ₂	0–1000 ppm	±5% (относительная)	≤ 45 с
H ₂ S	0–500 ppm	±5% (относительная)	≤ 45 с
HCl	0–2000 ppm	±5% (относительная)	≤ 45 с

* ppm – единица измерения концентрации (1 ppm = 0.0001 %), ** все сенсоры без пояснений электрохимические

Оба газоанализатора подключались к компьютеру. Поставляемое в комплекте программное обеспечение позволяло получать данные в реальном режиме времени, архивировать и экспортировать их в стандартные программы.

При идентичных начальных условиях проводились от 5 до 10 экспериментов в рамках одной серии измерений. Затем производились обработка и анализ данных. Выполнялось усреднение результатов экспериментов (методом трапеций) и определение доверительных интервалов, соответствующих случайных погрешностей и исключение грубых ошибок. Метод трапеций заключается в том, что площадь под графиком функции аппроксимируется прямоугольными трапециями, ширина которых соответствовала временному интервалу (1 с), а длина концентрациям рассматриваемого газа. Далее вычислялись площади каждой трапеции, после чего они суммировались. Среднее значение рассчитывалось как отношение суммы площадей трапеций ко

всему интервалу времени, в течение которого регистрировалась концентрация газа.

1.3 Результаты измерений

На рисунке 2 представлены средние значения концентраций оксидов азота, образованных при горении использованных композиций. Сжигание угля характеризовалось наивысшими концентрациями оксидов азота. Средние значения концентраций NO_x для угля выше в 1.4–2.6 раза по сравнению с суспензионными жидкими топливами. Установлено, что добавка биомассы позволила снизить выбросы оксидов азота на 7–30% в сравнении с традиционной водоугольной суспензией и композицией с примесью отработанного турбинного масла. Замена даже небольшой доли угольного компонента биомассой выгодна, так как снижается азотосодержание смеси. Однако выявленное снижение выбросов не пропорционально доли (5%) замещенного компонента, оно выше. Это указывает на дополнительные экологические эффекты, возникающие при использовании биомассы как добавки к угольному топливу.

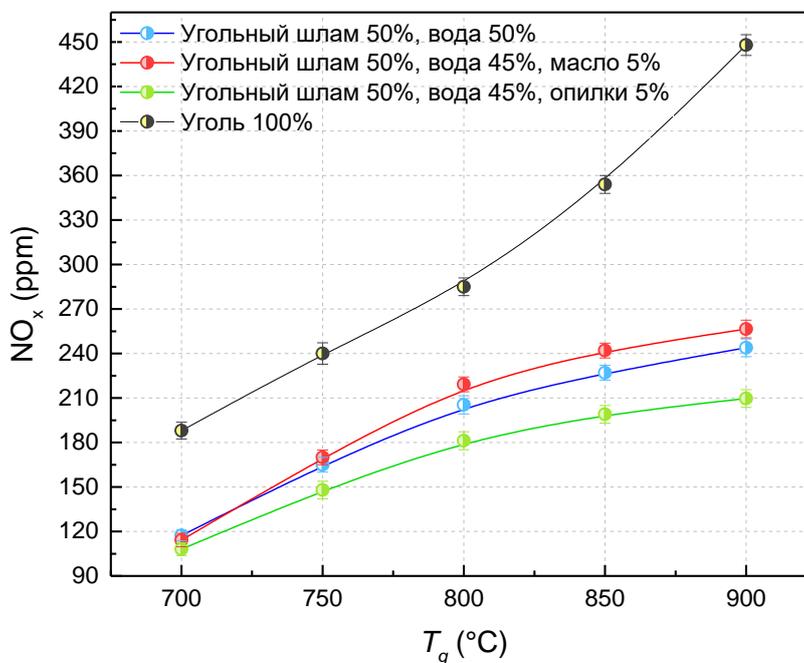


Рисунок 2 – Средние концентрации оксида азота NO_x

На рисунке 3 представлены средние значения концентраций оксидов серы, образованных при горении рассматриваемых композиций. В результате экспериментов установлено, что при горении угля концентрации SO_2 в 1.9–3.1 раза выше, чем у суспензий. Дополнительного снижения выбросов оксиды серы можно достичь за счет использования биомассы в составе. Небольшая добавка (5%) растительного компонента обеспечивает снижение концентраций SO_2 на 5–33% относительно суспензий без них.

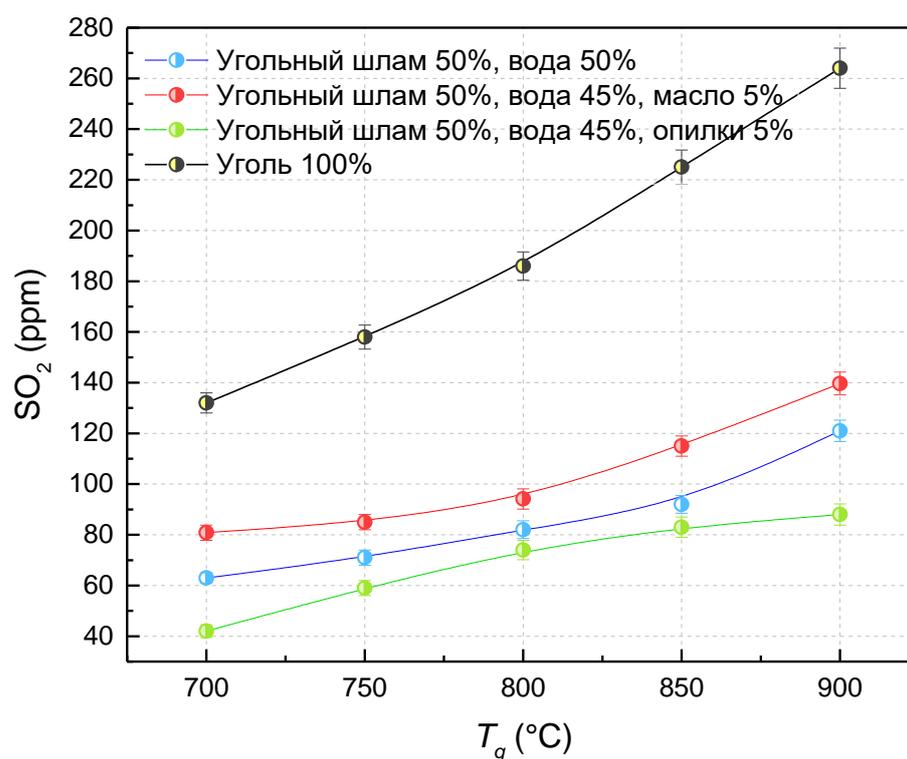


Рисунок 3 – Средние концентрации оксидов серы SO_2

Анализ результатов исследований позволил выделить несколько причин (факторов) снижения концентраций SO_x и NO_x при сжигании суспензионных топлив с добавками (в сравнении с углем):

1. суспензионные топлива содержат большое количество влаги;
2. растительные примеси содержат большое количество летучих веществ;
3. процент содержания топливной серы и азота в суспензионных топливах ниже;

4. теплотворная способность угля больше, чем у суспензий, следовательно, температура в зоне горения выше;
5. пористая структура биомассы позволяет захватывать оксиды серы;
6. наличие в биомассе некоторых соединений металлов в результате химического взаимодействия продуктов пиролиза снижает уровень образования SO_x и NO_x .

2. Выбор и анализ объекта автоматизации

Объектом автоматизации является система газоочистки оксида азота. Основной целью внедрения систем управления очисткой дымовых газ является снижение негативного влияния ТЭС на экологическую обстановку за счет обеспечения непрерывного регулирования выбросов NO_x в окружающую среду. Кроме того, данные системы способствуют уменьшению штрафов за вредные выбросы в окружающую среду. Основными задачами таких систем являются:

- непрерывное регулирование и учет объемов оксидов азота, выбрасываемых в окружающую среду;
- контроль за соблюдением установленных для ТЭС предельно допустимых выбросов (ПДВ) и предельно допустимых концентраций (ПДК).

Существует несколько типовых вариантов снижения концентраций NO_x на ТЭС:

- селективное каталитическое восстановление (СКВ);
- селективное некаталитическое восстановление (СНКВ).

В данной работе выбран метод СНКВ для осуществления управления концентрациями оксидов азота, поскольку он имеет ряд преимуществ таких, как низкие затраты на установку, удобство и широкая применимость [32]. Суть метода очистки отходящих дымовых газов от оксидов азота основана на восстановлении оксидов азота аммиаком, аммиачной водой, мочевиной (карбамидом) и другими азотосодержащими соединениями, впрыскиваемыми в газовый тракт котла при температурах от 800 °С до 1250 °С.

По своему назначению оборудование СНКВ-установок может быть разделено на три основных технологических узла.

1. Склад хранения и приготовления реагента. При использовании сжиженного аммиака склад включает в себя две-три емкости для его хранения, объём которых обеспечивает не менее чем 10-дневную работу установки. Для подачи в установку на складе обычно размещают испаритель аммиака. При применении аммиачной воды эксплуатируются два типа складов. В первом

случае непосредственно используется хранящаяся в емкостях аммиачная вода, во втором – на складе монтируется система термической десорбции газообразного аммиака.

2. Узел дозированной подачи реагента, его смешения с паром (воздухом или газами рециркуляции) и подачи к котлу. Дозированная подача газообразного аммиака осуществляется при помощи регулирующего клапана, при подаче аммиачной воды может быть использован насос-дозатор.

3. Узел впрыска смеси реагента по сечению котла в зоне температур 900-1100 °С. Обычно для этой цели используются сопла, смонтированные на стенах котла, или специальные впрыскивающие устройства, размещенные внутри котла. За счет подачи вместе с аммиаком соответствующих количеств разбавителей (пара, воздуха, газов рециркуляции) обеспечивается охлаждение используемых впрыскивающих систем до температур термической устойчивости используемых материалов.

3. Разработка проектной документации

3.1 Выбор и обоснование структуры АСУ

Существенное влияние на эффективность работы регулятора, стоимость системы регулирования, её надёжность и ремонтпригодность оказывает правильный выбор структуры управления объектом автоматизации. Система автоматического регулирования может состоять из одного или нескольких уровней управления (одноуровневые и многоуровневые системы). В рамках данной работы предполагается реализация многоуровневой системы управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив, которая будет спроектирована по трехуровневому принципу (рисунок 4).

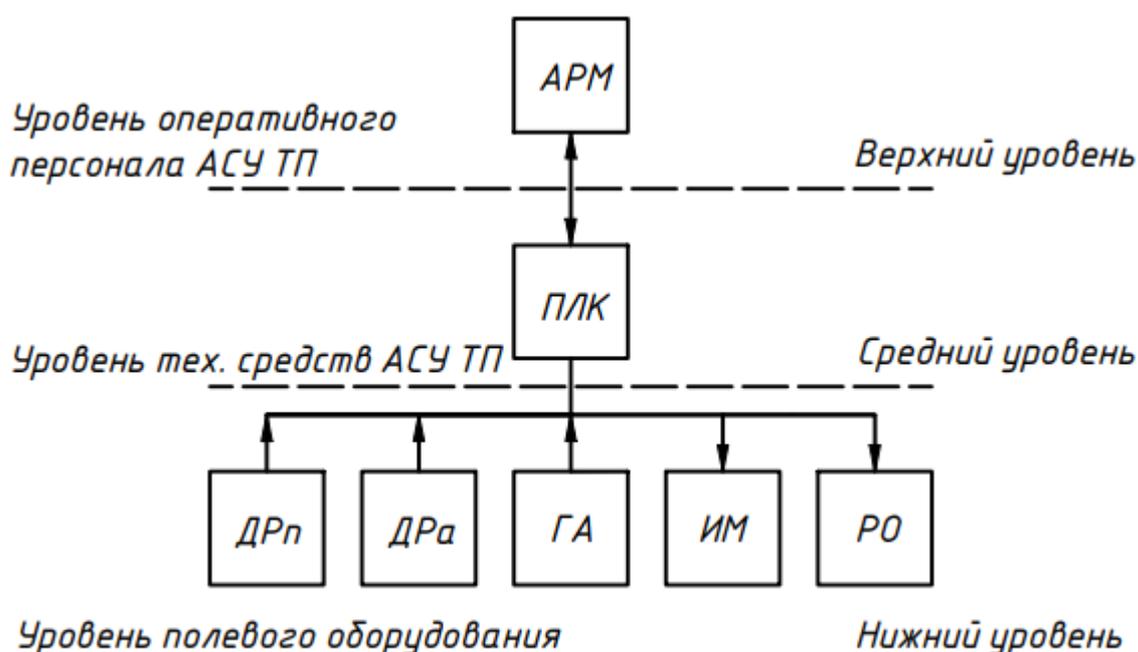


Рисунок 4 – Структурная схема АСУ очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив

Полевой уровень включает в себя исполнительные механизмы и органы местного управления, датчики технологических параметров и местные показывающие приборы, первичные средства измерения. На нижнем уровне выполняется контроль технологических параметров с заданной точностью и периодичностью; преобразование измеренных параметров в унифицированные

электрические сигналы; контроль состояния исполнительных механизмов и сигнализаторов технологических параметров; интерфейс с аппаратурой управления исполнительными механизмами.

К среднему уровню относятся шкаф автоматизации, построенный на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК), которые производят сбор информации, приходящей с датчиков технологических параметров и формирование команд на исполнительные механизмы, и содержащий вторичные средства измерения, выполняющие функции преобразования сигналов от датчиков нулевого уровня до контроллерного оборудования, а также искробезопасные барьеры и преобразователи.

На верхнем уровне выполняется концентрация и систематизация информации о технологическом процессе от контроллеров; составление отчетов и справок; внутренняя обработка и хранение информации, формирование базы данных; формирование и передача на полевой уровень управляющих воздействий по поддержанию установленных режимов работы; диагностики работы технологического оборудования, технических и программных средств системы управления.

Верхний уровень включает автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора – программно-техническое средство вычислительной техники, предназначенное для накопления, хранения, обработки (обобщения) и представления диспетчеру важной информации и приема от него команд управления объектами. На мониторе АРМ информация представляется оперативному персоналу в следующих видах [36]:

- 1) технологические схемы с указанием текущих значений измеряемых параметров;
- 2) текущее состояние технологического оборудования и исполнительных механизмов;
- 3) предупредительная и аварийная сигнализация;
- 4) архив аварийных сообщений.

Структурная схема системы автоматизированного управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.011 С1.

В данной системе с помощью газоанализатора поступает сигнал о составе выходящих дымовых газов, который передается на ПЛК. ПЛК обрабатывает поступающие сигналы и при превышении концентрации NO_x вырабатывает управляющие воздействия, которые отправляет на пусковые устройства ПУ1, ПУ2, ПУ3 и ПУ4. Пусковые устройства производят запуск исполнительных механизмов ИМ1, ИМ2, ИМ3 и ИМ4. Валы каждого из исполнительных механизмов вращаются и изменяют положения регулирующих органов РО1, РО2, РО3 и РО4, тем самым изменяя расход аммиачной воды и расход пара. Информация о положениях регулирующих органов поступает на ПЛК.

3.2 Разработка функциональной схемы АСУ

На функциональных схемах изображают оборудование, трубопроводы, приборы и средства автоматизации, органы управления, а также взаимодействие технологического оборудования и средств автоматики.

При разработке функциональной схемы системы очистки дымовых газов при сжигании композиционных топлив должны быть решены следующие задачи:

- получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- стабилизация технологических параметров процесса;
- контроль и регистрация технологических параметров процессов и состояний технического оборудования.

Функциональная схема автоматизированной системы управления очисткой дымовых газов, разработанная в данном курсовом проекте, представлена на листе ФЮРА.421000.011 С2.

В верхней части листа изображается технологическая схема, позволяющая показать местоположение точек контроля, первичных

преобразователей, а также нумерацию измерительных и управляющих каналов. В нижней части чертежа располагаются щит управления, изображенный в виде прямоугольника.

Первичные измерительные преобразователи, регулирующие органы и исполнительные механизмы изображаются на функциональной схеме в виде окружности. От них выводятся линии связи с номером измерительного или управляющего канала. Далее линии связи идут к контроллеру. От контроллера информация передается в текущем времени на верхний уровень, т.е. на автоматизированное рабочее место (АРМ) оперативного персонала, который управляет технологическим процессом.

Измерительные каналы 1 и 2 формируют сигналы о величине расхода пара и аммиачной воды соответственно. По измерительному каналу 3 в ПЛК поступают данные о составе дымовых газов. Основываясь на показаниях газоанализатора, контроллер формирует регулирующий сигнал, который поступает на пусковое устройство по каналам 4, 6, 8, 10, где сигнал усиливается и приводит в действие электрический привод исполнительного механизма.

3.3 Выбор технических средств автоматизации и составление спецификации

3.3.1 Средства измерения расхода

Для измерения расхода пара рассмотрены два датчика давления, один из них работает по принципу переменного перепада давлений с сужающим устройством. Для повышения качества измерений вблизи сужающего устройства установлены уравнивательные конденсационные сосуды для стабилизации верхних уровней конденсата в соединительных линиях. Возможно установить диафрагму в комплекте с датчиками дифференциального давления для измерения расхода. Рассмотрена камерная диафрагма ДКС фирмы «Элемер» технические характеристики которой приведены в таблице 2 [37].

Таблица 2 – Основные технические характеристики камерной диафрагмы «Элемер»

Условный проход Ду, мм	50...500
Условное давление Ру, МПа	≤0,6; 0,6...10
Среда	Жидкости, пар, газ

Элемер-100ДД один из лучших российских интеллектуальных датчиков давления с широкими функциональными возможностями. Датчики предназначены для непрерывного преобразования в унифицированный токовый выходной сигнал и/или цифровой сигнал в стандарте протокола HART, или цифровой сигнал на базе интерфейса RS-485 по протоколу Modbus RTU входных измеряемых величин [38]. Имеет возможность извлечения квадратного корня. Данный датчик оснащен 5 разрядным многофункциональным ЖК-индикатором, графической шкалой. Имеет модульную структуру, в которой модули имеют возможность взаимозаменяем, что повышает ремонтпригодность датчика. Погрешность датчика равна 0,15%.

Основные технические характеристики приведены в таблице 3 [38].

Таблица 3 – Основные технические характеристики Элемер-100ДД

Предел дифференциального давления	0,04 кПа...16 МПа
Выходной сигнал	0...5 мА, 4...20 мА/HART
Степень защиты	IP65

Расходомер Метран-150RFA предназначен для измерения объемного расхода среды (вода, пар, газ и другие энергоносители) методом перепада давления с использованием усредняющей напорной трубки Annubar 485 в качестве первичного измерительного преобразователя и передачи информации для управления технологическими процессами и использования в учетно-расчетных операциях [39]. Предел основной относительной погрешности измерений объемного расхода равен ±2,5 %. В таблице 4 приведены технические характеристики Метран-150RFA [39].

Таблица 4 – Основные технические характеристики расходомера Метран-150RFA

Измеряемые среды	Жидкость, газ, пар
Условный проход трубопровода	50...2400 мм
Температура измеряемой среды:	
При интегральном монтаже датчика	-40...315 °С
При удаленном монтаже датчика	-40...454 °С
Избыточное давление в трубопроводе, до	40 МПа
Выходной сигнал	4-20 мА/HART

На основании технических характеристик, приведенных в таблицах 2,3 и 4 выбран расходомер Метран-150RFA для измерения расхода пара и аммиачной воды. Основные преимущества интегральная конструкция расходомера исключает потребность в импульсных линиях и дополнительных устройствах, сокращается количество потенциальных мест утечек среды. Установка расходомера экономична и менее трудоемка по сравнению с установкой измерительного комплекса на базе стандартной диафрагмы. Встроенная функция извлечения квадратного корня позволяет не использовать дополнительно блок извлечения корня.

3.3.5 Газоанализатор

1) Газоанализатор SWG-300 (в дальнейшем газоанализатор) предназначен для измерения объемной концентрации возможностью подключения датчиков измерения температуры воздуха, подаваемого на горение, температуры дымовых газов, скорости газового потока, для технологического и экологического контроля топливосжигающего оборудования.

Основные достоинства газоанализатора АКВТ в том, что измерение до 7 газов одновременно, до 5 точек отбора газа одним газоанализатором, автоматическая калибровка, наличие токового выхода для автоматического управления с программно-устанавливаемым диапазоном, степень защиты IP52 [40].

Основные технические характеристики приведены в таблице 5 [40].

Таблица 5 – Технические характеристики газоанализатора АКВТ-03

Исполнение	Определяемый компонент	Диапазон измерения, ppm	Выходной сигнал	Температура анализирующей среды, °С	Габаритные размеры, мм
SWG-300	NO	0...1000	0...5 мА 4...20 мА RS 485	До 650	1012×600×575

2) Ангор – стационарный многокомпонентный газоанализатор пользуется для определения содержания O₂, CO и NO в отходящих газах топливо сжигающих установок. Ангор-С высокотемпературных сенсоров позволяет оптимизировать процесс горения топлива. Средний срок службы газоанализатора 8 лет.

Достоинства Ангор-С [41]:

- измерения проводятся при температуре выше точки росы дымовых газов, что позволяет отказаться от использования громоздких и ненадежных систем пробоподготовки;
- высокое быстродействие (типично от 1 до 4 сек);
- устойчивость к отравлению датчиков органическими примесями благодаря использованию высокотемпературных твердотельных сенсоров;
- изменяемая пользователем длина пробоотборного зонда;
- возможность автоматической очистки входного фильтра;
- полная диагностика работоспособности и автоматизация калибровочных процедур в процессе эксплуатации;
- возможность проведения периодической поверки без демонтажа оборудования;
- автоматическая защита от перегрузок по концентрации и возможности выпадения конденсата;
- отсутствие электромеханических побудителей расхода пробы;
- формирование управляющих сигналов, совместимых с различными контроллерами и системами управления;
- надёжная долговечная конструкция;

- малое потребление энергии;
- возможность работы на газовом, угольном, мазутном котле.

Основные технические характеристики приведены в таблице 6 [41].

Таблица 6 – Технические характеристики газоанализатора Ангор-С

Исполнение	Определяемый компонент	Диапазон измерения, ppm	Выходной сигнал	Температура анализирующей среды	Габаритные размеры, мм
Ангор-С	NO	0...1500	4...20 мА RS 485	0...1000°С	160×100×75

Анализируя характеристики выбранных газоанализаторов, выяснено, что различия заключаются в сроке эксплуатации и быстродействии. Так как для правильного регулирования подачи топлива и воздуха необходимо, чтобы от газоанализатора поступали точные показания в кратчайшие сроки, то выбор остановлен на газоанализаторе АНГОР-С, быстродействие которого 4 с, по сравнению с SWG-300 у которого быстродействие составляет 10 с.

3.3.6 Пусковое устройство

В качестве управляющего устройства исполнительным механизмом выбран пускатель бесконтактный реверсивный БПР-3, выполняющий пуск и остановку электродвигателей. Технические характеристики представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики интеллектуального блока БПР-3

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение, В	220; 380
Частота тока, Гц	50
Средний срок службы прибора, лет	10

3.3.7 Исполнительный механизм

Однооборотные (или неполноповоротные) электроприводы МЭО, МЭОФ предназначены для приведения в действие запорно-регулирующей арматуры в системах автоматического регулирования технологическими процессами, в

соответствии с командными сигналами регулирующих и управляющих устройств.

МЭО(Ф)-630-Е2-08К однооборотный электропривод с интеллектуальным блоком КИМ2 крутящий момент которого равен 630 Н·м. Имеет уровень пылевлагозащиты IP65. Данный однооборотный электропривод будет установлен на клапан подачи аммиачной воды и на задвижки подачи пара [43].

Напряжение питания (частота): 380 В (50 Гц).

Присоединительные размеры: по ГОСТ Р 55510-2013 или по заказу.

Маркировка взрывозащиты: 1Ex d IIC T4 Gb или 1Ex d IIB T4 Gb.

ПХТ4 – код подгруппы взрывозащищенного оборудования ПСТ или ПВТ температурного класса Т4. Основные технические характеристики приведены в таблице 8 [42].

Таблица 8 – Технические характеристики исполнительного механизма «МЭО(Ф)-630-Е2-08К»

Ном. Крутящий момент, Нм	Макс. Момент включения, Нм	Ном. Время полного хода, с	Ном. Полный ход, с	Ном. Потреб. Мощность, Вт	Масса, кг
630	950	10; 25; 63; 160	0,25; 0,63	230; 330; 460	83

3.3.8 Программируемый логический контроллер

Согласно ГОСТ Р 58604-2019 к контроллерам, используемых на тепловых электрических станциях предъявляются следующие требования [43]:

– при реализации АСУТП должны использоваться контроллеры, позволяющие реализовать в реальном времени предусмотренные алгоритмы контроля и управления технологическим процессом;

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

– в состав контроллера должно входить энергозависимое запоминающее устройство, позволяющее использовать его при загрузке и

запуске операционной системы и пользовательских программ;

- программное обеспечение контроллеров, используемое при реализации функций АСУТП, должно соответствовать: общим требованиям по ГОСТ 24.104, требованиям к программному обеспечению автоматизированных систем и контроллеров по ГОСТ Р 8.654;

- должна обеспечиваться возможность резервирования контроллеров, используемых для выполнения функций, к которым предъявляются требования высокой надежности;

- контроллеры должны быть оснащены высокопроизводительными операционными системами.

Существует необходимость подключения 9 аналоговых входов и 3 дискретных входов, так же значительного количества аналоговых и дискретных выходов. За счет значительного количества подключённых сигналов, контроллер должен иметь высокую производительность для обеспечения непрерывной работы и регулирования системы.

На основании вышеприведенных требований выбираем программируемый контроллер фирмы Siemens SIMATIC S7 300.

Контроллер фирмы Siemens SIMATIC S7 300 - предназначен для построения систем автоматизации низкой и средней степени сложности. Имеет модульную конструкцию, что позволит расширить диапазон входных и выходных сигналов, широкие коммуникационные возможности, многообразие функция, удобство эксплуатации и обслуживания [44].

1) Модуль центрального процессора CPU 317-2 DP

Центральный процессор для выполнения программ большого объема и решения относительно сложных задач автоматического управления в различных секторах промышленного производства. Высокая производительность, скоростное выполнение логических инструкций, а также арифметических операций с плавающей запятой. Встроенные интерфейсы MPI/ PROFIBUS DP и PROFIBUS DP. Программирование с использованием стандартных инструментальных средств, а также инструментальных средств проектирования.

Имеет возможность для подключения до 32 встроенных модулей. Технические данные модуля центрального процессора CPU 317-2 DP приведены в таблице 9 [45].

Таблица 9 – Технические данные модуля центрального процессора CPU 317-2 DP

Питание	
Номинальное значение напряжения питания	24 В
Номинальный потребляемый ток	870 мА
Память	
Встроенная память для выполнения программы и хранения данных	512 Кбайт
Емкость энергозависимой памяти для сохранения блоков данных	256 Кбайт
Сохранение данных при перебоях в питании	Есть
Сохранение информации в ММС	До 10 лет
Время выполнения	
Типовое время выполнения логических операций со словами	0,05 мкс
Типовое время выполнения логических операций с фиксированной/плавающей точкой	0,2 мкс
Функции времени	
Часы реального времени	Есть
Встроенные интерфейсы MPI	
Типа интерфейса	RS 485
Гальваническое разделение внешних и внутренних цепей	Есть
Питание интерфейса, не более	200 мА, 15...30 В
Встроенные интерфейсы PROFIBUS DP	
Тип интерфейса	RS 485
Гальваническое разделение внешних и внутренних цепей	Есть
Габариты и масса	
Габариты (ШхВхГ) в мм	40x125x130
Масса	360 г.

2) Модуль питания PS 307

Блок питания контроллеров SIPLUS S7-300 с входным напряжением постоянного тока. Монтируется на стандартную профильную шину S7-300/ET 200M. В комплекте с силовой перемычкой для подключения питания к центральному процессору/интерфейсному модулю. Имеет расширенный диапазон рабочих температур, работа в условиях появления конденсата и временного обледенения печатных плат, а также в средах с содержанием хлора и серы [45]. Технические данные приведены в таблице 10 [45].

Таблица 10 – Технические данные модуля питания PS 307

Размеры и вес	
Размеры ШxВxГ	80x125x120 мм
Вес	570 г
Входные данные	
Номинальное значение входного напряжения	120/230 В
Частота сети для номинального значения	50 Гц или 60 Гц
Выходные данные	
Номинальное значение выходного напряжения	24 В
Допустимый диапазон	24 В ± 5%
Номинально значение выходного тока	2 А

3) Модуль ввода аналоговых сигналов SM 331-7HF01-0AB0

Модуль ввода аналоговых сигналов SM 331 предназначен для подключения к контроллеру аналоговых датчиков, выполнения аналогово-цифрового преобразования входных аналоговых сигналов и формирования цифровых величин, используемых центральным процессором в ходе выполнения программы. К входам модулей могут подключаться датчики с унифицированными входными электрическими сигналами напряжения или силы тока, термодары, термометры сопротивления и т.д. [45]. Технические данные приведены в таблице 11 [45].

Таблица 11– Технические данные модуля ввода аналоговых сигналов SM 331-7HF01-0AB0

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

Продолжение таблицы 11

Конструктивные особенности	
Гальваническое разделение между каналами и цепью питания электроники модуля	Есть
Данные для выбора датчиков	
Параметры входных сигналов для датчиков напряжения	± 1 В/ 1МОм; ± 5 В/ 100 кОм; ± 10 В/ 100 кОм; 1...5 В/ 100 кОм
Параметры входных сигналов для датчиков силы тока	± 20 мА/ 50 Ом; 0...20 мА/ 50 Ом; 4...20 мА/ 50 Ом
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при горизонтальной установке	0...+60°C
Диапазон температур при вертикальной установке	0...+40°C

4) Модуль вывода аналоговых сигналов SM 332-5HF00-0AB0

Модуль вывода аналоговых сигналов предназначен для цифро-аналогового преобразования внутренних цифровых величин контроллера и формирования его выходных аналоговых сигналов. К выходам могут подключаться исполнительные устройства, управляемые унифицированными сигналами силы тока или напряжения [45]. Технические данные представлены в таблице 12 [45].

Таблица 12 – Технические данные модуля вывода аналоговых сигналов SM 332-5HF00-0AB0

Конструктивные особенности	
Габариты (ШxВxГ)	40x125x117 мм
Масса	0,272 кг
Подключение внешних цепей через	40-полюсный фронтальный соединитель
Характеристика модуля	
Общее количество выходов	8
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	1x8
Напряжение, токи, потенциалы	
Напряжение питания нагрузки	24 В
Гальваническое разделение между каналами и внутренней шиной контроллера	Есть
Гальваническое разделение между каналами и цепью питания электроники модуля	Есть
Данные для выбора исполнительных устройств	
Диапазоны изменения выходных сигналов для каналов напряжения	1...5 В; 0...10 В;

Продолжение таблицы 12

Конструктивные особенности	
Диапазоны изменения выходных сигналов для каналов силы тока	0...20 мА; 4...20 мА
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при горизонтальной установке	0...+60°C
Диапазон температур при вертикальной установке	0...+40°C

5) Модуль ввода-вывода дискретных сигналов SM 323-1BL00-0AA0.

Модуль ввода-вывода дискретных сигналов предназначен для преобразования входных дискретных сигналов контроллера в его внутренние логические сигналы, а также преобразования внутренних логических сигналов контроллера в его выходные дискретные сигналы. К входам модулей могут подключаться контактные датчики или бесконтактные датчики, к выходам – исполнительные устройства или их коммутационные аппараты [45]. Технические данные представлены в таблице 13 [45].

Таблица 13 – Технические данные модуля ввода-вывода дискретных сигналов SM 323-1BL00-0AA0

Конструктивные особенности	
Габариты (ШxВxГ)	40x125x120 мм
Масса	0,26 кг
Подключение внешних цепей через	40-полюсный фронтальный соединитель
Дискретные входы и выходы	
Количество входов	16
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	1x16
Количество выходов	16
Количество изолированных групп x количество каналов в группе	2x8
Напряжение, токи, потенциалы	
Номинальное значение напряжение внешних цепей	24 В
Гальваническое разделение между каналами и внутренней шиной контроллера	Есть
Гальваническое разделение между каналами и цепью питания электроники модуля	Есть
Данные для выбора датчиков	
Номинальное входное напряжение	24 В
Данные для выбора исполнительных механизмов	
Выходное напряжение высокого уровня не менее	0,8 В
Номинальное значение выходного тока высокого уровня	0,5 А
Условия эксплуатации	
Диапазон температур при горизонтальной установке	0...+60°C
Диапазон температур при вертикальной установке	0...+40°C

Выбранные технические средства, необходимые для реализации проектируемой системы, приведены в заказной спецификации, представленной на ФЮРА.421000.011. СО1.

3.4 Разработка принципиальной электрической схемы

Электрическая схема АСУ очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.011 Э3. Перечень элементов электрической схемы представлен на листах с шифром ФЮРА.421000.011 ПЭ3.

На листе 1 с шифром ФЮРА.421000.011 Э3 представлена электрическая схема подсистемы электрического питания и микроклимата щита у правления.

Подсистема электрического питания включает себя:

- автоматический выключатель (QF1), предназначен для защиты разделительных и групповых цепей;
- щитовая розетка (XS1), предназначенная для подключения электрического инструмента малой мощности во время профилактических и ремонтных работ;
- блоки зажимов (XT0...XT03), предназначенные для соединения кабелей;
- устройство защиты от перенапряжений (Z01), предназначенное для защиты устройств от перенапряжений при протекании через сеть импульсов тока;
- модуль питания (G1), предназначенный для обеспечения устройств напряжением 24 В.

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

Подсистема микроклимата включает в себя:

- концевой выключатель (SQ1), предназначенный для замыкания и размыкания рабочей цепи;
- осветительный прибор (EL1), предназначенный для освещения;

- реле контроля температуры (КК1), предназначенное для контроля температуры в шкафу управления;
- фильтрующий вентилятор (М1), предназначенный для нагнетания холодного воздуха.

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

На листах 2 с шифром ФЮРА.421000.011 Э3 представлена электрическая схема подсистемы ввода аналоговых сигналов.

Подсистема ввода аналоговых сигналов включает в себя:

- модуль питания программируемого логического контроллера Siemens (A1);
- модуль центрального процессора Siemens (A2);
- модуль ввода аналоговых сигналов программируемого логического контроллера Siemens (A3);
- 20-полюсный фронтальный соединитель (XP3) для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних входных и выходных цепей;
- преобразователи аналоговых сигналов (UY1...UY4), пассивные разъединители, предназначенные для разделения аналоговых сигналов;
- п-образный соединитель (S1), предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;
- блоки зажимов (XT1, XT1, XT5, XT7, XT9).

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

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

Подсистема ввода-вывода дискретных сигналов включает в себя:

- модуль ввода-вывода дискретных сигналов программируемого логического контроллера Siemens (A4);
- 40-полюсный фронтальный соединитель для сигнальных модулей клемм с винтовыми зажимами, предназначенный для подключения к контроллеру внешних входных и выходных цепей (XP4);
- релейный модуль (K1...K8), предназначенный для повышения нагрузочной способности управляющих выходов слаботочного, низковольтного оборудования посредством релейных «сухих» контактов;
- п-образный шинный соединитель (S1), предназначенный для подключения модулей к внутренней шине контроллера;
- блоки зажимов (XT2, XT4, XT6, XT8).

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

3.5 Разработка монтажной схемы АСУ

На схемах внешних электрических и трубных проводок изображают проложенные вне шкафов электрические провода, кабели, импульсные, питающие, защитные короба, трубы, металлорукава с указанием их длин, номера, типа. На чертежах этих схем в виде условных обозначений изображаются [36]:

- встроенные в технологическое оборудование первичные преобразователи;
- установленные вне шкафов приборы и средства автоматизации;
- вспомогательные устройства (соединительные и протяжные коробки, фитинги, коробки свободных концов термопар и т.п.);
- заземляющее оборудование для различных токоприемников.

Монтажная схема соединений внешних проводок проектируемой системы представлена на листе ФЮРА.421000.011 Э4.

В верхней части схемы расположена таблица с позиционным обозначением измерительных приборов и мест их установки, а также с обозначениями измеряемой среды и соответствующих измеряемых параметров. Ниже расположены условно изображенные датчики, от которых отходят кабели, обозначенные на чертеже линиями, прописано название кабеля, его сечение и количество жил, а также протяженность. Линии, проведенные от датчиков, соединены с прямоугольником, обозначающим шкаф автоматизации. Условно изображены и пронумерованы клеммы, к которым подходят линии от датчиков. В правой части чертежа расположены устройства и механизмы, предназначенные непосредственно для регулирования технологического параметра, путем подачи на них дискретных сигналов. Также проведены линии до шкафа автоматизации, обозначающие кабели, прописаны их характеристики.

3.6 Разработка общего вида щита управления

Общий вид щита управления представлен на листе с шифром ФЮРА.421000.011 ВО.

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 Siemens SIMATIC S7-300 (AC1), во втором ряду расположены средства защиты системы питания и управления, а именно автоматический выключатель (QF1), устройство защиты от перенапряжений (Z1), блок питания (G1) и щитовая розетка (XS1). В третьем ряду расположена вспомогательная аппаратура – реле (K1...K8, KK1) разделительные преобразователи (UY1...UY4). В нижней части шкафа вертикально в несколько рядов расположены групповые обжимы (XT01, XT1... XT9).

В данной дипломной работе был выбран шкаф распределительный типа AX 1260.000 IP 66/NEMA 4 производства фирмы Rittal (Германия). Размеры шкафа 1200x600x300 мм. Оборудование размещено на монтажных шинах с

перфорацией NS 35/7,5 производителя Phoenix Contact. Для прокладки силовых проводов используются перфорированные короба 40x40 производителя Efarel. Справой стороны приведен перечень элементов, входящих в щит управления.

4. Расчет параметров настройки регулятора

4.1 Идентификация объекта управления

Идентификация – это совокупность методов предназначенных для построения математических моделей динамической системы по данным наблюдений. Математическая модель в данном случае означает математическое описание поведения какой-либо системы или процесса во временной области. Существует активная и пассивная идентификации. В случае активной – объект исследования выводится из равновесного состояния путем подачи на его входы специальных сигналов.

К активной идентификации прибегают при разработке новых технологий на действующих промышленных объектах. Пассивная идентификация применяется для уточнения математической модели.

В данной работе для получения кривой разгона использована модель изменения концентрации NO_x по времени (рисунок 5).

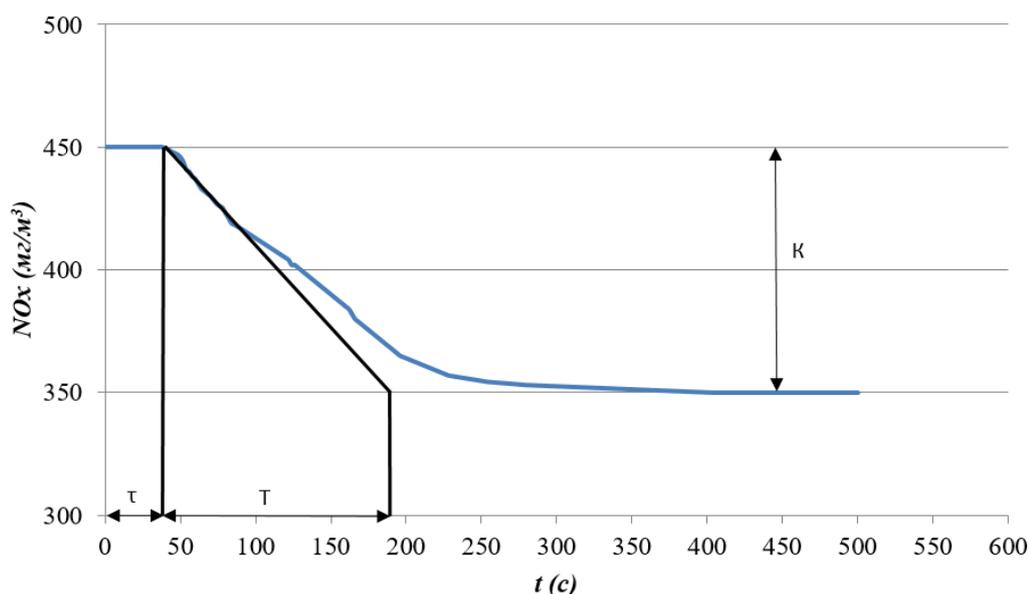


Рисунок 5 – Кривая разгона объекта управления

На полученной переходной характеристике определяем динамические параметры объекта, такие как: постоянная времени T ; запаздывание τ , коэффициент передачи K .

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{K}{(TP + 1)} e^{-P\tau},$$

где K – коэффициент передачи, P – оператор Лапласа, τ – время запаздывания, T – постоянная времени.

По графику определяем динамические параметры объекта:

- $K = 100$;
- $\tau = 38$ с;
- $T = 152$ с.

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{100}{(152P + 1)} e^{-38P}.$$

4.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 6 представлена структурная схема системы регулирования, которая имеет следующий вид:

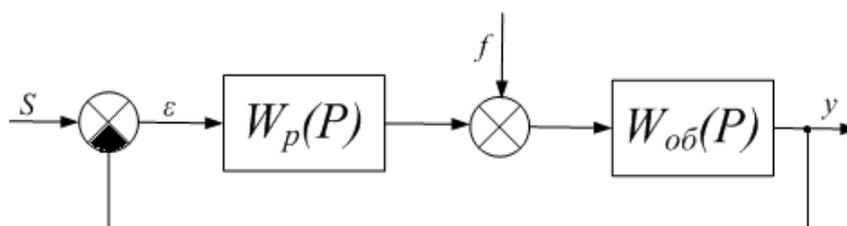


Рисунок 6 – Структурная схема системы регулирования

Выполняется расчет для степени устойчивости равной $\psi=0,95$.

В качестве интегральной оценки качества принять первую интегральную оценку качества.

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

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

Для системы регулирования установлены следующие требования к запасу устойчивости системы: степень затухания переходного процесса в системе $\psi = 0,95$.

Есть зависимость между степенью затухания переходных процессов в заданной системе регулирования ψ и степенью колебательности переходных процессов в заданной системе регулирования m , можно определить значение заданной степени колебательности m по формуле:

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,95) \approx 0,477,$$

где ψ – степень затухания переходных процессов в заданной системе регулирования.

Передаточная функция объекта регулирования определяется по формуле:

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

где P – оператор Лапласа.

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

$$W_{oo}(P) = \frac{K \cdot e^{-P \cdot \tau}}{(T_1 \cdot P + 1)}.$$

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

$$W_{oo}(P) = \frac{100 \cdot e^{-38 \cdot P}}{(152 \cdot P + 1)}.$$

Определим расширенные частотные характеристики объекта регулирования. Расширенные частотные характеристики какого-либо звена можно получить подстановкой в передаточную функцию этого звена $W(P)$ оператора $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$ или $p = -\eta + i \cdot \omega$, в выражениях для оператора Лапласа ω – частота, c^{-1} . В первом случае расчётные формулы метода обеспечивают получение границы заданной степени колебательности системы m , а во втором – получение границы заданной степени устойчивости системы η в пространстве параметров настройки регулятора [46].

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

$$W_{об}(P) = \frac{100 \cdot e^{-38(-m\omega + i\omega)}}{[152(-m\omega + i\omega) + 1]}$$

Используя программу Mathcad, предварительно задав начальное значение частоты $\omega=0$ c^{-1} и шаг по частоте $\Delta\omega = 0,005$ c^{-1} , рассчитываем расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до $\omega=0,1$ c^{-1} .

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

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

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

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

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ):

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

Расширенная фазо-частотная характеристика (РФЧХ):

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

Результаты расчётов сведём в таблицу 14.

Таблица 14 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

ω, c^{-1}	$Re_{об}(m, \omega)$	$Im_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$	$\varphi_{об}(m, \omega), \text{рад}$
0	100	0	100	0

Продолжение таблицы 14

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{06}(m, \omega)$	$Im_{06}(m, \omega)$	$A_{06}(m, \omega)$	$\varphi_{06}(m, \omega), \text{рад}$
0,005	53,68446	-96,4386	110,374	-1,06285
0,01	-15,4967	-76,0411	77,60411	1,36976
0,015	-32,8756	-47,2	57,52087	0,96241
0,02	-36,8291	-28,8089	46,75828	0,66381
0,025	-37,1287	-16,1429	40,48624	0,41013
0,03	-35,9974	-6,49772	36,57915	0,17858
0,035	-34,0275	1,38112	34,05548	-0,04057
0,04	-31,3899	8,08583	32,41461	-0,25211
0,045	-28,1354	13,89321	31,37871	-4,59E-01
0,05	-24,2845	18,91717	30,78302	-0,66179
0,055	-19,8591	23,18158	30,52487	-0,86244
0,06	-14,8958	26,65854	30,53787	-1,06125
0,065	-9,45162	29,29085	30,77803	-1,25866
0,07	-3,60714	31,00672	31,21583	-1,45498
0,075	2,53235	31,73063	31,83152	1,49116
0,08	8,83662	31,39216	32,61217	1,29641
0,085	15,15144	29,93366	33,54982	1,10223
0,09	21,30062	27,31719	34,64022	0,90852
0,095	27,0891	23,5309	35,88207	0,71522
0,1	32,3073	18,59483	37,27639	0,52226

Построим РАФЧХ объекта регулирования, которая представлена на рисунке 7.

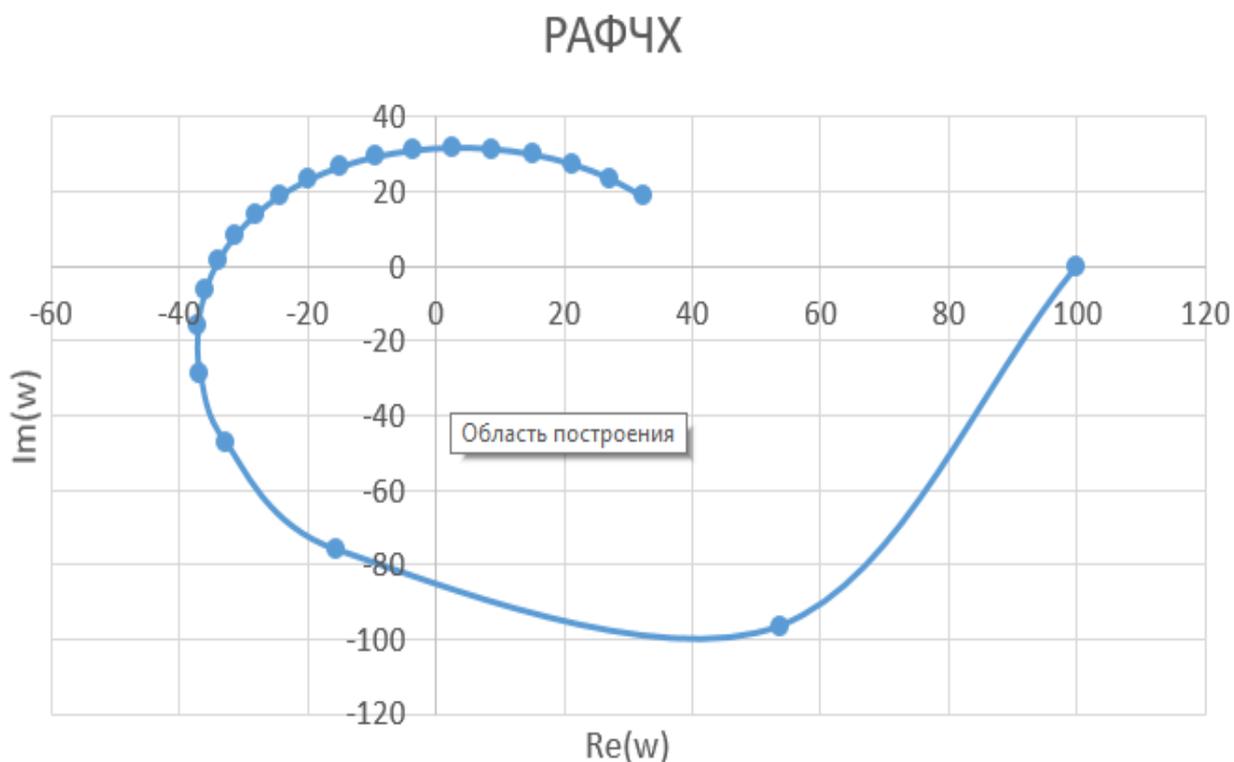


Рисунок 7 – РАФЧХ объекта регулирования

Расчётные формулы корневого метода для ПИ-регулятора имеют вид:

$$\frac{K_p}{T_u} = - \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot Im_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)} ;$$

$$K_p = - \frac{m \cdot Im_{об}(m, \omega) + Re_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)},$$

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

Зададим диапазон изменения частоты $\omega = 0 \dots 0,05 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,002 \text{ с}^{-1}$, определим настройки регулятора $\frac{K_p}{T_u}$ и K_p в заданном диапазоне частот.

Результаты расчётов сведём в таблицу 15.

Таблица 15 – Результаты расчёта настройки ПИ-регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\frac{K_p}{T_u}$	K_p
0	0	-0,01
0,002	0,00000871	-0,0063

Продолжение таблицы 15

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\frac{K_p}{T_n}$	K_p
0,004	0,0000324	-0,0025
0,006	0,0000671	0,0013
0,008	0,000109	0,005
0,01	0,000155	0,0086
0,012	0,000201	0,012
0,014	0,000244	0,0152
0,016	0,000280	0,0182
0,018	0,000307	0,0208
0,02	0,000323	0,0231
0,022	0,000326	0,0251
0,024	0,000314	0,0267
0,026	0,000286	0,0279
0,028	0,000241	0,0288
0,03	0,000179	0,0292
0,032	0,0000994	0,0293
0,034	0,00000308	0,029
0,036	-0,000109	0,0284
0,038	-0,000237	0,0275
0,04	-0,000378	0,0262

Частота $\omega = 0,022$ является резонансной, так как при её значении наблюдается максимум отношения $\frac{K_p}{T_n}$. На рисунке 8 представлена область параметров настройки ПИ-регулятора.

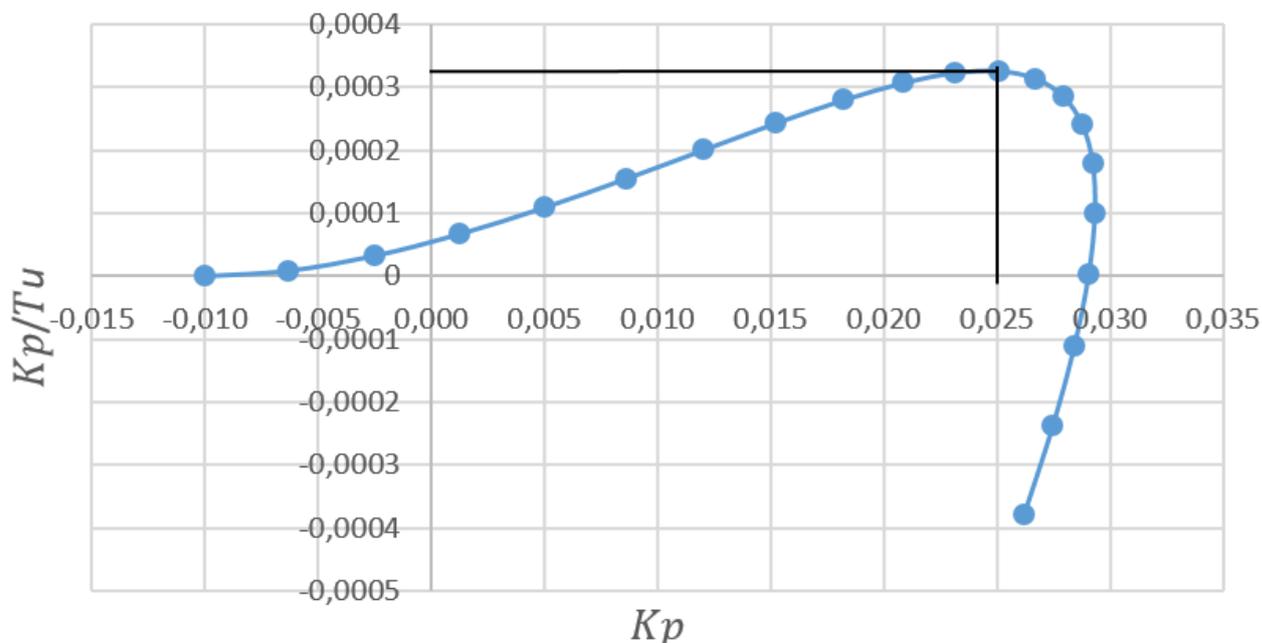


Рисунок 8 – Область параметров настройки ПИ-регулятора

Полученная кривая является границей заданной степени затухания $\psi_{\text{зад}} = 0,95$ процесса регулирования, что соответствует степени колебательности $m = 0,477$. Таким образом, все значения $\frac{K_p}{T_i}$ и K_p , лежащие на этой кривой, обеспечивают определенную степень затухания (в данном случае $\psi = \psi_{\text{зад}} = 0,95$) [47].

4.2.2 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора

Поиск оптимальных параметров настройки регулятора осуществляется вдоль границы заданного запаса устойчивости системы регулирования, представленной на рисунке 3, до достижения экстремума принятого критерия качества [48].

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

$$I_1 = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt$$

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

$$K_p = 0,0251 \text{ и } \max\left(\frac{K_p}{T_u}\right) = 0,000326.$$

Резонансная частота замкнутой системы $\omega_{\text{рез}} = 0,022 \text{ с}^{-1}$.

$$T_u = \frac{K_p}{\frac{K_p}{T_u}} = \frac{0,0251}{0,000326} = 76,89 \text{ с.}$$

Передаточная функция регулятора:

$$W_p(P) = K_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_u P}\right) = 0,0251 \cdot \left(1 + \frac{1}{76,89 \cdot P}\right).$$

4.2.3 Переходный процесс в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

$$\begin{aligned} W_{s-y} &= \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)} = \\ &= \frac{\frac{100 \cdot e^{-38 \cdot P}}{(152 \cdot P + 1)} \cdot 0,0251 \cdot \left(1 + \frac{1}{76,89 \cdot P}\right)}{1 + \frac{100 \cdot e^{-38 \cdot P}}{(152 \cdot P + 1)} \cdot 0,0251 \cdot \left(1 + \frac{1}{76,89 \cdot P}\right)}, \end{aligned}$$

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

Используя программу Mathcad, предварительно задав диапазон изменения частоты $\omega = 0 \dots 0,097 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,004 \text{ с}^{-1}$, рассчитываем вещественную частотную характеристику замкнутой АСР при регулирующем воздействии: $Re_{з.с.}(\omega)$.

Результаты расчёта сведём в таблицу 16.

Таблица 16 – Результаты расчета ВЧХ замкнутой системы по каналу задающего воздействия

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{з.с.}(\omega)$
0	1
0,001	1,00252
0,005	1,03791

Продолжение таблицы 16

$\omega, \text{с}^{-1}$	$Re_{з.с.}(\omega)$
0,009	1,1001
0,013	1,15224
0,017	1,1304
0,021	0,9383
0,025	0,48553
0,029	-0,1718
0,033	-0,75943
0,037	-1,05864
0,041	-1,09974
0,045	-1,00791
0,049	-0,87182
0,053	-0,73299
0,057	-0,60673
0,061	-0,49691
0,065	-0,40306
0,069	-0,32332
0,073	-0,25559
0,077	-0,19793
0,081	-0,14869
0,085	-0,1065
0,089	-0,07024
0,093	-0,03899
0,097	-0,01203

На рисунке 9 представлен график ВЧХ замкнутой системы.

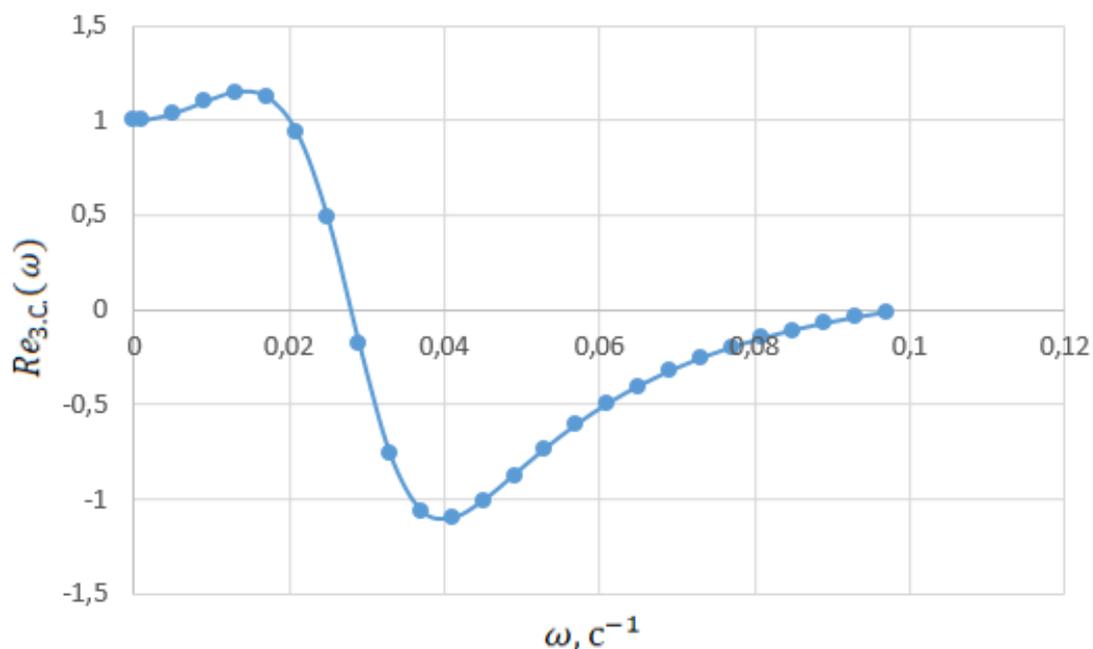


Рисунок 9 – График ВЧХ замкнутой системы по каналу задания $s - y$

Переходный процесс по каналу задающего воздействия рассчитываем по формуле:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,097} \frac{Re_{3.c.}(\omega)}{\omega} \cdot (\sin(\omega \cdot t)) d\omega,$$

где 0,097 частота, при которой график $Re_{3.c.}(\omega)$ стремится к 0, данная частота определена графическим способом из рисунка 4 [49].

Задав диапазон изменения времени переходного процесса $t = 0 \dots 700$ с с шагом $\Delta t = 10$ с, рассчитываем переходный процесс в замкнутой АСР.

Результаты расчета представим в таблице 17.

Таблица 17 – Результаты расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия

t, c	$y(t)$	t, c	$y(t)$	t, c	$y(t)$
0	0	250	0,9801	500	1,00723
10	-0,02049	260	0,94977	510	1,00333
20	-0,02469	270	0,93007	520	1,00059
30	3,33E-03	280	0,91911	530	0,99931
40	0,07666	290	0,91403	540	0,99885
50	0,20113	300	0,91288	550	0,99817

Продолжение таблицы 17

t, c	$y(t)$	t, c	$y(t)$	t, c	$y(t)$
60	0,37142	310	0,9154	560	0,99681
70	0,57083	320	0,92221	570	0,99521
80	0,77613	330	0,93337	580	0,99431
90	0,9652	340	0,94741	590	0,99468
100	1,12375	350	0,96182	600	0,99602
110	1,24737	360	0,97448	610	0,99738
120	1,3387	370	0,98473	620	0,99797
130	1,40215	380	0,99339	630	0,99777
140	1,44002	390	1,00154	640	0,99747
150	1,45227	400	1,0094	650	0,99786
160	1,43906	410	1,01601	660	0,99907
170	1,40357	420	1,02007	670	1,00051
180	1,35253	430	1,02111	680	1,00133
190	1,29399	440	1,01995	690	1,00118
200	1,23432	450	1,01809	700	1,00048
210	1,17656	460	1,01664		
220	1,12125	470	1,01557		
230	1,06867	480	1,01398		
240	1,0206	490	1,01114		

На рисунке 10 представлен результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия.

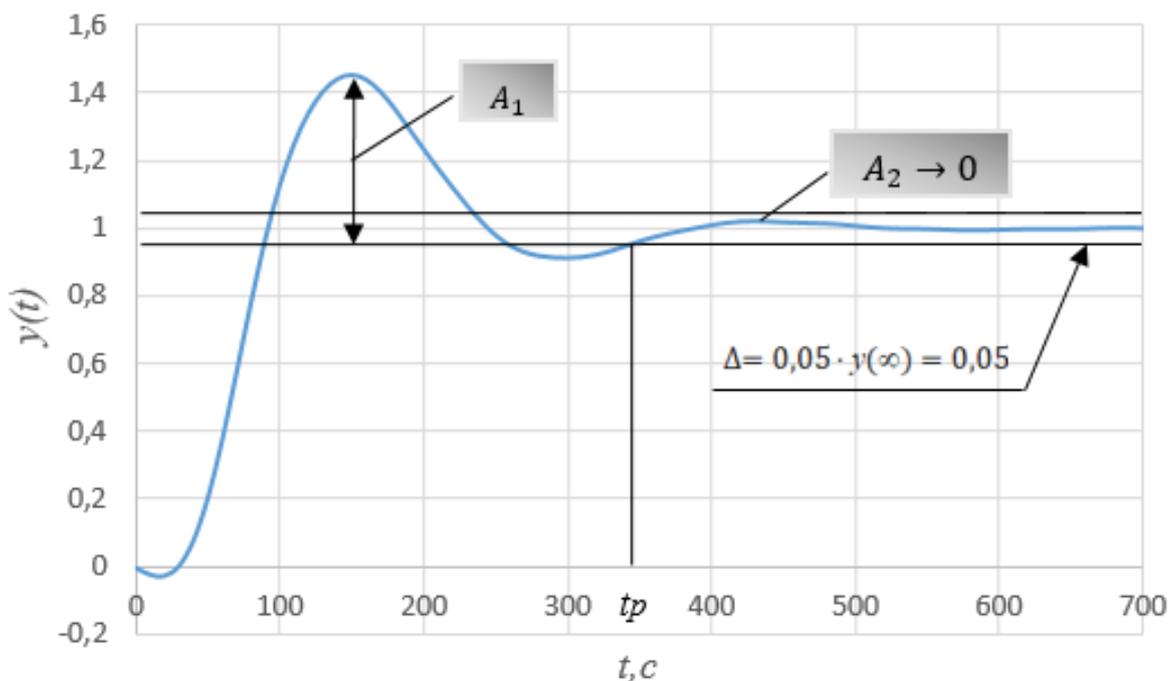


Рисунок 10 – Результат расчёта переходного процесса в замкнутой АСР по каналу задающего воздействия $s - y$

4.2.4 Оценка качества регулирования

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

Используя данные таблицы 5 и рисунка 5, произведём оценку качества переходного процесса в замкнутой АСР.

Прямые критерии качества:

1. Максимальная динамическая ошибка: $A_1 = 0,45$.
2. Перерегулирование:

$$\sigma = \frac{A_1}{y(\infty)} \cdot 100\% = \frac{0,45}{1} \cdot 100\% = 45\%,$$

где $y(\infty)$ – уровень установившегося значения регулируемой величины при времени переходного процесса t .

3. Степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0}{0,45} = 1.$$

4. Статическая ошибка:

$$\varepsilon_{СТ} = S - y(\infty) = 1 - 1 = 0.$$

Время регулирования: $t_p = 350$ с, при величине $\Delta = 0,05 \cdot y(\infty) = 0,05$.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б8В	Фрицлер Валерии Яковлевне

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ.
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Состояние бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала

1. Матрица SWOT;
2. Диаграмма Ганта.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук Ирина Вадимовна	Доцент, к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Фрицлер Валерия Яковлевна		

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской программы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

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

Целью данной ВКР – разработка автоматизированной системы управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив.

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

5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В связи с тем, что разрабатываемая АСУ рассчитана на конкретные параметры парового котла марки «ТП-87» от «Таганрогского котельного завода» в данном случае потенциальным потребителем такой разработки является энергетическая промышленность. А именно, тепловые электростанции, имеющие в составе энергоблоки, параметры которых, соответствуют параметрам разрабатываемой системы. Данный энергоблок является вертикально-водотрубным, однобарабанным, с уравновешенной тягой, имеющий

естественную циркуляцию, при сжигании твердого топлива шлакоудаление может быть твердое или жидкое. Компоновка поверхностей нагрева применяется П-образная. Такие энергоблоки имеет в составе Тольяттинский ТЭЦ и др.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим конкурентам, позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направление для ее будущего повышения [50].

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты. Для этого отберем три конкурирующие разработки, обеспечивающие автоматическое регулирование очисткой дымовых газов от оксида азота.

1) Регулирование очисткой дымовых газов методом неселективно каталитического восстановления.

2) Регулирование очисткой дымовых газов методом селективно некаталитического восстановления аммиаком.

3) Регулирование очисткой дымовых газов методом селективно каталитического восстановления аммиаком.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений приведена в таблице 18. Позиции разработок приведены под номерами 1, 2, 3 соответственно. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 18, подобраны с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 18 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б ₁	Б ₂	Б ₃	К ₁	К ₂	К ₃
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Динамическая точность	0,2	2	4	4	0,4	0,8	0,8
2. Простота эксплуатации	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
3. Надежность	0,15	3	5	4	0,45	0,75	0,6
4. Качество регулирования	0,2	2	5	5	0,4	1	1
5. Простота наладки	0,05	4	5	4	0,2	0,25	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
2. Предполагаемый срок эксплуатации	0,2	4	4	4	0,8	0,8	0,8
3. Стоимость обслуживания	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
Итого	1	26	34	32	3,0	4,3	4,1

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Пример расчета для конкурента 1:

$$K = \sum B_i \cdot B_i = 0,2 \cdot 4 + 0,05 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 2 + 0,05 \cdot 4 + \\ + 0,1 \cdot 4 + 0,02 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 = 3,0.$$

Анализируя полученные результаты, делаем вывод, что разработки под номерами 2 и 3 являются наиболее конкурентоспособными и выгодными. Такие разработки проще в наладке и эксплуатации, обеспечивают большее качество регулирования и динамическую точность в отличие от варианта под номером 1.

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

5.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта, применяется для исследования внешней и внутренней среды проекта [50].

В данном разделе проведем SWOT-анализ выбранного проектного решения. Для этого необходимо описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта, которые появились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 19.

Таблица 19 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны: С1. Ориентированность системы на уменьшение выбросов с предприятия. С2. Использование современных компонентов системы. С3. Высокая надежность системы. С4. Большой срок эксплуатации. С5. Высокая точность регулирования.</p>	<p>Слабые стороны: Сл1. Требуются контроллеры, предназначенные для систем средней степени сложности. Сл2. Высокая стоимость Сл3. Потребность в высококвалифицированном персонале. Сл4. Привязка к конкретным параметрам объекта автоматизации.</p>
<p>Возможности: В1. Возможность внедрения на другие станции и, как следствие, появление большего спроса на продукцию. В2. Высокий интерес инвесторов к новым разработкам.</p>	<p>1. Вариативность использования, а также повышенные технические и эксплуатационные характеристики позволяют увеличить масштаб установки данной разработки. 2. При должной финансовой поддержке появляется возможность разработать альтернативные и менее дорогие системы, имеющие аналогичные характеристики.</p>	<p>1. Распространение данных систем может привести к повышению требований при приеме работников на работу при неизменном качестве работы АСР. 2. Благодаря высокому интересу инвесторов можно снизить затраты на покупку необходимого оборудования.</p>
<p>Угрозы: У1. Повышение стоимости на компоненты системы. У2. Появление новых проектных решений.</p>	<p>1. Использование отечественного оборудования и наработок с сохранением технических и надежных характеристик. 2. Необходимость повышать производительность и снижать затраты на систему для сохранения позиций.</p>	<p>1. Из-за повышенного ценообразования на современные компоненты, а также нестабильного курса рубля, система может стать нецелесообразной. 2. Из-за повышенных требований система может стать нецелесообразной</p>

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта,

а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 20–23.

Таблица 20 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

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

Таблица 21 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	B1	-	-	+	+
	B2	-	+	-	-

Таблица 22 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

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

Таблица 23 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	+	0
	У2	-	-	-	-

Проведение SWOT-анализа позволило выявить сильные и слабые стороны проекта, а также существующие возможности и угрозы для дальнейшей реализации проекта.

Основным достоинством такой системы является ориентированность на снижение выбросов, который в будущем будет активно использоваться в России также, как и за рубежом. Система включает в себя современные компоненты, использует надежные ПЛК и обладает соответствующей точностью.

У системы также существует ряд недостатков, которые в первую очередь связаны с привязкой системы на конкретный вид топлива потребность в высококвалифицированном персонале способным обеспечить обслуживание данной системы. Выявленные недостатки возможно устранить путем проведения дальнейшей модернизации системы с использованием новых технологий.

5.2 Планирование научно-исследовательских работ

5.2.1 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 24.

Таблица 24 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

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

5.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

В данном разделе определена трудоемкость работ каждого из участников научного исследования. Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается в человеко-днях и носит вероятностных характер.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула [50]:

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

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой i -ой работы в рабочих днях T_{pi} , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями [50]. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3)$$

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (4):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал.инж}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 25.

Таблица 25 – Временные показатели проведения научного исследования

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

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 26).

Таблица 26 – Диаграмма Ганта

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

█ – Исп1 (научный руководитель), █ – Исп2 (инженер)

5.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);

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

5.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

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

Таблица 27 – Материальные затраты

Наименование статей	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Комплекс канцелярских принадлежностей	4	340	1200
Картридж для лазерного принтера	1	3490	3490
Итого			4690

5.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

При выполнении научно-исследовательского проекта использовался персональный компьютер.

Таблица 28 – Затраты на оборудование

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

Расчет амортизации проводится следующим образом.

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

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

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 50000}{12} \cdot 3 = 4125 \text{ руб.}$$

5.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) одного работника рассчитывается по следующей формуле [50]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (5)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле [50]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (6)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 28 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя; в 56 раб.дней $M=10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно технического персонала, рабочих дней (таблица 29).

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}$$

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад работника [50]:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (7)$$

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

Месячный должностной оклад руководителя и иженера:

$$Z_M^{рук} = Z_{TC}^{рук} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.},$$

$$Z_M^{инж} = Z_{TC}^{инж} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}$$

Таблица 29 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 30 – Расчет основной заработной платы исполнителей

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

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле [50]:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (8)$$

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

$$Z_{доп}^{рук} = k_{доп} \cdot Z_{осн}^{рук} = 0,15 \cdot 28988,6 = 4348,3 \text{ руб.},$$

$$Z_{доп}^{инж} = k_{доп} \cdot Z_{осн}^{инж} = 0,15 \cdot 119402,4 = 17910,4 \text{ руб.}$$

5.3.4 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 [50].

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы [50]:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (9)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Величина отчислений во внебюджетные фонды руководителя и исполнителя:

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

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

5.3.5 Накладные расходы

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

Таблица 31 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
4125	4690	148391	22258,7	51194,9	276534

Величина накладных расходов определяется по следующей формуле [50]:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (10)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 20% [50].

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости по форме, приведенной в таблице 32. Также, в таблице представлено определение бюджета затрат двух конкурирующих научно-исследовательских проектов.

Таблица 32 – Группировка затрат по статьям

№	Наименование статьи	Сумма, руб.			Примечание
		Текущий проект	Исп.2	Исп.3	
1	Материальные затраты НИР	4690	3517,5	12194	Пункт 4.2.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	4125	55000	103500	Пункт 4.2.3.2
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	148391	148391	148391	Пункт 4.2.3.3
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	22258,7	22258,7	22258,7	Пункт 4.2.3.3
5	Отчисления во внебюджетные фонды	51194,9	51194,9	51194,9	Пункт 4.2.3.4
6	Накладные расходы	49776,6	49776,6	49776,6	Пункт 4.2.3.5
Бюджет затрат НИР		326310,6	330138,7	387315,2	Сумма ст. 1- 6

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный

показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (11)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки; Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения; Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 326310,6$ руб., $\Phi_{\text{исп.2}} = 330138,7$ руб., $\Phi_{\text{исп.3}} = 387315,2$ руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{тек.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тек.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{326310,6}{387315,2} = 0,84;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{330138,7}{387315,2} = 0,85;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{387315,2}{387315,2} = 1.$$

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 33).

Таблица 33 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

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

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

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

$$I_{p2} = 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,8,$$

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

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

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{\text{р-исп.}i}}{I_{\text{финр}}}, \quad (12)$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{4,65}{0,84} = 5,54; \quad I_{\text{исп.2}} = \frac{3,8}{0,85} = 4,47; \quad I_{\text{исп.3}} = \frac{4,05}{1} = 4,05.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 34).

Таблица 34 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,84	0,85	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	3,8	4,05
3	Интегральный показатель эффективности	5,54	4,47	4,05
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

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

Вывод по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие **ВЫВОДЫ**.

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

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

3) Определено общее количество дней для выполнения работ, которое составляет 102 дня; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 98 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 20 дней.

4) Разработан проектный бюджет для оценки затрат на реализацию проекта, который составил 326310,6 руб.

Результат оценки эффективности ИР показывает следующие выводы:

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

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

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

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 5Б8В		ФИО Фрицлер Валерия Яковлевна	
Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бугакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника / Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике и теплотехнике

Тема ВКР:

Система автоматизированного управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> система очистки дымовых газов от оксидов азота. <i>Область применения:</i> энергетика. <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение. <i>Размеры помещения:</i> 20 x 30 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> котлоагрегат, бак с аммиачной водой, блочный щит управления. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров и исправности систем газоочистки (расход, температура специализированных жидкостей, применяемых для очистки газов, концентрация дымовых газов) дистанционно с АРМ, во время плановых обходов оборудования.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>РД 34.03.201-97 Правила техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования электростанций и тепловых сетей; ТК РФ Статья 351.6. Особенности регулирования труда работников в сфере электроэнергетики, сфере теплоснабжения, в области промышленной безопасности, области безопасности гидротехнических сооружений; Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда»; Федеральный закон от 24 июля 1998 года N 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. тепловое воздействие; 2. механическое воздействие; 3. поражение электрическим током. <p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. повышенный уровень вибрации; 2. повышенный уровень шума; 3. повышенная запыленность и загазованность;

	<p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: тепловая изоляция трубопроводов, использование защитных костюмов, виброизолирующие рукавицы, перчатки, виброизолирующая обувь, беруши, наушники, защитные ограждения.</p>
<p>3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации:</u></p>	<p>Воздействие на литосферу: твердые золошлаковые отходы. Воздействие на гидросферу: сброс охлаждающей воды при использовании в качестве охладителя рек, прудов. Воздействие на атмосферу: выбросы из дымовых труб парниковых (CO₂, водяные пары) и антропогенных газовых выбросов (SO_x, NO_x), выбросы с дымовыми газами твердых частиц (канцерогенные вещества, тяжелые металлы, сажа); тепловое воздействие вследствие испарения части охлаждающей воды.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации:</u></p>	<p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.); геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); техногенные аварии (отказ систем безопасности; пожар). Наиболее типичная ЧС: Пожар.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б8В	Фрицлер Валерия Яковлевна		

6. Социальная ответственность

Главной целью данной выпускной квалификационной работы является разработка системы автоматизированного управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив, которая позволит упростить работу оперативного персонала.

Использование данной системы является выгодным с экологической точки зрения, поскольку использование ВУТ позволит снизить количество выбрасываемых в атмосферу вредных летучих веществ, к числу которых относятся оксиды серы и азота, летучая зола и другие.

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

В качестве объекта исследования была выбрана система очистки дымовых газов от NO_x . Областью применения для данной системы является энергетическая промышленность. Рабочей зоной является производственное помещение размером 20х30 метров, в котором размещается котел ТП-87, бак с аммиачной водой и блочный щит управления. Установка располагается на Тольяттинской ТЭЦ в городе Тольятти, Самарская область.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: контроль параметров и исправности систем газоочистки (расход, температура специализированных жидкостей, применяемых для очистки газов, концентрация дымовых газов) дистанционно с АРМ, во время плановых обходов оборудования.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Нормативно-правовую основу регулирования трудовых отношений и иных непосредственно связанных с ними отношений в нефтегазовой отрасли составляют [51]:

- Конституция Российской Федерации (статья 37 и др.);

- Трудовой кодекс Российской Федерации;
- иные федеральные законы, содержащие нормы трудового права.

6.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства

Реальные социально-экономические отношения, характер, условия труда и производства в энергетической отрасли специфичны.

К основаниям (критериям) отраслевой дифференциации в правовом регулировании трудовых отношений необходимо отнести:

- условия труда (тяжесть, вредность, опасность) в отрасли;
- характер выполнения отдельных видов работ;
- значение отрасли (производственной или непроизводственной сферы) для государства.

Относительно трудовых прав работников, трудовое законодательство [52] определяет несколько основных принципов их правового регулирования, которые действуют во взаимоотношениях работника и работодателя непосредственно в сфере труда. Один из наиболее важных принципов формулируется следующим образом:

«Обеспечение права каждого работника на справедливые условия труда, в том числе на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены, права на отдых, включая ограничение рабочего времени, предоставление ежедневного отдыха, выходных и нерабочих праздничных дней, оплачиваемого ежегодного отпуска».

а) Право на безопасный труд

Отраслевым соглашением по организациям нефтяной, газовой отраслей промышленности и строительства объектов нефтегазового комплекса Российской Федерации в части охраны предусмотрено, что работодатели:

- обеспечивают безопасные условия и охрану труда работников в соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации, федеральными законами, иными нормативными правовыми актами и Соглашением;

– обеспечивают за счет собственных средств (в том числе и посредством добровольного медицинского страхования) обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры работников;

– предоставляют работнику в соответствии с медицинским заключением, другую имеющуюся у работодателя работу, не противопоказанную работнику по состоянию здоровья, в соответствии со статьей 73 Трудового кодекса Российской Федерации, а в случае, если это предусмотрено коллективным договором, локальным нормативным актом, организуют его профессиональную переподготовку;

– принимают меры по медико-санитарному обслуживанию работающих, по оздоровлению работников за счет собственных средств, а также за счет средств обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и от профессиональных заболеваний;

– обеспечивают приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением;

– обеспечивают бесплатно работников на работах с вредными условиями труда молоком или другими равноценными пищевыми продуктами, а на работах с особо вредными условиями труда – лечебно-профилактическим питанием в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

б) Режим рабочего времени

Нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю. Отраслевым соглашением по организациям нефтяной, газовой отраслей промышленности и строительства объектов нефтегазового комплекса Российской Федерации предусмотрено, что продолжительность рабочего времени при суммированном учете рабочего времени (в том числе и при вахтовом методе работ) должна быть не более 12 часов в сутки при условии,

что продолжительность рабочего времени не превышает нормального числа рабочих часов за учетный период.

6.1.2 Эргономические требования к правильному расположению рабочей зоны

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса.

Выполняя планировку рабочего места, необходимо учитывать следующее:

- проход вокруг рабочего стола должен составлять не менее 500-550 мм;
- расположение экрана монитора должно быть от глаз пользователя на расстоянии примерно равным 600-700 мм, но не ближе чем 500 м;
- окраска корпуса ПК должна быть выполнена в спокойных нейтральных тонах;
- корпус ПК, клавиатура и другие блоки ПК должны обладать матовой поверхностью и не иметь блестящих деталей, которые могут создавать блики и мешать работе персонала;
- конструкция рабочего стола должна обладать удобной рабочей поверхностью и необходимым количеством места для монтажа оборудования;
- все электрооборудование необходимо размещать на оптимальном расстоянии от мест, в которых возможен прямой контакт оборудования с водой (раковины, открытые емкости с водой).

6.2 Производственная безопасность

Таблица 35 – Возможные опасные и вредные факторы на рабочем месте инженера-оператора АСУ ТП

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Тепловое воздействие	ГОСТ Р 30331.4-95. Защита от тепловых воздействий [53].
2. Механическое воздействие	ГОСТ Р 56257-2014 Характеристика факторов внешнего природного воздействия. Общая классификация [54].
3. Поражение электрическим током	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [55].
4. Повышенный уровень вибрации	ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования [56].
5. Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности [57].
6. Повышенная запыленность и загазованность	ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [58].

6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований

В соответствии с последовательностью в таблице 35 опишем выявленные вредные и опасные факторы.

1) Тепловое воздействие

Во время работы с котлоагрегатом некоторые части оборудования сильно нагреваются. Неосторожное обращение с нагретым оборудованием может привести к ожогам.

Для защиты от высоких температур при проведении профилактических мероприятий в непосредственной близости от котлоагрегата персоналу выдается специальная экипировка.

2) Механическое воздействие

Существует опасность получения травмы подвижными элементами модуля линейного перемещения.

Согласно ГОСТ Р 56257-2014, мерами предосторожности являются:

- при эксплуатации модуля необходимо соблюдать все общие правила техники безопасности работы с механизмами;
- запрещается эксплуатация модуля при обнаружении неисправностей в работе механических или электрических компонентов;
- при эксплуатации необходимо следить за чистотой всех механизмов модуля и двигателя, периодически очищать их от пыли и грязи. Обтирочные материалы, которыми очищается модуль, не должны оставлять следов и ворса на протираемых поверхностях.

3) Поражение электрическим током

На любом рабочем месте существует опасность поражения электрическим током. При этом электрический ток производит термическое, электролитическое, биологическое воздействие на организм человека. Действие электрического тока приводит к местным электротравмам и электрическим ударам [59]. Напряжение прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 36 [55].

Таблица 36 – Значения напряжений прикосновений и токов [55]

Род тока	U, В	I, mA
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

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.

4) Повышенный уровень вибрации

Источников общей вибрации являются вращающиеся механизмы – дымосос, вентиляторы и насосы, а также работающий котел. Вибрация возникает как при плохом центрировании и разбалансировке вращающихся механизмов, так и в случае правильной балансировки. Повышенная вибрация может оказывать влияние на увеличение кровяного давления, нарушения сна, обострения нервных и сердечно-сосудистых заболеваний. В операторной вибрация не превышает предельно допустимые величины нормируемых параметров вибрации рабочих мест при длительности вибрационного воздействия 8 ч, которые в пересчете на эквивалентные значения составляют:

- по виброускорению – 0,145 м/сек² (100 дБ);
- по виброскорости – 0,12 м/с (75 дБ).

В качестве основных мер против повышения вибрации рекомендуется соблюдать следующие правила:

- проектирование рабочих мест с учетом максимального снижения вибрации;
- использование машин с меньшей виброактивностью;
- использование материалов и конструкций, препятствующих распространению вибрации и воздействию ее на человека;
- создание условий труда, при которых вредное воздействие вибрации не усугубляется наличием других неблагоприятных факторов (ГОСТ 31192.1).

5) Повышенный уровень шума

В производственных условиях источниками шума являются работающие станки и механизмы, ручные механизированные инструменты и т.д. В условиях сильного шума возникает опасность снижения и потери слуха, которая во много обусловленная индивидуальными особенностями человека [60].

Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах с учетом напряженности и тяжести трудовой деятельности представлены в таблице 37.

Таблица 37 – Предельно допустимые уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести в дБА [57]

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса
	средняя физическая нагрузка
Напряженность средней степени	70

В общем случае по защите от шума на рабочих местах промышленных предприятий: рациональное с акустической точки зрения решение генерального плана промышленного объекта и рациональное объемно-планировочное решение производственных зданий, ограждающих конструкций зданий с требуемой звукоизоляцией, звукопоглощающих конструкций (звукопоглощающих облицовок, кулис, штучных поглотителей), звукоизолирующих кожухов на шумных агрегатах.

б) Повышенная запыленность и загазованность

На котельных, которые используют газ в виде топлива, есть вероятность возникновения утечек токсичных веществ внутри и снаружи помещения. В случае утечки газа здоровью персонала может быть нанесен серьезный ущерб.

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

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

6.3 Экологическая безопасность

1) Защита литосферы

Литосферой называют твердую оболочку Земли, состоящую из земной коры и слоя верхней мантии, подстилающего земную кору. Расстояние нижней границы земной коры от поверхности Земли изменяется в пределах 5–70 км, а мантия Земли достигает глубины 2900 км.

Основным источником загрязнения литосферы от тепловых электростанций являются золошлаковые отходы, которые образуются при сжигании угля. Средневзвешенные удельные показатели образования золошлаковых отходов зависят от качества сжигаемого твердого топлива и могут составлять от 50 до 500 кг на тонну топлива. При гидравлическом способе удаления золы и шлаков (а именно этот способ применяют на станции) весьма значителен расход воды, загрязняемой в процессе удаления золы. [61].

Должны соблюдаться требования нормативных правовых актов, регулирующих отношения в области охраны земельных ресурсов и недр в соответствии с законами.

2) Защита гидросферы

Основными факторами воздействия тепловых электростанций на гидросферу являются выбросы теплоты, следствием которых могут быть: постоянное локальное повышение температуры в водоеме; временное повышение температуры; изменение условий ледостава, зимнего гидрологического режима; изменение условий паводков; изменение распределения осадков, испарений, туманов.

Основным способом противодействовать тепловому загрязнению водоёма на изучаемой станции является ведение режима работы, в соответствии с режимной картой. [62].

3) Защита атмосферы

Наиболее существенным источником негативного воздействия на атмосферу является выход вредных веществ вместе с уходящими газами, образующимися при сжигании органического топлива. К вредным газообразным продуктам сгорания относятся: обычная зола, оксиды углерода, оксиды азота, оксиды серы, формальдегиды, сернистый газ, и другие вредные примеси.

Для снижения вредных выбросов на станции применяют батарейные циклонные золоулавливающие установки (БЦУ). Батарейный циклон с тангенциальным подводом дымовых газов в элементы предназначен для очистки дымовых газов от содержащихся в них твердых частиц уноса и золы.

Также одной из мер по снижению количества вредных веществ в уходящих газах является настройка режима горения в топках котлов, для снижения химического и механического недожога [63].

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

В настоящее время основными способами защиты населения, в том числе и производственного персонала, являются:

- укрытие в защитных сооружениях;
- проведение эвакуационных мероприятий;
- использование средств индивидуальной защиты.

При работе котельной могут возникнуть некоторые чрезвычайные ситуации. Например, воспламенение котельной и прилегающей к ней территории. Опасность представляет сам котлоагрегат.

6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований

В лаборатории и на производстве наибольшую опасность представляет возникновение возгорания. Поскольку топливо необходимо хранить, для дальнейшего сжигания, то существует вероятность воспламенения.

При эксплуатации необходимо контролировать состояние емкостей с горючим путем внешнего осмотра и измерения температуры в них.

Признаками самовозгорания являются повышение температуры, появление характерного запаха.

Самой распространенной причиной возникновения пожара является нарушение противопожарных правил. Поэтому персонал должен эти правила хорошо знать и выполнять.

6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

На основании Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

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

Классы возможных пожаров:

В – горение жидкостей и плавящихся материалов;

С – горение газов.

Таблица 38 – Нормы оснащения помещения огнетушителями

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

Проводятся следующие противопожарные мероприятия:

– помещение оборудуется: средствами тушения пожара (огнетушителями, ящиком с песком, стендом с противопожарным инвентарем); средствами связи; проверена исправность электрической проводки осветительных приборов и электрооборудования;

– каждый сотрудник знает место нахождения средств пожаротушения и средств связи; помнит номера телефонов для сообщения о пожаре; умеет пользоваться средствами пожаротушения.

При невозможности самостоятельно потушить пожар необходимо вызвать пожарную команду, после чего поставить в известность о случившемся инженера по технике безопасности.

Вывод по разделу

В ходе выполнения данного раздела были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что, соблюдая определенные нормы и правила, возможно наладить стабильное производство, не подвергая опасности окружающую среду и людей.

Раздел направлен на обеспечение комфортных рабочих мест, соблюдение норм вредных воздействий как на окружающую среду, так и на производственный персонал, а также способы предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций и порядок действий при их возникновении.

Категория помещения по электробезопасности: помещение с повышенной опасностью.

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности: Г – умеренная пожароопасность.

Категория тяжести труда: средняя физическая нагрузка.

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

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

Заключение

В результате выполнения выпускной квалификационной работы разработана автоматизированная система управления очисткой дымовых газов при сжигании композиционных топлив. Спроектированная система является трехуровневой. Полевой уровень включает датчики измерения расхода и концентрации NO_x , а также запорную арматуру и исполнительные механизмы. На среднем уровне располагается контроллер, на верхнем уровне – АРМ оператора.

В ходе выполнения дипломного проекта разработана проектная документация: схема структурная, схема функциональная, схема принципиальная электрическая, схема монтажная и общий вид щита.

В результате проведенных экспериментов установлено, что сжигание водоугольных суспензий приводит к снижению концентраций оксидов серы и азота до 70% в сравнении с углем.

В пояснительной записке к выпускной квалификационной работе содержится подробное описание выбора основного оборудования, этапов разработки конструкторской документации. Кроме того, произведен расчет параметров настройки регулятора и определены прямые оценки качества, выполнены разделы «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Energy Outlook 2020. London: 2020.
2. Finkelman R.B., Wolfe A., Hendryx M.S. The future environmental and health impacts of coal // *Energy Geoscience*. – 2020. – V. 2. – P. 99–112.
3. Farfan, J, Breyer C. Structural changes of global power generation capacity towards sustainability and the risk of stranded investments supported by a sustainability indicator // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – V. 141. – P. 370–384.
4. Dai S., Finkelman R.B. Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects // *International Journal of Coal Geology*. – 2018. – V. 186. – P. 155–164.
5. Wang K., Wang S., Liu L., Yue H., Zhang R., Tang X. Environmental co-benefits of energy efficiency improvement in coal-fired power sector: A case study of Henan Province, China // *Applied Energy*. – 2016. – V. 184. – P. 810–819.
6. Aijun L., Zhang A., Zhou Y., Yao X. Decomposition analysis of factors affecting carbon dioxide emissions across provinces in China // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – V. 141. – P. 1428–1444.
7. Li S., Xu T., Sun P., Zhou Q., Tan H., Hui S. NO_x and SO_x emissions of a high sulfur self-retention coal during air-staged combustion // *Fuel*. – 2008. – V. 87. – P. 723–731.
8. Emissions of Air Pollutants for the World Energy Outlook 2011 Energy Scenarios. –Paris:Energy International Agency, 2011.–66 p. <http://www.iea.org>.
9. Fan W. Coal-nitrogen release and NO_x evolution in the oxidant-staged combustion of coal // *Energy*. – 2017. – V.125. – P. 417–426.
10. Munawer M.E. Human health and environmental impacts of coal combustion and post-combustion wastes // *Journal of Sustainable Mining*. – 2018. – V. 17. – P. 87–96.
11. Glushkov D.O., Shlegel N.E., Strizhak P.A., Vershinina K.Y. Heat transfer under ignition of droplet of composite liquid fuel made of coal, water and oil

in an oxidant flow // *Advances and Applications in Fluid Mechanics*. – 2016. – V. 19. – № 1. – P. 157–168.

12. Глушков Д.О., Стрижак П.А., Чернецкий М.Ю. Органоводоугольное топливо: проблемы и достижения (обзор) // *Теплоэнергетика*. – 2016. – № 10. – С. 31–41. 19.

13. Ходаков Г. С. Водоугольные суспензии в энергетике // *Теплоэнергетика*. – 2007. – № 1. – С. 35–45.

14. Glushkov D.O., Lyrshchikov S.Y., Shevyrev S.A., Strizhak P.A. Burning Properties of Slurry Based on Coal and Oil Processing Waste // *Energy & Fuels*. – 2016. – V. 30, No. 4. – P. 3441–3450.

15. Glushkov D. O., Shabardin D. P., Strizhak P. A., Vershinina K. Yu. Influence of organic coal-water fuel composition on the characteristics of sustainable droplet ignition // *Fuel Processing Technology*. – 2016. – V. 143. – P. 60–68.

16. Вершинина К. Ю. Низкотемпературное зажигание отходов переработки угля в виде органоводоугольных топливных композиций: диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук: 01.04.17 / Вершинина Ксения Юрьевна. Томск, – 2016. – 191 с.

17. Вершинина К. Ю., Глушков Д.О., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Отличия характеристик зажигания водоугольных суспензий и композиционного жидкого топлива // *Химия твердого топлива*. – 2016. – № 2. – С. 21–33.

18. Nyashina G.S., Kosintsev A.G., Shlegel N.E., Strizhak P.A. The influence of droplet sizes of coal-water slurry containing petrocemicals on integral ignition characteristics // *JP Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2016. – V. 13, № 2. – P. 265–276.

19. Zhu J., Zhang G., Liu G., Qu Q. Investigation on the rheological and stability characteristics of coal-water slurry with long side-chain polycarboxylate dispersant // *Fuel Processing Technology*. – 2014. – V. 118. – P. 187–191.

20. Mukherjee A., Pisupati S.V. Interparticle interactions in highly concentrated coal–water slurries and their effect on slurry viscosity // *Energy&Fuels*. – 2015. – V. 29, № 6. – P. 3675–3683.

21. James D.W., Krishnamoorthy G., Benson S.A., Seames W.S. Modeling trace element partitioning during coal combustion // *Fuel Processing Technology*. – 2016. – V. 126. – P. 284–297.
22. Belošević S., Tomanović I., Beljanski V., Tucaković D. Numerical prediction of processes for clean and efficient combustion of pulverized coal in power plants // *Applied Thermal Engineering*. – 2015. – V. 74. – P. 102–110.
23. Gorlov E.G. Composite water-containing fuels from coals and petroleum products // *Solid Fuel Chemistry*. – 2004. – V. 38. – P.40–50.
24. Khodakov G.S., Gorlov E.G., Golovin O.S. Coal-slurry fuel // *Solid Fuel Chemistry*. – 2005. – V. 39. – P. 12–27.
25. Няшина Г.С., Шлегель Н.Е., Стрижак П.А. Анализ антропогенных выбросов при сжигании угольных топлив и отходов углепереработки // *Кокс и химия*. – 2017. – №. 4. – С. 40–46.
26. Lishtvan I.I., Falyushin P.L., Smolyachkova E.A., Kovrik S.I. Fuel suspensions based on fuel oil, peat, waste wood, and charcoal // *Solid Fuel Chemistry*. – 2009. – V. 43. – P.1–4.
27. Amoatey P., Omidvarborna H., Baawain M.S., Al-Mamun A. Emissions and exposure assessments of SO_x, NO_x, PM_{10/2.5} and trace metals from oil industries: A review study (2000–2018) // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2019. – V. 123. – P. 215–228.
28. Deng J., Wang X., Wei Z., Wang L., Wang C., Chen Z. A review of NO_x and SO_x emission reduction technologies for marine diesel engines and the potential evaluation of liquefied natural gas fuelled vessels // *Science of the Total Environment*. – 2021. – V. 766. – P. 144319.
29. Rolón B.G., Hernández C.M. Effect of additives for the reduction of NO_x in the corrosion of overheating pipes // *Engineering Failure Analysis*. – 2020. – V. 118. – P. 104902.
30. Van Caneghem J., De Greef J., Block C., Vandecasteele C. NO_x reduction in waste incinerators by selective catalytic reduction (SCR) instead of selective non

catalytic reduction (SNCR) compared from a life cycle perspective: A case study // Journal of Cleaner Production. – 2016. – V. 112. – P. 4452–4460.

31. Liu X., Jiang, P., Chen, Y., Wang, Y., Ding, Q., Sui, Z., Chen, H., Shen, Z., Wu, X. A basic comprehensive study on synergetic effects among the metal oxides in CeO₂-WO₃/TiO₂ NH₃-SCR catalyst // Chemical Engineering Journal. – 2021. – V. 421. – P. 127833.

32. Lee G.W., Shon B.H., Yoo J.G., Jung, J.H., Oh K.J. The influence of mixing between NH₃ and NO for a De-NO_x reaction in the SNCR process // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2008. – V. 14. – P. 457–467.

33. Glushkov D.O., Kuznetsov G.V., Strizhak P.A. Low-Temperature Ignition of Coal Particles in an Airflow // Russian Journal of Physical Chemistry. – 2015. – V. 9, № 2. – P. 242–249.

34. Glushkov D.O., Strizhak P.A., Vysokomornaya O.V. Numerical research of heat and mass transfer during low-temperature ignition of a coal particle // Thermal Science. – 2015. – V. 19, № 1. – P. 285–294.

35. Khodakov G.S. Coal-water suspensions in power engineering // Thermal Engineering. – 2007. – V. 54. – P. 36–47.

36. Ключев А.С., Глазков Б.В., Дубровский А.Х., Ключев А.А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

37. Камерные диафрагмы ДКС. Каталог продукции Элемер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/catalog/raskhodomery/datchiki-differentsialnogo-davleniya/>., свободный. – Загл. с экрана.

38. Датчик давления Элемер-100-ДД. Каталог продукции Элемер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.elemer.ru/upload/iblock/06d/elemer100.pdf>., свободный. – Загл. с экрана.

39. Датчик давления Метран-150RFA. Каталог продукции Метран. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mtn.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2018/11/Metran_150RFA.pdf \., свободный. – Загл. с экрана.

40. Каталог продукции ООО «МРУ Рус». – М.: Изд-во «MRU», 2015. – 215 с.
41. Газоанализатор. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gazoanalizators.ru/ANGOR-S.html> ., свободный. – Загл. с экрана.
42. Однооборотные электроприводы с интеллектуальным блоком КИМ2. Каталог продукции. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zeim.ru/production/meo/meof-kim1/>, свободный. – Загл. с экрана.
43. 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.
44. Siemens S7-300 Программируемый контроллер. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
45. Каталог оборудования Siemens. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://simatic-market.ru/catalog/Siemens-CA01/10017499/info/>., свободный. – Загл. с экрана.
46. Андык В.С. Теория автоматического управления. Учебное пособие к практическим занятиям: – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 108с.
47. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. – М.: ГЭИ, 1961. –344 с.
48. Методы расчета систем автоматического регулирования/Под ред. Волгина В.В. – 2-е изд. – М.: Изд. МЭИ, 1972. – 226 с.
49. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электрических станций. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 344 с.
50. И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Креницина. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность

и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.

51. Петров А.Я. Особенности правового регулирования труда работников нефтегазовой отрасли // Трудовое право. 2008. № 5. С. 50–59.

52. Морозов С.К. Правовое регулирование трудовых отношений, как гарант обеспечения трудовых прав работников. Практическое пособие. Изд. 2-е, перераб. – М.: Нефтегазстройпрофсоюз России, 2014 – 117 с.

53. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 30331.4-95. Электроустановки зданий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200001338>, свободный. – Загл. с экрана.

54. ТЕХЭКСПЕРТ. ГОСТ Р 56257-2014. Характеристика факторов внешнего природного воздействия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118630>, свободный. – Загл. с экрана.

55. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.038-82*. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>, свободный. – Загл. с экрана.

56. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200059881>, свободный. – Загл. с экрана.

57. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. ШУМ. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200118606>, свободный. – Загл. с экрана.

58. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608>, свободный. – Загл. с экрана.

59. ТЕХЭСПЕРТ. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению

контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/5200272>, свободный. – Загл. с экрана.

60. Воздействие производственного шума на организм рабочих. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://34.rospotrebnadzor.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.

61. Положение об организации эксплуатации золоулавливающих установок на тепловых электростанциях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200044693>, свободный. – Загл. С экрана.

62. Правил эксплуатации установок очистки газа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/542608718>, свободный. – Загл. с экрана.

63. Положение об организации эксплуатации золоулавливающих установок на тепловых электростанциях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200044693>, свободный. – Загл. С экрана.