

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 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы (НОЦ) (НОЦ) И.Н. Бутакова

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированная система управления смешением дымовых газов дизельной электростанции с пароводяным потоком для формирования газопарокапельного теплоносителя

УДК 681.51:66.073.7:621.311:236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Осмоловская Мария Михайловна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ИШФВП	Волков Роман Сергеевич	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, ООД ШБИП	Куликова Ольга Александровна	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистратуры по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
<i>Общие по направлению подготовки</i>		
<i>расчетно-проектная и проектно-конструкторская деятельность:</i>		
P1	применять передовые знания и достижения для формулирования заданий на разработку проектных решений, проектировать инновационные теплоэнергетические и теплотехнические системы и оборудование, разрабатывать проектные решения, связанные с модернизацией технологического оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1*, УК-2, ПК-1, ПК-2), Критерий 5 АИОР (п.2.1)согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 16.065 «Инженер-проектировщик технологических решений котельных, центральных тепловых пунктов и малых теплоэлектроцентралей», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16.014 «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>производственно-технологическая деятельность:</i>		
P2	интегрировать знания различных областей для разработки мероприятий по совершенствованию технологии производства, обеспечению экономичности, надежности и безопасности эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI , требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками

* - универсальные компетенции из СУОС ТПУ (для 2017 г. приема - приказ № 2226 от 01.03.2017 г).

		газа»)
P3	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-5, ПК-6), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
P4 (P6)	применять знания нетехнических ограничений инженерной деятельности, разрабатывать мероприятия по безопасности жизнедеятельности персонала и населения, предотвращать экологические нарушения	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-9), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>научно-исследовательская деятельность:</i>		
P5 (P4)	применять глубокие знания для планирования и постановки задачи инновационного инженерного исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки, применять инновационные методы исследования, проводить исследования, критически интерпретировать, публично	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-7), Критерий 5 АИОР (пп.2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 20.022 «Работник по оперативному

	представлять и обсуждать результаты научных исследований	управлению тепловыми сетями», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>организационно-управленческая деятельность:</i>		
P6 (P5)	руководить коллективом специалистов различных направлений и квалификаций, действовать в нестандартных ситуациях, принимать организационно-управленческие решения и нести за них ответственность при организации работ, разрабатывать мероприятия по предотвращению экологических нарушений	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2, УК-3, УК-4, УК-5, ОК-2, ПК-8, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.011 «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», 20.001 «Работник по оперативному управлению объектами тепловой электростанции», 20.014 «Работник по организации эксплуатации тепломеханического оборудования тепловой электростанции», 16.005 «Специалист по эксплуатации котлов, работающих на твердом топливе», 16.012 «Специалист по эксплуатации котлов на газообразном, жидком топливе и электронагреве», 20.022 «Работник по оперативному управлению тепловыми сетями», 20.023 «Работник по расчету режимов тепловых сетей», 20.024 «Работник по ремонту оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 20.025 «Работник по эксплуатации оборудования, трубопроводов и арматуры тепловых сетей», 16. «Специалист по эксплуатации трубопроводов и оборудования тепловых сетей», 16.064 «Инженер-проектировщик тепловых сетей», 19.011 «Специалист по управлению балансами и поставками газа»)
<i>педагогическая деятельность:</i>		
P7	осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (ПК-11), Критерий 5 АИОР (пп.1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессионального стандарта 01.004 «Педагог профессионального обучения, профессионального образования и дополнительного профессионального образования», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 8 сентября 2015 г. № 608н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 24 сентября 2015 г., регистрационный № 38993)
<i>Универсальные компетенции</i>		
P8	мыслить абстрактно, обобщать, анализировать, систематизировать и прогнозировать, принимать решения в сложных инженерных задачах с технической неопределенностью и недостатком информации	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, ОК-1, ОК-2), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться	Требования ФГОС (УК-6, ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	использовать иностранный язык для эффективного взаимодействия в профессиональной сфере	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-4, УК-5, ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
Профиль 4		

P14	<p>применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в автоматизированных системах управления технологическими процессами в теплоэнергетике и теплотехнике</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-6, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.012 Профессиональный стандарт «Специалист по метрологии», 40.057 Профессиональный стандарт «Специалист по автоматизированным системам управления производством», 40.061 Оператор-наладчик автоматических линий</p>
-----	---	---

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 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника
 Отделение школы НОЦ И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
П.А. Стрижак
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ74	Осмоловской Марии Михайловне

Тема работы:

Автоматизированная система управления смешением дымовых газов дизельной электростанции с пароводяным потоком для формирования газопарокапельного теплоносителя	
Утверждена приказом директора №3502/с	06.05.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2019 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Дизель-генераторные установки, размещаемые в блок-контейнерах, предназначены для эксплуатации при отсутствии электрических сетей в качестве основного или резервного источника электроэнергии. Ввиду высокой температуры дымовых газов сгорания дизельного топлива (450-550 °С) возможно создание теплоносителя на основе дымовых газов и пароводяного потока, снижение температуры выбрасываемых дымовых газов в атмосферу и использование полученного теплоносителя для обогрева производственных зданий, технологических помещений и различных сред.
---------------------------------	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вк4уопросов</p>	<p>1) Анализ применения тепла продуктов сгорания топлива от дизельной электростанции с целью смешения с сетевой водой, поступающей от потребителя для обогрева помещений, сред. 2) Разработка экспериментального стенда, методики исследований, проведение экспериментов по генерации газопарокапельного теплоносителя. 3) Анализ полученных результатов и составление рекомендаций по режиму протекания процесса смешения сред и использование полученной среды в качестве теплоносителя. 4) Разработка автоматизированной системы управления смешением дымовых газов от дизельной электростанции с пароводяным потоком; описание объекта автоматизации, выбор структуры АСУ, разработка функциональной схемы АСУ, составление заказной спецификации приборов и средств автоматизации, разработка комплекта конструкторской и схемной документации щита управления АСУ (принципиальная электрическая схема, перечень элементов принципиальной электрической схемы, общий вид шкафа автоматизации). 5) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6) Социальная ответственность</p>
---	--

<p>Перечень графического материала</p>	<p>1) Схемы структурная. 2) Схема функциональная. 3) Схема принципиальная электрическая. 4) Общий вид шкафа автоматизации. 5) Схема монтажная электрических и трубных проводок.</p>
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна
Социальная ответственность	Куликова Ольга Александровна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Введение (Production and implementation of gas-vapor coolants: current state and perspectives),
Обзор литературы (Systems of Heat Utilization: Analytical Review), Разработка SCADA-системы (Development of SCADA-system)

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>12.03.2019</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Волков Роман Сергеевич	к.т.н.		20.01.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Осмоловская Мария Михайловна		12.03.2019

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 _____ 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника _____
 Уровень образования _____ Магистратура _____
 Отделение школы _____ НОЦ И.Н. Бутакова _____
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года) _____

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.09.2018- 22.10.2018	<i>Применение газопарокапельных смесей. Аналитический обзор</i>	
01.11.2018- 01.03.2019	<i>Разработка автоматизированной системы управления смешением дымовых газов от дизельной электростанции с парокапельным потоком</i>	
04.03.2019- 20.05.2019	<i>Научно исследовательская работа по диагностике протекания процессов смешения и взаимодействия воздушного потока и мелко распылённой воды</i>	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Волков Роман Сергеевич	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., профессор		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 146 страниц, 25 рисунков, 32 таблицы, 38 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: дизельная электростанция, газопарокапельный теплоноситель, контактный теплообменник, шкаф автоматизации, автоматизированная система управления, сетевая вода, обогрев, смешение сред.

Объектом автоматизации является контактный теплообменник, установленный в блок-контейнере с дизельной электростанцией.

Целью исследований является разработка автоматизированной системы управления процессом смешения дымовых газов от дизельной электростанции с водой. Также не менее важной задачей является нахождение оптимальных параметров физических характеристик дымовых газов и пароводяной среды при их смешивании для более эффективного протекания рассматриваемого процесса.

В процессе выполнения работы был проведен анализ существующих методов использования тепла дымовых газов, выполнялись экспериментальные исследования, анализ объекта автоматизации, составление структурной схемы АСУ, разработана функциональная схема, электрическая принципиальная схема соединений, общий вид щита АСУ, выбраны приборы и технические средства автоматизации с последующим составлением заказной спецификации, разработано информационное, программное, математическое обеспечение, а также мнемосхема технологического процесса.

В результате, с учетом технических требований, регламентированных нормативными документами и установленными, исходя из результатов научно-исследовательской работы, результатами была разработана автоматизированная система управления процессом смешения дымовых газов от ДЭС с пароводяным потоком на основе программируемого логического контроллера.

Разработанная автоматизированная система управления имеет высокий уровень конкурентоспособности, а также малый срок окупаемости, что позволяет сделать вывод о высоком потенциале использования проекта при проектировании децентрализованных систем электроснабжения.

Определения, обозначения, аббревиатуры

В данной работе применены следующие сокращения:

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ – автоматизированная система управления;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

ДЭС – дизельная электростанция;

ДГУ – дизель-генераторная установка;

ИВК – информационно-вычислительный комплекс;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

РО – регулирующий орган;

СУ – сужающее устройство;

СУТ – система утилизации тепла;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ	17
1.1 Состав и устройства БК ДЭС	17
2 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ	21
3 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА.....	26
3.1 Экспериментальный комплекс.....	26
3.2 Порядок проведения экспериментов.....	29
3.3 Результаты экспериментов	32
3.4 Заключение	39
4 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АСУ	42
4.1 Формулирование технических требований АСУ	42
4.1.1 Назначение системы.	42
4.1.2 Характеристики объекта автоматизации	43
4.1.3 Требования к системе	43
4.1.4 Требования к видам обеспечения	45
4.2 Разработка структуры комплекса технических средств.....	46
5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АСУ	48
6 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АСУ	52
6.1 Выбор датчика для измерения температуры теплоносителя	52
6.1.1 Датчик температуры теплоносителя-воды.	52
6.1.2 Датчик температуры теплоносителя-дымовых газов.	53
6.2 Выбор датчика для измерения расхода продуктов сгорания	54
6.3 Выбор датчика для измерения расхода жидких сред	55
6.4 Выбор регулирующего устройства.....	56
6.5 Выбор исполнительного механизма.....	58
6.6 Выбор блока управления	59
6.7 Выбор циркуляционного насоса	60
6.8 Выбор блока ручного управления	61
6.9 Выбор технических средств индикации измеренных параметров	62
6.10 Выбор автоматизированного рабочего места.....	63
6.11 Выбор газоанализатора.....	64
7 ПЕРЕЧЕНЬ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ.....	67
8 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПАЛЬНОЙ СХЕМЫ АСУ	69
9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОНТАЖНОЙ СХЕМЫ АСУ	72
10 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШКАФА АВТОМАТИЗАЦИИ.....	76

11 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО, ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЙ	78
11.1 Математическое обеспечение АСУ ТП.....	78
11.2 Программное обеспечение АСУ ТП.....	79
11.3 Информационное обеспечение АСУ ТП.....	79
12 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА.....	82
12.1 Идентификация объекта управления.....	82
11.2 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора.....	84
13 РАЗРАБОТКА SCADA-СИСТЕМЫ	92
14 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ.....	95
14. 1 Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы	96
14.2 Планирование комплекса работ НИР	99
14.3 Бюджет научно-исследовательской работы	103
14.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и финансовой.....	107
эффективностей исследования.....	107
15 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	113
15.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	114
15.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	114
15.3 Охрана труда для машиниста ДЭС.....	115
15.4 Производственная безопасность.....	115
15.5 Превышение уровня шума	116
15.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи.....	116
15.7 Превышение уровня общей вибрации.....	118
15.8 Микроклимат производственных помещений.....	119
15.9 Недостаточная освещенность рабочей зоны	120
15.10 Пожаро-взрывобезопасность.....	121
15.11 Экологическая безопасность.....	122
15.12 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
Список использованных источников	129
Приложение А	133
Приложение Б	135
Приложение В	136
Приложение Г	146

Графический материал: на отдельных листах

ФЮРА.421000.008 С1 Схема структурная

ФЮРА.421000.008 С2 Схема функциональная

ФЮРА.421000.008 Э3 Схема принципиальная электрическая

ФЮРА.421000.008 ВО Общий вид щита автоматизации

ФЮРА.421000.008 С4 Схема монтажная внешних электрических и
трубных проводок

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

Газопаровые смеси в настоящее время находят все большее распространение в строительстве и на малых производственных объектах различных отраслей.

Газопарокапельные технологии применяются при создании теплоносителей нового поколения из дымовых газов, паров и капель воды. Для газопаровых смесей в современном производстве есть большая область внедрения: разморозка сыпучих материалов в строительстве, обработка загрязненных теплонагруженных поверхностей и пр. При создании таких смесей и теплоносителей не применяются поверхности теплообмена.

В соответствии с распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года» одними из приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе «Теплоснабжение» являются [1]:

- 1) создание технологического оборудования и автоматизированных систем контроля и управления теплопотреблением;
- 2) разработка и предпочтительное использование для теплоснабжения эффективных парогазовых (газопаровых) технологий с впрыском пара;
- 3) развитие и применение технологий утилизации теплоты конденсации водяных паров дымовых газов;
- 4) модернизация и развитие систем децентрализованного теплоснабжения с применением автоматизированных индивидуальных теплогенераторов нового поколения для сжигания газового топлива;

Также важную роль повышения энергоэффективности играет цель снижения тепловых потерь при выработке энергии. Значительная доля потерь приходится на потери с уходящими дымовыми газами, которая может достигать 60-70%.

Вследствие этого целесообразно рассмотреть использование теплоты уходящих дымовых газов от тепло- и электрогенерирующих агрегатов для создания газопаровой смеси с последующим ее применением.

В работе исследуется возможность применения уходящих дымовых газов от дизельной электростанции, температура которых может достигать 450°C , в процессе смешения их с водой. Цель – получение многокомпонентного теплоносителя. Процесс смешения сред осуществляется в контактном теплообменном аппарате.

Объект исследования

Объектом исследования является процесс смешения дымовых газов от дизельной электростанции с водой для получения многокомпонентного газопарокапельного теплоносителя. Вода, подогретая поверхностным способом от камеры сгорания дизельгенератора, методом впрыска вводится в контактный теплообменник для осуществления вышеупомянутого процесса.

Цель работы

Целью исследований является разработка автоматизированной системы управления процессом смешения дымовых газов от ДЭС с водой. Также не менее важной задачей является нахождение оптимальных параметров физических характеристик для более эффективного протекания рассматриваемого процесса.

Для достижения поставленных целей сформулирован ряд задач:

- 1) осуществить анализ объекта автоматизации;
- 2) формулирование технических требований к АСУ, разработка структуры АСУ; функциональной схемы АСУ; выбор технических средств системы управления, оформление заказной спецификации; составление перечня входных и выходных сигналов; разработка принципиальной электрической схемы АСУ; разработка монтажной схемы, щитовой конструкции; разработка фрагмент SCADA-системы.

- 3) разработка экспериментальной модели камеры смешивающего теплообменного аппарата и проведение экспериментальных исследований механизма образования газопарового теплоносителя;
- 4) рассмотрение возможных вариантов реализации результатов исследования на практике.

Практическая значимость работы

Полученные экспериментальные и теоретические результаты являются основой для разработки новых технических решений, а также совершенствования существующих технологий получения и применения многокомпонентных теплоносителей. Также результаты являются основой для совершенствования систем утилизации тепла, нагрева и охлаждения капель жидкости в теплотехнических системах. Полученные заключения позволяют подобрать эффективные параметры распыления воды и течения газов. Разработанная автоматизированная система служит основой для создания эффективной системы утилизации тепла от дизельных электростанций, расположенных вдали от доступных источников отопления и электроэнергии, и нуждающихся в теплоносителе. Например, для разморозки сыпучих строительных материалов.

1 СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

В работе рассматривается дизельная электростанция в составе блок-контейнера (БК ДЭС). Дизельная электростанция блочно-контейнерная предназначена для обеспечения электропитания различных потребителей, а также в качестве резервного источника электропитания. БК ДЭС обеспечивает размещение силовой электрической установки AKSA AC-1410 и инженерных систем.

1.1 Состав и устройства БК ДЭС

БК ДЭС включает в себя следующее оборудование и системы:

- 1) Трехфазный дизельный генератор производителя AKSA AC-1410 на раме открытого исполнения. Постоянная мощность 1024 кВт;
- 2) топливная система, тип топлива – дизель;
- 3) масляная система;
- 4) система охлаждения – жидкостная;
- 5) система запуска – автозапуск;
- 6) выпускная система;
- 7) система воздухоподачи, вентиляции и обогрева;
- 8) система освещения;
- 9) система пожарной безопасности;
- 10) система управления электростанцией с возможностью контроля и управления с верхнего уровня по протоколу Modbus RTU/RS485;
- 11) система электропитания собственных нужд (ЩСН с системой АВР и контроллером микроклимата)
- 12) дополнительные принадлежности:
 - первичные средства пожаротушения;
 - средства защиты от поражения электрическим током;

- аптечка.

Основным элементом дизельной электростанции является двигатель. Рассмотрим подробнее его роль в процессе генерации электроэнергии.

Используется дизельный двигатель КТА50-G3 Cummins с частотой 1500 об./мин., способный обеспечивать длительную работу генератора на автономную нагрузку соответствующей мощности. Первичный двигатель обеспечивает возможность длительной работы при отклонениях частоты электрической сети в пределах, допускаемых ГОСТ 13109. Запуск двигателя осуществляется с использованием энергии аккумуляторных батарей. Присоединения всех трубопроводов к первичному двигателю предусматриваться посредством гибких виброкомпенсирующих вставок. Система охлаждения ДВС обеспечивает автоматическое регулирование температуры охлаждающей жидкости. В рамках исследования предлагается использовать в качестве охлаждающей жидкости воду, которая будет использоваться для впрыска в установленном теплообменном аппарате смешивающего типа.

В стандартном решении утилизации тепла во время работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) тепловая энергия утилизируется следующим образом.

Утилизатор тепла дымовых (отходящих) газов (УТГ) снимает тепло с уходящих выхлопных газов двигателя: температура дымовых газов на выходе из двигателя составляет порядка 450-550 °С, температура газов на выходе из УТГ составляет 120-180 °С. Данное понижение температуры позволяет обеспечить существенный нагрев воды потребителя. УТГ – кожухотрубчатый теплообменник, работающий по схеме «вода/дымовые газы».

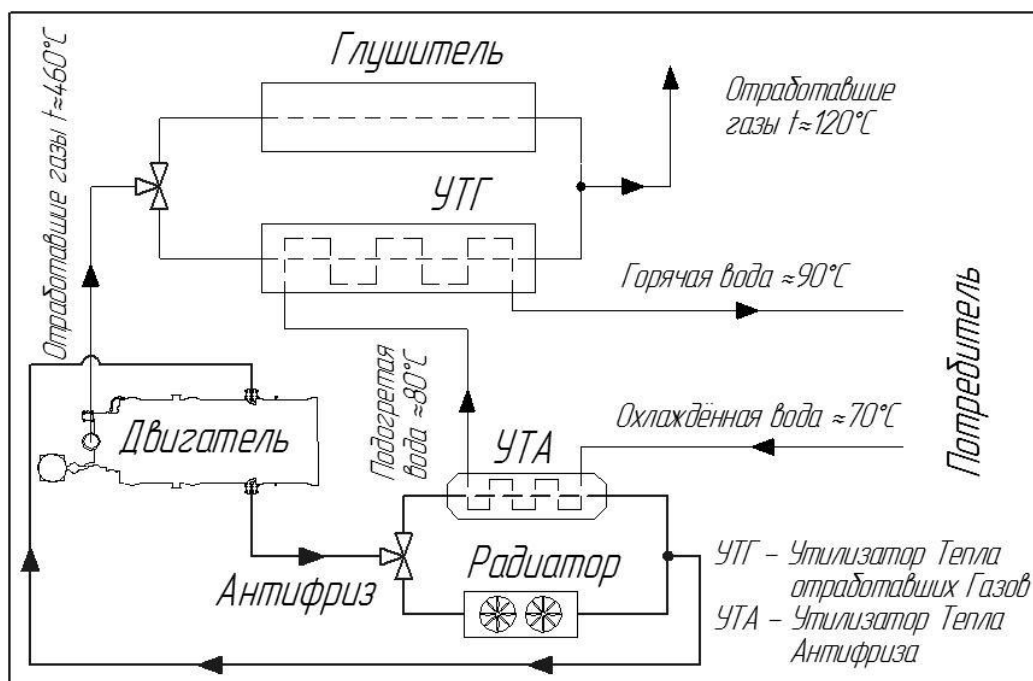


Рисунок 1 – Принципиальная схема утилизации тепла от ДЭС [2]:

УТГ – утилизатор тепла выхлопных газов; ДВС – двигатель внутреннего сгорания

Традиционно тепловой модуль в полной заводской готовности включает в себя:

- 1) утилизатор тепла антифриза;
- 2) утилизатор тепла выхлопных газов;
- 3) байпасный трубопровод с затворами поворотными;
- 4) трубопроводную обвязку по линии антифриза и сетевой воды;
- 5) рамное основание;
- 6) переключатель потоков выхлопных газов с управлением;
- 7) комплект КИПиА.

В исследовательской работе рассматривается система утилизации тепла не с антифризом, в контуре используется сетевая вода. Часть сетевой воды с расходом 17 м³/ч впрыскивается в смешивающий бак БН(В)-0,2-0,0-Г и нагревается непосредственно теплом дымовых газов ДЭС.

В смешивающей камере вода соприкасается с продуктами сгорания дизельного топлива. Продукты сгорания при полном сгорании топлива состоят из углекислого газа, водяных паров, азота и кислорода. Кроме того, в продуктах сгорания имеется окись азота NO. При контакте с водой возможно растворение

в ней какой-то части газов, входящих в состав продуктов сгорания. При помощи вытяжного вентилятора, установленного на выходе бака получаем газопарокапельный теплоноситель для дальнейшего использования.

2 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Газопарокапельные технологии применяются при создании теплоносителей нового поколения из дымовых газов, паров и капель воды. Для газопаровых смесей в современном производстве есть большая область внедрения: разморозка сыпучих материалов в строительстве, обработка загрязненных теплонагруженных поверхностей и емкостей и пр. При создании таких смесей и теплоносителей не применяются поверхности теплообмена [3].

Наиболее актуальной задачей при смешении капельных и газовых потоков является контроль и поддержание температуры с определенным значением, необходимым для дальнейшего применения. Так как, как правило, теплоносители необходимо транспортировать на немалые расстояния до потребителя.

В работе [4] приведено критериальное обоснование энергетической эффективности генераторов газопаровых теплоносителей. Показывается, что помимо высокого энергетического КПД теплотехнологических процессов за счет снижения расхода топлива и температуры уходящих газов, генераторы ГПС характеризуются меньшей массой и отсутствием расхода химически очищенной воды [4].

В работах [5-8] рассмотрены процессы образования газопарокапельных потоков при импульсной подаче жидкости в экспериментальных условиях. В качестве результатов экспериментальных данных проиллюстрированы зависимости нагрева и испарения жидкости от направления газового потока – попутного или встречного. Показано влияние данных эффектов на коэффициент теплообмена. Установлены параметры, которые целесообразно варьировать (начальная скорость, время импульса) для интенсификации теплообмена.

Для утилизации тепла газов в настоящее время используются аппараты (экономайзеры) как поверхностного типа, так и с непосредственным контактом газов с охлаждающей жидкостью. Последние обладают рядом преимуществ, таких как возможности создания большой поверхности контакта фаз, глубокого

охлаждения газов с получением дополнительного тепла за счет конденсации содержащейся в дымовых газах влаги. Однако традиционное оборудование контактного типа (насадочное, барботажное и распылительное) допускает устойчивую работу при низких скоростях газовой фазы, обычно не превышающих 2 м/с, что при охлаждении больших объемов дымовых газов обуславливает большие габаритные размеры аппаратов, сложность их монтажа и транспортировки, снижение эффективности из-за неравномерности распределения фаз в их поперечном сечении [9].

Указанных проблем можно избежать при использовании многоступенчатых аппаратов вихревого типа. Многоступенчатые вихревые аппараты представляют собой теплообменную колонну с контактными ступенями. Контактная ступень многоэлементных аппаратов выполняется в виде тарелки с закрепленными на ней прямоточно-вихревыми элементами одинакового размера. Внутри каждого элемента осуществляется прямоточное взаимодействие фаз, тогда как в целом по колонне движение фаз происходит в режиме противотока. Анализ вариантов конструктивного оформления таких аппаратов выявил предпочтительность применения в многоступенчатых аппаратах контактных элементов с тангенциально-лопаточными завихрителями газа [9].

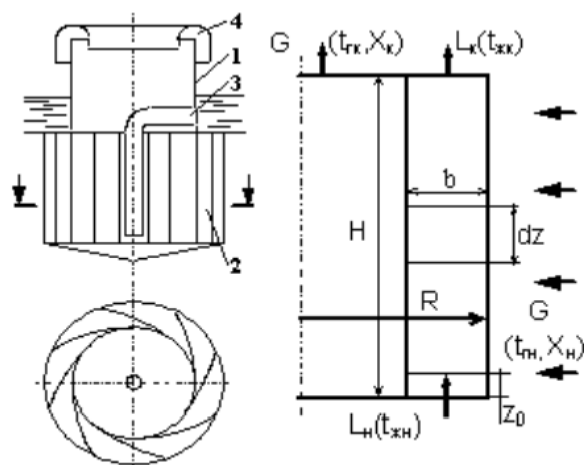


Рисунок 2 – Схема вихревого контактного элемента и потоков газа и жидкости в нем [9]

Расчеты в данной работе показали, что эффективность нагрева жидкости в контактном элементе уменьшается с возрастанием соотношения массовых расходов жидкости и газа (рис.3). При более высоких температурах газа на входе в контактный элемент достигаются более высокие эффективности прогрева жидкости. К возрастанию эффективности приводит также увеличение массового влагосодержания в газе на входе, что связано с уменьшением затрат тепла, получаемого от газа, на испарение жидкости и увеличением затрат тепла на нагрев жидкости.

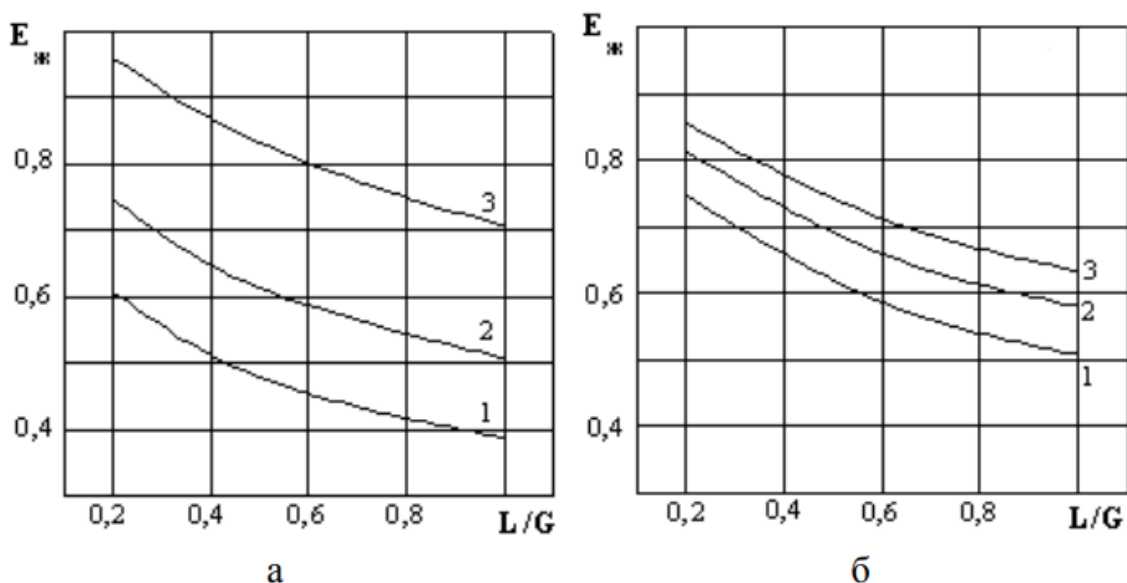


Рисунок 3 – Зависимость эффективности нагрева жидкости в контактном элементе $E_{ж}$ от соотношения массовых расходов жидкости и газа L/G ($d_{эл} = 0,08$ м; $H/d = 1$; $W_{вх} = 20$ м/с; $0 \leq \xi \leq 0,2$; $t_{жн} = 30$ °C): а) $X_{н} = 0,1$ кг/кг; $t_{гн}$, °C: 1 – 100; 2 – 250; 3 – 500. б) $t_{гн} = 250$ °C; $X_{н}$, кг/кг: 1 – 0,1; 2 – 0,2; 3 – 0,3 [9]

Эффективность охлаждения газа в контактном элементе, наоборот, увеличивается с возрастанием L/G . С увеличением температуры газа эффективность охлаждения увеличивается неравномерно. Так, при увеличении температуры с 100 до 250 °C происходит незначительный рост эффективности, тогда как при дальнейшем увеличении температуры до 500 °C эффективность увеличивается почти в 1,5 раза. Изменение начального влагосодержания не оказывает существенного влияния на эффективность охлаждения газа (рис.3б). С увеличением начальной температуры жидкости нагрева жидкости в контактном элементе возрастает.

В работе [10] проводилось экспериментальное определение диапазонов изменения параметров, соответствующих характерным режимам перемещения капель жидкости во встречном потоке высокотемпературных газов. При проведении экспериментов определялись скорость U_m , размеры R_m и относительная объемная концентрация α капель, а также скорость газов U_g в регистрационной области. Также вычислялся безразмерный параметр ΔR , характеризующий изменение размеров капель при движении через канал.

Эксперименты показали, что режим перемещения капель во встречном потоке высокотемпературных газов существенно зависит не только от соотношения начальных скоростей U_m и U_g , но и от значений R_m . С ростом ΔR существенно снижаются скорости движения капель через высокотемпературные газы. Возрастают характерные размеры паровых слоев в пристенной области каждой капли. Как следствие, увеличивается действие сил сопротивления их движению.

В качестве жидкого топлива для получения дымовых газов использовался керосин со стабильными свойствами.

В качестве увеличения имеющейся базы зависимостей различных параметров при протекании вышеперечисленных процессов возможно использовать различные виды топлива. Например, мазут и дизельное топливо. Таким образом, предоставляется возможным определение более эффективных параметров и условий протекания процессов переноса, испарения и нагрева капель жидкости в области распространения высокотемпературных газов.

Работа промышленных предприятий, связанных с получением насыпных грузов железнодорожным транспортом, в зимнее время серьезно осложняется тем, что при перевозке грузов в условиях низких температур значительная часть этих грузов подвергается смерзанию и затрудняется их выгрузка. Особенно сильно смерзаются руды (всех видов), рудные концентраты, песок, уголь и ряд других грузов, которые зачастую превращаются в монолит. В связи с этим выгрузка их из вагонов связана с большими трудностями, с затратой длительного времени и большого количества рабочей силы.

Смерзаемость – свойство товара превращаться в сплошную плотную массу и частично терять свою сыпучесть при отрицательной температуре.

Мероприятия, восстанавливающие сыпучесть груза, требуют больших затрат энергии, труда и времени и отрицательно сказываются на организации транспортного процесса. Способы борьбы со смерзаемостью делятся по принципу действия на физические, химические, физико-химические и механические [11].

Рассмотрим подробнее один из физических методов. Для оттаивания смерзшегося в вагонах груза применяют инфракрасные излучатели, представляющие собой тепловые экраны с установленными на них специальными лампами инфракрасного излучения, либо керамические и металлические поверхности, нагреваемые газом, электроспиральями. Экраны должны иметь температуру 550–650 °С [11].

Так как топливом, предполагаемым для реализации исследования, является дизельное топливо, возможно рассмотреть целесообразность использования тепла дымовых газов от дизельной электростанции (ДЭС) для разморозки вышеупомянутых сред.

Утилизатор тепла дымовых (отходящих) газов (УТГ) снимает тепло с уходящих выхлопных газов двигателя: температура уходящих дымовых газов на выходе из двигателя составляет порядка 450-550 °С. Таким образом, верхняя граница температурного интервала соответствует нижней границе требуемой температуры обогревающих экранов (550 °С). Применение тепла от ДЭС, возможно, позволит сократить затраты на электрическую энергию, применение обогревающих экранов, дополнительных средств и конструктивно сложных устройств, если на производственном объекте установлена ДЭС.

3 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

3.1 Экспериментальный комплекс

Для проведения экспериментальных исследований по диагностике протекания процессов взаимодействия воздушного потока и мелко распылённой воды разработан экспериментальный стенд, схема и внешний вид которого представлены на рис. 4 и 5, соответственно.

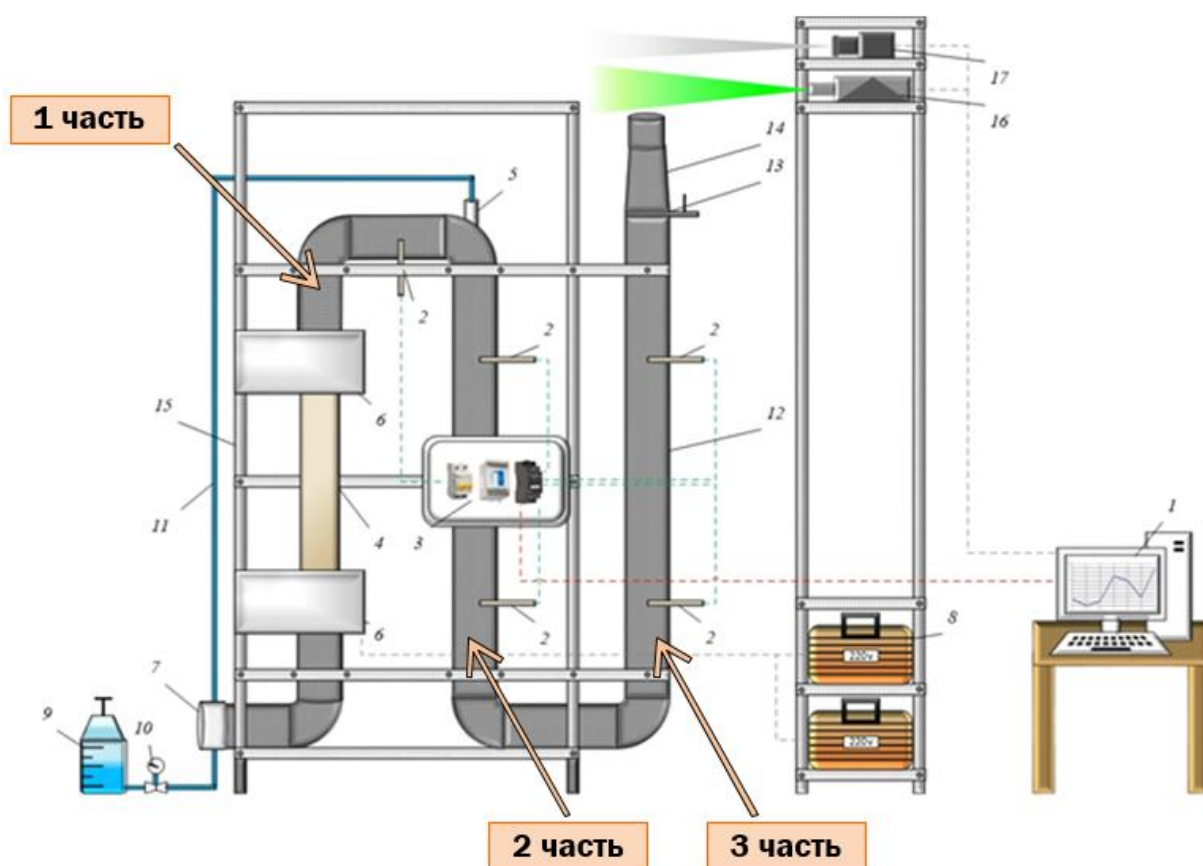


Рисунок 4 – Схема экспериментального стенда:

1 – рабочая станция (персональный компьютер – ПК); 2 – термопары типа ХА; 3 – щит средств автоматизации; 4 – трубчатый электронагреватель (ТЭН); 5 – патрубок ввода шланга; 6 – защитный короб; 7 – вентилятор; 8 – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР); 9 – баллон с водой; 10 – манометр; 11 – шланг для подачи воды; 12 – воздуховод; 13 – шибер; 14 – выход воздуховода; 15 – корпус стенда; 16 – лазер непрерывного зеленого света; 17 – CCD камера



Рисунок 5 – Фотографии экспериментального стенда

Стенд состоит из металлического основания *15*, на котором закреплен контур воздуховода *12*, выполненный из алюминия. Контур условно можно разделить на три части. В первой части по ходу движения воздуха, нагнетаемого вентилятором *7* («PROFIT 4» производителя Ega, максимальный расход воздуха $107 \text{ м}^3/\text{ч}$), осуществляется нагрев воздуха в трубчатом электронагревателе (ТЭН) *4*.

ТЭН имеет основание из керамического цилиндра $d=80$ мм, внутри которого закреплены четыре нагревательных элемента, выполненных из нихромовой спирали. Контакты ТЭНа защищены специальными коробами *6*, во избежание контакта человека с токоведущими частями. Нагревательные элементы подключаются к двум лабораторным регулируемым автотрансформаторам *8* (ЛАТР). Посредством регулирования подаваемого напряжения на ЛАТР от 0 до 220 В, нагнетаемый воздух в ТЭНе прогревается до $500 \text{ }^\circ\text{C}$.

В начале второго участка контура установлена система подачи жидкости. В контур введена металлическая трубка 5 для надежного размещения в ней шланга 11 с закрепленной форсункой на конце. С помощью баллона 9 вода подается в контур под давлением 0,13 МПа. Давление отслеживается на манометре 10. Меняя форсунки и изменяя угол раскрытия факела каждой из них, происходит изменение расхода и дисперсности капель воды, подаваемой в контур. Размеры (радиусы) генерируемых форсунками капель жидкости варьировались в широком диапазоне: $R_d = 0,01 \dots 0,35$ мм.

По всей длине экспериментального контура установлены пять термоэлектрических преобразователей ТХА 2. Термопары изготовлены из хромеля и алюмеля – сплавов на основе никеля. Диапазон измеряемых температур $-40 \dots +1200$ °С. Диаметр термоэлектродов равен 0,2 мм, а диаметр сжая равняется 0,5 мм. Класс допуска термопар – 1. Термопары подключаются к модулю аналогового ввода ОВЕН МВ110-8А, расположенного в щите 3. Также внутри щита установлен автоматический выключатель и преобразователь интерфейсов RS-485 в USB ОВЕН АС4. АС4 подключается к ПК 1 для обмена данными с программным обеспечением Owen Process Manager (OPM). Программа OPM опрашивает последовательно каждый канал МВ110-8А (с периодом опроса 1 с), регистрирует и отображает показатели температуры в каждой точке. В первой точке термопара измеряет температуру прогретого воздуха непосредственно после ТЭНа. Во второй точке измеряется температура воздушного потока после впрыска воды. Остальные три точки расположены далее по контуру, измеряя температуру по мере отдаления от нагревательного элемента и места смешения двух сред (воздух, вода).

В третьей части контура установлен шибер 14, способный перекрыть сечение канала и тем самым регулировать тягу и скорость движения потока воздуха.

С помощью применения оптического метода диагностики процессов возможно проследить состав среды на выходе из канала. Используемая система диагностики потока состояла из следующих основных компонентов:

- 1) кросскорреляционная CCD видеокамера *17 Imperx Bobcat GEV* (ImperX IGV-B2020) (формат изображения – 2048x2048 пикселей, кадровая частота – не менее 1,5 Гц, минимальная задержка между двумя последовательными кадрами – не более 5 мкс);
- 2) непрерывный лазер с зеленым свечением SDL-532-1000T *16* (длина волны – 532 нм, выходная мощность 1000 мВт);
- 3) коллиматор, состоящий из системы линз, который за счет преобразования светового пучка лазера формирует лазерный «нож».

Лазер устанавливался таким образом, чтобы плоскость лазерного «ножа» совпадала с направлением движения потока и при этом была перпендикулярна оптической оси CCD видеокамеры. Лазерный нож рассекает выходящий поток из контура, тем самым подсвечивая регистрируемую область зеленым светом. Это дает возможность получения видимых образов капель воды и пара на итоговых видеокадрах. Видеокамера подключена к персональному компьютеру, на котором установлено специальное программное обеспечение, отображающее в реальном времени и записывающее необходимые видеокадры.

3.2 Порядок проведения экспериментов

Перед началом проведения экспериментов осуществлялась калибровка системы и фокусировка объектива CCD видеокамеры *17* в измерительной области: подбиралось значение мощности модулятора лазера *16*, угол раскрытия и толщины светового «ножа» лазера. Вследствие малой мощности лазера необходимым условием регистрации потока было увеличение экспозиции камеры до максимального значения.

Регистрировались видеограммы потока. Для этого исследуемый многокомпонентный поток непрерывно рассекался световым ножом лазера *16*, образуемым специальной оптикой – коллиматором, а образы подсвеченных в результате данного процесса частиц регистрировались кросскорреляционной

ССD видеокамерой 17 (каждый эксперимент включал не менее 120 фотокадров потока).

Целью проведения экспериментов является определение областей параметров многокомпонентных сред:

- 1) двухкомпонентная среда – газ + пар;
- 2) трехкомпонентная среда – газ + пар + капли воды.

Эксперименты проводились в два этапа.

1. На первом этапе областью фиксации параметров потока являлась область на выходе из экспериментального контура (следуя схеме установки на рисунке 4 – после третьей части контура).

2. На втором этапе область фиксации параметров потока сместилась ко второй части контура. Данное изменение положения области регистрации обусловлено интересом проанализировать состав исследуемого потока на различных расстояниях от точки смешения двух сред (вода + нагретый воздух).

В каждой вышеописанной области регистрации проводились две серии экспериментов при различных температурах воздуха. Условия проведения экспериментов:

- 1) температура воздуха в точке смешения сред до впрыска воды

$$T_a = 250 \text{ }^\circ\text{C};$$

время впрыска воды $t = 3 \text{ с}$;

температура распыляемой воды $T_w = 15 \text{ }^\circ\text{C}$;

количество регистрируемых кадров $N = 120 \text{ шт.}$

- 2) температура воздуха в точке смешения с водой

$$T_a = 130 \text{ }^\circ\text{C};$$

время впрыска воды $t = 3 \text{ с}$;

температура распыляемой воды $T_w = 15 \text{ }^\circ\text{C}$;

количество регистрируемых кадров $N = 120 \text{ шт.}$

Отснятые видеоизображения потока сохранялись на рабочую станцию 1, где подвергались последующей обработке. В течение одного эксперимента на

снимках наблюдались несколько картин, характеризующих компонентный состав потока.

С помощью термопар фиксировалась температура газового потока в отмеченных на схеме точках, а именно: до впрыска воды, сразу после впрыска и в последующих равноудаленных друг от друга точках. Размер капель и концентрация капель в потоке изменялись посредством замены форсунок, изображенных на рисунке 6.



Рисунок 6 – Используемые форсунки при проведении экспериментов

Расход воды через рассмотренные форсунки приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики форсунок

Номер форсунки	№ 1	№ 2
Обозначение	Φ_M	Φ_K
G , мл/с	2,97	11,83
r_d , мм	0,01-0,15	0,1-0,35

Структура проведения экспериментов представлена на рис. 7.

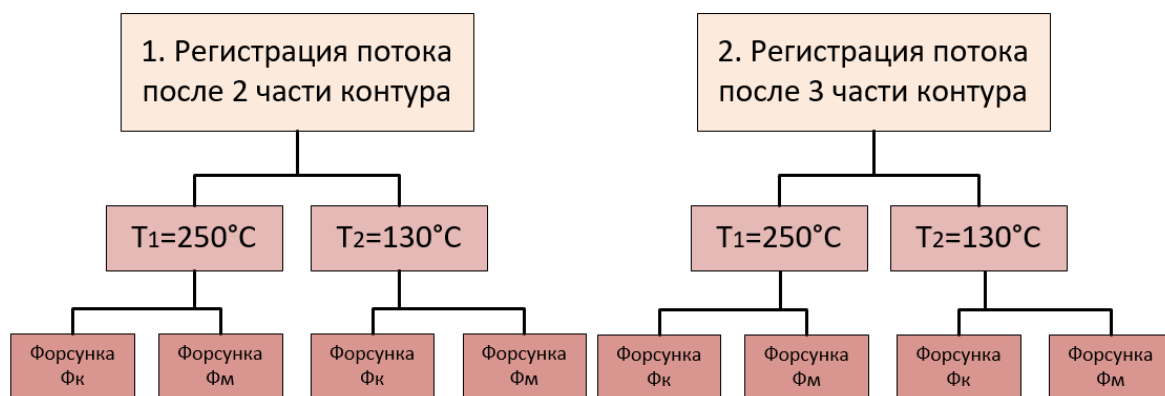


Рисунок 7 – Структура проведения экспериментов

Обработка полученных изображений заключалась в определении количества видимых треков каплей воды.

3.3 Результаты экспериментов

В результате проведения экспериментов получены видеogramмы, иллюстрирующие количество треков мелкодисперсных каплей воды в многокомпонентной среде при различных начальных температурах газового потока.

1. Рассмотрим видеogramмы (рис. 8), полученные в первой области контура на выходе из него. Используемая форсунка – Φ_m .

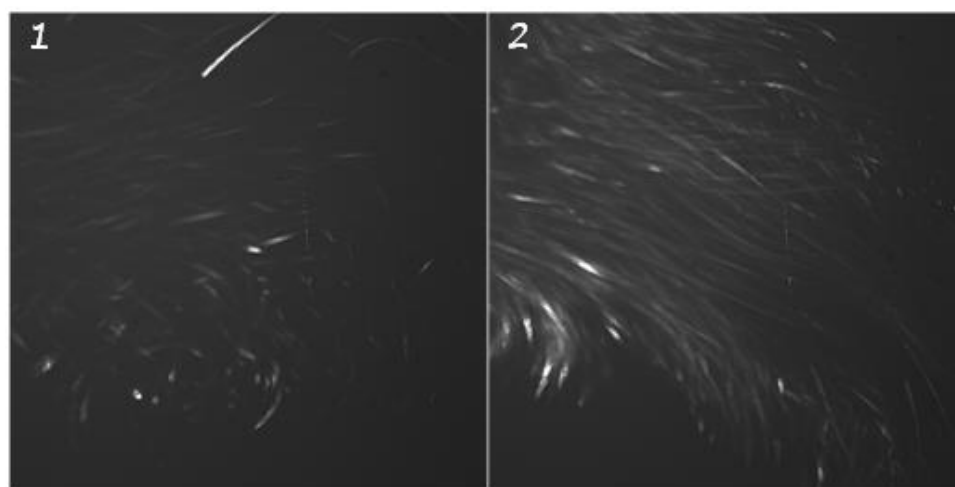


Рисунок 8 – Треки мелкодисперсных каплей в воздушном потоке на выходе из контура при различных температурах: 1 – $T_a = 250\text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $T_a = 130\text{ }^\circ\text{C}$

Далее представлены видеogramмы (рис. 9), зарегистрированные после второй части контура при тех же условиях.

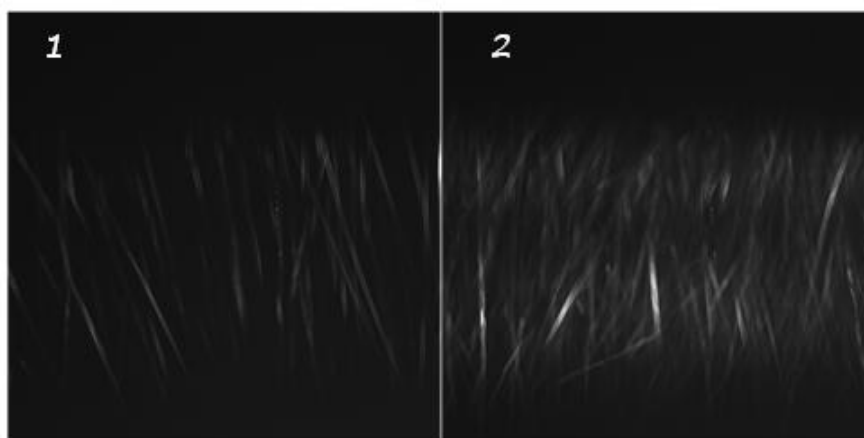


Рисунок 9 – Треки мелкодисперсных капель в воздушном потоке после второй части контура при различных температурах: 1 – $T_a = 250\text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $T_a = 130\text{ }^\circ\text{C}$

2. На следующем этапе осуществилась замена форсунки на тип Φ_k , тем самым изменилась концентрация впрыскиваемой воды в воздушный поток. Рассмотрим видеogramмы (рис. 10), полученные в первой области регистрации – на выходе из контура.

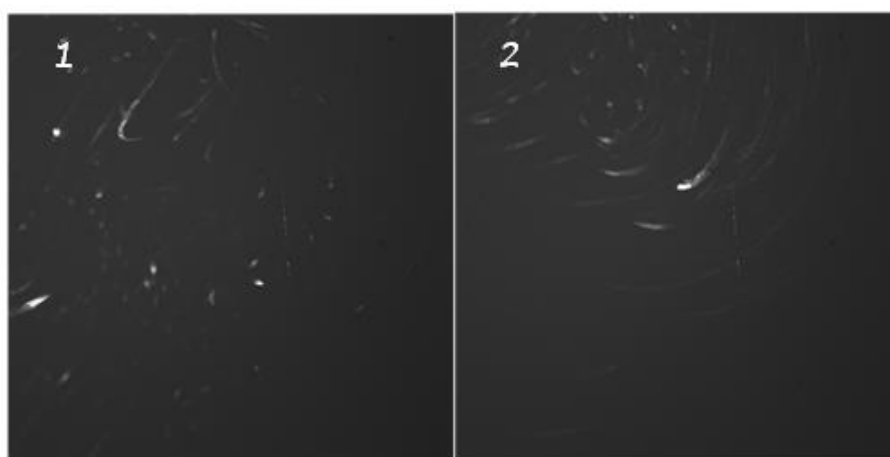


Рисунок 10 – Треки мелкодисперсных капель в воздушном потоке на выходе из контура при различных температурах: 1 – $T_a = 250\text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $T_a = 130\text{ }^\circ\text{C}$

Далее представлены видеogramмы (рис. 11), зарегистрированные после второй части контура при тех же условиях проведения экспериментов.

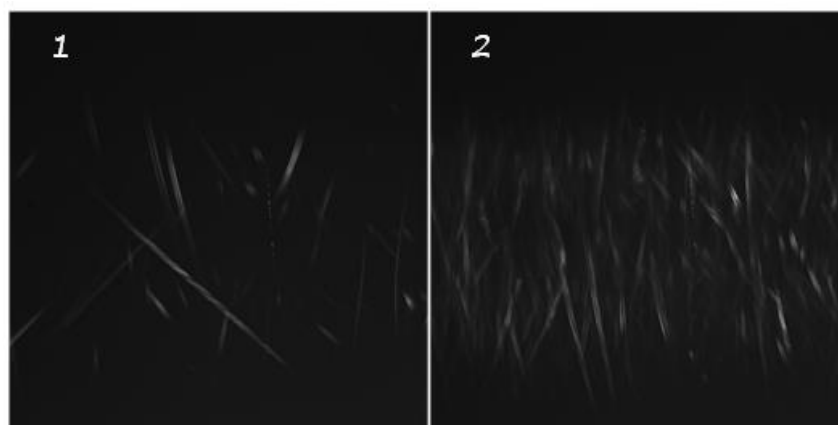


Рисунок 11 – Треки мелкодисперсных капель в воздушном потоке после второй части контура при различных температурах: 1 – $T_a = 250 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $T_a = 130 \text{ }^\circ\text{C}$

Для анализа количественного состава треков капель воды в газовом потоке введен безразмерный коэффициент α , характеризующий количество зарегистрированных треков капель воды в потоке воздуха на каждый кадр, отснятый видеокамерой.

$$\alpha = \frac{N \text{ треков}}{N \text{ кадров}};$$

На полученных изображениях помимо треков капель воды регистрируются треки частичек пыли в воздухе. С целью получения более точной информации о количестве непосредственно треков капель воды на снимках, проведена регистрация необходимой области воздушного потока без распыла в нем воды. Пример получившихся изображений представлен на рис. 12.



Рисунок 12 – Воздушный поток без распыленной воды

Вследствие этого, необходимо вычесть количество треков частичек пыли от общего количества зарегистрированных треков во время экспериментов. Для этого вводится коэффициент α_B , характеризующий количество треков частиц пыли на один кадр:

$$\alpha_B = \frac{N \text{ треков(пыли)}}{N \text{ кадров}};$$

Далее вычисляется среднее значение α_B для трех проведенных экспериментов и вычитается α_B из общего количества α . Для этого введем коэффициент α_i равный:

$$\alpha_i = \alpha - \alpha_B.$$

Также находим среднее значение для каждой серии из трех экспериментов α_{cp} . Полученные результаты сведены в таблице 2.

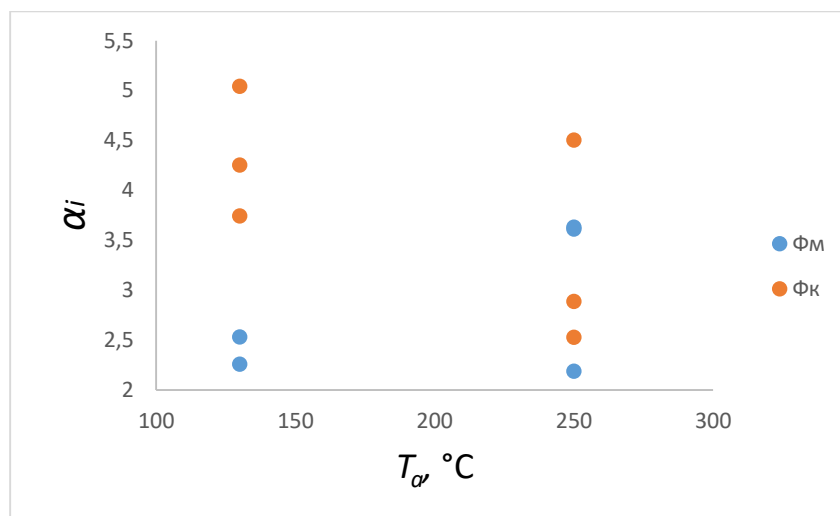
Таблица 2 – Количество треков в воздушном потоке

	№	Тип среды	$T_a, ^\circ\text{C}$	N кадров, шт	N треков, шт	α	α_i	α_{cp}	
Регистрация после 3 части контура	1	Воздух без воды	250	109	85	0,78	-	1,01	
	2			105	116	1,10	-		
	3			105	119	1,13	-		
	4	Распыл воды, форсунка – Фм	130	105	368	3,54	2,53	2,19	
	5			102	294	2,8	1,79		
	6			102	346	3,26	2,26		
	7		250	104	487	4,64	3,63		3,14
	8			105	326	3,20	2,19		
	9			106	471	4,62	3,61		
	10	Распыл воды, форсунка – Фк	130	102	617	6,05	5,04	4,35	
	11			103	542	5,26	4,26		
	12			104	494	4,75	3,74		
	13		250	98	540	5,51	4,5		3,31
	14			104	405	3,89	2,89		
	15	105	371	3,53	2,53				
Регистрация после 2 части контура	1	Воздух без воды	250	125	206	1,65		1,83	
	2			124	251	2,02			
	3			124	224	1,81			
	4	Распыл воды, форсунка – Фм	130	124	14688	114,75	112,92	124,48	
	5			123	16982	139,20	137,37		
	6			124	15247	124,98	123,15		
	7		250	128	2612	21,06	19,24		19,59
	8			122	2873	23,36	21,53		
	9			122	2459	19,83	18,00		

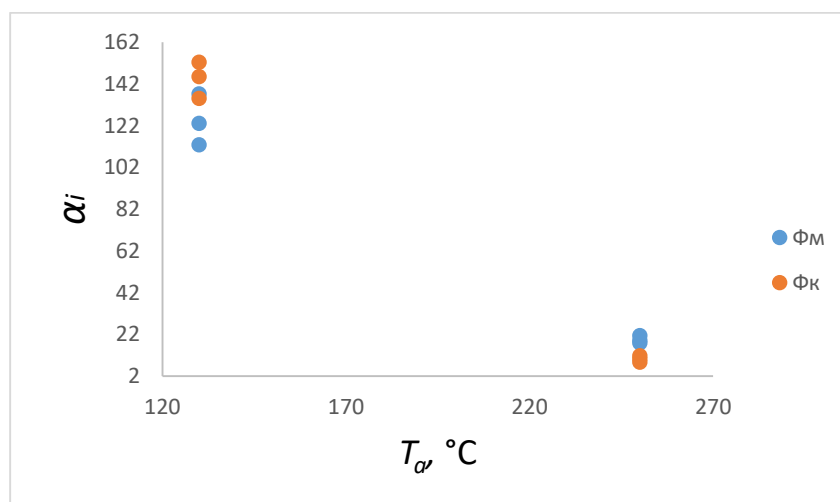
Продолжение таблицы 2.

Регистрация после 2 части	10	Распыл воды форсунка – Фк	130	129	19285	154,28	152,45	144,40
	11			125	17269	137,06	135,23	
	12			128	18124	147,35	145,52	
	13		250	125	1769	13,71	11,89	10,30
	14			126	1516	12,13	10,30	
	15			123	1348	10,53	8,71	

На основании полученных данных построены зависимости коэффициента α_i от температуры воздушного потока в контуре T_a (рис. 13).



а)



б)

Рисунок 13 – Зависимость α_i от T_a :

а – Регистрационная область после 3 части контура; б – Регистрационная область после 2 части контура

Полученные результаты отражают количественную характеристику частиц капель в плоском сечении потока, так как фотографии отражают 2D картину процесса. Для более точного анализа состава потока необходимо рассчитать объемную концентрацию капель воды в потоке разогретого воздуха σ_d :

$$\sigma_d = \frac{V_d}{V},$$

где:

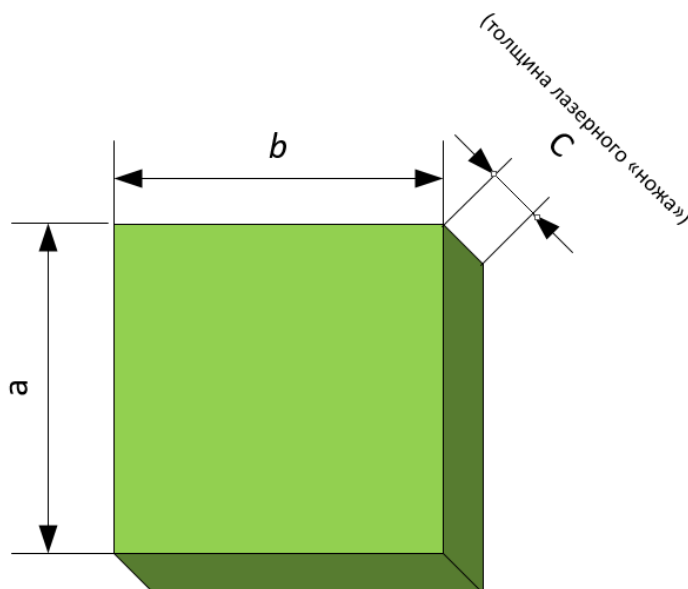
V_d – суммарный объем капель в регистрируемой области воздуха;

V – объем воздуха подсвеченный лазерным «ножом» и зарегистрированный видеокамерой.

Для двух областей регистрации потока, рассматриваемых в работе, объем воздуха принимает два значения:

1) Во время проведения экспериментов в области после 3 части контура (на выходе) видеокамерой регистрируется объем воздуха V_1 со следующими параметрами: $a = 15$ мм, $b = 15$ мм, $c = 1$ мм. Следовательно,

$$V_1 = a \cdot b \cdot c; V_1 = 15 \cdot 15 \cdot 1 = 225 \text{ мм}^3;$$



2) Аналогично рассчитываем объем регистрируемой области после второй части контура: $a = 25$ мм, $b = 25$ мм, $c = 1$ мм. Следовательно,

$$V_2 = a \cdot b \cdot c; V_2 = 25 \cdot 25 \cdot 1 = 625 \text{ мм}^3.$$

Зная диапазон размеров капель воды, генерируемых каждой форсункой (таблица 1), рассчитывается объемная концентрация капель воды V_d для каждой форсунки по формуле:

$$V_d = 4/3 \cdot \pi \cdot r_d^3 \cdot \alpha_{cp} \cdot N_{кадров} \cdot 1000.$$

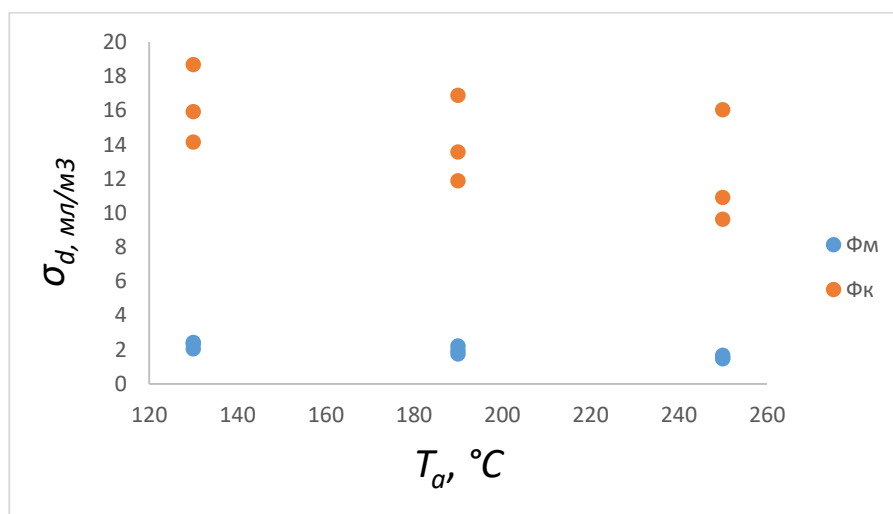
Результаты расчетов сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчета σ_d

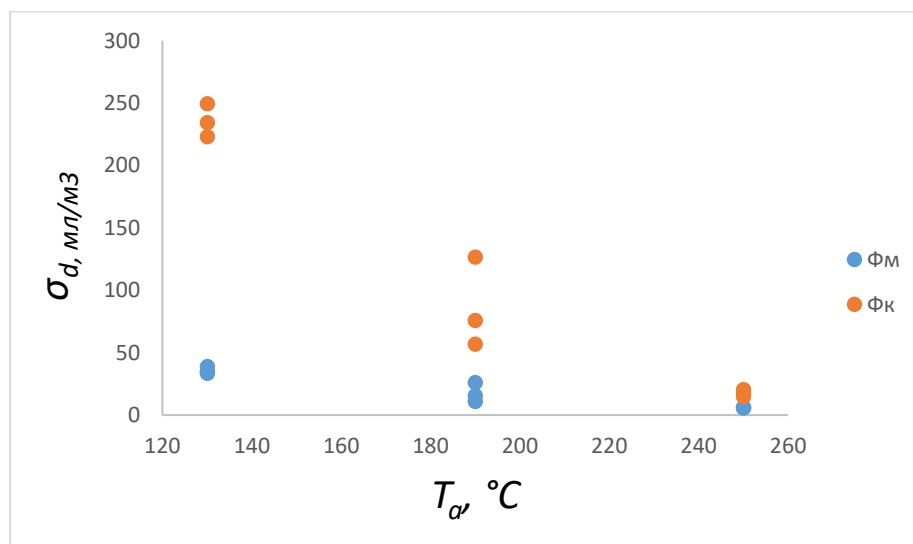
	№	Тип среды	$T_a, ^\circ\text{C}$	α_{cp}	$\sigma_d, \text{мл/м}^3$
Регистрация после 3 части контура	1	Воздух без воды	250	1,01	-
	2				-
	3				-
	4	Распыл воды Фм	130	3,14	2,43
	5				2,05
	6				2,35
	7		250	2,19	1,68
	8				1,47
	9				1,53
	10	Распыл воды Фк	130	4,35	18,69
	11				15,93
	12				14,15
	13		250	3,31	16,04
	14				10,92
	15				9,64
Регистрация после 2 части контура	1	Воздух без воды	250	1,83	-
	2				-
	3				-
	4	Распыл воды Фм	130	124,48	33,21
	5				38,51
	6				34,52
	7		250	19,59	5,48
	8				6,09
	9				5,65
	10	Распыл воды Фк	130	144,40	249,33
	11				222,93
	12				234,18
	13		250	10,30	20,06
	14				16,84
	15				14,58

3.4 Заключение

На основании полученных данных построены зависимости объемной концентрации каплей распыленной воды σ_d от температуры воздуха T_a в канале в течение трех экспериментов. Эксперименты проводились при температурах 130 и 250 °С для двух типов форсунок Φ_k и Φ_m . Рисунок 14а иллюстрирует $\sigma_d(T_a)$ при регистрации потока после третьей части канала, рисунок 14б иллюстрирует $\sigma_d(T_a)$ на выходе второй части канала.



а)



б)

Рисунок 14 – Зависимость объемной концентрации каплей распыленной воды σ_d от температуры воздуха T_a в канале:

а – на выходе из 3 части канала; б – на выходе из 2 части канала

Целью проведения экспериментов являлось определение значения концентрации воды в газовом потоке, при которой среда переходит из двухкомпонентного состояния (газ + пар) в трехкомпонентное (газ + пар + капли воды). Для идентификации искомой границы раздела задан порог, который составляет 20 мл/м³. Данное значение является максимальным изменением концентрации воды за время проведения экспериментов.

Графики, представленные на рисунке 14, позволяют подобрать необходимые параметры воздушного потока и дисперсность капель воды в зависимости от поставленной цели. Например, для получения трехкомпонентного теплоносителя с объемной концентрацией капель воды от 12 мл/м³ и выше, температура воздушного потока в канале не должна превышать 200-210 °С при диаметре капель равном 0,1 - 0,35 мм. Полученные результаты могут служить основанием для выбора режима протекания процесса смешения сред при создании теплоносителя определенного фазового состава.

На рисунке 15 представлено распределение объемной концентрации капель распыленной воды σ_d в потоке воздуха по протяженности канала L для форсунок Φ_m и Φ_k . На графике штриховые линии отражают результаты экспериментов, проведенных при $T_a = 250$ °С, сплошные линии при $T_a = 130$ °С.

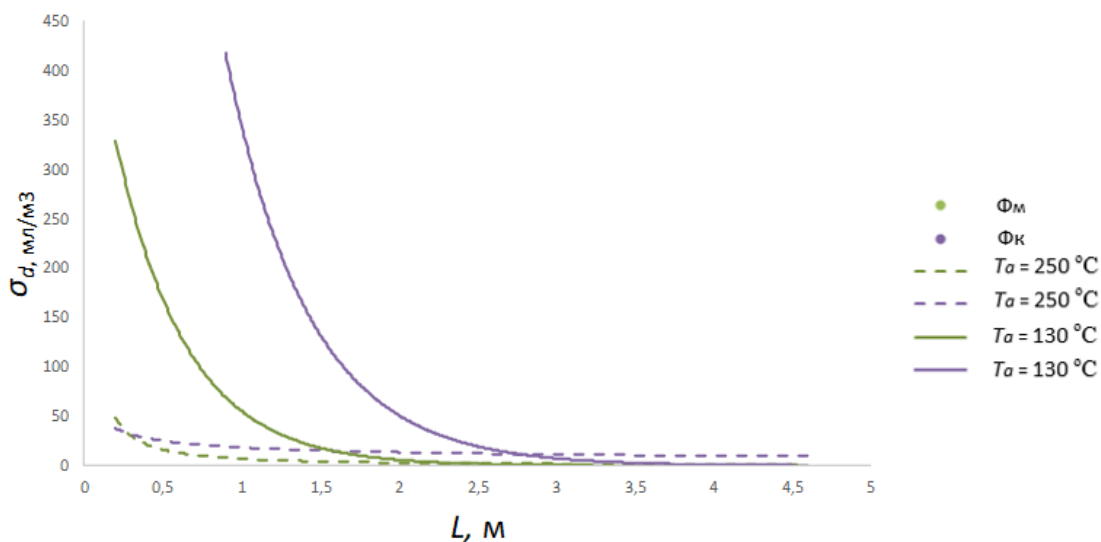


Рисунок 15 – Распределение объемной концентрации капель распыленной воды σ_d

Анализ полученного графика на рисунке 15 позволяет сделать вывод о том, что при обоих видах используемой форсунки концентрация капель воды в исследуемом потоке снижается до порогового значения смены трехкомпонентной среды на двухкомпонентную, при достижении пройденного расстояния потоком 2,0-2,3 м. Следовательно, для поддержания в теплоносителе необходимой концентрации капель воды, необходимо устанавливать впрыскивающие форсунки на протяжении всей длины канала системы не более чем через 2 метра.

На рисунке 16 приведено распределение температуры потока T_a по длине канала при начальных температурах воздуха в точке смешения горячего воздуха и капель воды 130 и 250 °С.

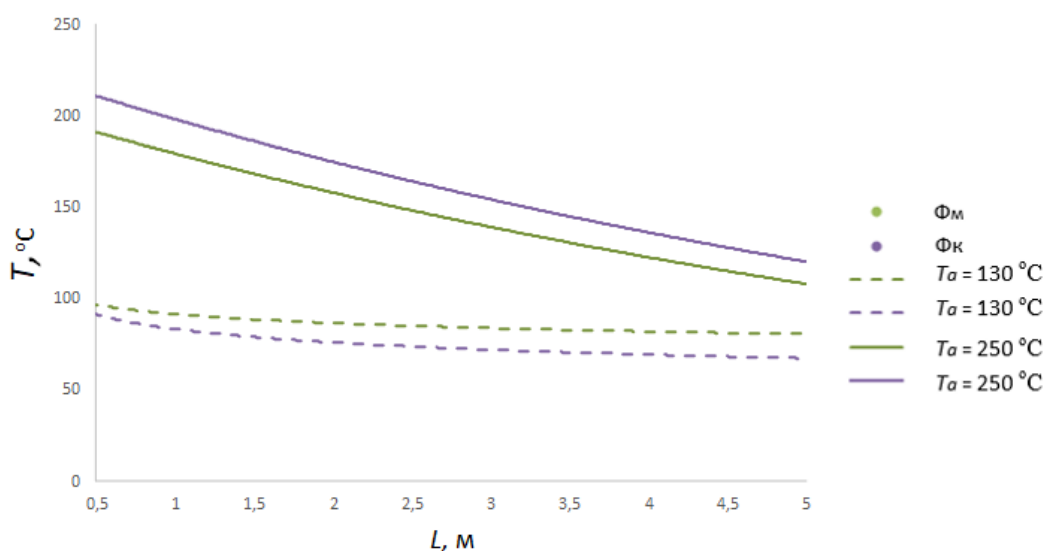


Рисунок 16 – Распределение температуры потока T_a по длине канала L

4 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АСУ

4.1 Формулирование технических требований АСУ

4.1.1 Назначение системы.

АСУ ТП предназначена для обеспечения выполнения функций автоматизированного и диспетчерского управления, контроля и регулирования режимов работы технологического оборудования системы утилизации тепла от дизельной электростанции.

Цели создания системы:

- 1) предоставление оператору релевантных данных для принятия решений;
- 2) ускорение выполнения отдельных операций по сбору и обработке данных;
- 3) снижение количества решений, которые должен принимать оператор;
- 4) повышение оперативности управления;
- 5) снижение затрат времени оператора на выполнение вспомогательных процессов;
- 6) эффективное управление параметрами автоматизируемого оборудования;
- 7) повышение надежности работы автоматизируемого оборудования;
- 8) автоматизированная работа дизельной электростанции;
- 9) формирование и выпуск стандартизованной отчетной документации;
- 10) своевременное обнаружение аварийных ситуаций с точной адресацией поврежденного участка оборудования.

4.1.2 Характеристики объекта автоматизации

Система утилизации тепла от дизельной электростанции предназначена для повышения в значительной степени суммарного КПД дизельной электростанции.

Режим работы системы утилизации тепла от ДЭС по отношению к общей энергосистеме - автономный.

4.1.3 Требования к системе

Требования к структуре и функционированию системы.

АСУ ТП строится как трехуровневая автоматизированная система, работающая в реальном времени и осуществляющая функции сбора данных, управления и контроля [13].

Нижний уровень включает датчики и сенсоры, а также исполнительные механизмы.

Средний уровень, уровень сбора, первичной обработки и распределения информации, получаемой от датчиков и сенсоров их параметров в виде аналоговых, дискретных и цифровых сигналов, включая прием-передачу информации от других автономных подсистем автоматического управления. Уровень основан на программируемых логических контроллерах, которые принимают данные и выдают указания исполнительным механизмам. Обработка информации на этом уровне происходит по алгоритму: прием сведений, их анализ, обработка и выдача команд на нижний уровень. Передача информации на верхний уровень организуется посредством современных протоколов передачи данных Modbus: Modbus RTU, Modbus TCP.

Верхний уровень АСУ ТП – это информационно-вычислительный комплекс (ИВК). Комплекс реализует хранение и накопление технологической информации, обеспечивает взаимодействие операторов с АСУ ТП по отображению информации и настройке параметров, а также регистрацию, накопление и выдачу операторам сигналов об аварийных сигналах и событиях.

Отображается на человекомашином интерфейсе в виде светозвуковых сигналов на АРМе оператора.

Требования к численности и квалификации персонала.

Численность и режим работы обслуживающего персонала должны быть достаточными для технического обслуживания АСУ ТП и выполнения ремонта при круглосуточной работе оборудования. Обслуживание АСУ ТП предусмотреть имеющимся персоналом предприятия.

Требования к показателям назначения автоматизированной системы.

АСУ ТП должна предусматривать возможность масштабирования по производительности и объему обрабатываемой информации путем модернизации используемого комплекса технических средств. Возможности масштабирования должны обеспечиваться средствами используемого базового программного обеспечения.

Требования к надежности.

Надежность АСУ ТП как в целом, так и отдельных ее частей должна быть достаточной для достижения установленных целей функционирования и показателей назначения при заданных условиях применения. Гарантия на микропроцессорное оборудование не менее 1 года с момента поставки. Нарботка на отказ не менее - 50 000 часов.

Требования безопасности.

Все внешние элементы технических средств системы, находящиеся под напряжением, должны иметь защиту от случайного прикосновения, а сами технические средства должны иметь защитное заземление в соответствии с ПУЭ и ГОСТ 12.1.030-81. Система электропитания должна обеспечивать защитное отключение при перегрузках и коротких замыканиях в цепях нагрузки, а также аварийное ручное отключение. Общие требования пожарной безопасности должны соответствовать нормам на бытовое электрооборудование. В случае возгорания не должны выделяться ядовитые газы и дым. После снятия электропитания должно быть допустимо применение любых средств пожаротушения.

Требования по эргономике и технической эстетике.

Взаимодействие пользователей с прикладным программным обеспечением, входящим в состав системы должно осуществляться посредством визуально-графического интерфейса программного комплекса АСУ ТП.

Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению.

Требования к условиям эксплуатации устройств верхнего уровня АСУ ТП должны соответствовать ГОСТ 15150-69, исполнение УХЛ, категория размещения 4.2 и эксплуатационной документации на используемые технические средства.

Требования к стандартизации и унификации.

В части стандартизации и унификации должно быть обеспечено выполнение требований ЕСКД к проектной документации.

4.1.4 Требования к видам обеспечения

Техническое обеспечение.

Технические решения, принятые при разработке АСУ ТП должны реализовывать следующие функции:

- 1) обеспечение индивидуальной защиты с возможностью отключения всех каналов ввода/вывода;
- 2) система бесперебойного питания с обеспечением времени автономной работы не менее 30 мин., осуществление контроля состояния аккумуляторных батарей;
- 3) отдельное резервированное питание контроллеров и каналов ввода-вывода, нормирующих преобразователей;
- 4) контроль состояний автоматов питания контроллерной части и запорно-регулирующей арматуры.

Лингвистическое обеспечение.

Должно быть предусмотрено единое лингвистическое обеспечение в пределах всей системы АСУ ТП и для всех видов интерфейсов “человек-машина”. Все текстовые сообщения в языках оперативного управления и технологического программирования должны быть на русском языке.

4.2 Разработка структуры комплекса технических средств

На любом предприятии возможности оперативного доступа к информации о технологическом процессе придается большое значение, такая возможность влияет решающим образом на эффективность работы предприятия. Это может достигаться с помощью создания интегрированной многоуровневой АСУ. Для решения задач управления автоматизированной системой утилизации тепла выберем структуру, которая включает в себя следующее оборудование:

1) нижний уровень:

- датчики температуры;
- датчики расхода;
- запорная и переключающая арматура;
- насосные агрегаты;
- исполнительные механизмы;

2) средний уровень:

- программируемый логический контроллер;
- панель индикации;
- блоки ручного управления исполнительными механизмами;

3) верхний уровень:

- персональный компьютер с предустановленной SCADA-системой.

Структурная схема комплекса технических средств автоматизированной системы управления смещением дымовых газов и пароводяного потока представлена на чертеже с шифром ФЮРА.421000.008 С1.

Технические средства на структурной схеме изображены в упрощенном виде в форме прямоугольников. Связи между техническими

средствами показаны линиями со стрелками-указателями, демонстрирующими направленность сигнала.

Основным техническим средством, вырабатывающим управляющие воздействия по измеренным параметрам теплоносителя, является программируемое логическое устройство в который загружена программа-алгоритм работы системы. В случае выхода из строя ПЛК и ручного управления предусмотрены кнопочные переключатели и панель индикации.

Все измеренные параметры, сведения о положении регулирующих органов и режима работы насосных агрегатов передаются на верхний уровень представленное автоматизированным рабочем местом (АРМ) оператора. Также с АРМа возможно дистанционное управление автоматизированной системой и задание уставок работы. Передача информации на верхний уровень организуется посредством протокола передачи данных Modbus RTU.

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АСУ

Функциональные схемы являются основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащения объекта управления приборами и средствами автоматизации [14].

При разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов решаются следующие задачи:

- 1) стабилизация технологических параметров процесса;
- 2) непосредственное воздействие на технологический процесс для управления им;
- 3) получение первичной информации о состоянии технологического процесса и оборудования;
- 4) контроль и регистрация технологических параметров процессов и состояния технологического оборудования [13].

На основании выбранной структурной схемы АСУ составим перечень регулируемых параметров технологического процесса. Основными контролируемыми параметрами являются температура и расход теплоносителя дымовые газы-вода, расход и температура воды в контуре на подачу в теплообменник, а также расход и температура дымовых газов на выходе из ДЭС.

Таким образом, регулируемыми параметрами для рассматриваемой автоматизированной системы управления являются расход воды, дымовых газов и полученного теплоносителя из смеси вышеупомянутых компонентов. Значения контролируемых параметров в ходе технологического процесса приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения контролируемых параметров

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Расход воды от потребителя	35,2 м ³ /ч
2	Расход дымовых газов от ДЭС	350 м ³ /ч
3	Температура отходящих газов после контура утилизации тепла	120 °С
4	Температура отходящих газов после ДЭС	460 °С
5	Температура воды после контура утилизации тепла	40 °С
6	Температура смеси ДГ и воды в смешивающем теплообменнике	100 °С
7	Расход воды на впрыск в теплообменник	17 м ³ /ч
8	Температура воды на впрыск в теплообменник	40 °С
9	Температура смеси ДГ и воды непосредственно перед подачей потребителю	95 °С
10	Расход смеси ДГ и воды на выходе из теплообменника	367 м ³ /ч

Процесс проектирования функциональной схемы системы завершается составлением чертежа, который включает в себя:

- 1) первичные и другие средства автоматизации;
- 2) технологическую схему объекта автоматизации;
- 3) шкаф автоматизации;
- 4) линии связи между техническими средствами автоматизации;
- 5) основную надпись.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403-80 [15] в виде контуров, упрощённых до такой степени, которая позволяет показать, как взаимосвязь отдельных частей технологической цепи, так и принцип её действия, а также взаимодействие с датчиками и другими техническими средствами системы автоматизации.

На технологических трубопроводах показаны только те вентили, задвижки, заслонки, клапаны и другая регулирующая и запорная арматура, которая непосредственно участвует в работе системы автоматизации. Датчики, преобразователи, приборы и вспомогательную арматуру изображают на схемах автоматизации в соответствии с ГОСТ 21.404-85 [16].

Функциональная схема АСУ утилизации тепла представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.008 С2.

Техническим средствам автоматизации, изображенным на функциональной схеме, присвоены позиционные обозначения.

В нижней части чертежа функциональной схемы автоматизации условно изображены контроллер, расположенный на щите автоматизации и АРМ, расположенный в диспетчерском пункте.

Для измерения температуры уходящих газов после ДЭС, а также газов после контура утилизации тепла и теплообменного аппарата используются датчики температуры 1а, 10а и 14а соответственно, унифицированный токовый сигнал с которых поступает на вход программируемого логического контроллера. Так же измеряются температуры сетевой воды датчиками 7а и 18а.

Расход воды измеряется с помощью метода переменного перепада давления, поэтому в трубопроводах устанавливаются сужающие устройства ба, 11а, создающие перепад давления, который определяется с помощью измерительного преобразователя разности давлений бв, 11б, установленного по месту. Далее унифицированный сигнал подаётся на устройства отображения и обработки информации – измеритель многоканальный и программируемый логический контроллер соответственно.

Измерение расхода продуктов сгорания осуществляется аналогично. Для создания перепада давления в трубопроводе устанавливается сужающее устройство 2а. С помощью импульсных труб давления до и после сужающего устройства поступают на измерительный преобразователь 2в, на выходе которого имеем унифицированный токовый сигнал, который и подаём на контроллер.

Вся информация, поступающая на ПЛК, обрабатывается согласно заложенным алгоритмам, и выдаются управляющие сигналы, которые, в свою очередь, подаются на блоки управления 3б, 8б, 12б, 15б, 21б, 22б, 23б исполнительными механизмами 3в, 8в, 12в, 15в, 21в, 22в, 23в. Исполнительный механизм, соединённый жёсткой механической связью с регулирующим органом, поворачивает его, регулируя тем самым расход продуктов сгорания, воды, теплоносителя (ДГ и вода) и работу вентиляторов.

Циркуляционный насос Н1 включается по командам, поступающим с ПЛК или кнопочного переключателя 15б с помощью пускателя 15а, аналогично работают насосы Н2 (подача теплоносителя потребителю) и Н3 (подача воды в смешивающий теплообменник).

На двери щита автоматизации располагается измеритель многоканальный с индикацией параметров и аварийной сигнализацией 2в, 5в, 10в и 14в. На измеритель поступают унифицированные сигналы с датчиков температуры и расхода.

Программируемый логический контроллер по поступающим на него измеренным значениям вырабатывает управляющие сигналы, а также передает данные на автоматизированное рабочее место оператора.

6 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АСУ

Система управления теплотехническими параметрами должна проектироваться на основе технических средств автоматизации, выпускаемых серийно отечественными предприятиями. Предпочтение должно отдаваться однотипным техническим средствам и унифицированным системам, обеспечивающим взаимозаменяемость, простоту сочетания друг с другом и удобство компоновки на щитах.

В процессе выбора первичных измерительных преобразователей необходимо учитывать предельные значения измеряемого параметра и давлений, в диапазоне которых можно применять различные первичные измерительные преобразователи, а также характеристики выходного сигнала первичных измерительных преобразователей. Необходимо ограничивать количество технических средств, устанавливаемых на щитах, минимальным набором, обеспечивающим выполнение требуемых функций.

6.1 Выбор датчика для измерения температуры теплоносителя

6.1.1 Датчик температуры теплоносителя-воды.

Датчики предназначены для непрерывного измерения температуры жидких, паро- и газообразных сред, сыпучих материалов и твердых тел в различных отраслях промышленности, а также в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Датчики преобразуют изменение температуры в изменение электрического сопротивления постоянному току. Различают общепромышленные и специализированные термопреобразователи.

Так как температура воды не превышает 100 °С, то выберем датчик ДТС3105-РТ1000.В2.70 компании ОВЕН, который предназначен для измерения температуры воды в трубопроводах контуров отопления. Основные технические характеристики выбранного датчика приведены в таблице 5 [17].

Таблица 5 – Технические характеристики ДТС3105-РТ1000.В2.70 [17]

Характеристика	Значение
Номинальная статическая характеристика (НСХ)	Pt 1000
Диапазон измеряемых температур, °С	-50...120
Количество чувствительных элементов, шт	1
Класс допуска	В
Схема соединения	двухпроводная
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP54
Выходной сигнал, мА	4-20

6.1.2 Датчик температуры теплоносителя-дымовых газов.

Рассмотрим несколько датчиков температуры фирмы «ОВЕН».

ДТПК045Д, ДТС054-50М, ДТС045М-100М. Для измерения температуры уходящих дымовых газов до теплообменника и после него исходя из условия, что температура газов больше 100 °С, а также для унификации оборудования измерительного канала температуры, выберем ОВЕН ДТПК045Д-0110.120.1,0.И.ЕХD-Т6 [17]. Выбранный датчик является термопарой «хромель-алюмель», материал защитной арматуры – сталь 12х18Н10Т с диапазоном измерения и преобразования температур: -40...+800 °С, с изолированным рабочим спаем, диаметром термоэлектрода 0,7 мм, с металлической коммутационной головкой, длиной монтажной части 120 мм, в корпусе 045, класс точности 1,0 %, во взрывозащищенном исполнении (взрывонепроницаемая оболочка 1Ex d IIC T6 Gb X), температурный класс Т6.

Сравнительные технические характеристики датчиков приведены в таблице 6. Выбранный датчик имеет преимущество в виде встроенного нормирующего преобразователя.

Таблица 6 – Технические характеристики датчиков температуры фирмы «ОВЕН» [17]

Характеристика	ДТПК045Д	ДТС054-50М	ДТС045М-100М
Номинальное значение напряжения питания (постоянного тока), В	24		24
Диапазон выходного тока преобразователя, мА	4-20	Требуется НУ	4-20
Диапазон измеряемых температур, °С	-40...+800	-50...+150	-50...+180
Номинальное значение сопротивления нагрузки, Ом	250 ± 5 %	–	500 ± 5 %
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP54	IP54	IP54

6.2 Выбор датчика для измерения расхода продуктов сгорания

Расход дымовых газов измеряется также методом переменного перепада давления. Согласно рекомендациям, а также в соответствии с диаметром трубопровода 273 мм, в качестве СУ используем диафрагму ДКС – 0,6 – 250 с условным проходным отверстием 250 мм, рассчитанную на давление 0,6 МПа, изготовленную из нержавеющей стали.

Разделительные сосуды устанавливаются в измерительные приборы в целях обеспечения дополнительной защиты их полостей. В качестве разделительного сосуда можно использовать СР-25-2-Б.

Аналогично, согласно приведенным плюсам в качестве дифманометра выбираем современный интеллектуальный преобразователь разности давлений Метран – 150 с предельно – допускаемым избыточным давлением до 4 МПа, с выходным унифицированным токовым сигналом 4 - 20 мА с протоколом HART, который позволяет управлять параметрами датчика удаленно [18].

6.3 Выбор датчика для измерения расхода жидких сред

По методу измерения расхода воды посредством переменного перепада давления, сужающее устройство (СУ) устанавливается в трубопровод и по разности давлений до и после СУ определяется расход. При измерении расхода воды в качестве СУ рекомендуется использовать диафрагму. Диаметр трубопровода принимается 165 мм. Тогда выбираем диафрагму ДКС 0,6-150 Б/Б изготовленную из нержавеющей стали с диаметром условного прохода 150 мм и рассчитанную на перепад давления 0,6 МПа. Перепад давления, образующийся в СУ, по импульсным трубам через конденсационный сосуд передается на измерительный преобразователь - дифманометр, где измеряется и преобразуется в унифицированный электрический сигнал.

Для стабилизации верхних уровней конденсата, а также для снижения погрешности измерений в обеих соединительных линиях вблизи сужающего устройства устанавливаем уравнительные конденсационные сосуды из нержавеющей стали СУ – 6,3 – Б с условным давлением 6,3 МПа.

Датчик измерения расхода воды в трубопроводе должен обеспечивать следующие требования:

- 1) измерение давления в пределах 0 – 0,6 МПа;
- 2) погрешность измерения – 0,5 %;
- 3) среда измерения – вода.

Таким требованиям удовлетворяет датчик давления серии “Метран”. Одним из самых распространённых измерительных преобразователей данного концерна является Метран-150-CD. Он предназначается для измерения разности давлений и непрерывного преобразования значения измерения в унифицированный токовый аналоговый сигнал в стандарте протокола HART, или на базе интерфейса PS485 в цифровой сигнал.

Основные технические характеристики измерительного преобразователя Метран-15-CD приведены в таблице 7 [18].

Таблица 7 – Технические характеристики Метран-150-CD [18]

Характеристика	Значение
Погрешность измерения, %	$\pm 0,25$
Температура окружающего воздуха, °С	- 40...+ 80
Верхний предел измерения, кПа	32...1600
Степень защищенности	IP66
Функция извлечения корня	есть
Масса, кг	3,1
Электрическое питание, В	12-42

Выбор обусловлен простотой конструкции, надежностью, малыми габаритами, невысокой стоимостью датчика Метран-150-CD и рядом новых преимуществ, по сравнению с приборами серии “Метран”:

- 1) новый улучшенный дизайн датчика и его более компактная конструкция;
- 2) возможность поворота с шагом 90° блока электроники и ЖКИ с клавиатурой;
- 3) конструкция датчика имеет высокую способность к перегрузкам;
- 4) наличие в датчике встроенной защиты от переходных процессов;
- 5) наличие внешней кнопки, расположенной на корпусе и защищенной спец. металлической пластиной установки «нуля»;
- 6) программное обеспечение датчика давления предусматривает непрерывную самодиагностику датчика.

6.4 Выбор регулирующего устройства

Для выбора регулирующего устройства рассмотрим несколько вариантов, а именно использование контроллеров Ремиконт Р-130 и «ОВЕН» ПЛК160.

Ремиконт Р-130 относится к классу модульных контроллеров, которые в зависимости от выбранного набора модулей могут решать, как задачи средней сложности, так и сложные задачи управления. В данной работе путем выбора технических средств необходимо решить задачи АСУ сравнительно малой

сложности, поэтому в качестве регулирующего устройства выберем более простой в устройстве, а также относительно недорогой микропроцессорный программируемый логический контроллер «ОВЕН» ПЛК160, который согласно заложенным алгоритмам играет роль как основного стабилизирующего регулятора расхода воды, так и корректирующего регулятора по температуре отходящих дымовых газов и температуре охлаждающей жидкости двигателя ДЭС (антифриз). В контроллере заложены достаточно мощные аппаратные ресурсы: процессор, с широкими вычислительными возможностями, большое количество памяти. Программируется контроллер с помощью профессиональной среды CoDeSys, которая входит в комплект поставки. Кроме того, доступна бесплатная библиотека функциональных блоков, облегчающая процесс проектирования математического обеспечения.

Отличительные особенности линейки [17]:

- 1) Мощные вычислительные ресурсы и большой объем памяти.
- 2) Наличие дискретных и аналоговых входов/выходов на борту контроллера.
- 3) Наличие последовательных портов (RS-232, RS-485) на борту контроллера.
- 4) Наличие порта Ethernet для включения в локальные или глобальные сети верхнего уровня.
- 5) Поддержка протоколов обмена Modbus (RTU, ASCII), ОВЕН, DCON.
- 6) Возможность работы напрямую с портами контроллера, что позволяет подключать внешние устройства с нестандартными протоколами.
- 7) Контроллер имеет встроенные часы, что позволяет создавать системы управления с учетом реального времени.
- 8) Встроенный аккумулятор, позволяющий организовать ряд дополнительных сервисных функций: возможность кратковременного пережидания пропадания питания, перевод выходных элементов в безопасное состояние.

Контроллер выпускается в различных исполнениях, отличающихся типом встроенных аналоговых выходных элементов, напряжением питания и различными лицензионными ограничениями на размер памяти области ввода-вывода программы контроллера.

6.5 Выбор исполнительного механизма

Приводной частью регулирующего органа (клапан, заслонка, задвижка и т.п.) являются исполнительные механизмы. Они предназначены для перемещения РО.

Для регулирования расхода воды или газов чаще всего используют круглые поворотные заслонки. С такими типами регулирующей арматуры в качестве исполнительных механизмов применяются МЭО.

Исполнительный механизм выбираем исходя из вида регулирующего органа и крутящего момента.

Максимальный крутящий момент вычисляется по формуле (1):

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 150 - 338 = 798,85 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (1)$$

где D_y - условный диаметр трубопровода, мм.

При выборе учитывалось условие (2):

$$M_H > M_{\max}, \quad (2)$$

Номинальное значение крутящего момента МЭО должно быть больше максимального. Выбираем механизм электрический однооборотный типа МЭО-1600/63-0,25У-92КБ с техническими характеристиками, приведенные в таблице 8 [19].

Таблица 8 – Технические характеристики МЭО-1600/63-0,25У-92КБ [19]

Характеристика	Значение
Номинальное значение крутящего момента, Н·м	1600
Тип двигателя	АИР56В4
Номинальное время полного хода выходного вала, с	25
Номинальное значение полного хода выходного вала	0,25 оборота
Трехфазное напряжение питания, В	380
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP54
Диапазон температуры окружающей среды, °С	-40...+50

Выбранный исполнительный механизм выпускается с блоком сигнализации положения (БСП) токовым БСПТ-110АМ с источником питания БП-20, комплектуются с исполнительным механизмом. Датчик положения имеет унифицированный выходной сигнал 4-20 мА. В составе блоков БСП механизмов предусмотрены электрические ограничители перемещения выходного вала.

Управление исполнительным механизмом МЭО-630/25-0,25У-92 может осуществляться бесконтактным способом с помощью пускателей реверсивных ПБР-3А, но при разработке структурной схемы было принято решение заменить пусковое устройство блоком управления реверсивным серии БУЭР, который выбран в следующем пункте.

6.6 Выбор блока управления

В курсовой работе выбран блок управления электродвигателями реверсивный – БУЭР, предназначенный для бесконтактного управления электрическими исполнительными механизмами типа МЭО с электродвигателями однофазными (БУЭР-1) и трехфазными (БУЭР-3).

Блоки управления типа БУЭР предлагаются взамен пускателей типа ПБР-2 или ПБР-3.

Блок управления трехфазным электродвигателем интеллектуальный, выполнен в металлическом корпусе и предназначен для установки в непосредственной близости от ИМ (МЭО-1600/63-0,63У-92КБ) – БУЭР 3-30-02 является современным аналогом ПБР-3А [20].

Основные технические характеристики интеллектуального блока управления типа БУЭР3-30-02 приведены в таблице 9.

Таблица 9 –Технические характеристики БУЭР3-30-02 [20]

Характеристика	Значение
Входной сигнал от датчика положения, мА	4-20
Электрическое питание, В	380
Режим работы	повторно-кратковременный
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP20
Диапазон температуры окружающей среды, °С	-30...+50

Это исполнение БУЭР содержит два приемо-передатчика интерфейсного канала RS-485, микропроцессорное устройство, и преобразователь питания, что обеспечивает функции:

- 1) резервирования цифрового канала;
- 2) формирования управляющих импульсов;
- 3) приема команд управления исполнительным механизмом;
- 4) передачи по цифровому каналу значения сигнала датчика положения исполнительного механизма;
- 5) диагностики работоспособности блоков управления и исполнительного механизма.

6.7 Выбор циркуляционного насоса

Для АСУ утилизацией тепла необходимы циркуляционные насосы в контурах теплоносителей воды и антифриза. Запуск и останов насосов осуществляется с помощью пускового устройства ПМЛ-3100-40А-220АС-УХЛ4-Б. Сигнал на включение насосов поступает с программируемого

логического контроллера в автоматическом режиме управления или кнопочного переключателя в ручном режиме управления. Подача насоса должна обеспечивать до 100 м³/ч теплоносителя.

Тогда, исходя из необходимых требований, выбираем насос ЦНС 180-128. Основные технические характеристики насоса приведены в таблице 10 [21].

Таблица 10 –Технические характеристики ЦНС 180-128 [21]

Характеристика	Значение
Число ступеней насоса	3
Мощность электродвигателя, кВт	110
Напор, м	128
Частота вращения двигателя, об/мин	1500

6.8 Выбор блока ручного управления

Многофункциональная станция ручного управления предназначена для переключения цепей управления исполнительными устройствами и механизмами, индикации режимов работ, индикации положения цепей управления, а также измерения и индикации одного технологического параметра.

В АСУ системы утилизации тепла применим БРУ-110. БРУ-110 является функциональным аналогом БРУ-10. Отличием является подключение сигналов через разъем-клеммы, устанавливаемые на тыльной крышке прибора.

Основные технические характеристики многофункциональной станции ручного управления БРУ-110 приведены в таблице 11 [22].

Таблица 11 –Технические характеристики БРУ-110 [22]

Характеристика	Значение
Номинальное напряжение питания, В	220
Количество входов для подключения датчиков	8
Тип интерфейса связи с ЭВМ	RS-232
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP54

Выполняемые блоком ручного управления функции:

- 1) измерение и индикация технологического параметра (с сигнализацией отклонений) и сигнала положения исполнительного механизма;
- 2) ручное или дистанционное переключение с автоматического управления на ручной и обратно;
- 3) кнопочное управление импульсными исполнительными устройствами;
- 4) кнопочное управление аналоговыми исполнительными устройствами;
- 5) индикация режимов управления;
- 6) индикация сигналов регулирующего устройства с импульсным выходным сигналом (сигналы типа больше-меньше и сигналы ШИМ-модулятора);

6.9 Выбор технических средств индикации измеренных параметров

Измеритель 8-канальный с аварийной сигнализацией ОВЕН УКТ38 предназначен для контроля температуры, давления, влажности, уровня или другой физической величины в нескольких зонах одновременно (до 8-ми) и аварийной сигнализации о выходе любого из контролируемых параметров за заданные пределы, а также для регистрации измеренных параметров на ПК.

Элементы управления восьмиканальным устройством контроля температуры с аварийной сигнализацией ОВЕН УКТ38-Щ4:

- 1) Два 4-х разрядных цифровых индикатора в режиме РАБОТА отображают в выбранном для индикации канале:
 - верхний - значение контролируемого параметра;
 - нижний - значение уставки.
- 2) Возможны два режима индикации:
 - циклический режим - результат измерений и уставка выводятся на заданное время последовательно для каждого задействованного канала;
 - статический режим - результат измерений и уставка выводятся для канала, выбранного пользователем.

Основные технические характеристики измерителя УКТ38 приведены в таблице 12 [17].

Таблица 12 – Технические характеристики УКТ38 [17]

Характеристика	Значение
Аналоговый выход, мА	4-20
Аналоговый вход, мА	4-20 (2 входа)
Интерфейс/протокол	RS-485/ModBus
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP20

6.10 Выбор автоматизированного рабочего места

Автоматизированное рабочее место (АРМ) — это рабочее место специалиста, оснащенное персональным компьютером, программным обеспечением и совокупностью информационных ресурсов индивидуального или коллективного пользования, которые позволяют ему вести обработку данных с целью получения информации, обеспечивающей поддержку принимаемых им решений при выполнении профессиональных функций.

Организация сетей передачи данных между уровнями АСУ ТП осуществляется посредством интерфейсов RS-485, RS-232 и Ethernet. Протоколы передачи данных – Modbus TCP и Modbus RTU.

В настоящее время существует большое разнообразие электронно-вычислительных машин. Для АСУ системы утилизации тепла может подойти обычный персональный компьютер. В таблице 13 приведены два компьютера, между которыми осуществляется выбор.

Таблица 13 – Технологические характеристики компьютеров [23]

Название	Lenovo H50-50 /90B70029RS	Acer Aspire TC-605 DT.SRQER.085
Производитель видеокарты	NVIDIA	NVIDIA
Видеопамять	2 ГБ	2 ГБ
Графический контроллер	GeForce GT720	GeForce GT625

Продолжение таблицы 13

Операционная система	Windows 8.1 SL 64	Windows 8.1 SL 64
Оперативная память	6 ГБ	8 ГБ
Тип процессора	Core i3-4160	Core i5-4460
Кэш-память	3 МБ	6 МБ
Жесткий диск	1 ТБ	1 ТБ

Больше преимуществ имеют характеристики компьютера производителя Acer (большее количество оперативной и кэш-памятей и более мощный процессор), потому остановим выбор на данной электронно-вычислительной машине.

6.11 Выбор газоанализатора

Для измерения объемной доли кислорода, оксида углерода, диоксида серы и оксида азота, давления/разрежения, температуры анализируемой (дымовые газы) и окружающей сред необходимо установить газоанализатор в трубопровод с отработавшими газами от ДЭС.

Рассмотрим несколько вариантов различных производителей.

1. Газоанализатор АНКАТ-310.

Область применения – оптимизация и контроль режимов горения в котельных установках, работающих на различных видах топлива. Газоанализаторы предназначены для использования в невзрывоопасных зонах помещений и наружных установок. Тип газоанализаторов – переносной. Принцип действия – электрохимический. Режим работы – периодический. Способ отбор пробы – принудительный от встроенного побудителя расхода. В таблице 14 представлена сравнительная характеристика газоанализаторов серии 310 различного исполнения.

Таблица 14 – Характеристика газоанализаторов АНКАТ-310

Канал измерения	Диапазон измерений (диапазон показаний)		
	АНКАТ-310-01, АНКАТ-310-04	АНКАТ-310-02, АНКАТ-310-05	АНКАТ-310-03, АНКАТ-310-06
Оксид углерода (СО), объемная доля, млн ⁻¹	0 – 8000 (0 – 12000)	0 – 8000 (0 – 12000)	0 – 8000 (0 – 12000)
Кислород (О ₂), объемная доля, %	0 – 21 (0 – 30)	0 – 21 (0 – 30)	0 – 21 (0 – 30)
Оксид азота (NO), объемная доля, млн ⁻¹	-	0 – 2000 (0 – 4000)	0 – 2000 (0 – 4000)
Диоксид серы (SO ₂), объемная доля, млн ⁻¹	-	-	0 – 3000 (0 – 5000)
Температура анализируемой среды, °С	50 – 1050 (50 – 1200)		
Температура окружающей среды, °С	0 – 50 (0 – 90)		
Давление/разрежение анализируемой среды, кПа	-	минус 5 – 5 (минус 7 – 7)	минус 5 – 5 (минус 7 – 7)
Примечание – Знак «-» означает отсутствие канала измерения в данном исполнении газоанализатора			

2. Стационарные газоанализаторы оптимизации режимов горения АКВТ-01, -02, -03

Область применения АКВТ-01, АКВТ-03 (общепромышленное исполнение) – на предприятиях теплоэнергетики, в котлоагрегатах ТЭЦ, ГРЭС и различных котельных, а также в промышленных печах, металлургии, нефтепереработке, машиностроении и других отраслях промышленности. АКВТ-02 (взрывозащищенное исполнение) – установка во взрывоопасных зонах на печах сжигания отходов НПЗ и подобных объектах.

Основные технические характеристики представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Технические характеристики АКВТ

Исполнение	Измеряемый компонент	Диапазон измерений	Основная абсолютная погрешность
АКВТ-01	O ₂	0,10-21,00	±0,04 ±(0,04+0,02(Aвх-2))
АКВТ-02	O ₂	0,10-21,00	±0,04 ±(0,04+0,02(Aвх-2))
АКВТ-03	O ₂ , СО	0,3-21,0 0-1000	±0,08 ±(0,08+0,04(Aвх-2))

Температура анализируемой среды от 0 до 850 градусов Цельсия.

Второй вариант рассмотренных газоанализаторов не подходит для реализации в ДЭС, ввиду ограниченного количества измеряемых концентраций газв. Выбираем газоанализатор АНКАТ-310, производитель «Аналитприбор» г. Смоленск, Россия.

Для дистанционного управления системой утилизации тепла от ДЭС необходимо специализированное программное обеспечение – SCADA система. Таким программным обеспечением может выступать Simple SCADA. Данная система предназначена для разработки и обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

7 ПЕРЕЧЕНЬ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ

На основе функциональной схемы составлен перечень входных и выходных сигналов, который представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Перечень входных и выходных сигналов

Наименование параметра	Позиция	Тип сигнала	Тип датчика (прибора)
Температура воды от потребителя	5	Аналоговый (входной)	ДТС3105-PT1000.B2.70
Температура воды к потребителю	7	Аналоговый (входной)	ДТС3105-PT1000.B2.70
Температура дымовых газов на выходе от ДЭС	1	Аналоговый (входной)	ДТПК045Д-0110.120
Температура дымовых газов после теплообменника до смешения с водой	10	Аналоговый (входной)	ДТПК045Д-0110.120
Температура смеси подогретой воды и части дымовых газов на разогрев сред	14	Аналоговый (входной)	ДТПК045Д-0110.120
Расход воды	6	Аналоговый (входной)	Метран-15-CD
Расход дымовых газов	2	Аналоговый (входной)	Метран – 150
Расход части дымовых газов на смешение с водой	11	Аналоговый (входной)	Метран – 150
Клапан открыть на теплообменник вода-дымовые газы	3-1	Дискретный (выходной)	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ
Клапан открыть на глушитель	3-2	Дискретный (выходной)	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ
Клапан закрыть	3-3	Дискретный (выходной)	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ
Клапан открыт на теплообменник вода-дымовые газы	3-4	Дискретный (входной)	БУЭР3-30-02
Клапан закрыт	3-5	Дискретный (входной)	БУЭР3-30-02
Клапан циркуляционного насоса воды отрыть	12-1	Дискретный (выходной)	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ
Клапан циркуляционного насоса воды закрыть	12-2	Дискретный (выходной)	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ
Клапан циркуляционного насоса воды отрыт	12-3	Дискретный (входной)	БУЭР3-30-02
Клапан циркуляционного насоса воды закрыт	12-4	Дискретный (входной)	БУЭР3-30-02
Клапан воды открыть на участок смешения с дымовыми газами	12-5	Дискретный (выходной)	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ

Продолжение таблицы 16 – Перечень входных и выходных сигналов

Клапан воды закрыть на участок смешения с дымовыми газами	12-6	Дискретный (выходной)	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ
Клапан воды от потребителя открыть	8-1	Дискретный (выходной)	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ
Клапан воды от потребителя закрыть	8-2	Дискретный (выходной)	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ
Клапан воды от потребителя открыт	8-3	Дискретный (входной)	БУЭР3-30-02
Клапан воды от потребителя закрыт	8-4	Дискретный (входной)	БУЭР3-30-02
Циркуляционный насос воды включить	15-1	Дискретный (выходной)	ПМЛ-3100
Циркуляционный насос воды отключить	15-2	Дискретный (выходной)	ПМЛ-3100

8 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ АСУ

Принципиальные схемы являются основными чертежами для разработки рабочих монтажных чертежей, устройств и систем электрического принципа действия. Принципиальная электрическая схема должна быть спроектирована так, чтобы ее эксплуатация в производственных условиях была предельно простой, требовала минимум затрат и внимания эксплуатационного персонала, обеспечивала возможность проведения ремонтных и наладочных работ с соблюдением необходимых мер безопасности. В процессе проектирования систем автоматизации различных технологических процессов принципиальные электрические схемы разрабатывают обычно в следующем порядке:

- 1) на основании функциональной схемы автоматизации составляют четко сформулированные технические требования, предъявляемые к принципиальной электрической схеме;

- 2) применительно к этим требованиям устанавливают условия и последовательность действия схемы;

- 3) каждое из заданных условий действия схемы изображают в виде тех или иных элементарных цепей, отвечающих данному условию действия;

- 4) элементарные цепи объединяют в общую схему;

- 5) проверяют в схеме возможность возникновения ложных или обходных цепей, или ее неправильной работы при повреждениях элементарных цепей или контактов;

- 6) рассматривают возможные варианты решения и принимают окончательную схему применительно к имеющейся аппаратуре.

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связей между ними), действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. На принципиальной схеме отображаются физические объекты и линии связи. Также могут быть показаны конструктивы. В принципиальных схемах должно быть мало пересечений и изгибов, линии связи (горизонтальные и вертикальные), обозначения (над элементом или слева).

Условные обозначения:

- 1) буквенные;
- 2) цифровые;
- 3) буквенно-цифровые.

Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера. Обозначения располагают в последовательности сверху вниз в направлении слева направо. В данной электрической схеме для цепей управления, регулирования и измерения используется группа чисел 1 - 100, для цепей питания 101 - 200. Электропитание всех технических средств осуществляется от распределительного щита питания переменным напряжением 220 В, 50 Гц.

Схема электрическая принципиальная АСУ теплообменной системы приведена на листе с шифром ФЮРА.421000.008 ЭЗ.

Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений. Упомянутая электрическая схема отображает подключение не всех устройств системы, представленных на функциональной схеме. В разработанной системе присутствуют повторяющиеся элементы. На электрической схеме рассмотрен пример подключения одного устройства из группы подобных.

Для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах и устройствах применяются условно буквенные обозначения согласно ЕСКД ГОСТ 2.710-81. Прописные буквы, а также цифры латинского алфавита присвоены элементам схемы согласно их назначению. На основании принятых обозначений составлен перечень элементов.

Электропитание всех технических средств осуществляется от внешних цепей электропитания переменным напряжением 220 В и 50 Гц, а также постоянным напряжением 24 В и 50 Гц.

Описание принципиальной электрической схемы. Измерительный преобразователь разности давлений В1, а также термометр сопротивления В3 и термопара В4 преобразуют измеряемые величины в унифицированные токовые

сигналы 4-20 мА, которые через блок размножения сигналов поступают на входы контроллера А1 и на входы измерителя 8-ми канального с светодиодной индикацией А2. Упомянутые измерительные приборы являются активными преобразователями, поэтому при подключении к ПЛК требуется установка шунтирующих резисторов R1-R3 сопротивлением 100 Ом (высокостабильные резисторы с минимальным значением температурного коэффициента сопротивления). При подключении к А2 установка таких резисторов не требуется.

Контроллер А1 обрабатывает информацию, полученную с датчиков В1-В4. На основе программно-заданных алгоритмов формирует управляющий сигнал, который передается на блок управления М2 посредством цифрового интерфейса RS-485. В шине интерфейса RS-485 также подключен блок ручного управления М3, с помощью которого можно осуществлять управление регулирующим органом в ручном режиме. В соответствии с сигналами управления силовые ключи блока управления М2 коммутируют цепи нагрузки обмотки электродвигателя исполнительного механизма М1, обеспечивая его вращение в соответствующем направлении.

Сигнал обратной связи о положении регулирующего органа ПЛК получает с датчика положения, установленного в исполнительном механизме, который подключен через М3 к контроллеру А2 по двухпроводной схеме с использованием токовой петли 4-20 мА.

На вход контроллера А1 подключен двухпозиционный переключатель, служащий для включения/отключения насоса сетевой воды. Устанавливается переключатель на дверь шкафа.

Информация с контроллера поступает на АРМ по интерфейсу Ethernet, используя протокол ТСР/ІР.

9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОНТАЖНОЙ СХЕМЫ АСУ

Монтажные схемы проектируют для выполнения электрической и других видов коммутации технических средств при монтаже систем автоматизации. Для сложных систем автоматизации отдельно выполняют монтажные схемы щитов и пультов и монтажные схемы внешних электрических и трубных проводок.

Монтажная документация, разрабатываемая в процессе проектирования систем автоматизированного управления, включает в себя:

- 1) монтажную документацию щитов и пультов;
- 2) монтажную документацию внешних электрических и трубных проводок.

Монтажные схемы щитов и пультов проектируют с целью выполнения различных видов коммутации элементов систем автоматизации в пределах щитов и пультов. К монтажной документации щитов относят схемы электрических соединений щитов.

Монтажная схема электрических проводок щита (схема электрических соединений щита) выполнена отдельно от других видов монтажных схем.

На чертеже монтажной схемы изображены очертания развернутых в одной плоскости внутренних стенок щита с упрощенными изображениями элементов системы автоматизации. Определено количество и местоположение сборок зажимов.

Исходя из удобства представления, монтажная схема электрических проводок щита частично выполнена адресным способом.

Контроллер изображен условно сплошной линией в виде упрощенного контура с теми клеммами, которые используются.

Справа налево присвоены порядковые номера средств системы автоматизации. Проводники, подключаемые к зажимам и клеммам технических средств, маркированы в соответствии с принципиальной схемой [24].

К внешним электрическим и трубным проводкам относят такие проводки, которые расположены за пределами щитов и пультов.

Целью проектирования внешних и внутренних электрических и трубных проводок является создание монтажной документации, необходимой и достаточной для прокладки трубных и электропроводок, коммутации токоведущих жил и труб к техническим средствам автоматизации и вспомогательным элементам, проверки проводок и ввода их в эксплуатацию.

Схема монтажная внешних электрических и трубных проводок, представленная листе с шифром ФЮРА.421000.008 С4, содержит:

- 1) первичные преобразователи, расположенные вне щита;
- 2) внешитовые средства автоматизации (расположенные «по месту»);
- 3) внешние электрические и трубные проводки;
- 4) щит автоматизации;
- 5) технические требования;
- 6) таблицу с поясняющими надписями.

На схеме внешних проводок сверху поля чертежа размещена таблица с поясняющими надписями. Под таблицей с поясняющими надписями расположены изображения первичных преобразователей и других средств автоматизации, устанавливаемые непосредственно на технологическом оборудовании и технологических трубопроводах.

Датчики, исполнительные механизмы и другие средства автоматизации с электрическими входами и выходами изображены монтажными символами в соответствии с заводскими инструкциями. При этом внутри монтажных символов указаны номера зажимов и подключение к ним жил проводов или кабелей, причем изображены только используемые клеммы. Маркировка жил нанесена вне монтажного символа.

Единичный односекционный щит автоматизации изображен в виде прямоугольника в нижнем левом углу чертежа. В прямоугольнике показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним жилы кабелей и провода с соответствующей маркировкой.

Первичные преобразователи и внешитовые приборы, щит пульты соединены между собой электрическими линиями связи, выполненными с

помощью электрических кабелей, проводов и жгутов проводов, а также с помощью импульсных труб.

Для соединения и разветвления электрических кабелей на схеме показаны электрические соединительные коробки КСК-8 и КСК-16. Электрические соединительные коробки также изображены в виде прямоугольника произвольного размера. Внутри изображена сборка зажимов с необходимой нумерацией зажимов. Показаны подключения к зажимам жил кабелей с соответствующей маркировкой этих жил. В местах ввода в коробку кабелей нанесены изображения сальников. Типы сальников указаны на полках линий - выносок.

Для каждой внешней электрической проводки приведена ее техническая характеристика.

Порядковые номера проводкам на схеме присвоены слева направо и сверху вниз, т.к. условное обозначение щита автоматизации расположено в нижней части чертежа.

Выбор проводов, кабелей и защитных труб.

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми или медными жилами. Изоляция, оболочки и наружные покровы кабелей должны соответствовать условиям окружающей среды и принятому способу выполнения электропроводки.

Согласно рекомендациям завода-изготовителя, для связи контроллера с блоком управления используются кабели симметричной парной скрутки, использующиеся для связи по интерфейсу RS-485, КИПЭВ 1x2x0,6 в общем экране из алюмолавсановой ленты с контактным проводником. Кабель соответствует строгим требованиям пожарной безопасности, не поддерживает горение при условии одиночной прокладки.

Для линий питания кабели с алюминиевыми жилами типа АКРВБГ сечением 2,5 мм². Для информационных линий кабели типа КРВГ сечением 1 мм².

Кабели подходят для решения поставленных задач АСУ, так как они отличаются приемлемой ценой, неплохим качеством и в тех местах, где мы будем проводить проводку, не будут подвергаться значительным растягивающим усилиям [25].

В некоторых случаях в резерве остается одна или несколько жил, что идет в разрез с рекомендациями. Это допускается из-за ступенчатости стандартного ряда количества жил. Выбранные кабели, а также их технические характеристики представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСУ [25]

№ линии	Марка	ГОСТ, ТУ	Число жил	Номинальное сечение, мм ²	Диаметр, мм
2, 4, 6, 8, 9, 19	АКРВБГ	ТУ 16.К71-310-2001	4	2,5	15,51
1, 3, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15	КРВГ		4	1	10,54
16, 17, 18	КРВГ		7	1	12,39
13	КИПЭВ		2	0,6	9,2

В щите автоматизации для соединения сборок зажимов с микроконтроллером используем провод с медной жилой и изоляцией из поливинилхлоридного пластика марки ПуГВнг(А) - LS 1x1,0.

10 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ШКАФА АВТОМАТИЗАЦИИ

Щиты систем автоматизации предназначены для размещения на них средств контроля и управления технологическими процессами, контрольно-измерительных приборов, сигнальных устройств, аппаратуры управления, автоматического регулирования, защиты, блокировки, линии связи между ними (трубная и электрическая коммутация) и т.п.

Щиты устанавливаются в производственных и специальных щитовых помещениях: операторских, диспетчерских, аппаратных и т.п.

Учитывая конструктивные особенности, в том числе степень защиты от прикосновения к токоведущим частям, в операторском помещении применим для монтажа средств автоматизации разрабатываемой системы регулирования щит шкафной навесной, односекционный с передней, одностороннего обслуживания АЕ 500x700x250 Rittal 1057.500 [26].

В верхней части монтажной панели щита разместим контроллер «ОВЕН» ПЛК160.

Для размещения внутри щита вспомогательной аппаратуры воспользуемся стандартными конструктивными элементами DIN-рейками.

В левом верхнем углу монтажной панели щита размещается блок питания и блоки реле. В середине монтажной панели размещены блоки размножения сигналов. Внизу монтажной панели размещаются клеммные сборки и автоматические выключатели. Кабельный ввод организован снизу щита через сальниковые вводы, далее кабель фиксируется в кабельных зажимах.

Между внутрищитовой аппаратурой прокладываются кабельные короба с предупреждающей пометкой о напряжении.

На двери щита с лицевой стороны для оперативного доступа расположены многофункциональная станция ручного управления, измеритель 8-ми канальный, переключатели двухпозиционные. Кабели от двери щита прокладываются в гибком жгуте.

Электромонтаж щита автоматизации выполняется по схеме электрической соединений с шифром ФЮРА.421000.008 ЭЗ.

Результатом конструкторской разработки щита является чертеж общего вида щита, который включает в себя:

- 1) вид спереди;
- 2) вид спереди с открытой дверью;
- 3) перечень составных частей;
- 4) технические требования.

На чертеже общего вида щита не отражены размеры отверстий для крепления, а отражены лишь привязки технических средств автоматизации к габаритам стандартной щитовой продукции.

Чертеж общего вида щита автоматизации приведен на листах с шифром ФЮРА.421000.008 ВО.

11 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО, ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЙ

11.1 Математическое обеспечение АСУ ТП

Математическое обеспечение АСУ ТП – это совокупность математических моделей, методов, алгоритмов решения различных задач, используемая на этапе проектирования и в процессе эксплуатации АСУ ТП.

В данной работе представлен алгоритм регулирования заслонкой трубопровода сетевой воды. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 17.

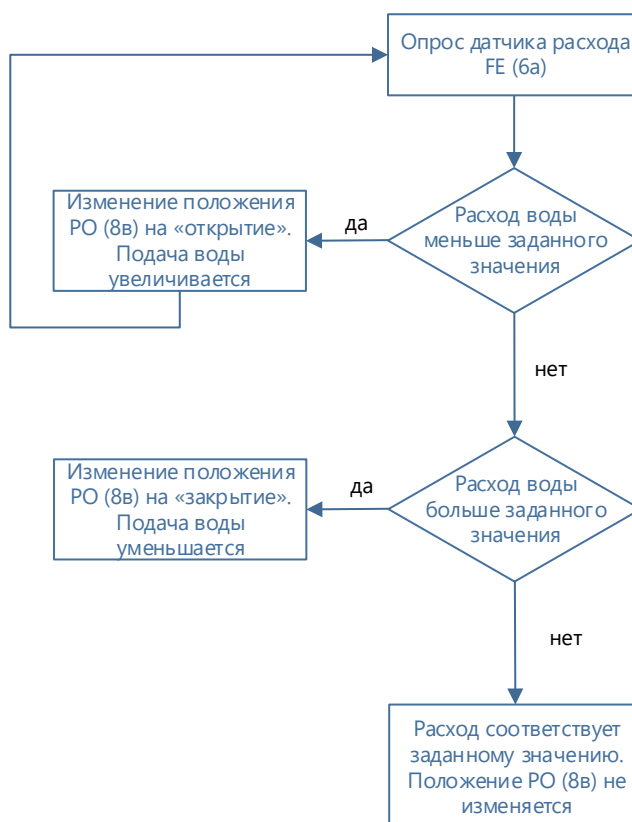


Рисунок 17 – Алгоритм регулирования подачи сетевой воды заслонкой

Опрашивается датчик расхода ба. В зависимости от результата опроса определяется последующее действие. При расходе воды меньше заданного значения, выполняется открытие заслонки. При расходе воды больше заданного значения, заслонка закрывается. При отрицательном ответе в обоих случаях, положение заслонки не изменяется. Открытие заслонки происходит ступенчато, 1% за одну секунду. Закрытие – аналогично.

11.2 Программное обеспечение АСУ ТП

Совокупность программ, обеспечивающих функционирование всех цифровых вычислительных средств АСУ ТП (контроллеры, серверы, рабочие и инженерные станции, программаторы, панели оператора), а также решающих все функциональные задачи на этапах разработки, наладки, тестирования и эксплуатации системы.

Программное обеспечение АСУ ТП принято делить на две категории:

- 1) общее программное обеспечение, включающее операционные системы, SCADA-системы, пакеты программ для программирования контроллеров, компиляторы, редакторы и т.п.;
- 2) специальное программное обеспечение — это программы, разработанные для конкретной АСУ ТП. К этой категории относятся программы для контроллеров, реализующие определенные функциональные задачи обработки информации и управления; программы, сгенерированные в среде SCADA-системы для визуализации, архивирования данных конкретного технологического процесса.

Листинг программы для ПЛК160, реализованный в программной среде Codesys v2.3 на язык ST, представлен в приложении Б.

11.3 Информационное обеспечение АСУ ТП

Информационное обеспечение АСУ ТП включает:

- 1) исходные данные, используемые в процессе разработки или эксплуатации системы;
- 2) промежуточные данные, хранящиеся в базах данных реального времени, используемые для дальнейшей обработки;
- 3) выходные данные, передаваемые для реализации на исполнительные устройства, отображаемые визуально на панелях операторов, табло и мониторах рабочих станций;

- 4) передаваемых пользователям в электронном или бумажном виде;
- 5) принятые формы входных и выходных документов (электронных или бумажных);
- 6) принятая система кодирования информации;
- 7) электронные архивы данных.

В состав информационного обеспечения АСУ ТП входят немашинные (на бумажных носителях) и внутримашинные (на электронных носителях) компоненты. Так, например, к немашинным компонентам информационного обеспечения АСУ ТП можно отнести технологический регламент, определяющий допустимые пределы изменения технологических параметров, условия аварийных отключений, порядок пуска и останова оборудования и т.п. К внутримашинному информационному обеспечению АСУ ТП относятся входные сигналы, поступающие от датчиков, а также выходные сигналы на исполнительные устройства, архивы нарушений технологического регламента, графики изменений контролируемых параметров, сформированные на экране монитора и т.п.

Информационное обеспечение АСУ ТП – это часть системы управления, которая представляет собой совокупность данных о входных и выходных сигналах, о фактическом и возможном состоянии элементов производства, о логике изменения и преобразования элементов производства.

АРМ и щиты изображаются в виде прямоугольников, внутри которых выполняются следующие надписи: наименование щита, вид оперативной связи. Изображение структуры управления представлено на рисунке 18.

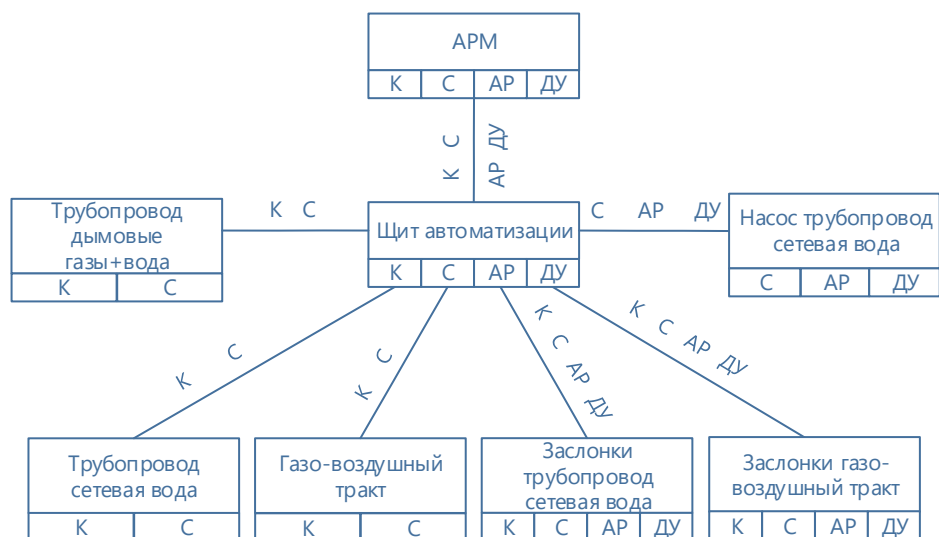


Рисунок 18 – Структура управления теплообменной системой

К – контроль, С – сигнализация, ДУ – дистанционное управление, АР – автоматическое регулирование

12 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА

12.1 Идентификация объекта управления

Идентификация предназначена для получения математических моделей объекта управления. Существует активная и пассивная, в инженерной практике применяют активную идентификацию (на объект подается специализированное входное воздействие и по реакции объекта при обработке результатов получают математическую модель).

В работе для получения кривой разгона использовалась динамическая модель изменения температуры по времени трубопроводе. Модель основана на экспериментальных данных. Кривая разгона представлена на рисунке 19.

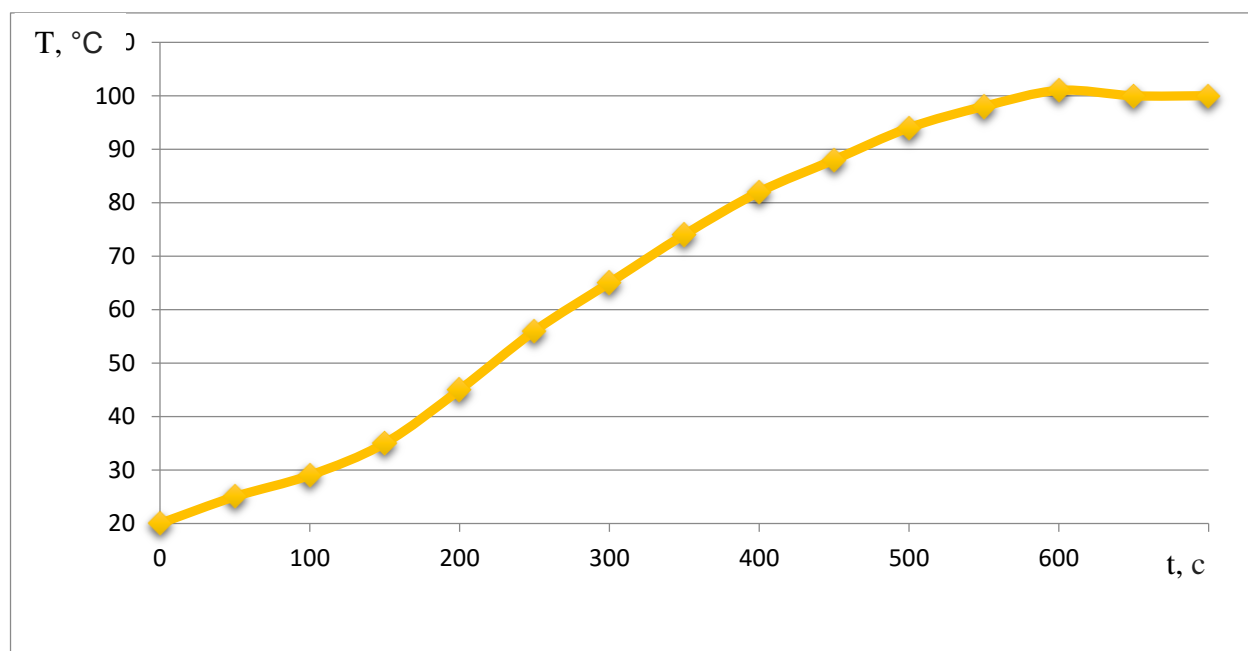


Рисунок 19 – Кривая разгона для объекта управления

Далее необходимо определить динамические параметры объекта управления: постоянная времени T ; запаздывание объекта τ ; коэффициент передачи объекта K .

Для кривой разгона передаточная функция представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

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

где k – коэффициент передачи объекта;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

Решение уравнения при нулевых начальных условиях представлено формулой:

$$\begin{cases} h(t) = 0 & 0 \leq t \leq \tau, \\ h(t) = h(\infty) \left[1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \right] & t > \tau. \end{cases}$$

Получаем два неизвестных значения времени запаздывания τ и постоянную времени T .

В итоге получается два неизвестных значения: время запаздывания τ и постоянная времени T . На кривой разгона строится две точки А и Б. Точка А определяется как $0,33k$, а точка Б определяется как $0,7k$. Время запаздывания τ и постоянная времени T определяются по формулам:

$$T = -\frac{t_A - \tau}{\ln(1 - h_A)},$$
$$\tau = \frac{t_B \ln(1 - h_A) - t_A \ln(1 - h_B)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_B)},$$

где t_A и t_B – значения времени для точек А и Б на кривой;

h_A и h_B – значения ординат для точек А и Б на кривой.

Далее необходимо определить расположение точек А и Б на кривой и найти необходимые параметры.

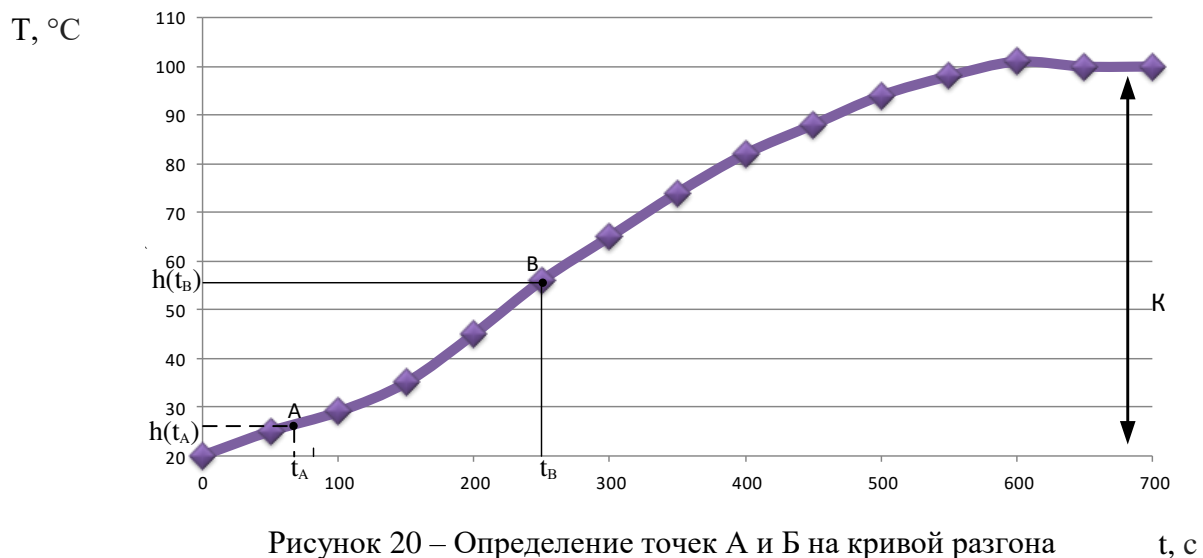


Рисунок 20 – Определение точек А и Б на кривой разгона t, c

Для точности производится расчет по интерполяционному методу Ормана. Постоянная времени T и время запаздывания τ вычисляются по формулам:

$$\tau = 0,5(3t_A - t_B),$$

$$T = 1,25(t_B - t_A).$$

Определяем значения t_A и t_B по кривой разгона и получаем:

$$\tau = 0,5(3 \cdot 90 - 250) = 10 \text{ с},$$

$$T = 1,25(250 - 90) = 200 \text{ с}.$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{80}{(200P+1)} e^{-10P},$$

11.2 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора

Структурная схема системы регулирования имеет вид:

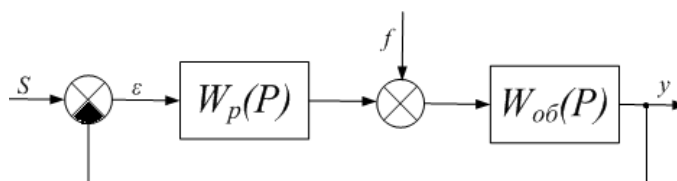


Рисунок 21 – Структурная схема системы регулирования

Требуемая степень затухания должна быть $\psi = 0,8$. Существует 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 форму

$$m = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - \psi) = -\frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln(1 - 0,8) = 0,256.$$

Передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{80}{(37P+1)} e^{-11,6P}.$$

Далее необходимо определить расширенные частотные характеристики объекта регулирования (таблица 18). 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, где ω – частота, c^{-1} . Расчётные формулы метода обеспечивают получение границы заданной степени колебательности системы m в пространстве параметров настройки регулятора.

Используя программу MathCad, предварительно задав начальное значение частоты $\omega = 0 \text{ c}^{-1}$ и шаг по частоте $\Delta\omega = 0.0005 \text{ c}^{-1}$, рассчитываются расширенные частотные характеристики объекта при изменении частоты до $\omega = 0,01 \text{ c}^{-1}$. Полученные расширенные частотные характеристики объекта представлены в таблице 18 в виде листинга результатов расчета.

Таблица 18 – Расширенные частотные характеристики объекта регулирования

Частота ω, c^{-1}	$\text{Re}_{об} (m, \omega)$	$\text{Im}_{об} (m, \omega)$	$A_{об} (m, \omega)$
0.0009	82.70137	-16.70943	84.373
0.005	33.89549	-59.88591	68.813
0.0091	4.03674	-44.51612	44.699
0.0132	-3.78204	-31.57467	31.8
0.0173	-6.07224	-23.79757	24.56
0.0214	-6.78849	-18.85485	20.04
0.0255	-6.97405	-15.47886	16.977
0.0296	-6.96141	-13.03286	14.776
0.0337	-6.87231	-11.17663	13.12
0.0378	-6.75559	-9.71528	11.833
0.0419	-6.63184	-8.53022	10.805
0.046	-6.50976	-7.54549	9.966
0.0501	-6.39282	-6.7104	9.268
0.0542	-6.28205	-5.98987	8.68
0.0583	-6.17742	-5.35893	8.178
0.0624	-6.07837	-4.79932	7.745
0.0665	-5.98417	-4.29741	7.367
0.0706	-5.89406	-3.84283	7.036

Продолжение таблицы 18

0.0747	-5.80727	-3.42756	6.743
0.0788	-5.72311	-3.04531	6.483
0.0829	-5.64094	-2.69109	6.25
0.087	-5.5602	-2.36087	6.041
0.0911	-5.48037	-2.05141	5.852
0.0952	-5.40102	-1.76004	5.681
0.0993	-5.32173	-1.48456	5.525
0.1034	-5.24216	-1.22317	5.383
0.1075	-5.162	-0.97434	5.253
0.1116	-5.08097	-0.7368	5.134
0.1157	-4.99882	-0.50948	5.025
0.1198	-4.91536	-0.29148	4.924
0.1239	-4.83038	-0.08203	4.831
0.128	-4.74372	0.11951	4.745

Далее необходимо рассчитать параметры настройки ПИ-регулятора. ПИ-регулятор является наиболее распространенным на практике, который обладает следующими достоинствами:

- 1) обеспечивает нулевую статическую ошибку регулирования;
- 2) достаточно прост в настройке, т. к. настраиваются только два параметра, а именно коэффициент усиления K_p и постоянная интегрирования T_i , обеспечивает управление с минимально возможной среднеквадратичной ошибкой регулирования;

3) малая чувствительность к шумам в канале измерения (в отличии от ПИД-регулятора).

Параметры настройки ПИ-регулятора рассчитываются по форму

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

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

где T_u – постоянная интегрирования регулятора,

K_p – коэффициент передачи регулятора.

Задав диапазон изменения частоты $\omega = 0 \div 0,13 \text{ с}^{-1}$ с шагом $\Delta\omega = 0,005 \text{ с}^{-1}$,

необходимо определить настройки регулятора $\frac{K_p}{T_u}$ и K_p в заданном диапазоне

частот. Полученные значения представлены в таблице 19 в виде листинга результатов расчета.

Таблица 19 – Результаты расчёта настройки ПИ - регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	$\frac{K_p}{T_u}$
0.0009	0.0000024	-0.01076
0.005	0.00007171	-0.00253
0.0091	0.00022991	0.00613
0.0132	0.00046735	0.01517
0.0173	0.00077396	0.02451
0.0214	0.00113933	0.03409
0.0255	0.00155286	0.04385
0.0296	0.00200374	0.05374
0.0337	0.00248108	0.06368
0.0378	0.00297398	0.07364
0.0419	0.00347159	0.08355
0.046	0.00396317	0.09336
0.0501	0.00443814	0.10302
0.0542	0.0048862	0.11248
0.0583	0.00529731	0.12169
0.0624	0.00566179	0.13063
0.0665	0.00597036	0.13923
0.0706	0.00621417	0.14746
0.0747	0.00638488	0.1553
0.0788	0.00647466	0.16269
0.0829	0.00647623	0.16962
0.087	0.00638292	0.17606
0.0911	0.00618868	0.18197

Продолжение таблицы 19

0.0952	0.00588807	0.18734
0.0993	0.00547637	0.19214
0.1034	0.00494948	0.19636
0.1075	0.00430404	0.19998
0.1116	0.00353736	0.20299
0.1157	0.00264748	0.20538
0.1198	0.00163315	0.20713
0.1239	0.00049383	0.20825
0.128	-0.00077034	0.20873

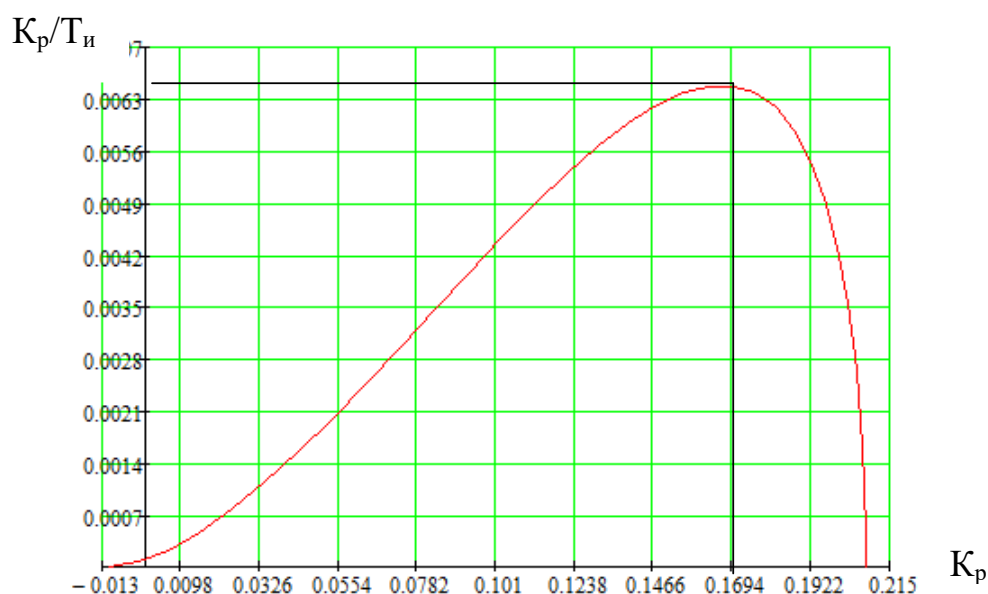


Рисунок 22 – Область параметров настройки ПИ – регулятора

В качестве критерия качества используется первая интегральная оценка. Минимальное значение этой оценки соответствует точке с максимальным значением отношения K_p/T_i на линии заданного запаса устойчивости.

Из таблицы 18 определяем:

$$\max \left(\frac{K_p}{T_i} \right) = 0,00647466; \quad K_p = 0,16269; \quad \text{резонансная частота } \omega = 0,0788 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_i} = 25,127 .$$

Произведем оценку качества переходного процесса в замкнутой системе при возмущении, которое идет по каналу регулирующего воздействия.

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)},$$

где $W_p(P)$ – передаточная функция регулятора;

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

Переходный процесс, протекающий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 23 представлен график вещественной частотной характеристики.

Переходная характеристика системы связана с вещественно частотной характеристикой системы выражением:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega,$$

где $Re(\omega)$ – вещественная частотная характеристика системы;

ω – частота;

t – продолжительность переходного процесса системы.

Для достижения точности в расчете в качестве верхнего предела интеграла применяется не бесконечность, а значение, при котором значение вещественной частотной характеристики системы стремится к 0. Из рисунка 23 определяем это значение.

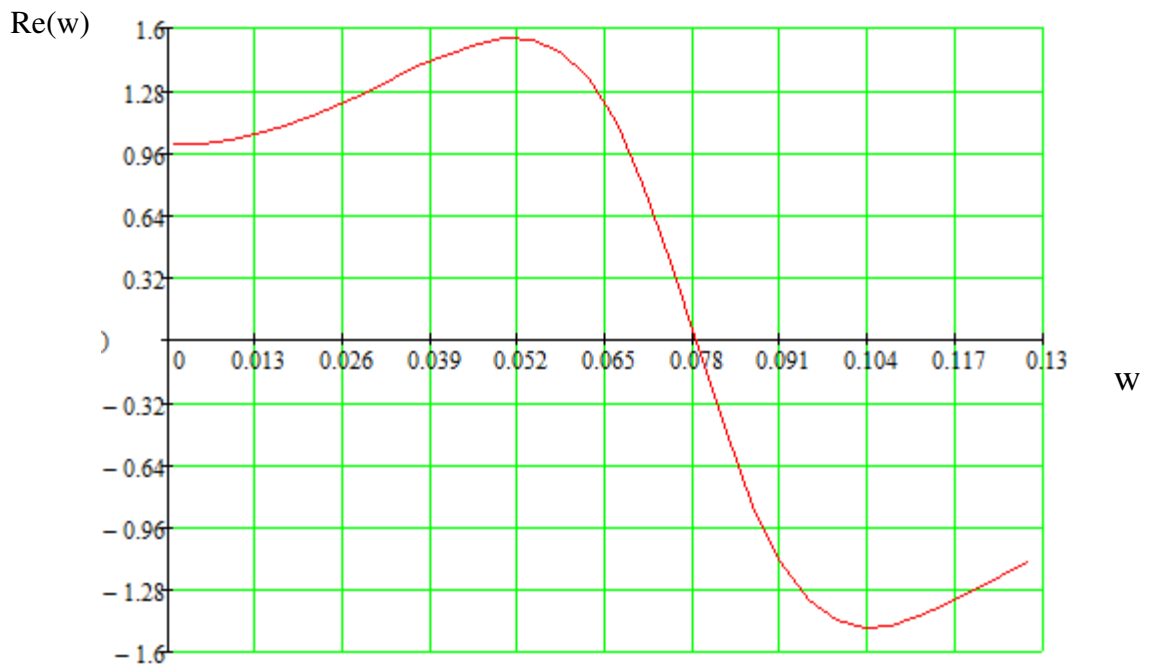


Рисунок 23 – Графическое представление вещественно частотной характеристики системы

Конечный вид уравнения для определения переходного процесса системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{0,78} \frac{Re(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega.$$

На рисунке 24 представлен переходный процесс замкнутой системы по каналу задающего воздействия. С помощью этого переходного процесса была произведена оценка качества регулирования. Данная оценка позволит сделать вывод о том, насколько система удовлетворяет предъявленным требованиям, при предъявленных к системе ограничениях.

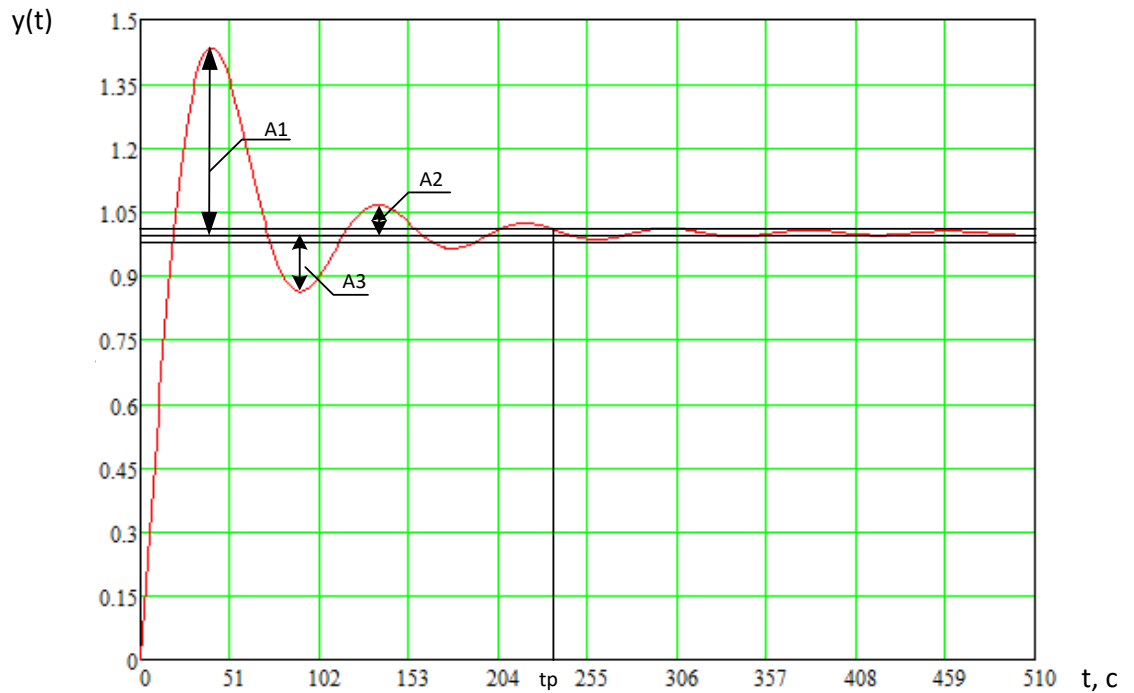


Рисунок 24 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график определяются прямые оценки качества:

а) максимальная динамическая ошибка: $A_1=0,425$;

б) перерегулирование: $\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100 = \frac{0,138}{0,425} \cdot 100 = 32,47\%$,

где $A_3 = 0,138$ - первое минимальное отклонение регулируемой величины;

в) динамический коэффициент регулирования R_D :

$$R_D = \frac{A_1 + y(\infty)}{K_{об}} \cdot 100 = \frac{0,425 + 1}{80} \cdot 100 = 1,78\%$$

где $K_{об} = 80$ - коэффициент передачи объекта;

г) степень затухания переходного процесса:

$$\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,06}{0,425} = 0,86,$$

где $A_2 = 0,06$ - второй максимальный выброс регулируемой величины;

д) статическая ошибка: $\varepsilon_{ст} = y(\infty) = 0$;

е) время регулирования: $t_p = 232$ с.

13 РАЗРАБОТКА SCADA-СИСТЕМЫ

Процесс разработки SCADA систем включает в себя следующие операции:

- 5) разработка графического интерфейса (графики, всплывающие окна, мнемосхемы, таблицы, элементы ввода команд оператором и прочее);
- 6) процесс отладки алгоритмов работы системы промышленной автоматизации АСУТП. В большинстве SCADA систем отладку можно выполнить двумя вариантами – в режиме эмуляции оборудования или при подключенном оборудовании;
- 7) осуществление настройки систем промышленной коммуникации (модемов, промышленных сетей и коммуникационных контроллеров);
- 8) процесс создания баз данных с дальнейшим подключением к ним SCADA системы.
- 9) SCADA система должна выполнять следующие задачи:
- 10) осуществление взаимодействия с оператором (представление слуховой и визуальной информации, трансляция системе команд оператора);
- 11) оказание помощи оператору в процессе выработки необходимого решения (выполнение функций экспертной системы);
- 12) автоматическую сигнализацию об аварии и случившихся критических ситуациях;
- 13) вывод на пульт оператора информации о состоянии процесса;
- 14) ведение журнала событий;
- 15) поиск и извлечение архивной информации, и предоставление её оператору в удобном для него варианте;
- 16) создание отчетов (графики смены операторов, таблицы температур, перечень необходимых действий оператора в определенной ситуации и прочее);
- 17) учет наработки технологического оборудования.

В качестве SCADA пакета выбрана Simple Scada, исходя из ее доступности, простоты и широкой применяемости.

Разработанная SCADA система для управления теплообменной системой представлена в приложении В.

На мнемосхеме отображен технологический процесс утилизации тепла от ДЭС. Слева изображена ДЭС с указанием состояния (в работе/отключена).

По центру сверху вниз расположены упрощенные изображения глушителя, теплообменника продукты сгорания – сетевая вода, теплообменника антифриз – сетевая вода, радиатора. Между теплообменниками размещается изображение трубопровода, цвет которого условно соответствует движущемуся внутри теплоносителю.

На линиях трубопровода размещаются изображения контрольно-измерительной аппаратуры в соответствии с реальным размещением датчиков. На таких изображениях датчиков размещается панель вывода полученного значения измеряемого параметра.

Также в соответствии с реальным размещением объектов на трубопроводе, на мнемосхеме отображены изображения насосных агрегатов и запорно-регулирующей арматуры с кнопками включения/отключения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе разработана автоматизированная система управления смешением дымовых газов от дизель-генераторной установки с водой в теплообменном аппарате контактного типа. Согласно заданию, выполнен системный анализ объекта автоматизации, руководствуясь его результатами, выбрана структура системы автоматизированного управления, разработана функциональная схема. После проектирования функциональной схемы был осуществлен выбор технических средств автоматизации и составлена заказная спецификация на них.

Также разработана принципиальная электрическая схема АСУ смешением сред, определяющая полный состав приборов, аппаратов и устройств, действие которых обеспечивает решение задач регулирования. На основе принципиальной электрической схемы спроектирована монтажная схема системы. Проведена конструкторская разработка общего вида щита автоматизации.

Разработанная система позволит вести автоматизированный контроль параметров объекта, сбор, хранение, обработку и передачу информации о ходе процесса и состоянии оборудования.

Также были проведены экспериментальные исследования по диагностике процессов взаимодействия высокотемпературного воздушного потока и мелко распылённой воды. Полученные результаты исследований могут служить основанием для выбора режима протекания процесса смешения сред при определенных требуемых условиях, а также для прогнозирования компонентного состава полученного потока.

Список использованных источников

1. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715-р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года».
2. ТМ МАШ тепломеханическое машиностроение [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tmmash.ru/oborudovanie/5-sistemy-utilizacii-terpla.html> свободный. – Загл. с экрана.
3. Войтков И. С. Экспериментальное исследование температуры и скорости парогазовой смеси за испаряющимися каплями жидкости при их движении через высокотемпературные газы / Диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук – 2018.
4. Никитин М. Н. Повышение энергоэкологической эффективности тепловых технологий за счет использования генераторов газопаровых теплоносителей. – Саратов, 2012
5. 19 Назаров, А.Д. Влияние режима формирования капельной фазы импульсного аэрозоля на теплообмен / А.Д. Назаров, А.Ф. Серов, В.И. Терехов. – Изд. 5-е, перераб. – М., 2010. – 463 с.
6. 20 Назаров, А.Д. Структура импульсной распыленной струи при изменении ее частотных характеристик / А.Д. Назаров, А.Ф. Серов, В.И. Терехов // Теплофизика высоких температур. – 2011.– Т. 49, № 1. – С. 116–121.
7. 21 Терехов, В.И. Влияние частоты импульсов на теплообмен в точке торможения импактной турбулентной струи / В.И. Терехов, М.А. Пахомов // Теплофизика высоких температур. – 2013.– Т. 51, № 2. – С. 287–293.
8. 22 Терехов, В.И. Влияние импульсного характера течения двухфазной импактной струи на турбулентную структуру потока и теплообмен / В.И. Терехов, М.А. Пахомов // XXIII семинар по струйным, отрывным и нестационарным течениям, г. Томск. – 2012. – С. 326–328.
9. 23 Вахитов, М.Р. Тепло и массообмен в контактных элементах экономайзеров вихревого типа / М.Р. Вахитов, Н.М. Нуртдинов, А.Н. Николаев //

Вестник Казанского технологического университета – 2010. – № 10. – С. 117–124.

10. Г.В. Кузнецов, П.А. Куйбин, П.А. Стрижак /Движение капель мелкодисперсной жидкости в потоке высокотемпературных газов // Теплофизика и аэромеханика, 2014, том 21, № 5.

11. О. А. Зырянцев, В. А. Гольцев Исследование теплофизических свойств сыпучих материалов при размораживании / ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Институт материаловедения и металлургии, кафедра «Теплофизика и информатика в металлургии», г. Екатеринбург, Россия – 2014.

12. [Электронный ресурс] <http://tmmash.ru/oborudovanie/5-sistemy-utilizacii-tepla.html>

13. РД 50-34.698-90. Автоматизированные системы. Требования к созданию документов. - М.: Изд-во стандартов, 1990. - 24 с.

14. Волошенко А.В., Горбунов Д.Б. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 109 с.

15. ГОСТ 21.403-80 СПДС. Обозначения условные графические в схемах. Оборудование энергетическое.

16. ГОСТ 21.404-85 СПДС. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах.

17. Каталог продукции ОАО «ОВЕН» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.owen.ru/> свободный. – Загл. с экрана.

18. Каталог продукции Промышленная группа «Метран» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ru-ru/brands/metran/pages/index.aspx> свободный. – Загл. с экрана.

19. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации ЯЛБИ.421321.004 РЭ. – Чебоксары: ОАО «АБС ЗЭиМ Автоматизация». – 54 с.
20. Блоки управления электродвигателем реверсивные. Руководство по эксплуатации КГЖТ.426436.007 РЭ.– Чебоксары: ЗАО «Волмаг».– 35с.
21. Каталог продукции ПО «Энергомаш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tomsk.energomash-nasos.ru/nasos-tsns180-128> свободный. – Загл. с экрана.
22. Каталог продукции «Метрол» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mashprom-zvd.ru/wp-content/uploads/2014/11/RE_br-110_6226_103.pdf свободный. – Загл. с экрана.
23. Портал KNS Digital Solutions [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kns.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
24. ГОСТ 34.201-89. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
25. Портал КИП и Автоматика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kipexpert.ru/component/content/article/110-proektirovanie/398-shema-vneshnih-provodok.html/> свободный. – Загл. с экрана.
26. Каталог продукции ООО "Риттал" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rittal.com/ru-ru/content/ru/start/index.jsp> свободный. – Загл. с экрана.
27. СТО 70238424.27.100.056-2009 Дизельные и газопоршневые электростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования.
28. ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
29. Макет инструкции по охране труда для машинистов электростанций передвижных МИ-1-34-2009.

30. ГОСТ Р 52988-2008 Шум машин. Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Измерение шума методом охватывающей поверхности.

31. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования.

32. ГОСТ 31349-2007(ИСО 8528-9:1995). Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Измерение вибрации и оценка вибрационного состояния.

33. СН 2.2.4/2.1.8.566. Санитарные нормы. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий.

34. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

35. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

36. ГОСТ 12.1.046-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Строительство. Нормы освещения строительных площадок.

37. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений (с Изменениями N 1, 2).

38. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

Приложение А
Заказная спецификация средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средства автоматизации	Тип и марка прибора	Кол-во
1	2	3	4
15а	Пускатель магнитный / контактор 40А 220В/АС-3 3з+1з+1р IP00 ООО «КЭАЗ» г. Москва	КЭАЗ ПМЛ-3100-40А-220АС-УХЛ4-Б	1
15б	Переключатель двухпозиционный LAY5-BD25 ПГ «Schneider Electric»	LAY5-BD25	1
1в, 2в, 5в, 6в, 7в, 10в, 11в, 14в	Блок размножения сигналов 2000 РС ГК «Новые технологии»	2000 РС	8
1д, 10д, 18д, 19д	Термопара «хромель-алюмель», с диапазоном измерения и преобразования температур: -40...+800 °С, класс точности 1,0 %, во взрывозащищенном исполнении температурный класс Т6. Компания «ОВЕН» г. Москва	ДТПКО45Д-0110.120.1.0.И.ЕХD-Т6	2
1г, 14г	Измеритель 8-канальный с аварийной сигнализацией Компания «ОВЕН» г. Москва	УКТ38	2
5д, 7д, 14д,	Термометр сопротивления платиновый диапазон измерения и преобразования температур: -40...+800 °С, класс точности 1,0 %, во взрывозащищенном исполнении (взрывонепроницаемая оболочка 1Ex d IIC Т6 Gb X), температурный класс Т6. Компания «ОВЕН» г. Москва	ДТС3105-PT1000.B2.70	3
2а	Диафрагма камерная сварная с условным проходным отверстием 250 мм, рассчитанную на давление 0,6 МПа, изготовленную из нержавеющей стали. НПП «Элемер» г. Зеленоград	ДКС-0,6-250	1
	Программируемый логический контроллер ПЛК 160 «ОВЕН»	ПЛК160	1
		ФЮРА.421000.008 С01	
Разраб.	Осмоловская М.М.	Стад	Лист
Пров.	Медведев В.В.	ТРП	Листов
			1
			2
		ТПУ НОЦ ИШЭ Группа 55М74	

1	2	3	4
2д	Сосуд разделительный изготовленный из углеродистой стали, рассчитан на температуру от -30 до +380 градусов С. НПП «Элемер» г. Зеленоград	СР-25-2-Б	1
2в	Интеллектуальный преобразователь разности давлений с допускаемым избыточным давлением до 4 МПа, с выходным унифицированным токовым сигналом 4 – 20 мА с протоколом HART ПГ «Метран» г. Челябинск	Метран -150	1
6а	Диафрагма камерная сварная. Таганрогский котельный завод.	ДКС 0,6-150 Б/Б	1
6б	Сосуд конденсационный, условное давление 4 Мпа, исполнение 1, сталь 20. ПГ «Метран» г. Челябинск	СК-4-1-А	1
6в	Преобразователь разности давлений, микропроцессорный, предел допускаемой основной погрешности ± 0,5 %, верхний предел измерений 1,6 Мпа, предельно-допускаемое рабочее избыточное давление 25 Мпа, выходной сигнал 4...20 мА, взрывозащищенное исполнение. ООО ТД «Тепломеханика» г. Челябинск	Метран-150-СД-4-0,5%-1,6 МПа-4...20 мА	3
3а, 8а, 12а	Механизм электроисполнительный однооборотный с номинальным значением момента на выходном валу 1600 Н·м, номинальное значение времени полного хода 25 с, номинальное значение полного хода 0,25 об., ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	МЭО-1600/63-0,25У-92КБ	3
3б, 8б, 12б	Многофункциональная станция ручного управления, 8 входов для подключения датчиков ООО «завод Микрол» г. Челябинск	БРУ-110	3
3в, 8в, 12в	Блок управления электродвигателем реверсивный, входной сигнал управления 4...20 мА, степень защищенности IP20. ЗАО «Волмаз», г. Чебоксары	БУЭРЗ-30-02	3
4а, 9а, 13а	Блок сигнализации положения (БСП) токовый ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары.	БСПТ-110АМ	3
ФЮРА.421000.008 С01			Лист
			2

Приложение Б

Листинг программы автоматизированной системы управления процессом смешения дымовых газов от ДЭС с пароводяным потоком

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
    FE1, FE2, FE3: REAL; //показания датчиков расхода
    t1, t2: TON; //таймеры открытия/закрытия
    m1, i1: INT;
    closeRO1: BOOL;
    DESwork, STOP_ASU: BOOL;
    n: REAL=0.5;
    ust_flow1: REAL;
END_VAR
ust_flow1:=43;
m1:=0;
m2:=0;
If DESwork then
    STOP_ASU:=0;
    IF FE1<ust_flow1-n then
        While m1<100 do
            t1(IN=TRUE,PT=T#1s);
            If t1.Q=TRUE then
                m1:=m1+1;
                t1(IN=FALSE,PT=T#0s);
            else i1:=m1;
            END_IF
        END_WHILE
    ESLIF FE1>ust_flow1+n then
        While m1>0 do
            t2(IN=TRUE,PT=T#1s);
            If t2.Q=TRUE then
                m1:=m1-1;
                t2(IN=FALSE,PT=T#0s);
            else i1:=m1;
            END_IF
        END_WHILE
    END_IF
else
    STOP_ASU:=1;
END_IF
IF STOP_ASU=1 then
    closeRO1:=1;
else
    closeRO1:=0;
END_IF
END
```

Приложение В

Production and implementation of gas-vapor coolants: current state and perspectives. Systems of Heat Utilization: Analytical Review. Development of SCADA-system.

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Осмоловская Мария Михайловна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ИШФВП	Волков Роман Сергеевич	к.т.н.		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Черемисина Харрер Инна Алексеевна	к.фил.н., доцент		

Introduction

Relevance

Gas-vapor mixtures are now becoming increasingly common in construction and at small production facilities in various industries.

Gas-vapor-droplet technologies are used to create coolants of the new generation from flue gases, vapors and water droplets. For gas-vapor mixtures in modern production there is a large area of implementation: defrosting bulk materials in construction, processing of contaminated heat-loaded surfaces, etc. When creating such mixtures and heat transfer media, heat exchange surfaces are not used.

In accordance with the order of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009 No. 1715-p “On the Energy Strategy of Russia for the Period up to 2030”, one of the priority areas of scientific and technological progress in the energy sector “Heat Supply” are [1]:

- 1) The creation of technological equipment and automated systems for control and management of heat consumption;
- 2) Development and preferred use of efficient steam-gas (gas-steam) technologies with steam injection for heat supply;
- 3) The development and application of technologies for utilizing the heat of condensation of flue gas water vapor;
- 4) Modernization and development of decentralized heat supply systems using automated individual heat generators of the new generation for burning gas fuel;

Also the important role of increasing energy efficiency is the goal of reducing heat losses during energy production. A significant proportion of losses is attributable to losses with exhaust gases that can reach 60-70%.

As a result, it is advisable to consider the use of heat from the flue gases from the heat and electricity generating units to create a gas-vapor mixture with its subsequent use.

This paper investigates the possibility of using exhaust flue gases from a diesel power station, the temperature of which can reach 450 ° C, in the process of mixing them with water. The goal is to obtain a multi-component coolant. The process of mixing media is carried out in a contact heat exchanger.

Object of study

The object of the research is the process of mixing the flue gases from a diesel power station with water to obtain a multicomponent heat-and-water coolant. The water heated by the surface method from the diesel generator combustion chamber is injected into the contact heat exchanger by the injection method to carry out the aforementioned process.

Objective

The aim of the research is the development of an automated control system for the process of mixing flue gases from a diesel power plant with water. Also, an equally important task is to find the optimal parameters of physical characteristics for a more efficient flow of the process in question.

To achieve these goals, a number of tasks were formulated:

- 1) Analyze the automation object;
- 2) The formulation of technical requirements for the automated control system (ACS), the development of the structure of the ACS; functional scheme of ACS; selection of technical means of the control system, the design of a custom specification; drawing up a list of input and output signals; development of the electric circuit of the automated control system; development of wiring diagram, shield design; development of a fragment SCADA-system.
- 3) Development of an experimental model of the chamber of a mixing heat exchanger and conducting experimental studies of the mechanism for the formation of a gas-vapor coolant;
- 4) Consideration of possible options for the implementation of research results in practice;

The practical significance of the work

The obtained experimental and theoretical results are the basis for the development of new technical solutions, as well as the improvement of existing technologies for the production and application of multicomponent coolants. Also, the results are the basis for the improvement of heat recovery systems in heat engineering systems, heating and cooling liquid droplets in heat engineering systems. The findings allow you to choose the effective parameters of spraying water and gas flow. The developed automated system serves as the basis for creating an efficient heat recovery system from diesel power plants located far from accessible sources of heating and electricity, and in need of a coolant. For example, for defrosting bulk building materials.

Literature review

Gas-vapor-droplet technologies are used to create coolants of the new generation from flue gases, vapors and water droplets. For gas-vapor mixtures in modern production there is a large area of implementation: defrosting bulk materials in construction, processing of contaminated heat-loaded surfaces and tanks, etc. When creating such mixtures and heat transfer media, heat exchange surfaces are not used [3].

The most urgent task when mixing droplet and gas streams is to control and maintain the temperature with a certain value, which is necessary for further use. Since, as a rule, coolants must be transported over considerable distances to the consumer.

In [4], the criterion substantiation of the energy efficiency of generators of gas-vapor coolants is given. It is shown that in addition to high energy efficiency of heat-engineering processes by reducing fuel consumption and flue gas temperature, HPS generators are characterized by a smaller mass and lack of consumption of chemically purified water [4].

In the works [5-8], the processes of formation of gas-droplet flows under a pulsed supply of liquid under experimental conditions are considered. As a result of the experimental data, the dependences of the heating and evaporation of a liquid on the direction of the gas flow, whether associated or oncoming, are illustrated. The result of these effects on the heat transfer coefficient is shown. The parameters advisable to vary (initial velocity, pulse time) for the intensification of heat transfer are established.

For heat recovery of gases, apparatuses (economizers) of both surface type and with direct contact of gases with coolant are currently used. The latter have a number of advantages, such as the possibility of creating a large contact surface of the phases, deep cooling of gases with obtaining additional heat due to condensation of moisture contained in the flue gases. However, traditional contact-type equipment (nozzle, bubbling and spraying) allows stable operation at low gas phase velocities, usually not exceeding 2 m / s, which, when cooled, result in large volumes of flue gases which in turn cause large overall dimensions of devices, complexity of their installation and transportation, reduced efficiency due to the uneven distribution of phases in their cross section [9].

These problems can be avoided when using multistage vortex-type vehicles. Multistage vortex devices are a heat and mass transfer column with contact steps. The contact stage of multi-element apparatus is made in the form of a plate with fixed-flow-vortex elements of the same size fixed on it. Inside each element, a direct-flow interaction of the phases takes place, while on the whole the movement of the phases in the column occurs in countercurrent mode. Analysis of the options for the design of such devices revealed the preference of using contact elements with tangentially-blade gas vortexes in multistage devices [9].

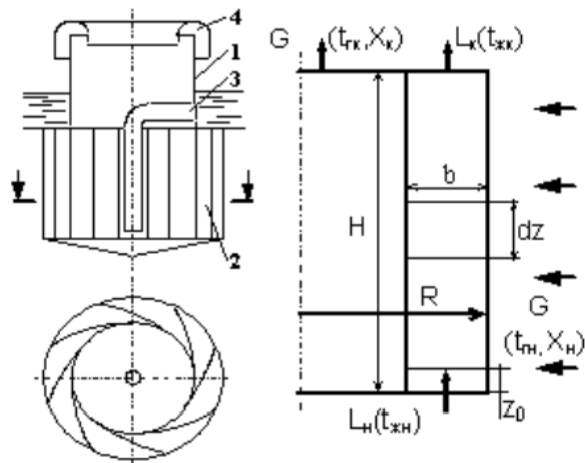


Figure 2 – Diagram of a vortex contact element and gas and liquid flows in it [9]

Calculations in this work showed that the efficiency of heating a liquid in a contact element decreases with an increase in the ratio of the mass flow rates of the liquid and gas (Figure 3). At higher gas temperatures at the inlet to the contact element, higher heating efficiencies are achieved. An increase in the efficiency is also caused by an increase in the mass moisture content in the inlet gas, which is associated with a decrease in the cost of heat received from the gas to evaporate the liquid and an increase in the cost of heat to heat the liquid.

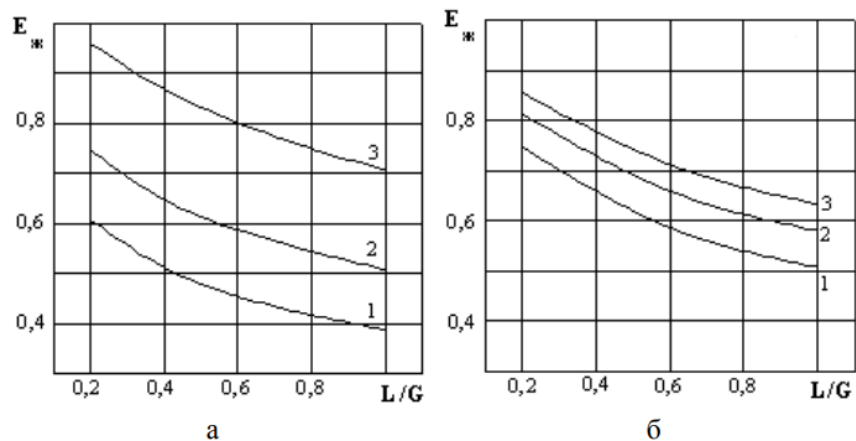


Figure 3 – Dependence of the heating efficiency of a liquid in a contact element on the ratio of mass flow rates of liquid and gas ($d_{el} = 0.08$ m; $H / d = 1$; $W_{in} = 20$ m / s; $\xi = 0.2$; $t_{гн} = 30$ ° C): a) $X_{н} = 0.1$ kg/kg; $t_{гк}$, C: 1 - 100; 2 - 250; 3 - 500. b) $t_{гн} = 250$ ° C; $X_{н}$, kg/kg: 1 - 0.1; 2 - 0.2; 3 - 0.3 [9]

The cooling efficiency of the gas in the contact element, on the contrary, increases with increasing L/G . With increasing gas temperature, the cooling efficiency increases unevenly. So, with an increase in temperature from 100 to 250°C, there is a slight increase in efficiency, whereas with a further increase in temperature to 500 ° C, the efficiency increases by almost 1.5 times. A change in the initial moisture content does not have a significant effect on the cooling efficiency of the gas (Figure 3b). With an increase in the initial temperature of the liquid, the heating of the liquid in the contact element increases.

In [10], the experimental determination of the ranges of variation of parameters corresponding to the characteristic regimes for the movement of liquid droplets in a counter flow of high-temperature gases was carried out. During the experiments, we determined the velocity U_m , the dimensions R_m , and the relative volume concentration α of droplets, as well as the velocity of the gases U_g in the registration region. The dimensionless parameter ΔR , which characterizes the change in the size of the droplets when moving through the channel, was also calculated.

Experiments have shown that the mode of displacement of droplets in the counter flow of high-temperature gases significantly depends not only on the ratio of the initial velocities U_m and U_g , but also on the values of R_m . With an increase in ΔR , the velocities of motion of droplets through high-temperature gases decrease significantly. The characteristic dimensions of the vapor layers in the near-wall region of each drop increase. As a result, the action of the forces of resistance to their movement increases.

Kerosene with stable properties was used as a liquid fuel for flue gases.

As an increase in the existing base of dependencies of various parameters in the course of the above processes, it is possible to use different types of fuel. For example, fuel oil and diesel fuel. Thus, it is possible to determine more efficient parameters and conditions for the processes of transfer, evaporation and heating of liquid droplets in the area of distribution of high-temperature gases.

The work of industrial enterprises associated with the receipt of bulk cargo by rail in winter is seriously complicated by the fact that when transporting goods in low temperature conditions, a significant portion of these goods are frozen and their unloading is difficult. Ores (of all kinds), ore concentrates, sand, coal and a number of other cargoes, which often turn into a monolith, are especially hard to get frozen. In this regard, unloading them from the cars is associated with great difficulties, with the expenditure of a long time and a large amount of labor.

Foulness is the property of a product to turn into a solid dense mass and partially lose its flowability at a negative temperature.

Measures that restore the flowability of cargo require a lot of energy, labor and time and adversely affect the organization of the transport process. Ways of dealing with freezing conditions are divided according to the principle of action into physical, chemical, physicochemical, and mechanical [11].

Let us consider in more detail one of the physical methods. Infrared emitters are used for thawing frozen cargo in cars, which are heat shields with special infrared radiation lamps mounted on them, or ceramic and metal surfaces heated by gas and electric spirals. Screens should have a temperature of 550–650 °C [11].

Since the fuel intended for the implementation of the study is diesel fuel, it is possible to consider the feasibility of using the heat of flue gases from a diesel power station (DPS) to defrost the aforementioned media.

The heat utilizer of flue (exhaust) gases (HUF) removes heat from the exhaust gases of the engine: the temperature of the flue gases leaving the engine is about 450–550 °C. Thus, the upper limit of the temperature range corresponds to the lower limit of the required temperature of the heating screens (550 °C). The use of heat from diesel power plants may reduce the cost of electrical energy, the use of heating screens, additional tools and structurally complex devices, if diesel power plants are installed at the production facility.

Development of SCADA-system

The process of developing SCADA systems includes the following operations:

- 1) Development of a graphical interface (graphics, pop-up windows, mimic diagrams, tables, operator input elements, etc.);
- 2) The process of debugging the algorithms of the industrial automation system of the process control system. In most SCADA systems, debugging can be performed in two ways: in the equipment emulation mode or when the equipment is connected;
- 3) Implementation of setting up industrial communication systems (modems, industrial networks and communication controllers);
- 4) The process of creating databases with further connection to them of the SCADA system.

SCADA system should perform the following tasks:

- 1) Implementation of interaction with the operator (presentation of auditory and visual information, translation of the operator's command system);
- 2) Assisting the operator in the process of developing the necessary solution (performing the functions of an expert system);
- 3) Automatic alarm of the accident and the occurring critical situations;
- 4) Output to the operator's console information on the process status;
- 5) Event logging;
- 6) Search and retrieval of archival information, and providing it to the operator in a convenient option;
- 7) Creating reports (schedules for changing operators, temperature tables, a list of necessary actions by an operator in a certain situation, etc.);
- 8) Accounting of technological equipment operating time.

Simple SCADA was chosen as the SCADA package, based on its availability, simplicity and wide applicability.

The developed SCADA system for controlling the heat exchange system is presented in Appendix B.

The mnemonic diagram displays the technological process of heat recovery from diesel power plants (DPS). On the left is the DPS indicating the status (in operation / disabled).

In the center from top to bottom there are simplified images of a silencer, a heat exchanger, products of combustion - network water, heat exchanger antifreeze - network water, a radiator. An image of the pipeline is placed between the heat exchangers, the color of which conventionally corresponds to the coolant moving inside.

On the lines of the pipeline are placed images of instrumentation equipment in accordance with the actual placement of the sensors. On such sensor images, a +panel is displayed for outputting the obtained value of the measured parameter.

Also, in accordance with the actual placement of objects on the pipeline, images of pumping units and valves with on / off buttons are displayed on the mnemonic diagram.

Приложение Г

Мнемосхема автоматизированной системы управления теплообменной системой

