

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированная система управления процессом утилизации тепла дымовых газов дизельной электростанции

УДК 681.51:662.613.125:621.311.236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Ушаков Кирилл Павлович		

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 профиля ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШФВП	Стрижак П.А.	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
Общие по направлению подготовки		
<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-11, 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 поставками газа»)

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

Р3	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»)
Р4 (Р6)	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>		

Р5 (Р4)	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 представлять и обсуждать результаты научных исследований	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 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>		
Р6 (Р5)	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>		
Р7	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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	использовать творческий потенциал, саморазвиваться, самореализовываться	Требования ФГОС (УК-6, ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
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 <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Профиль 4		
P14	применять современные методы и средства практической инженерной деятельности в автоматизированных системах управления технологическими процессами в теплоэнергетике и теплотехнике	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1, УК-2, ПК-6, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> , 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>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>1) Анализ применения утилизации тепла продуктов сгорания топлива дизельной электростанции с целью нагрева сетевой воды, поступающей от потребителя для обогрева помещений, зданий, сооружений. 2) Разработка экспериментального стенда, методики исследований, проведение экспериментов по утилизации теплоты высокотемпературной газовой среды. 3) Анализ полученных результатов и проработка рекомендаций по снижению температуры выбрасываемых в окружающую среду газов и использование их в качестве теплоносителя. 4) Разработка автоматизированной системы управления тепловым модулем утилизации тепла продуктов сгорания дизельной электростанции 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 щита). 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 щита автоматизации. 5) Схема монтажная электрических и трубных проводок.</p>
---	--

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Киселева Елена Станиславовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Куликова Ольга Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Обзор литературы (Systems of Heat Utilization: Analytical Review)</p>	

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

Задание выдал руководитель:

<p>Должность</p>	<p>ФИО</p>	<p>Ученая степень, звание</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>Доцент ИШФВП</p>	<p>Волков Роман Сергеевич</p>	<p>к.т.н.</p>		<p>12.03.2019</p>

Задание принял к исполнению студент:

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>5БМ74</p>	<p>Ушаков Кирилл Павлович</p>		<p>12.03.2019</p>

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 152 страницы, 24 рисунка, 33 таблицы, 40 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: дизельная электростанция, утилизация тепла, теплообменники, тепловой модуль, шкаф автоматизации, автоматизированная система управления, сетевая вода, обогрев, потребитель.

Объектом автоматизации является тепловой модуль дизельной электростанции блок-контейнерного исполнения.

Цель работы – оценка эффективности утилизации тепла отходящих от дизельной электростанции дымовых газов для подогрева сетевой воды, идущей к потребителю и разработка автоматизированной системы управления тепловым модулем на базе микропроцессорных средств автоматизации.

В процессе выполнения работы был проведен анализ существующих методов утилизации 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 выдвинутыми исходя из результатов научно-исследовательской работы, была разработана автоматизированная система управления процессом утилизации тепла дымовых газов дизельной электростанции на основе программируемого логического контроллера.

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

Определения, обозначения, сокращения

В данной работе применены следующие сокращения:

АРМ – автоматизированное рабочее место оператора;

АСУ – автоматизированная система управления;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

ДЭС – дизельная электростанция;

ИВК – информационно-вычислительный комплекс;

КПД – коэффициент полезного действия;

ПК – персональный компьютер;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

РО – регулирующий орган;

СУ – сужающее устройство;

СУТ – система утилизации тепла;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

Оглавление

Введение.....	12
1 Системы утилизации тепла. Аналитический обзор.....	14
1.1 Анализ существующих систем утилизации тепла на водном транспорте	14
1.2 Анализ систем утилизации тепла блок-контейнерного исполнения	17
1.3 Анализ тепловых модулей и теплообменных аппаратов.....	20
1.4 Анализ теплотехнических характеристик оребренных поверхностей в теплообменниках	24
2 Научно-исследовательская работа.....	28
2.1 Экспериментальный стенд.....	29
2.2 Проведение экспериментов	31
2.3 Результаты экспериментов	33
3 Разработка структуры АСУ	38
3.1 Формулирование технических требований АСУ	38
3.2 Разработка структуры комплекса технических средств	42
4 Проектирование функциональной схемы АСУ	44
5 Выбор технических средств АСУ	48
5.1 Выбор датчика для измерения температуры теплоносителя.....	49
5.2 Выбор датчика для измерения расхода теплоносителя	51
5.3 Выбор датчика для измерения давления жидких сред.....	53
5.4 Выбор датчика для измерения давления продуктов сгорания	55
5.5 Выбор регулирующего устройства	56
5.6 Выбор исполнительного механизма	57
5.7 Выбор блока управления	58
5.8 Выбор циркуляционного насоса	59
5.9 Выбор блока ручного управления.....	60
5.10 Выбор технических средств индикации измеренных параметров.....	61
5.11 Выбор автоматизированного рабочего места	62
6 Перечень входных и выходных сигналов	64
7 Проектирование принципиальной схемы АСУ	68
8 Проектирование монтажной схемы АСУ.....	71
8.1 Выбор проводов, кабелей и защитных труб	73
9 Проектирование щита автоматизации	75
10 Расчет параметров настройки регулятора.....	77
10.1 Идентификация объекта управления	77
10.2 Расчет параметров настройки регулятора.....	80
11 Разработка математического, программного и информационного обеспечений.....	87
	10

11.1 Математическое обеспечение АСУ	87
11.2 Программное обеспечение АСУ	88
11.3 Информационное обеспечение АСУ	89
12 Разработка SCADA-системы	91
13 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	93
13.1 Техничко-экономическое обоснование НИР	94
13.2 Планирование комплекса работ НИР	97
13.3 Бюджет научно-исследовательской работы.....	101
13.4 Определение ресурсной и финансовой эффективности исследования	105
Вывод по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	109
14 Социальная ответственность	111
14.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	112
14.2 Анализ вредных и опасных факторов.....	114
14.3 Экологическая безопасность	121
14.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	122
Заключение по разделу «Социальная ответственность»	125
Заключение	127
Приложение А Systems of Heat Utilization: Analytical Review.....	133
Приложение Б Заказная спецификация приборов и средств автоматизации	145
Приложение В Листинг программы автоматизированной системы управления тепловым модулем системы утилизации тепла от ДЭС.....	148
Приложение Г Мнемосхема автоматизированной системы управления тепловым модулем системы утилизации тепла от ДЭС.....	151

Графический материал: на отдельных листах

ФЮРА.421000.010 С1 Схема структурная

ФЮРА.421000.010 С2 Схема функциональная

ФЮРА.421000.010 Э3 Схема принципиальная электрическая

ФЮРА.421000.010 ВО Общий вид щита автоматизации

ФЮРА.421000.010 С4 Схема монтажная внешних электрических и трубных проводок

ВВЕДЕНИЕ

Россия является крупнейшей страной по площади зон децентрализованного электроснабжения в мире. Более половины территории России в настоящий момент не подключено к центральным сетям электроснабжения. Основной причиной этого является малонаселенная и болотистая местность. Большая часть децентрализованных территорий расположена в районах неблагоприятных климатических условий: Сибирь, Крайний Север, Дальний Восток. На таких территориях России проживает около 15 млн. человек. Надежное и качественное снабжение данных регионов является одной из приоритетных задач отечественной энергетики.

Электроснабжение потребителей в децентрализованных зонах осуществляется посредством малой энергетики. Под малой энергетикой рассматриваются малые электростанции, мини- и микроэлектростанции, мини-ТЭЦ. Основная доля энергии в малой энергетике России производится дизельными электростанциями, примерное их количество 50 тыс., а установленная мощность достигает порядка 15 млн. кВт [1].

Дизельные электростанции (ДЭС) обладают большим моторесурсом, долговечностью и высокой надежностью. Принцип работы ДЭС заключается в преобразовании тепловой энергии внутреннего сгорания дизельного топлива электростанции в механическую энергию вращения ротора электрогенератора установки. Электрогенератор вырабатывает электрическую энергию для потребителей. Продукты сгорания топлива выбрасываются в атмосферу в виде дымовых газов. С целью повышения КПД дизельной электростанции возможно применение систем утилизации теплоты (СУТ). Такие системы предполагают использование теплоты продуктов сгорания для подогрева жидкого теплоносителя, который может поступать к потребителю для отопления жилых и нежилых помещений, зданий, сооружений.

Системы утилизации теплоты выпускных газов и воды, охлаждающей главный двигатель и дизель-генератор, давно применяются в энергоустановках

на судах морского флота [2]. Этот опыт успешно используется при создании малых теплоэлектростанций, особенно в блочно-контейнерном исполнении, где необходимо обеспечить высокую компактность теплообменного оборудования. Дизельные и газопоршневые электростанции размещаются в контейнерах. Их можно использовать как в районах Крайнего Севера, так и в условиях пустыни. Такие электростанции готовы к эксплуатации и требуют лишь фундамента упрощенной конструкции.

ДЭС блок-контейнерного исполнения с системами утилизации тепла представляют собой автономные источники комбинированного производства электрической и тепловой энергии. Установки могут быть использованы в качестве резервного, вспомогательного или основного источника электроэнергии на предприятиях, в административных и медицинских учреждениях, на военных объектах, объектах строительства, в аэропортах, гостиницах, узлах связи, в системах жизнеобеспечения. Такие ДЭС могут работать как в автономном режиме, так и совместно с централизованными системами электроснабжения и тепла.

Блок утилизации тепла, устанавливаемый с ДЭС позволяет использовать теплоту контура охлаждения двигателя и выхлопных газов для нагрева воды с последующей подачей воды в систему отопления и/или горячего водоснабжения. Теплопроизводительность составляет около 80-110% электрической мощности дизель-генератора. Блок утилизации тепла состоит из котла-утилизатора, теплообменников, гидравлической и газовой системы трубопроводов и арматуры, системы автоматического управления и контроля.

Снижение температуры дымовых газов, отходящих от ДЭС, может также достигаться при использовании впрыска мелкодисперсного потока воды. Кроме снижения температуры, такой впрыск может выполнять функцию фильтрации продуктов сгорания так как мелкие капли, распыленные внутри дымохода, сталкиваются с твердыми частицами и осаждают их в конденсатосборнике.

1 СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1 Анализ существующих систем утилизации тепла на водном транспорте

Анализ литературных источников [3–7] показывает, что повышение эффективности работы судовых энергетических установок (СЭУ) может быть достигнуто:

- обеспечением на протяжении срока эксплуатации постоянного исправного состояния двигателей, а также других судовых технических средств, регламентированные технической документацией изготовителя параметры рабочего процесса и технического состояния. При этом особое внимание следует уделять поддержанию исправного технического состояния топливной аппаратуры потребителей;

- выбором таких режимов работы главных двигателей, которые бы обеспечивали самый минимальный возможный в данных эксплуатационных условиях расход топлива;

- исключением из работы ненужных потребителей энергии в данный период времени, прежде всего электрической;

- введение энергосберегающих резервов, из которые наиболее пригодны для реализации мероприятий по утилизации на сосуде вторичного тепла, т. е. тепла сгоревшего топлива, не преобразованного в работу при осуществлении рабочего процесса основного и вспомогательного двигателей, не переведенные в теплоноситель в автономных и утилизационных котлах, выпускаемых холодильными машинами и другими объектами СЭУ.

Источниками вторичного тепла на судах являются выхлопные газы двигателя, наддувочный воздух, охлаждающая вода (жидкость) главных и вспомогательных двигателей (ГД и ВД), холодильные машины, системы кондиционирования воздуха и трюмное охлаждение (на рефрижераторных судах). В сложных системах несколько источников могут быть задействованы в различных комбинациях. Выпускные газы ГД и дизель-генераторов (ДГ),

имеющие температуру 250–450 °С, относят к источникам высокопотенциальной теплоты, а охлаждающую воду с температурой 60–90°С – к источникам низкопотенциальной теплоты.

Специфика эксплуатации речных судов накладывает ограничения на использование многих современных технологий для регенерации тепла. На судах, построенных 40 лет назад, и на вновь построенных судах использование тепла отработавших газов двигателя внутреннего сгорания осуществляется в основном за счет установки утилизирующих котлов, а также отсутствия тепла для отопления, горячей воды, нагрева жидкости груз компенсируется работой автономного котла. В то же время такие потоки попадают в окружающую среду, что может обеспечить тепловую потребность судна не только в теплое, но и в холодное время плавания.

Вторичные энергетические ресурсы на судах, в том числе современные, практически не используются или используются недостаточно, и, кроме того, экологический ущерб наносится окружающей среде. Анализ причин недостаточного использования вторичных энергоресурсов на судах является сложным, и основными причинами являются следующие:

- при постройке судна клиент ориентируется на минимизацию капитальных вложений без расчета эксплуатационных расходов, в том числе без учета возможной экономии топлива, расходуемого на отопление и горячее водоснабжение;

- отсутствие автоматизированных систем управления СУТ, которое приводит к снижению экономической эффективности СУТ и к сложностям интеграции в систему управления СЭУ.

Задача утилизирующих установок - повысить степень утилизации тепла отходящих газов судовых двигателей внутреннего сгорания энергетической установки за счет более полного использования их тепла и в период, когда утилизационный котел не может работать в некоторых режимах его работы из-за к тому, что температура выхлопных газов после нее меньше 160-180°С, а

также в период малых потребностей судовых потребителей в тепловой энергии (например, при плавании судна в тропиках).

Эта задача достигается тем, что при использовании тепла отходящих газов силовой установки судна отработавшие газы главных судовых двигателей внутреннего сгорания через их турбокомпрессоры направляются в утилизирующий котел, где охлаждающая жидкость Подача из паросепаратора, который нагревается в утилизационном котле, паровых труб направляется в пароотделитель, а отработавшие газы основных судовых двигателей направляются в выхлоп в дымоход, а температура газа для утилизации онного котла в течение всего режимы работы двигателя поддерживаются не ниже 160°C.

Эту же проблему можно решить, заменив охлаждающую жидкость труб испарителя котла-утилизатора на воздушную. Для этого необходимо отсоединить трубопроводы испарителя котла-утилизатора от паросепаратора с помощью отсоединения клапанов, просушить трубы-испаритель котла-утилизатора от водяного теплоносителя и подать к ним воздушный теплоноситель через соединение трубы испарения котла-утилизатора с воздушным резервуаром сообщались с системой сжатого воздуха судна. Нагрейте воздушный теплоноситель в котле-утилизаторе с помощью дымовых газов судового двигателя и подайте его в теплообменник для опреснения морской и соленой воды, открыв соответствующие запорные клапаны в котле-утилизаторе. Кроме того, рассол и горячий воздух, полученные на выходах опреснительной установки, могут быть использованы для нужд резервуара, а генерируемый пар может быть направлен в паровой сепаратор для конденсации.

Использование тепловых потерь главных корабельных двигателей внутреннего сгорания может осуществляться с использованием части тепла охлаждающей воды только в вакуумном испарителе. [8]. Тепло потока воды, циркулирующего в системе охлаждения двигателя, используется в испарительной установке для производства пресной воды. Этот метод использования получил широкое распространение на теплоходах, что

объясняется возможностью использования тепла с низким потенциалом и, как следствие, экономической эффективностью.

Устройство для этого способа рекуперации тепла содержит основной судовой двигатель (дизель), охладитель пресной воды, испаритель, эжектор с эжекторным насосом, рассольный насос, ротаметр, конденсатный насос, салинометр, насос для морской воды, дизельный насос пресной воды, трубопроводы и клапаны, которые регулируют производительность испарительной установки путем ограничения количества пресной воды через испарительную установку [8].

Недостатком этого способа и устройства утилизации является необходимость поддержания оптимальной температуры в системе охлаждения двигателя за счет изменения ее режима работы. В результате, изменение в работе опреснительной установки происходит с ее изменением. В этом случае с охлаждающей водой основного двигателя теряется меньше тепла, чем с выхлопными газами, поскольку водяное охлаждение основного двигателя имеет более низкий температурный потенциал, чем газы, выходящие из двигателя. Также одним из недостатков, проявляющихся при работе любого типа опреснительной установки, является образование накипи или солевых отложений на теплообменных поверхностях. Возникновение накипи и загрязняющих отложений явно влияет на производительность установки, качество получаемой воды, выход из строя основного устройства и вспомогательных элементов и, как следствие, неизбежное ухудшение эффективности из-за возросших затрат.

1.2 Анализ систем утилизации тепла блок-контейнерного исполнения

Основным элементом системы утилизации тепла является тепловой модуль (ТМ), также называемый блоком или модулем утилизации тепла (БУТ). Именно тепловой модуль утилизирует тепло от каждой электростанции, которое объединяется с теплом от других тепловых модулей и через сборный тепловой

пункт выдается потребителю. Данная система и является системой утилизации тепла. Объединение СУТ с системой охлаждения ДГУ и ГПУ дает законченную тепломеханическую систему объекта.

ТМ позволяет в значительной степени повысить суммарный КПД — коэффициент полезного действия (коэффициент использования топлива) теплоэлектроагрегата, доведя его значение до 85-90%. Таким образом, основной задачей системы утилизации тепла является экономия затрат на выработку тепла, соответственно, внедрение СУТ в полной мере является энергосберегающей технологией.

Во время работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) тепловая энергия утилизируется в ТМ с помощью:

- утилизатора тепла антифриза (УТА), который снимает тепло антифриза двигателя – вместо охлаждения антифриза на радиаторе охлаждения антифриз отдает свою тепловую энергию на нагрев воды потребителя. УТА представляет собой теплообменник кожухотрубчатого или пластинчатого типа, работающий по схеме «вода/антифриз»;

- утилизатора тепла дымовых (отходящих) газов (УТГ), который снимает тепло с уходящих выхлопных газов двигателя: температура уходящих 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».

Традиционно тепловой модуль в полной заводской готовности включает в себя (рисунок 1.1, 1.2, 1.3):

- утилизатор тепла выхлопных газов;
- утилизатор тепла антифриза;
- переключатель потоков выхлопных газов с управлением;
- трубопроводную обвязку по линии антифриза и сетевой воды;
- байпасный трубопровод с затворами поворотными;

- рамное основание;
- комплект КИПиА.

В качестве теплообменника отработавшие газы-вода используется поверхностный теплообменник (котел-утилизатор). Котел-утилизатор конструктивно состоит из пучка труб, по которым движется нагреваемая вода. Пучок труб с теплоносителем – вода расположен в обечайке, внутри которой, противоположно направлению движения воды в трубах, движется теплоноситель – отработавшие газы.



Рисунок 1.1 – Тепловой модуль ТММ-ТМ для ГПУ FG Wilson



Рисунок 1.2 – Тепловой модуль ТММ-ТМТМ.1350 для ГПУ Caterpillar G3516В



Рисунок 1.3 – Тепловой модуль ТММ-ТМ.500 для ГПЭС Caterpillar G3412

1.3 Анализ тепловых модулей и теплообменных аппаратов

При комбинированном производстве энергии (когенерации) в состав теплообменного оборудования электростанции входят дополнительные теплообменные аппараты (ТА), утилизирующие теплоту выпускных газов двигателя (ТА «газ-жидкость») и теплоту жидкости, охлаждающей двигатель (ТА «жидкость-жидкость»). Принципиальная тепловая схема утилизации теплоты рабочих сред ДЭС приведена на рисунке 1.4 [9].

Условия работы теплообменных аппаратов существенно отличаются: первый ТА (5) эксплуатируется при сравнительно низких температурах теплоносителей; второй (4) – не только при их более высокой температуре, но и при условии возможного загрязнения поверхности теплообмена частицами сажи.

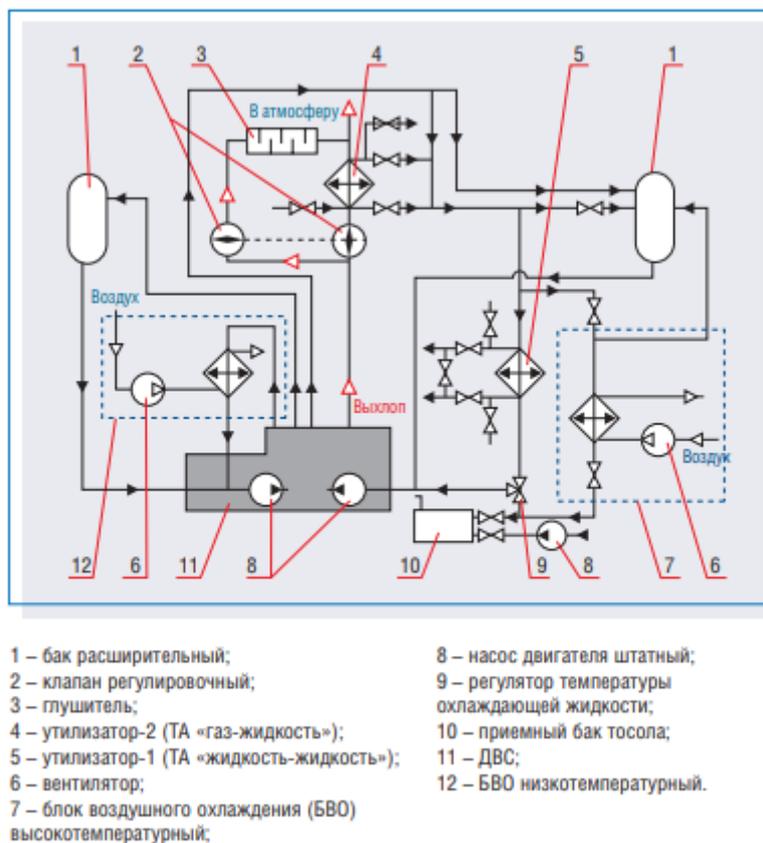
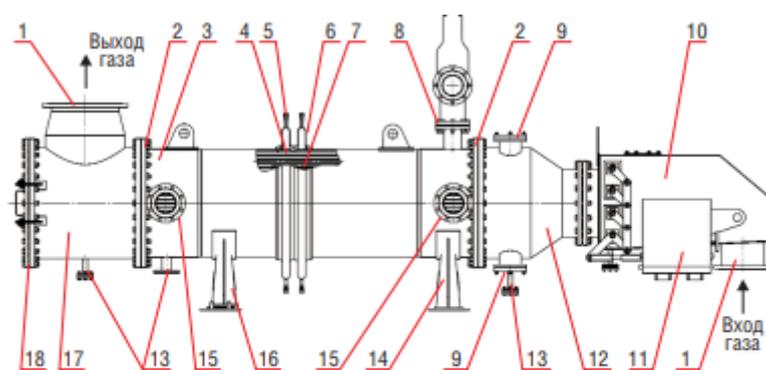


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема утилизации теплоты рабочих сред ДЭС

Газожидкостные теплообменные аппараты дизельных электростанций сравнительно небольшой мощности (до 1 МВт) могут выполняться кожухотрубчатыми (рисунок 1.5). Несмотря на низкое избыточное давление, выхлопные газы направляются внутрь прямых гладких труб, а нагреваемый теплоноситель (тосол или техническая вода) движется продольно–поперечным потоком в межтрубном пространстве. При таком исполнении ТА для компенсации различия в термических расширениях труб матрицы (7) и корпуса (3) теплообменника используют линзовые (6) или сильфонные компенсаторы.

Выхлопные газы ДВС содержат липкие частицы сажи и/или несгоревшего смазочного масла. Они образуют на стенках труб пористые низкотеплопроводные отложения, существенно снижающие тепловую мощность утилизатора и увеличивающие аэродинамическое сопротивление его газового тракта. После механической очистки внутренней поверхности труб полностью восстанавливаются его исходные показатели.



- | | |
|---|--|
| 1, 15 – газовые и жидкостные патрубки; | 9, 18 – съемные крышки; |
| 2 – трубные доски; | 10 – газовая камера с регулирующими клапанами (заслонками) жалюзийного типа; |
| 3 – корпус; | 11 – МЭО; |
| 4 – защитный стакан; | 12, 17 – приемная и выпускная газовые камеры; |
| 5, 8, 13 – патрубки для присоединения воздушных, предохранительного и дренажных клапанов; | 14, 16 – опоры неподвижная и подвижная. |
| 6 – линзовый компенсатор; | |
| 7 – трубная матрица; | |

Рисунок 1.5 – Кожухотрубчатый ТА типа УТД-650

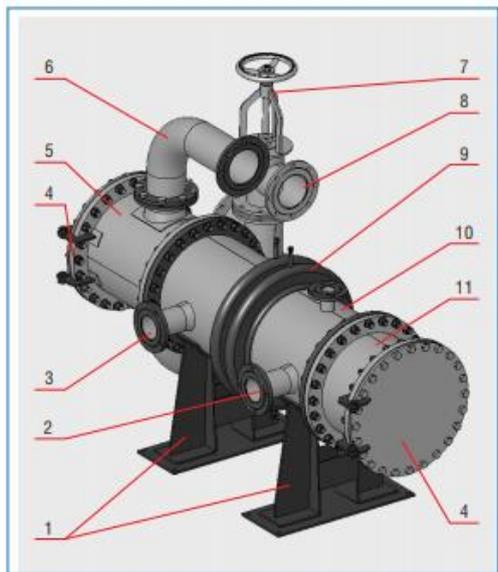
Газоводяные утилизаторы могут быть введены в действие и остановлены при работающем двигателе. Повышение давления в межтрубном пространстве в результате частичного парообразования устраняется сбросом пара через предохранительный клапан при повышении давления жидкости более чем на 5% от номинала.

Утилизатор через газовую камеру (10) присоединен к ДВС параллельно байпасному газовому трубопроводу. По общему газоходу газ сбрасывается в дымовую трубу. Регулирование тепловой мощности ТА осуществляется автоматически с помощью однооборотного электрического механизма (МЭО).

Существенно уменьшить продольный габарит утилизатора (если позволяет аэродинамическое сопротивление газового тракта двигателя) можно за счет применения двухходовой схемы течения выпускных газов в трубах теплообменника. Компактный утилизатор со смешанной схемой течения газа представлен на рисунке 1.6.

С целью повышения компактности и снижения металлоемкости теплообменных аппаратов внешнюю поверхность труб увеличивают за счет поперечного спирального оребрения. Такой теплообменник представлен на рисунок 4. Он предназначен для эксплуатации в составе мощной газо-поршневой

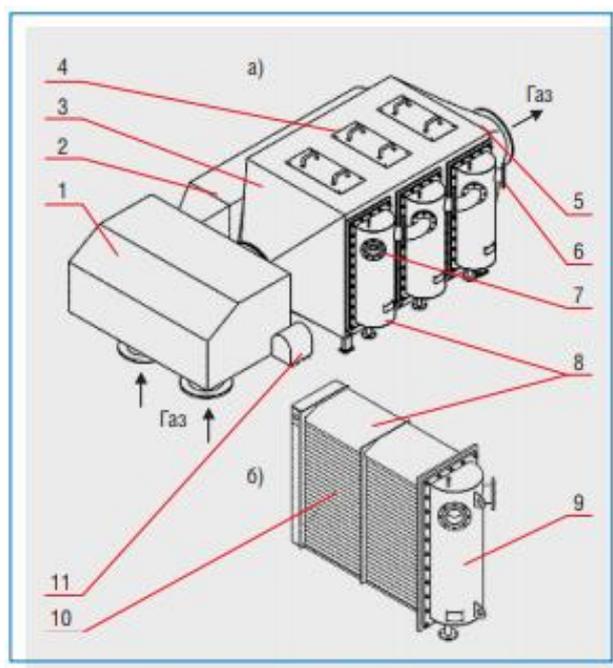
установки и выполнен из ряда типовых трубчатых компактных пакетов (модулей), размещенных в газовом тракте ДВС. Оребрение труб с газовой стороны повышает компактность ТА, но при этом затрудняет его периодическую чистку.



- 1 – опоры;
- 2, 3 – патрубки подвода/отвода жидкости;
- 4 – откидные крышки камер;
- 5, 11 – приемная и поворотная газовые камеры;
- 6, 8 – отводящие газовые патрубки (к дымовой трубе и глушителю);
- 7 – регулирующий газовый клапан;
- 9 – линзовый компенсатор;
- 10 – теплообменная секция.

Рисунок 1.6 – Кожухотрубчатый утилизатор со смешанной схемой течения газа тепловой мощностью 200 кВт

Утилизаторы (жидкость-жидкость) низкопотенциальной теплоты охлаждающих двигатель сред громоздки и металлоемки, несмотря на высокие коэффициенты теплоотдачи в трактах. Это обусловлено малым температурным напором между теплоносителями, обменивающимися теплотой. Повысить их компактность можно за счет использования теплообменных аппаратов пластинчатого типа с малыми гидравлическими диаметрами каналов обоих трактов. Такое техническое решение вполне приемлемо для относительно «чистых» теплоносителей.



- 1 – газовая камера с регулируемыми шиберами;
- 2 – байпасный канал;
- 3, 5 / 6, 7 – газовые/ жидкостные патрубки (приемный и выпускной);
- 4 – модульная секция;
- 8 – типовой пакет;
- 9 – водяной коллектор;
- 10 – ребристые U-образные трубы;
- 11 – МЭО.

Рисунок 1.7 – Общий вид модульного утилизатора (а) (ГПУ с ДВС типа 16V-AT27GL) и типового теплообменного модуля (б)

1.4 Анализ теплотехнических характеристик оребренных поверхностей в теплообменниках

Поскольку интенсивность передачи теплоты от дымовых газов к воде невысока, то для увеличения поверхности теплообмена их трубы снабжаются поперечным оребрением с наружной стороны. В результате экономайзеры становятся компактнее, чем гладкостенные, т. е. имеют большую поверхность теплообмена в единице объема [10].

Повышение интереса к оребренным трубам в теплообменном оборудовании энергетических установок при сжигании органического топлива обусловлено также и перспективой повышения надежности теплообменного оборудования (уменьшается длина оребренных труб по сравнению с гладкими, сокращается число контактных стыков, работающих под давлением.

При проектировании оребренных теплообменников актуальны вопросы определения их рациональных геометрических параметров [11]. В зависимости от назначения теплообменника к ним предъявляется ряд дополнительных требований. Например, минимальные габаритные размеры теплообменника, минимальный вес.

Правильно спроектированное оребрение позволяет в несколько раз увеличить передаваемое количество теплоты (при заданной температуре) по сравнению с гладкостенной поверхностью. Неверно рассчитанное оребрение может даже ухудшать теплопередачу стенки [12].

Для увеличения поверхности теплообмена применяются следующие виды ребер и шипов (рисунок 1.8).

Для расчета таких поверхностей теплообмена служат следующие характеристики:

- тепловой поток, передаваемый через основание ребра.

- эффективность ребра. Под эффективностью ребра понимается отношение теплового потока, действительно отведенного ребром, к потоку, который отвело бы такое же идеально проводящее ребро с однородной температурой, равной температуре в основании. Эффективность ребра изменяется с изменением теплопроводности, размеров поперечного сечения и высоты ребра.

- распределение температурного напора по высоте ребра.

Применение поверхности нагрева с искусственно созданной шероховатостью является одним из возможных путей интенсификации теплоотдачи при турбулентном течении теплоносителя. Виды искусственной шероховатости могут быть различными. Некоторые профили таких поверхностей показаны на рисунке 1.9.

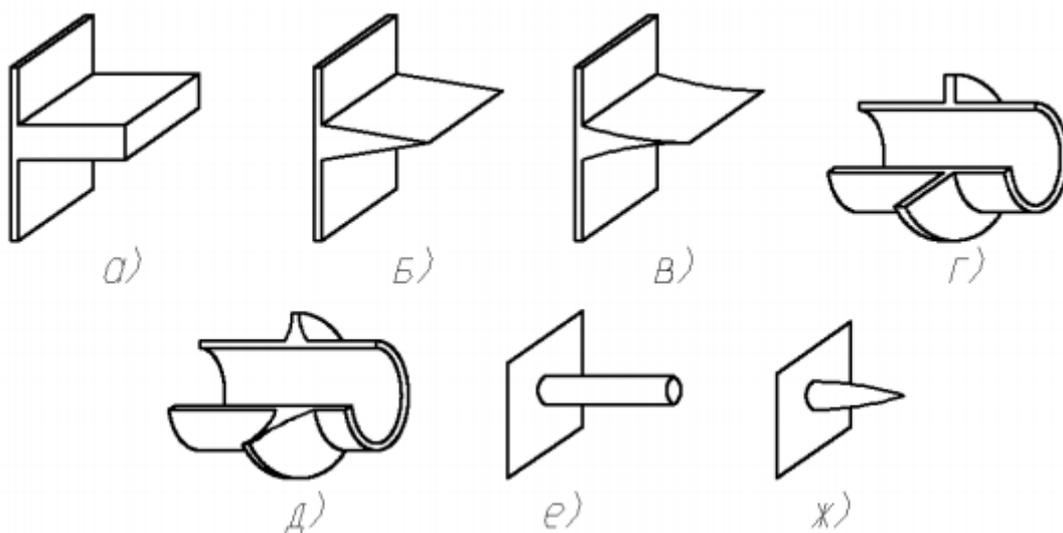


Рисунок 1.8 – Примеры оребренных поверхностей:

- а) продольное ребро прямоугольного профиля, б) продольное ребро треугольного профиля, в) продольное ребро параболического профиля, г) круглая труба с радиальным ребром прямоугольного профиля, д) круглая труба с радиальным ребром параболического профиля, е) цилиндрический шип, ж) параболический шип.

Шероховатость вида а и б создается путем нанесения резьбы на поверхность трубы. Профили получаются за счет организации кольцевых выступов на гладкой трубе. Обычно высота выступов h невелика по сравнению с диаметром трубы d . Интенсификация теплоотдачи происходит в основном за счет воздействия шероховатости на гидродинамику турбулентного потока. Роль эффекта оребрения (вследствие увеличения фактической площади поверхности теплообмена) обычно относительно невелика.

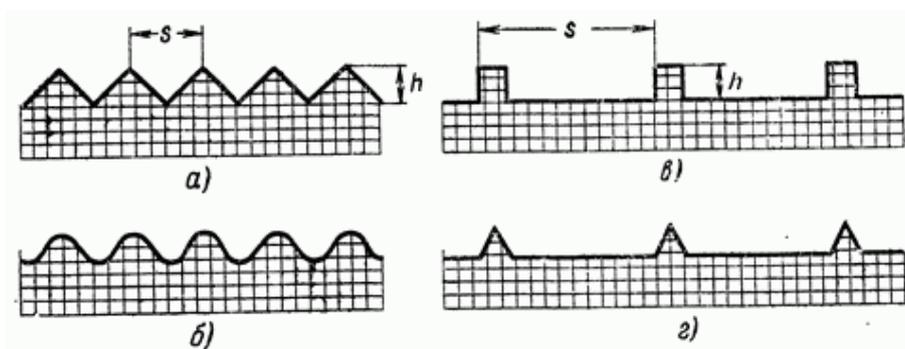


Рисунок 1.9 – Профили поверхностей с искусственной шероховатостью:

- а — треугольная резьба; б — волнистая резьба; в — прямоугольные выступы; г — треугольные выступы.

Применение искусственной шероховатости оправдано, если при одинаковом количестве переданной теплоты шероховатой поверхностью при скорости w и гладкой поверхностью при более высокой скорости, т. е. при условии:

$$Q_m(\omega) = Q(\omega').$$

Затрата мощности на перекачивание теплоносителя N будет меньше для шероховатой поверхности:

$$N_m(\omega) < Q(\omega').$$

Количество теплоты, переданное в гладкой трубе, пропорционально скорости потока в степени 0,8, т. е.

$$Q = A\omega^{0.8}.$$

Коэффициент пропорциональности A включает в себя все величины, которые не зависят от скорости (геометрические размеры трубы или канала, физические свойства теплоносителя, температурный напор). Его численное значение одинаково в обоих случаях.

В случае увеличения скорости теплоносителя возрастает гидравлическое сопротивление во всей системе циркуляции теплоносителя, в то время как создание искусственной шероховатости обуславливает рост гидравлического сопротивления лишь в зоне поверхности теплообмена.

2 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

Дымовые газы, отходящие от дизельной электростанции, имеют температуру порядка 400-500 °С. Снижение температуры дымовых газов может быть реализовано посредством:

- подбора оптимальных размеров и других характеристик оборудования исходя из требуемой максимальной мощности с учетом расчетного запаса надежности;

- интенсификации передачи тепла технологическому процессу посредством увеличения удельного потока тепла, увеличения площади или усовершенствования поверхностей теплообмена;

- рекуперации тепла дымовых газов с использованием дополнительного технологического процесса;

- установки подогревателя воздуха или воды, или организации предварительного подогрева топлива за счет тепла дымовых газов. Подогретая вода может использоваться для питания котла или в системах горячего водоснабжения (в т.ч. централизованного отопления);

- очистки поверхностей теплообмена от накапливающейся золы и частиц углерода с целью поддержания высокой теплопроводности;

- обеспечение уровня производства тепла, соответствующего существующим потребностям (не превышающего их).

Новизна научного исследования заключается в разработке системы снижения температуры дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу посредством применения импульсного впрыска мелкодисперсного потока воды на выходе дымовых газов. Впрыск потока воды позволяет не только снизить температуру до необходимого значения, но уменьшить выброс сажи с дымовыми газами. Такой эффект достигается за счет того, что мелкодисперсные капли сталкиваются с твердыми частицами, оседают на них и осаждают их в конденсатосборник. Тем самым, происходит фильтрация газового потока.

2.1 Экспериментальный стенд

Для проведения экспериментальных исследований по диагностике процессов взаимодействия воздушного потока и мелко распылённой воды разработан экспериментальный стенд, схема которого представлены на рисунке 2.1.

Стенд состоит из металлического основания 16, 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, осуществляется нагрев воздуха в трубчатом электронагревателе (ТЭН) 4.

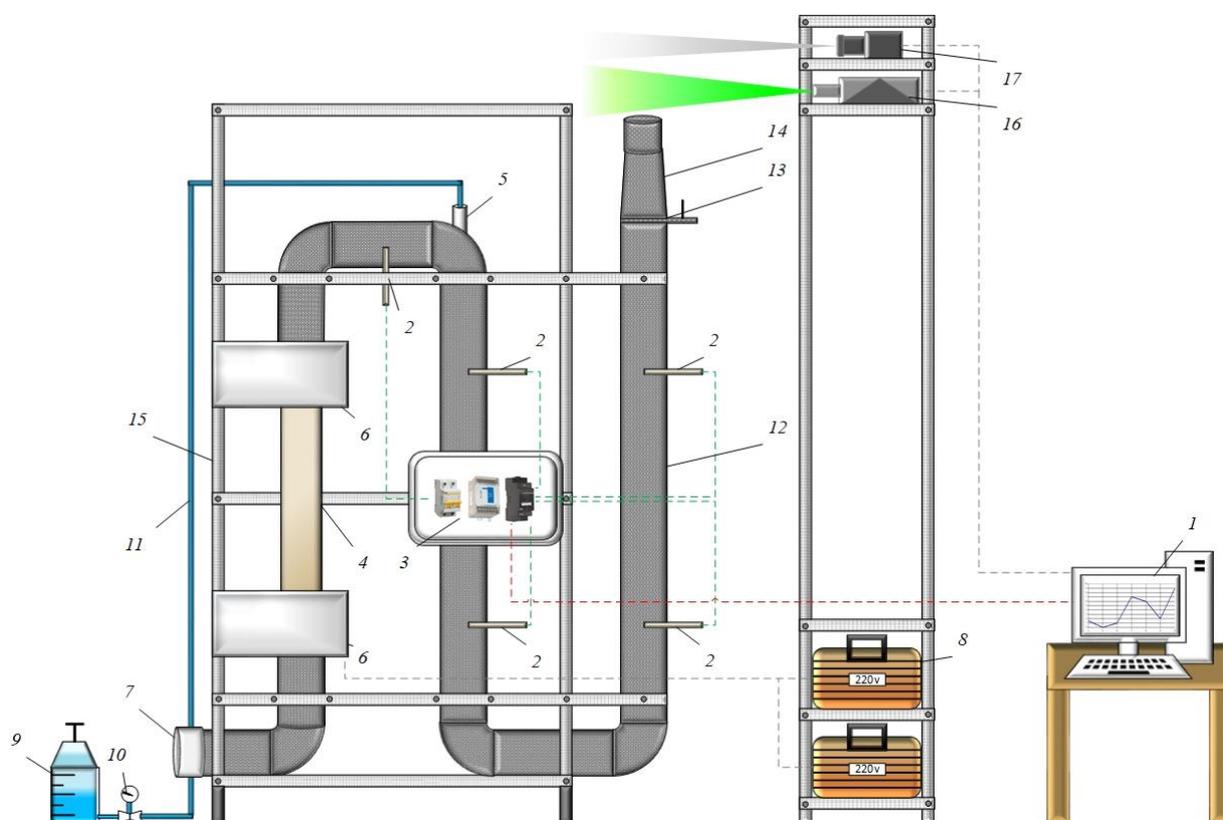


Рисунок 2.1 – Схема экспериментального стенда:

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

ТЭН представляет собой керамический цилиндр $d=8$ мм, внутри которого закреплены четыре нагревательных элемента, выполненных из нихромовой спирали. Контакты ТЭНа защищены специальными коробами 6, во избежание контакта с токопроводящими элементами и попадания влаги. 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 °С.

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 1,3 МПа. Давление отслеживается на манометре 10. Меняя форсунки и изменяя угол раскрытия факела каждой из них, происходит регулирование расхода и дисперсности воды, подаваемой в контур. Размеры (радиусы) генерируемых форсунками капель жидкости варьировались в широком диапазоне: $R_d=0,01-0,35$ мм.

По всей длине экспериментального контура установлены пять термопар тип ХА 2 (хромель-алюмель, температурный диапазон 0-1200 °С, диаметр электродов 200 мкм, диаметр спая 0,5 мм). 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 после ТЭНа. Во второй точке измеряется температура воздушного потока непосредственно после впрыска воды. Остальные три точки расположены далее по контуру измеряя

изменение температуры по мере отдаления от нагревательного элемента и места смешения двух сред (воздух, вода).

В третьей части контура установлен шибер 13, способный перекрыть сечение канала и тем самым регулировать тягу и поток воздуха.

На выходе из третьей части контура перпендикулярно газовому потоку расположен лазер 16, непрерывного зеленого света с длиной волны 532 нм. По ходу направления лазерного потока расположен коллиматор, состоящий из системы линз, с помощью которого из светового пучка формируется лазерный «нож», рассекающий поток дымовых газов. С помощью лазерного «ножа» подсвечиваются мелкодисперсные капли, которые уносятся с газовым потоком. Подсвеченные капли регистрируются с помощью CCD ImperX IGV «B2020M» камеры 17, подключенной к рабочей станции с предустановленным на ней программным обеспечением, позволяющим записывать и сохранять изображения капель.

2.2 Проведение экспериментов

Экспериментальные исследования заключались в проведении серии опытов по впрыску мелкодисперсного потока воды в воздуховод высокотемпературного газового потока. С помощью термодпар фиксировалась температура газового потока до впрыска, 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 2.2.



Рисунок 2.2 – Форсунки мелкодисперстного распыла

Расход мелкодисперсного потока воды через форсунки и их буквенно-цифровые обозначения приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Форсунки мелкодисперсного распыла

Номер форсунки	1	2	3	4	
Обозначение	M1	M2	M3	СФШ	СФУ
Расход, мл/с	2,97	1,62	1,16	3,63	11,83

В таблице 2.1 приняты следующие обозначения: M1, M2, M3 – форсунки мелкодисперсного распыла; СФУ – узкий факел распыла 4 форсунки; СФШ – широкий факел распыла 4 форсунки.

На выходе воздуховода с помощью лазерного «ножа» и высокоскоростной камеры, фиксировалось наличие мелкодисперсных капель, уносимых с воздушным потоком. На кадрах, снятых высокоскоростной камерой, видны треки движения капель (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Изображения треков мелкодисперсного капельного потока

В ходе экспериментов варьировалось значение температуры воздушного потока (130 – 270 °С), время импульса впрыска (1 – 7 с), температура распыляемой воды (20 – 60 °С). Каждая серия экспериментов состояла из 12-ти опытов.

2.3 Результаты экспериментов

Целью экспериментов являлось определение времени импульса, температуры воды, размера и концентрации капель, которые позволяли бы снижать температуру газового потока и поддерживать это значение в оптимальных пределах.

В первую очередь проводились эксперименты по определению оптимального времени импульса впрыска мелкодисперсного потока воды в высокотемпературный газовый поток.

Для каждой форсунки проводилась серия экспериментов из двенадцати опытов. Результаты были сведены в таблицу, после чего на графике (рисунок 2.4) строились аппроксимирующие кривые, показывающие зависимость перепада температуры (разница температуры газового потока до впрыска и после) от начальной температуры (до впрыска).

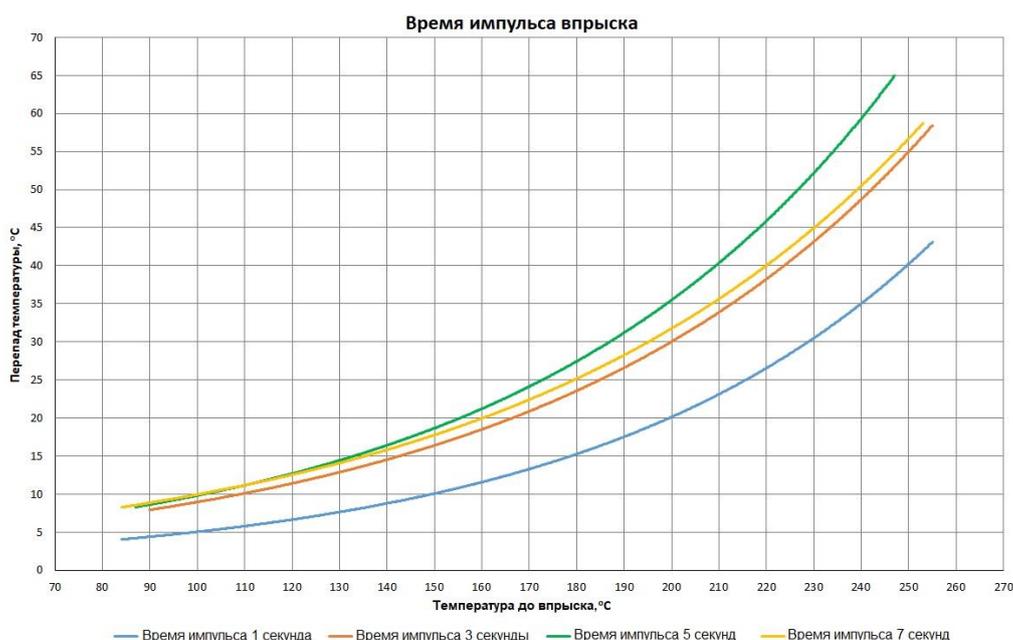


Рисунок 2.4 – Варьирование времени импульса впрыска

По полученным результатам, из графика видно, что наибольший перепад температуры наблюдается при времени импульса 5 секунд, наименьший – при времени импульса 1 секунда. Наиболее оптимальным временем впрыска можно считать 3 секунды, так как аппроксимирующая кривая лежит ровно между наибольшим и наименьшим значением.

Принимая оптимальным временем распыла 3 секунды, проводились эксперименты по определению форсунки распыла и температуры воды, с помощью которых регулирование снижением температуры газового потока было достигнуто наилучшим образом.

По результатам каждой серии экспериментов строилась аппроксимирующая кривая и все полученные кривые сводились в один график, представленный на рисунке 2.5.

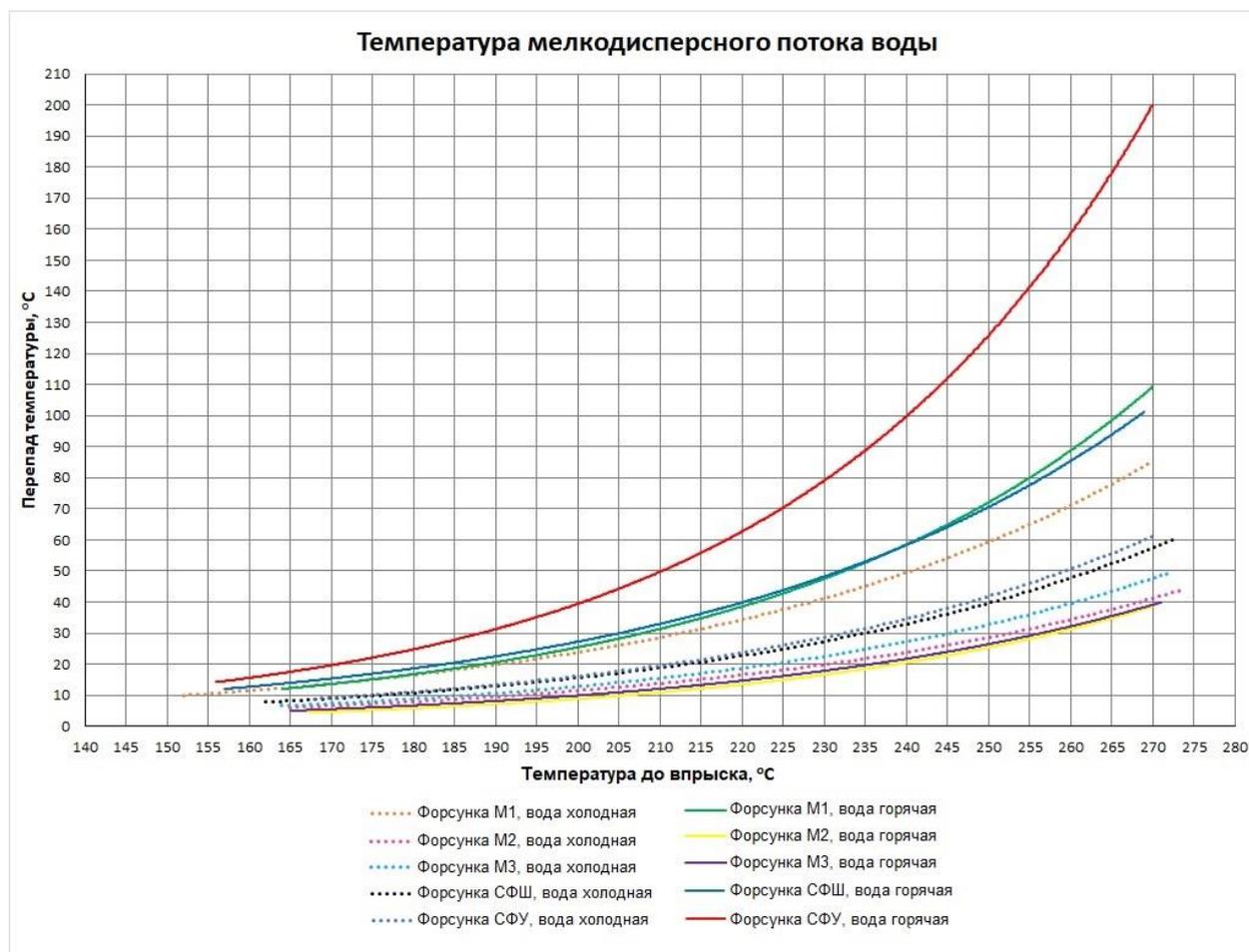


Рисунок 2.5 – Варьирование форсунки распыла и температуры воды

Из графика (рисунок 2.5) видно, что наиболее оптимальный результат достигался при использовании форсунки M1, так как аппроксимирующие кривые холодной и горячей воды распыла находятся между наибольшим и наименьшими показателями перепада температуры газового потока.

В следующих сериях экспериментов определялась оптимальная температура воды впрыска при использовании выбранной ранее форсунки M1.

Серия экспериментов состояла из двенадцати опытов с различной температурой воды 20 °С, 30 °С, 40 °С, 60 °С. Результаты сводились в таблицу и строились аппроксимирующие кривые на общем графике (рисунок 2.6).

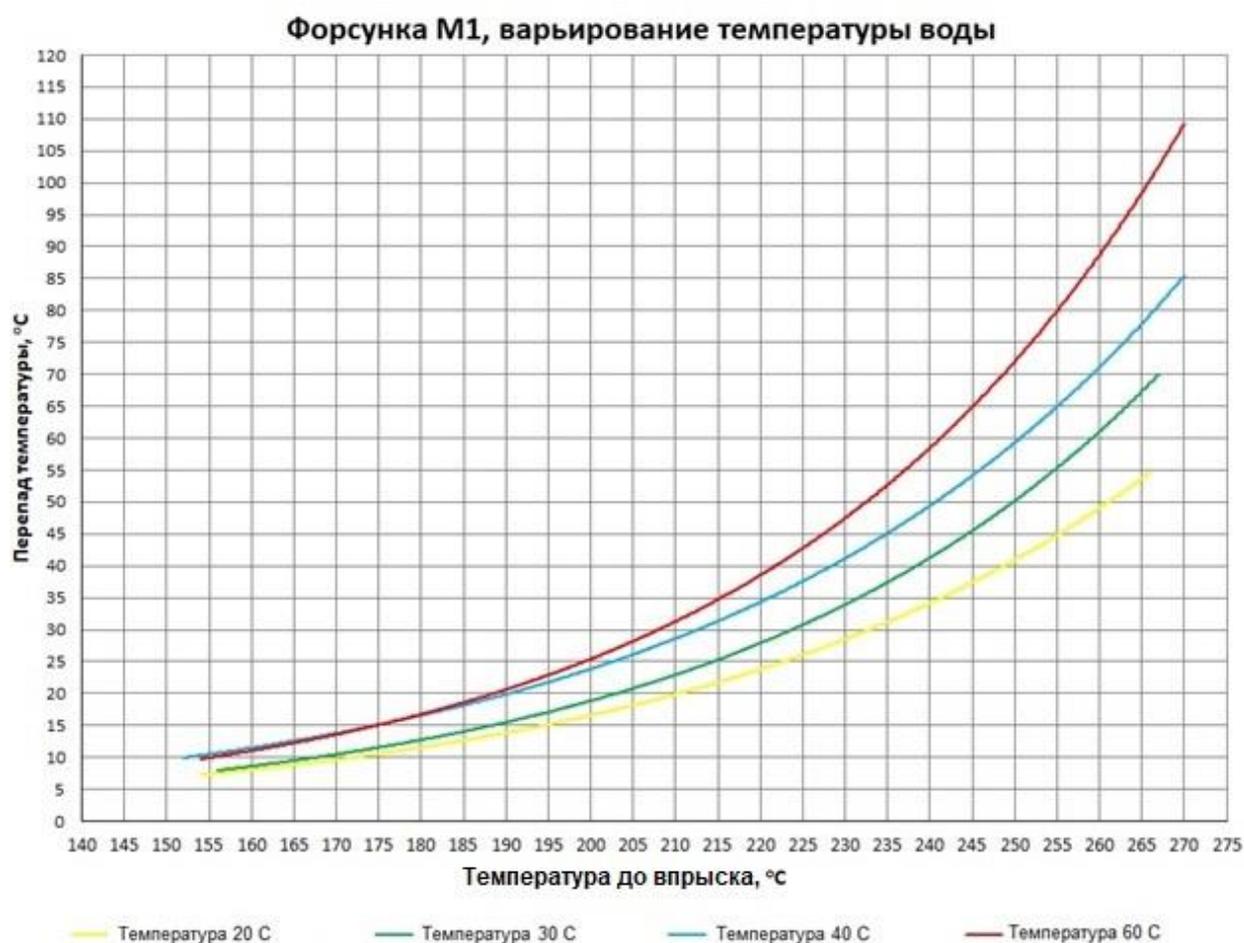


Рисунок 2.6 – Варьирование форсунки распыла и температуры воды

Из графика (рисунок 2.6) видно, что наиболее оптимальный результат снижения температуры газового потока может быть достигнут при использовании воды с температурой от 30 до 40 °С.

Одновременно с регистрацией перепада температуры, фиксировалось время сохранения сниженной температуры (рисунок 2.7), т.е. время, в течении которого температура газового потока сохраняется после окончания трехсекундного импульса впрыска потока воды.

Таким образом, по полученным результатам, можно сделать вывод о том, что наиболее оптимальное регулирование снижением температуры газового потока может быть достигнуто при использовании форсунки мелкодисперсного распыла с расходом воды 2,97 мл/с, временем импульса 3 секунды и температурой воды впрыска 35 °С.

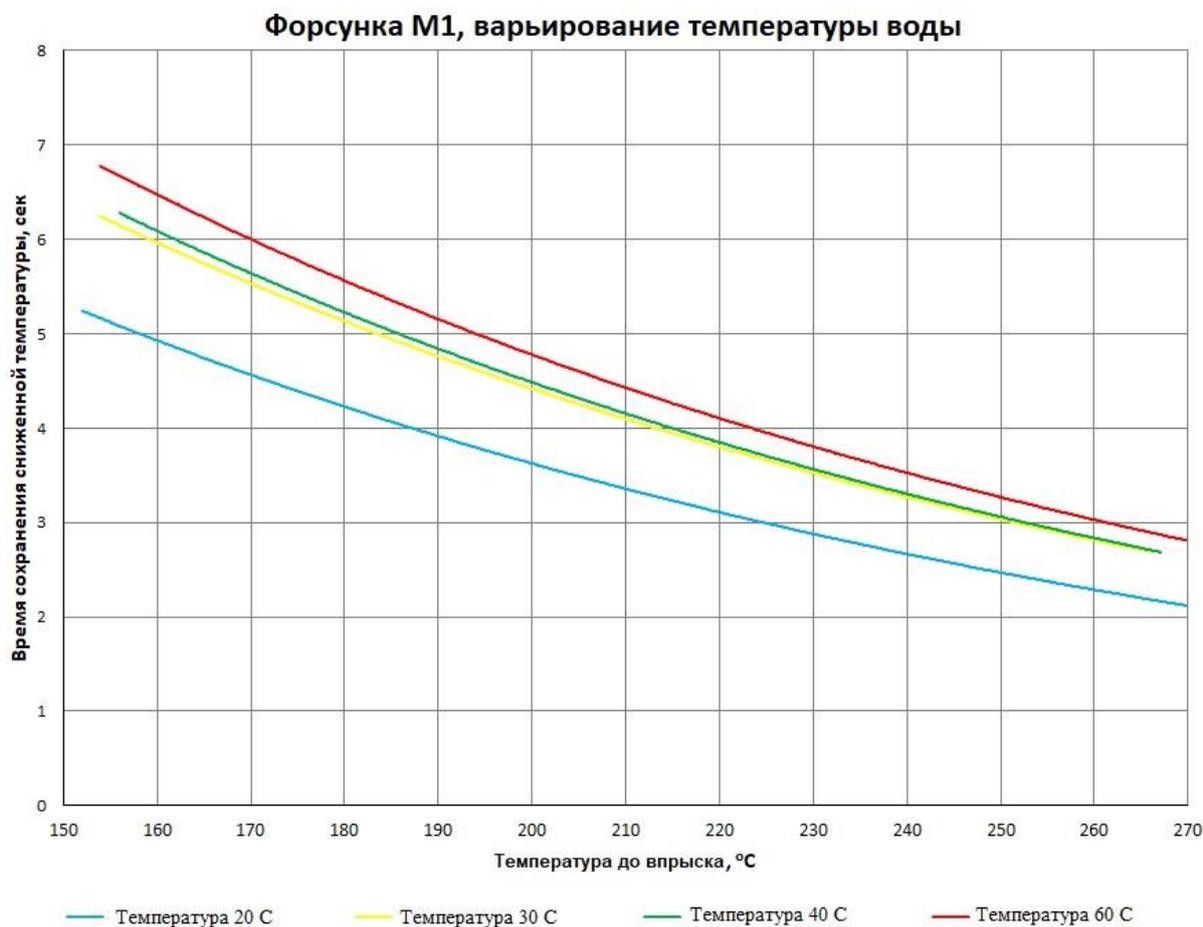


Рисунок 2.7 – Варьирование форсунки распыла и температуры воды

Форсунки с такими параметрами распыла могут быть расположены дымоходе в количестве от одной до трех штук на расстоянии 1 метр друг от друга. Тогда, достижение необходимой температуры газового потока может

регулироваться последовательным или одновременным включением распыла форсунок.

Проведенное исследование проходило с воздушным потоком, но так как теплофизические параметры воздуха и дымовых газов схожи (таблица 2.2), то вышеописанные рекомендации можно применять в дымоходе продуктов сгорания, отходящих от дизельной электростанции.

Таблица 2.2 – Физические характеристики воздуха и дымовых газов

$t, ^\circ\text{C}$	Воздух			Дымовые газы среднего состава		
	$\nu \cdot 10^6$ м/с	$\lambda \cdot 10^2$ Вт/(м·К)	Pr –	$\nu \cdot 10^6$ м/с	$\lambda \cdot 10^2$ Вт/(м·К)	Pr –
0	13,6	2,42	0,70	11,9	2,27	0,74
100	23,5	3,18	0,69	20,8	3,12	0,70
200	35,3	3,89	0,69	31,6	4,00	0,67
300	48,9	4,47	0,69	43,9	4,82	0,65
400	63,8	5,03	0,70	57,8	5,68	0,64
500	73,2	5,60	0,70	73,0	6,54	0,62
600	98,0	6,14	0,71	89,4	7,40	0,61
700	116,0	6,65	0,71	107,0	8,25	0,60
800	136,0	7,12	0,72	126,0	9,13	0,59
900	157,0	7,59	0,72	146,0	9,99	0,58
1000	179,0	8,03	0,72	167,0	10,87	0,58

3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ АСУ

3.1 Формулирование технических требований АСУ

3.1.1 Назначение системы.

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

3.1.1.2 Цели создания системы:

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

3.1.2 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.

3.1.3 Требования к системе

3.1.3.1 Требования к структуре и функционированию системы.

АСУ 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 представляет собой информационно-вычислительный комплекс (ИВК). ИВК реализует накопление и хранение технологической информации, обеспечивает взаимодействие операторов с АСУ по отображению технологической информации и настройке параметров, а также регистрацию, накопление и выдачу операторам сигналов о событиях и аварийных сигналах. Отображаться на человеко-машинном интерфейсе в виде светозвуковых сигналов на АРМе оператора.

3.1.3.2 Требования к численности и квалификации персонала.

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

3.1.3.3 Требования к показателям назначения автоматизированной системы.

АСУ 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.

3.1.3.4 Требования к надежности.

Надежность АСУ 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.

3.1.3.5 Требования безопасности.

Технические средства должны иметь защитное заземление или зануление в соответствии с ГОСТ 12.1.030-81 и ПУЭ. Элементы технических средств, которые находятся под напряжением, должны иметь защиту от случайного прикосновения. При перегрузках и коротких замыканиях, системой электропитания должно обеспечиваться отключение. Также аварийное отключение должно производиться в ручном режиме. При пожаре электропроводки, в помещении не должно выделяться ядовитых дымов и газов. Должно обеспечиваться допустимость применения любых средств пожаротушения после снятия электропитания.

3.1.3.6 Требования по эргономике и технической эстетике.

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

3.1.3.7 Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению.

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

3.1.3.8 Требования к стандартизации и унификации.

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

3.1.4 Требования к видам обеспечения.

3.1.4.1 Техническое обеспечение.

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

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

3.1.4.2 Лингвистическое обеспечение.

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

3.1.5 Требования к документированию.

Разработчиком проекта АСУ необходимо предоставить проектную и рабочую документацию в брошюрованном виде на бумажном носителе и в электронном виде в формате pdf.

3.2 Разработка структуры комплекса технических средств

Система утилизации тепла (когенерация) функционирует по общей схеме работы когенерационной установки по выработке электрической и тепловой энергий: отбор и передача тепла потребителю от систем (контуров) двигателей электростанций с большим температурным потенциалом. К таким контурам относятся: система охлаждения двигателя и система охлаждения отходящих дымовых газов.

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;
- датчики давления;
- 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 утилизацией тепла от дизельной электростанции представлена на чертеже с шифром ФЮРА.421000.010 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 переключатели положения 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 TCP.

4 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ АСУ

Функциональная схема – это технический документ, определяющий функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического управления, регулирования и контроля технологическим процессом, а также снабжение приборами и средствами автоматизации объекта управления [14].

При разработке функциональных схем автоматизации технологических процессов решаются следующие задачи:

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

На основании выбранной структурной схемы АСУ составим перечень регулируемых параметров технологического процесса. Основным контролируемым параметром является расход теплоносителя-воды в контуре теплообмена вода – антифриз и вода – дымовые газы. Дополнительными контролируемыми параметрами являются расход и температура антифриза контура охлаждения двигателя, а также температура отходящих дымовым газом после теплообменника.

Таким образом, регулируемым параметром для такой автоматизированной системы управления является расход воды. Значения контролируемых параметров в ходе технологического процесса приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Значения контролируемых параметров

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Расход воды	22,1 м ³ /ч
2	Расход антифриза	24,5 м ³ /ч
3	Температура отходящих газов после теплообменника	90 °С

При поддержании данных значений параметров теплопроизводительность теплового модуля составляет 1000 кВт·ч или 0,86 Гкал.

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

- технологическую схему объекта автоматизации;
- первичные и другие средства автоматизации;
- щит автоматизации;
- линии связи между техническими средствами автоматизации;
- основную надпись.

Технологическое оборудование на функциональной схеме изображено в соответствии с ГОСТ 21.403-80 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 [14].

Функциональная схема АСУ утилизации тепла представлена на листе с шифром ФЮРА.421000.010 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 диспетчерской.

Для измерения температуры уходящих газов используется датчик температуры 2б, 21б, 27б унифицированный токовый сигнал с которого поступает на вход программируемого логического контроллера.

Расход воды и антифриза измеряется с помощью метода переменного перепада давления, поэтому в трубопроводах устанавливаются сужающие устройства 5а и 18а, создающее перепад давления, который определяется с помощью измерительных преобразователей разности давлений 5в и 18в, установленных по месту. Далее унифицированный сигнал подаётся на устройства отображения и обработки информации – измеритель многоканальный и программируемый логический контроллер соответственно.

Измерение расхода продуктов сгорания производится аналогично. Для создания перепада давления в трубопроводе устанавливается сужающее устройство. С помощью импульсных труб давления до и после сужающего устройства поступают на измерительный преобразователь 4в, на выходе которого формируется унифицированный токовый сигнал, который и подается на программируемый логический контроллер.

В каждом трубопроводе устанавливаются также датчики давления с унифицированным токовым сигналом, информация с которых поступает на измеритель многоканальный и программируемый логический контроллер.

Вся информация, поступающая на ПЛК, обрабатывается согласно заложенным алгоритмам, и выдаются управляющие сигналы, которые, в свою очередь, подаются на блоки управления 6б, 8б, 13б, 16б, 22б, 25б исполнительными механизмами 6а, 8а, 13а, 16а, 22а, 25а. Исполнительный механизм, соединённый жёсткой механической связью с регулирующим

органом, поворачивает его, регулируя тем самым расход продуктов сгорания, антифриза и воды сетевой.

Управление исполнительными механизмами также возможно с блоков ручного управления 6в, 8в, 13в, 16в, 22в, 25в в ручном режиме.

Управление впрыском мелкодисперсного потока воды в поток дымовых газов производится с помощью электромагнитного клапана с сервоприводом 24а.

Циркуляционные насосы включаются по командам, поступающим с ПЛК или переключателя 1б, 28б с помощью устройств плавного пуска 1а, 26а.

На двери щита автоматизации располагаются измерители многоканальные с индикацией параметров и аварийной сигнализацией 2г, 10г, 18г. На измеритель поступают унифицированные сигналы с датчиков температуры, давления и расхода.

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

Информационные и управляющие функции АСУ, выполняемые техническими средствами автоматизации:

- опрос контрольно-измерительной аппаратуры;
- передача, обработка и хранение информации;
- выработка управляющих сигналов, согласно алгоритму работы;
- контроль теплотехнических параметров и поддержание их в заданном интервале;
- визуализация информации о техническом процессе.

Информационные и управляющие функции АСУ, выполняемые оперативным персоналом:

- дистанционное управление техническим процессом;
- устранение аварийных ситуаций;
- своевременное техническое обслуживание.

5 ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АСУ

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

Выбор технических средств выполняется в два этапа. Первый этап – выбор более подходящего комплекса технических средств зарубежных и отечественных производителей. Второй этап – на основе ранее выбранного комплекта, формируется конкретный комплекс технических средств автоматизации для разрабатываемой АСУ.

Базовый комплект технических средств автоматизации составляется на основе характеристик проектируемого технического комплекса, главными из которых являются:

- тип технологического процесса;
- дискретный или непрерывный по времени характер протекания процесса;
- размерные характеристики технологического объекта управления;
- специфика исполнительных устройств (пневмопривод, электропривод, электронагрев);
- температура, влажность, давление, агрессивность окружающей среды технологического объекта;
- перспективы расширения, модернизации и развития технологического процесса.

Конкретный комплекс технических средств автоматизации для разрабатываемой АСУ специфическими требованиями, такими как:

- уровень иерархии;
- характер и число регулируемых и измеряемых параметров;

- требования к качеству регулирования и точности измерений;
- какие функции будут выполняться (стабилизация параметров на установленном уровне, управление технологическим циклом, автоматическое регулирование, оптимизация);
- параметры связи с другими автоматизированными системами;
- перспективы развития АСУ данного типа.

Состав комплекса технических средств АСУ может многократно изменяться в процессе проектирования, поэтому выбор КТС не является одноразовым действием.

При выборе первичных измерительных преобразователей важно учитывать максимальные и минимальные значения измеряемого параметра, а также параметров окружающей среды при которых возможно применение таких измерительных преобразователей. Также важно ограничивать минимальным набором количество технических средств, обеспечивающих выполнение требуемых функций при установке их на щит автоматизации.

5.1 Выбор датчика для измерения температуры теплоносителя

5.1.1 Датчик температуры теплоносителя-воды и теплоносителя-антифриза.

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 HVAC (от англ. *Heating, Ventilation & Air Conditioning*).

Датчики преобразуют изменение температуры в изменение электрического сопротивления постоянному току. Различают общепромышленные и специализированные термопреобразователи. Датчики могут быть с кабельным выводом или с коммутационной головкой, в различных

конструктивных исполнениях, которые позволяют устанавливать их на трубе, на стене, погружать в среду и т.д.

Номинальный диапазон температуры воды составляет 30 - 130 °С, температурный диапазон с учетом отклонения 30% от границ диапазона составляет 20 – 170 °С. Номинальный диапазон температуры антифриза составляет 20 - 90 °С, температурный диапазон с учетом отклонения 30% от границ диапазона составляет 15 – 120 °С.

Основные технические характеристики сравниваемых датчиков температуры приведены в таблице 5.1 [15].

Таблица 5.1 – Технические характеристики датчиков температуры

Характеристика	Значение	
	Наименование датчика температуры	P1K0.232.2I.A.025.S
Номинальная статическая характеристика (НСХ)	Pt 1000	Pt 1000
Диапазон измеряемых температур, °С	-50...120	0...200
Количество чувствительных элементов, шт	1	1
Инерционность, с	15	10
Схема соединения	двухпроводная	двухпроводная
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP54	IP54
Выходной сигнал, мА	0...20	4...20

С учетом измеряемого диапазона температур (минимальное значение 15 °С, максимальное 170 °С), а также инерционности, выберем датчик ДТС3105-PT1000.B2.70 компании ОВЕН, который предназначен для измерения температуры воды в трубопроводах контуров отопления.

5.1.2 Датчик температуры теплоносителя-дымовых газов.

Номинальный диапазон температуры дымовых газов составляет 100 - 400 °С, температурный диапазон с учетом отклонения 30% от границ диапазона составляет 70 – 650 °С. С учетом такого диапазона измерения, а также для

унификации оборудования измерительного канала температуры, выберем ОВЕН ДТПК045Д-0110.100.1,0.И.ЕХD-Т6 [15]. Выбранный датчик является термопарой «хромель-алюмель», материал защитной арматуры – сталь 12х18Н10Т с диапазоном измерения и преобразования температур: -50...+600 °С, с изолированным рабочим спаем, диаметром термоэлектрода 0,7 мм, с металлической коммутационной головкой, длиной монтажной части 100 мм, в корпусе 045, класс точности 0,1, во взрывозащищенном исполнении (взрывонепроницаемая оболочка 1Ex d IIC T6 Gb X), температурный класс Т6. Основные технические характеристики выбранного датчика приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Технические характеристики датчика температуры ДТПК045Д-0110 [15]

Характеристика	Значение
Номинальное значение напряжения питания (постоянного тока), В	24
Диапазон выходного тока преобразователя, мА	4...20
Инерционность, с	12
Вид зависимости «ток от температуры»	линейная
Номинальное значение сопротивления нагрузки (при напряжении питания 24 В), Ом	250 ± 5 %
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP54

5.2 Выбор датчика для измерения расхода теплоносителя

5.2.1 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, изготовленную из нержавеющей стали, рассчитанную на давление 0,6 МПа.

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

Номинальный диапазон расхода дымовых газов от ДЭС составляет 0 - 270 м³/ч, диапазон с учетом допустимого отклонения 30% от границ диапазона составляет 0 – 350 м³/ч.

Данный диапазон могут измерять такие датчики расхода как Метран-150RFA и Turbo Flow TFG. Расходомер Turbo Flow меньше по стоимости, чем Метран-150RFA, но имеет более низкий показатель надежности, а также не имеет унифицированного аналогового выходного сигнала. Поэтому выберем Метран-150RFA с диапазоном измерения расхода газовых сред до 500 м³/ч, с выходным унифицированным токовым сигналом 4 – 20 мА с протоколом HART, который позволяет управлять параметрами датчика удаленно [16].

5.2.2 Выбор датчика для измерения расхода жидких сред

По методу измерения расхода воды (и антифриза) 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.

Номинальный диапазон расхода сетевой воды и антифриза одинаков и составляет 0 - 35 м³/ч, диапазон с учетом допустимого отклонения 30% от границ диапазона составляет 0 – 45 м³/ч.

Измерение такого диапазона могут обеспечить расходомеры могут Метран-150CD и Rosemount 3051SFC. Так как оба расходомера имеют схожие технические характеристики, с целью унификации выберем датчик серии “Метран”. Он предназначен для измерения разности давлений и непрерывного преобразования значения измерения в унифицированный токовый аналоговый сигнал в стандарте протокола HART, или на базе интерфейса RS-485 в цифровой сигнал.

Основные технические характеристики измерительного преобразователя Метран-15-CD приведены в таблице 5.3 [16].

Таблица 5.3 –Технические характеристики измерительного преобразователя Метран-150-CD

Характеристика	Значение
Температура окружающего воздуха, °С	-50...+50
Верхний предел измерения, м ³ /ч	100
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.

5.3 Выбор датчика для измерения давления жидких сред

Преобразователи давления предназначены для работы в системах автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами.

Область применения преобразователей давления – системы контроля, автоматического регулирования и учета в различных отраслях промышленности, в том числе в областях, подконтрольных органам Ростехнадзора, и в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Рабочая среда для преобразователя давления – жидкости (в том числе техническая вода), пар, газы, парогазовые и газовые смеси при давлении, не превышающем верхний предел измерения преобразователя и не агрессивные к материалу измерительной мембраны.

Номинальный диапазон измерения давления воды и антифриза одинаков и составляет 0,2 – 0,6 м³/ч, диапазон с учетом допустимого отклонения 30% от границ диапазона составляет 0,14 – 0,78 м³/ч.

Основные технические характеристики сравниваемых преобразователей давления приведены в таблице 5.4 [15].

Таблица 5.4 – Технические характеристики преобразователей давления

Характеристика	Значение	
	Наименование датчика давления	WKA A-10
Диапазон рабочих температур измеряемой среды °С	0...25	-40...+120
Напряжение питания, В	12...20	12...36
Верхний предел измерений, МПа	1	1
Схема соединения	двухпроводная	двухпроводная
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP65	IP65
Выходной сигнал, мА	4...20	4...20

Для измерения давления жидких сред системы утилизации тепла выберем датчик давления ОВЕН ПД100-ДИ2,5-311-1. Этот датчик представляет собой преобразователь избыточного давления с керамической измерительной мембраной, сенсором на основе технологии ТНК и кабельным вводом стандарта EN175301-803 (DIN43650 A).

Данная модель характеризуется наиболее бюджетной ценой и устойчивостью к агрессивным средам.

Преобразователи данной модели предназначены для систем регулирования и управления на объектах жилищно-коммунального хозяйства: прямых и обратных трубопроводах сетевой воды систем ГВС/ХВС, теплосчетчиках, станциях подкачки воды и т.п., где не требуется высокая точность измерений.

5.4 Выбор датчика для измерения давления продуктов сгорания

Номинальный диапазон измерения давления воды и антифриза одинаков и составляет 1 – 1,4 м³/ч, диапазон с учетом допустимого отклонения 30% от границ диапазона составляет 0,7 – 1,8 м³/ч.

Для унификации оборудования канала измерения давления выберем преобразователь давления ОВЕН ПД100И-ДИО,1-811-0,2.

Датчики давления ОВЕН ПД100И модели 811 представляют собой преобразователи давления с открытым измерительным кремниевым кристаллом сенсора и кабельным вводом стандарта EN175301-803.

Данные модели измеряют низкие давления неагрессивных газов, в том числе метана. Преобразователи данной модели предназначены для создания систем автоматического регулирования и управления в котельной автоматике, системах вентиляции, на тепловых пунктах и т.п. Основные технические характеристики преобразователя давления приведены в таблице 5.5 [15].

Таблица 5.5 – Технические характеристики датчика давления ПД100И-ДИО,1-811-0,2

Характеристика	Значение
Диапазон рабочих температур измеряемой среды, °С	-40...+185
Напряжение питания, В	12...36
Верхний предел измерений, МПа	2
Схема соединения	двухпроводная
Степень защиты (по ГОСТ 14254)	IP65
Выходной сигнал, мА	4...20

5.5 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 данном проекте 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 [15]:

- мощные вычислительные ресурсы и большой объем памяти;
- наличие дискретных и аналоговых входов/выходов на борту контроллера;
- наличие последовательных портов (RS-232, RS-485) на борту контроллера;
- наличие порта Ethernet для включения в локальные или глобальные сети верхнего уровня;
- поддержка протоколов обмена Modbus (RTU, ASCII), ОВЕН, DCON;
- возможность работы напрямую с портами контроллера, что позволяет

подключать внешние устройства с нестандартными протоколами.

Для соответствия типам входных и выходных аналоговых сигналов, выберем контроллер ОВЕН ПЛК160-220.А.М. Тип поддерживаемых унифицированных сигналов ток 4-20 мА и 0-5 мА, напряжение 0-10 В. Тип цифро-аналогового преобразователя выходов контроллера унифицированный, т.е. ток 4-20 мА или напряжение 0-10 В. Напряжение питания дискретных входов 24 ± 3 В. Дискретные выходы – контакты электромагнитных реле. Питание ПЛК осуществляется от сети 220 В, 50 Гц.

5.6 Выбор исполнительного механизма

Приводной частью регулирующего органа 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.

Выбираем механизм электрический однооборотный типа МЭО-630/25-0,25-92КБ с техническими характеристиками, приведенными в таблице 5.6 [17].

Таблица 5.6 – Технические характеристики исполнительного механизма МЭО-630/25-0,25-92КБ

Характеристика	Значение
Номинальное значение крутящего момента, Н·м	630
Тип двигателя	АИР56А4
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, 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-630/25-0,25-92КБ 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.

Для управления впрыском мелкодисперсного потока воды в высокотемпературный газовый поток, применяется клапан электромагнитный (соленоидный) типа EV220W с сервоприводом.

5.7 Выбор блока управления

В проекте 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-630/25-0,25-92КБ) – БУЭР 3-30-02 является современным аналогом ПБР-3А [18].

Основные технические характеристики интеллектуального блока управления типа БУЭР3-30-02 приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 –Технические характеристики блока управления БУЭР3-30-02

Характеристика	Значение
Входной сигнал от датчика положения, мА	4... 20
Электрическое питание, В	380
Режим работы	повторно-кратковременный

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

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

5.8 Выбор циркуляционного насоса

Для АСУ утилизацией тепла необходимы циркуляционные насосы в контурах теплоносителей воды и антифриза. Запуск и останов насосов осуществляется с помощью устройства плавного пуска Овен УПП1-1К5-В. 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, выбран насос ЦНС 180-128. Основные технические характеристики насоса приведены в таблице 5.8 [19].

Таблица 5.8 –Технические характеристики насоса ЦНС 180-128

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

5.9 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 5.9 [20].

Таблица 5.9 –Технические характеристики блока ручного управления БРУ-110

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:

– измерение и индикация технологического параметра (с сигнализацией отклонений) и сигнала положения исполнительного механизма;

- ручное или дистанционное переключение с автоматического управления на ручной и обратно;
- кнопочное управление импульсными исполнительными устройствами;
- кнопочное управление аналоговыми исполнительными устройствами;
- индикация режимов управления;
- индикация сигналов регулирующего устройства с импульсным выходным сигналом (сигналы типа больше-меньше и сигналы ШИМ-модулятора).

5.10 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 5.10 [15].

Таблица 5.10 – Технические характеристики измерителя аналогового УКТ38

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

5.11 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 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 5.11 приведены два компьютера, между которыми производится выбор.

Таблица 5.11 – Технологические характеристики компьютеров

Характеристика	Значение	
	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
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

Более лучшие характеристики имеет компьютер производителя Acer, потому остановим выбор на данной электронно-вычислительной машине.

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. Главная цель проекта – это простота и удобство для конечного пользователя.

На основе выбранного оборудования и схемы функциональной составлена заказная спецификация средств автоматизации, приведенная в приложении Б.

6 ПЕРЕЧЕНЬ ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ

В таблице 6.1 представлен перечень выходных аналоговых сигналов вводимого оборудования системы, где ТПУ - тег параметра устройства.

Таблица 6.1 – Перечень выходных аналоговых сигналов

Наименование ТПУ	Описание	Единицы измерения	Диапазон измерения	Тип сигнала
Дымоход продуктов сгорания ГВТ				
GVT_KV1_TU	КВ1. Управление задвижкой переключения потока дымовых газов от ДВС	%	0...100	4...20 мА
GVT_KV2_TU	КВ2. Управление задвижкой переключения потока дымовых газов от теплообменников	%	0...100	4...20 мА
Трубопровод антифриза ТА				
TA_KV3_TU	КВ3. Управление задвижкой переключения потока антифриза от ДВС	%	0...100	4...20 мА
TA_KV4_TU	КВ4. Управление задвижкой переключения потока антифриза от теплообменников	%	0...100	4...20 мА
Трубопровод сетевой воды ТВ				
TV_KV5_F_TU	КВ5. Управление задвижкой по расходу сетевой воды в трубопроводе от потребителя	%	0...100	4...20 мА
TV_KV6_F_TU	КВ6. Управление задвижкой по расходу сетевой воды в трубопроводе к потребителю	%	0...100	4...20 мА

В таблице 6.2 представлен перечень выходных дискретных сигналов вводимого оборудования системы, где ТПУ - тег параметра устройства. Сигналы, передающиеся по интерфейсу RS-485, используют протокол Modbus RTU. Сигналы типа «сухой контакт» используют напряжение до 220 В.

Таблица 6.2 – Перечень выходных дискретных сигналов

Наименование ТПУ	Описание	Тип сигнала
Трубопровод антифриза ТА		
TA_KV_3_1_TU	Задвижка ТА/КВ3.1 Управляющий сигнал “Открыть. Положение 1”	RS-485
TA_KV_3_2_TU	Задвижка ТА/КВ3.2 Управляющий сигнал “Закрыть. Положение 1”	RS-485
TA_KV_3_3_TU	Задвижка ТА/КВ3.3 Управляющий сигнал “Открыть. Положение 2”	RS-485

Продолжение таблицы 6.2

Наименование ТПУ	Описание	
TA_KV_3_4_TU	Задвижка ТА/КВ3.4 Управляющий сигнал “Заккрыть. Положение 2”	RS-485
TA_KV_4_1_TU	Задвижка ТА/КВ4.1 Управляющий сигнал “Открыть. Положение 1”	RS-485
TA_KV_4_2_TU	Задвижка ТА/КВ4.2 Управляющий сигнал “Заккрыть. Положение 1”	RS-485
TA_KV_4_3_TU	Задвижка ТА/КВ4.3 Управляющий сигнал “Открыть. Положение 2”	RS-485
TA_KV_4_4_TU	Задвижка ТА/КВ4.4 Управляющий сигнал “Заккрыть. Положение 2”	RS-485
TA_N_S1_TU	ТА1. Насос. Управляющий сигнал “Пуск”	Сухой контакт
TA_N_S2_TU	ТА1. Насос. Управляющий сигнал “Стоп”	Сухой контакт
Дымоход продуктов сгорания ГВТ		
GVT_KV_1_1_TU	Задвижка ГВТ/КВ1.1 Управляющий сигнал “Открыть. Положение 1”	RS-485
GVT_KV_1_2_TU	Задвижка ГВТ/КВ1.2 Управляющий сигнал “Заккрыть. Положение 1”	RS-485
GVT_KV_1_3_TU	Задвижка ГВТ/КВ1.3 Управляющий сигнал “Открыть. Положение 2”	RS-485
GVT_KV_1_4_TU	Задвижка ГВТ/КВ1.4 Управляющий сигнал “Заккрыть. Положение 2”	RS-485
GVT_KV_2_1_TU	Задвижка ГВТ/КВ2.1 Управляющий сигнал “Открыть. Положение 1”	RS-485
GVT_KV_2_2_TU	Задвижка ГВТ/КВ2.2 Управляющий сигнал “Заккрыть. Положение 1”	RS-485
GVT_KV_2_3_TU	Задвижка ГВТ/КВ2.3 Управляющий сигнал “Открыть. Положение 2”	RS-485
GVT_KV_2_4_TU	Задвижка ГВТ/КВ2.4 Управляющий сигнал “Заккрыть. Положение 2”	RS-485
Трубопровод сетевой воды ТВ		
TV_KV_5_1_TU	Задвижка ТВ/КВ5.1 Управляющий сигнал “Открыть”	RS-485
TV_KV_5_2_TU	Задвижка ТВ/КВ5.2 Управляющий сигнал “Заккрыть”	RS-485
TV_KV_6_1_TU	Задвижка ТВ/КВ6.1 Управляющий сигнал “Открыть”	RS-485
TV_KV_6_2_TU	Задвижка ТВ/КВ6.2 Управляющий сигнал “Заккрыть”	RS-485
TV_N_S1_TU	ТВ1. Насос. Управляющий сигнал “Пуск”	Сухой контакт
TV_N_S2_TU	ТВ1. Насос. Управляющий сигнал “Стоп”	Сухой контакт

В таблице 6.3 представлен перечень входных аналоговых сигналов вводимого оборудования системы, где ТПУ - тег параметра устройства.

Таблица 6.3 – Перечень входных аналоговых сигналов

Наименование ТПУ	Описание	Единицы измерения	Диапазон измерения	Тип сигнала
Трубопровод антифриза ТА				
ТА ТЕ1_TS	Температура антифриза на выходе от двигателя ДЭС	°С	-50...120	4...20 мА
ТА ТЕ2_TS	Температура антифриза после теплообменника	°С	-50...120	4...20 мА
ТА ФЕ_TS	Расход антифриза	м ³ /ч	0...70	4...20 мА
ТА КV3_TS	Положение задвижки переключения потока антифриза от ДВС	%	0...100	4...20 мА
ТА КV4_TS	Положение задвижки переключения потока антифриза от теплообменников	%	0...100	4...20 мА
Трубопровод сетевой воды ТВ				
ТВ ТЕ1_TS	Температура воды от потребителя	°С	-50...120	4...20 мА
ТВ ТЕ2_TS	Температура воды между теплообменниками	°С	-50...120	4...20 мА
ТВ ТЕ3_TS	Температура воды к потребителю	°С	-50...120	4...20 мА
ТВ ФЕ_TS	Расход сетевой воды	м ³ /ч	0...70	4...20 мА
ТВ РЕ1_TS	Давление сетевой воды в теплообменнике антифриз-сетевая вода	МПа	0...2,5	4...20 мА
ТВ РЕ2_TS	Давление сетевой воды в теплообменнике антифриз-сетевая вода	МПа	0...2,5	4...20 мА
ТВ КV5_TS	Положение задвижки по расходу сетевой воды в трубопроводе от потребителя	%	0...100	4...20 мА
ТВ КV6_TS	Положение задвижки по расходу сетевой воды в трубопроводе к потребителю	%	0...100	4...20 мА
Дымоход продуктов сгорания ГВТ				
ГVT ТЕ1_TS	Температура дымовых газов на выходе от ДЭС	°С	-40...+800	4...20 мА
ГVT ТЕ2_TS	Температура дымовых газов после теплообменника	°С	-40...+800	4...20 мА
ГVT ФЕ_TS	Расход дымовых газов	м ³ /ч	0...150	4...20 мА
ГVT КV1_TS	Положение задвижки переключения потока дымовых газов от ДВС	%	0...100	4...20 мА

В таблице 6.4 представлен перечень входных дискретных сигналов вводимого оборудования системы, где ТПУ - тег параметра устройства. Сигналы, передающиеся по интерфейсу RS-485, используют протокол Modbus RTU. Сигналы типа «сухой контакт» используют напряжение до 220 В.

Таблица 6.4 – Перечень входных дискретных сигналов

Наименование ТПУ	Описание	Тип сигнала
Трубопровод антифриза ТА		
ТА_KV_3_1_TS	Задвижка ТА/КВ3.1 Состояние “Открыта. Положение 1”	RS-485
ТА_KV_3_2_TS	Задвижка ТА/КВ3.2 Состояние “Закрыта. Положение 1”	RS-485
ТА_KV_3_3_TS	Задвижка ТА/КВ3.3 Состояние “Открыта. Положение 2”	RS-485
ТА_KV_3_4_TS	Задвижка ТА/КВ3.4 Состояние “Закрыта. Положение 2”	RS-485
ТА_KV_4_1_TS	Задвижка ТА/КВ4.1 Состояние “Открыта. Положение 1”	RS-485
ТА_KV_4_2_TS	Задвижка ТА/КВ4.2 Состояние “Закрыта. Положение 1”	RS-485
ТА_KV_4_3_TS	Задвижка ТА/КВ4.3 Состояние “Открыта. Положение 2”	RS-485
ТА_KV_4_4_TS	Задвижка ТА/КВ4.4 Состояние “Закрыта. Положение 2”	RS-485
ТА_N_TS	ТА1. Насос. Состояние “В работе/отключен”	Сухой конт.
Дымоход продуктов сгорания ГВТ		
GVT_KV_1_1_TU	Задвижка ГВТ/КВ1.1 Состояние “Открыта. Положение 1”	RS-485
GVT_KV_1_2_TU	Задвижка ГВТ/КВ1.2 Состояние “Закрыта. Положение 1”	RS-485
GVT_KV_1_3_TU	Задвижка ГВТ/КВ1.3 Состояние “Открыта. Положение 2”	RS-485
GVT_KV_1_4_TU	Задвижка ГВТ/КВ1.4 Состояние “Закрыта. Положение 2”	RS-485
GVT_KV_2_1_TU	Задвижка ГВТ/КВ2.1 Состояние “Открыта. Положение 1”	RS-485
GVT_KV_2_2_TU	Задвижка ГВТ/КВ2.2 Состояние “Закрыта. Положение 1”	RS-485
GVT_KV_2_3_TU	Задвижка ГВТ/КВ2.3 Состояние “Открыта. Положение 2”	RS-485
GVT_KV_2_4_TU	Задвижка ГВТ/КВ2.4 Состояние “Закрыта. Положение 2”	RS-485
Трубопровод сетевой воды ТВ		
TV_KV_5_1_TU	Задвижка ТВ/КВ5.1 Состояние “Открыта”	RS-485
TV_KV_5_2_TU	Задвижка ТВ/КВ5.2 Состояние “Закрыта”	RS-485
TV_KV_6_1_TU	Задвижка ТВ/КВ6.1 Состояние “Открыта”	RS-485
TV_KV_6_2_TU	Задвижка ТВ/КВ6.2 Состояние “Закрыта”	RS-485
TV_N_TS	ТВ1. Насос. Состояние “В работе/отключен”	Сухой конт.

7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ АСУ

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. Принципиальные схемы являются основными чертежами для разработки рабочих монтажных чертежей и проведения пусконаладочных работ и квалифицированной эксплуатации этих узлов, устройств и систем электрического принципа действия. Названия принципиальным электрическим схемам присваиваются в соответствии с функциональными принципами действия запроектированной системы. Эти схемы служат также для изучения принципа действия системы, они необходимы при производстве наладочных работ и в эксплуатации [21].

Схема электрическая принципиальная шкафа АСУ теплового модуля системы утилизации тепла от ДЭС приведена на листах с шифром ФЮРА.421000.010 ЭЗ.

При выполнении схемы используются развернутые изображения элементов технических средств. Расположение графического текстового материала выбрано для облегчения чтения этого чертежа. Принципиальная электрическая схема выполнена с применением условных графических изображений.

Линии связи состоят только из горизонтальных и вертикальных отрезков и имеют минимальное число взаимных пересечений. Расстояние между соседними параллельными линиями не менее 5 мм.

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.

Чтение принципиальных электрических схем и особенно эксплуатация электрических установок значительно упрощается, если при разработке схем производить обозначение цепей по функциональному признаку в зависимости от их назначения. Для обозначения участков цепей принципиальных электрических схем применяются арабские цифры одного размера.

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.

Для питания устройств автоматизации, расположенных внутри шкафа, через клеммник 0ХТ1 подводятся гарантированное и негарантированное питание 220 В, 50 Гц.

Через автоматический выключатель QF1 обеспечивается питание контроллера, модулей ввода/вывода, блоков ручного управления, измерителей многоканальных.

Через автоматический выключатель QF2 обеспечивается питание блока питания, преобразующего 220 В переменного тока в 24 В постоянного тока. Соответственно, все цепи сигнализации и управления, которым необходимо питание 24 В, запитаны от этого выключателя.

Через автоматический выключатель QF3 обеспечивается питание цепей сигнализации и управления, которым необходимо питание 220 В.

Распределение фазы после выключателя QF1 осуществляется через предохранители 0,5 А. Также, распределение +24 В после блока питания G1 осуществляется через аналогичные предохранители. Распределение -24 В осуществляется через клеммник ХТ04.

Программируемый логический контроллер ПЛК160 использует сигналы, поступающие от:

- ручных переключателей положения;
- цепей сигнализации;
- приводов насосных агрегатов;

- приводов запорной арматуры;
- датчиков-измерителей температуры;
- датчиков-измерителей давления;
- датчиков-измерителей расхода;
- сигналов с верхнего уровня системы автоматизации.

ПЛК160 вырабатывает управляющие воздействия на привод запорной арматуры, насосных агрегатов согласно алгоритму работы, а также сигнализацию о состоянии системы автоматизации. Работа ПЛК возможна в автоматическом и ручном режимах, причем как дистанционно (используя сигналы с АРМа), так и по месту (используя сигналы с двери шкафа). В автоматическом режиме ПЛК работает согласно загруженной на него коду-программе. В ручном режиме физически отключаются выходы контроллера и управление обеспечивается с двери шкафа с помощью переключателей положения и блоков ручного управления.

Модули ввода и вывода аналоговых сигналов подключены к ПЛК по интерфейсу RS-485, обмен данными происходит по протоколу Modbus RTU.

Унифицированный токовый сигнал 4-20 мА от датчиков-измерителей параметров теплоносителей и приводов запорной арматуры через разветвитель аналоговых сигналов BSG.175 поступает на ПЛК160, измерители многоканальные, блоки ручного управления.

Сигналы управления передаются на устройства через клеммник 4ХТ2, также через данный клеммник обеспечивается передача потенциального сигнала о состоянии работы системы на АРМ оператора. Сигнализация с устройств управления и с верхнего уровня АСУ поступает через клеммник 4ХТ1. Клеммник 7ХТ1 обеспечивает подключение к внутришкафному шлейфу RS-485 устройств полевого уровня.

8 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:

- монтажную документацию щитов и пультов;
- 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 упрощенно изображены элементы системы автоматизации, а также количество и местоположение сборок зажимов.

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

Шкаф автоматизации 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 [22].

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.421000.010 С4, содержит:

- первичные преобразователи, расположенные вне щита;
- внешние средства автоматизации (расположенные «по месту»);
- внешние электрические и трубные проводки;
- щит автоматизации;
- технические требования;
- 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.

Единый односекционный щит автоматизации изображен в виде прямоугольника в нижнем углу чертежа на каждом из листов. В прямоугольнике показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним, жилы кабелей и провода с соответствующей маркировкой. На свободном поле прямоугольника нанесено наименование щита.

Первичные преобразователи и внешние 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.

8.1 Выбор проводов, кабелей и защитных труб

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми или медными жилами. Изоляция, оболочки и наружные покрытия 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 выбраны кабели с алюминиевыми жилами типа АКРВБГ сечением 2,5 мм². Для информационных линий выбраны 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 будет проходить проводка, кабели не будут подвергаться значительным растягивающим усилиям [23].

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 8.1.

Таблица 8.1 – Характеристики проводов и кабелей электропроводки АСУ

№ линии	Марка	ГОСТ, ТУ	Число жил	Номинальное сечение, мм ²	Диаметр, мм
56,57	АКРВБГ	ТУ 16.К71-310-2001	4	2,5	15,51
1-4,6-14,18-55	КРВГ		4	1	10,54
5,15,16,17	КРВГ		6	1	12,39
С1-С6	КИПЭВ		2	0,6	9,2

В щите автоматизации для соединения сборок зажимов с микроконтроллером используется провод с медной жилой и изоляцией из поливинилхлоридного пластиката марки ПуГВнг(А)-LS 1.

9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЩИТА 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 600x800x300 Rittal [24].

Для оперативного контроля за ходом технологического процесса, сбора информации с датчиков, выработки управляющего сигнала, в верхней части монтажной панели щита размещается программируемый логический контроллер «ОВЕН» ПЛК160.

Для размещения внутри щита вспомогательной аппаратуры используются стандартные конструктивные элементы – DIN-рейки.

В левом верхнем углу монтажной панели щита размещается блок питания и блоки реле. В середине монтажной панели размещены клеммные сборки и модули ввода/вывода, а также блоки размножения сигналов. Внизу монтажной панели размещаются клеммные сборки и автоматические выключатели. Кабельный ввод организован снизу щита через кабельный 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 многофункциональные станции ручного управления, измерители

8-ми канальные, переключатели двухпозиционные, световая аппаратура. Кабели от двери щита прокладываются в гибком жгуте.

Электромонтаж щита автоматизации выполняется по схеме электрической соединений с шифром ФЮРА.421000.10 Э4.

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

- вид спереди;
- вид спереди с открытой дверью;
- перечень составных частей;
- 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.

На виде спереди щита проставлены габаритные размеры щита, а также размеры, координирующие расположение настенного крепления.

Чертеж общего вида щита автоматизации приведен на листах с шифром ФЮРА.421000.010 ВО.

10 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРА

10.1 Идентификация объекта управления

Под идентификацией понимается действие, направленное на установление параметра по определенным признакам. Идентификация предназначена для получения математических моделей объекта управления. Существует два вида идентификации: активная и пассивная. Пассивная заключается в наблюдении в режиме нормальной эксплуатации объекта за входными воздействиями и реакции системы на них с последующей обработкой результатов наблюдения. При активной идентификации, на объект подается специально организованное входное воздействие и по реакции объекта при соответствующей обработке результатов получают математическую модель. В инженерной практике применяется активная идентификация.

В данной работе для получения кривой разгона была использована динамическая модель изменения расхода воды в трубопроводе при открытии регулирующего органа (рисунок 10.1).

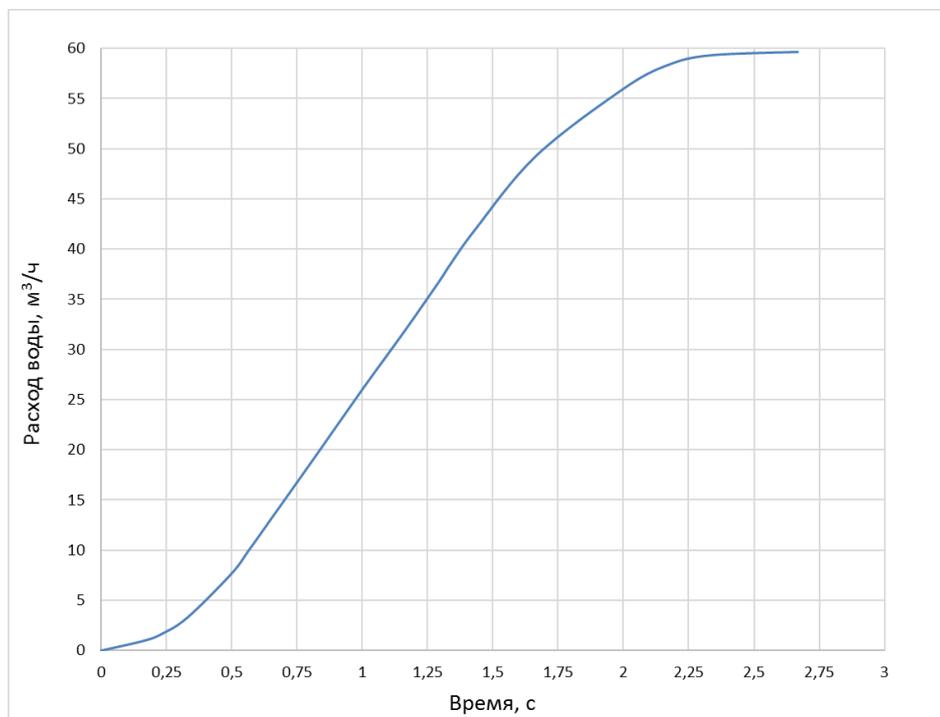


Рисунок 10.1 – Кривая разгона объекта управления

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

Передаточная функция для кривой представляет собой апериодическое звено с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{k}{(TP + 1)} e^{-P\tau}, \quad (10.1)$$

где k – коэффициент усиления;

P – оператор Лапласа;

τ – время запаздывания;

T – постоянная времени.

На графике кривой разгона (рисунок 10.2) строим две точки А и В. Точка А определяется как $0,33 k$, а точка В имеет ординату $0,7 k$.

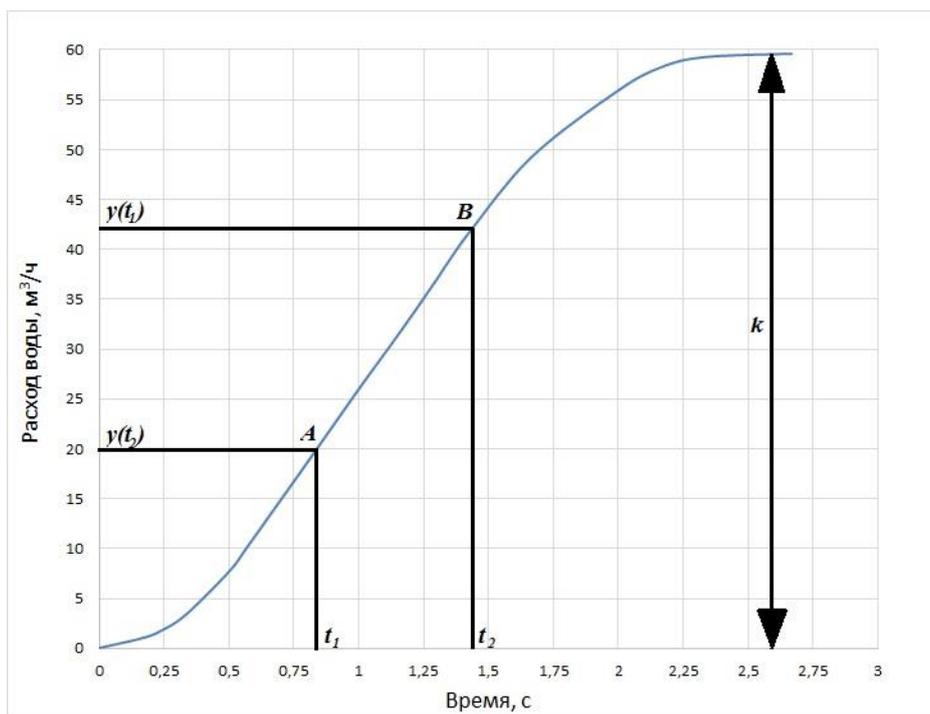


Рисунок 10.2 – Определение точек А и В на кривой разгона

Найдем неизвестные значения – время запаздывания τ и постоянную времени T :

$$y(t) = k(1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}}), \quad (10.2)$$

$$\frac{y(t)}{k} = 1 - e^{-\frac{t-\tau}{T}} \Rightarrow e^{-\frac{t-\tau}{T}} = 1 - \frac{y(t)}{k}, \quad (10.3)$$

$$\frac{t-\tau}{T} = \ln(1 - \frac{y(t)}{k}), \quad (10.4)$$

для t_1 :

$$\frac{\tau - t_1}{T} = \ln(1 - \frac{y(t_1)}{k}), \quad (10.5)$$

для t_2 :

$$\frac{\tau - t_2}{T} = \ln(1 - \frac{y(t_2)}{k}), \quad (10.6)$$

приравниваем:

$$A_1 = \ln(1 - \frac{y(t_1)}{k}), \quad (10.7)$$

$$A_2 = \ln(1 - \frac{y(t_2)}{k}), \quad (10.8)$$

тогда:

$$\begin{cases} \tau - t_1 = A_1 T \\ \tau - t_2 = A_2 T \end{cases}, \quad (10.9)$$

$$T = \frac{t_2 - t_1}{A_1 - A_2}, \quad (10.10)$$

$$\tau_1 = A_1 T + t_1. \quad (10.11)$$

Произведем расчет времени запаздывания и постоянной времени:

$$A_1 = \ln(1 - \frac{19.8}{60}) = -0.4,$$

$$A_2 = \ln(1 - \frac{42}{60}) = -1.2,$$

$$T = \frac{1.61 - 0.8}{-0.4 - (-1.2)} = 1.0125 \text{ с},$$

$$\tau = -0.4 \cdot 1.0125 + 0.8 = 0.395 \text{ с}.$$

Тогда, передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{60}{(1,0125P + 1)} e^{-0,395\tau}. \quad (10.12)$$

10.2 Расчет параметров настройки регулятора

На рисунке 10.3 представлен вид структурной схемы системы регулирования.

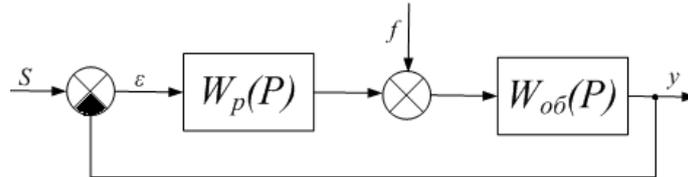


Рисунок 10.3 – Структурная схема системы регулирования

Расчет данной системы регулирования ведется при степени устойчивости $\psi=0,75$.

Определим значение степени колебательности по формуле:

$$m = -\frac{1}{2\pi} \ln(1 - \psi), \quad (10.13)$$

$$m = -\frac{1}{2 \cdot 3.14} \ln(1 - 0.75) = 0.211.$$

Передаточная функция объекта регулирования описывается выражением 10.12. Тогда, произведя подстановку $p = -m \cdot \omega + i \cdot \omega$, получим выражение для РАФЧХ объекта регулирования.

$$W_{об}(m, i \cdot \omega) = \frac{60 \cdot e^{-0,395(-m \cdot \omega + i \cdot \omega)}}{(1,0125 \cdot (-m \cdot \omega + i \cdot \omega) + 1)}. \quad (10.14)$$

Из данного выражения определить расширенные частотные характеристики объекта регулирования.

Расширенная вещественная частотная характеристика (РВЧХ):

$$\text{Re}_{об}(m, \omega) = \text{Re}(W_{об}(m, i\omega)). \quad (10.15)$$

Расширенная мнимая частотная характеристика (РМЧХ):

$$\text{Im}_{об}(m, \omega) = \text{Im}(W_{об}(m, i\omega)). \quad (10.16)$$

Расширенная амплитудно-частотная характеристика (РАЧХ)

$$A_{об}(m, \omega) = \sqrt{\text{Re}_{об}^2(m, \omega) + \text{Im}_{об}^2(m, \omega)}. \quad (10.17)$$

При известной величине $m=0.221$, зададим диапазон частот для расчета от $\omega=0,001 \text{ с}^{-1}$ до $\omega=10 \text{ с}^{-1}$, с шагом по частоте $\Delta\omega = 0.1 \text{ с}^{-1}$. Результаты расчётов представлены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Расширенные частотные характеристики объекта

$\omega, \text{с}^{-1}$	$\text{Re}_{об}(m, \omega)$	$\text{Im}_{об}(m, \omega)$	$A_{об}(m, \omega)$
0,001	60,01858	-0,08449	60,019
0,1	60,95608	-8,75793	61,582
0,199	59,97427	-17,6647	62,522
0,298	57,05639	-26,194	62,782
0,397	52,43407	-33,778	62,372
0,496	46,5303	-40,0044	61,363
0,595	39,85397	-44,6743	59,868
0,694	32,89301	-47,7917	58,017
0,793	26,0423	-49,508	55,94
0,892	19,57621	-50,0531	53,745
0,991	13,65536	-49,6775	51,52
1,09	8,35063	-48,6154	49,327
1,189	3,67089	-47,066	47,209
1,288	-0,41293	-45,1887	45,191
1,387	-3,94996	-43,1056	43,286
1,486	-6,99746	-40,907	41,501
1,585	-9,61353	-38,658	39,835
1,684	-11,853	-36,4041	38,285
1,783	-13,7656	-34,1766	36,845
1,882	-15,3952	-31,9962	35,507
1,981	-16,7799	-29,8759	34,266
2,08	-17,9525	-27,8233	33,112
2,179	-18,9409	-25,8425	32,041
2,278	-19,769	-23,9349	31,043
2,377	-20,457	-22,1	30,115
2,476	-21,022	-20,3365	29,249
2,575	-21,4787	-18,6422	28,441
2,674	-21,8395	-17,0145	27,685
2,773	-22,115	-15,4505	26,978

Параметры настройки регулятора рассчитываются по формулам:

$$\frac{K_p}{T_u} = -\frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (10.18)$$

$$K_p = -\frac{m \cdot \text{Im}_{об}(m, \omega) + \text{Re}_{об}(m, \omega)}{A_{об}^2(m, \omega)}, \quad (10.19)$$

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

Для нахождения значения параметров использовался диапазон значения частот от 0,001 до 2 с⁻¹, с шагом по частоте в 0,1 с⁻¹. Полученные значения представлены в таблице 10.2.

Таблица 10.2 – Результаты расчета ПИ-регулятора

$\omega, \text{с}^{-1}$	K_p	K_p/T_u
0,001	0,00022622	-0,01666
0,1	0,00024222	-0,01556
0,397	0,00361537	-0,01156
0,496	0,00552695	-0,01001
0,595	0,00777858	-0,00836
0,694	0,01033494	-0,00663
0,793	0,01315887	-0,00483
0,892	0,01621164	-0,00295
0,991	0,01945311	-0,00101
1,09	0,02284199	0,00098
1,189	0,02633603	0,00302
1,288	0,02989229	0,00509
1,387	0,03346731	0,00719
1,486	0,03701734	0,00931
1,585	0,04049858	0,01144
1,684	0,04386735	0,01358
1,783	0,04708032	0,0157
1,882	0,05009473	0,01782
1,981	0,05286854	0,01991
2,08	0,05536065	0,02198
2,179	0,05753108	0,02401
2,278	0,05934115	0,026
2,377	0,06075366	0,02794
2,476	0,06173302	0,02983
2,575	0,06224543	0,03165
2,674	0,06225903	0,0334
2,773	0,06174401	0,03508

Для удобства и визуализации строится зависимость от полученных параметров, представленная на рисунке 10.4. Полученная кривая на рисунке, является линией для степени затухания равной 0,75. Все значения параметров настройки, которые будут лежать на этой кривой, будут обеспечивать заданную степень затухания.

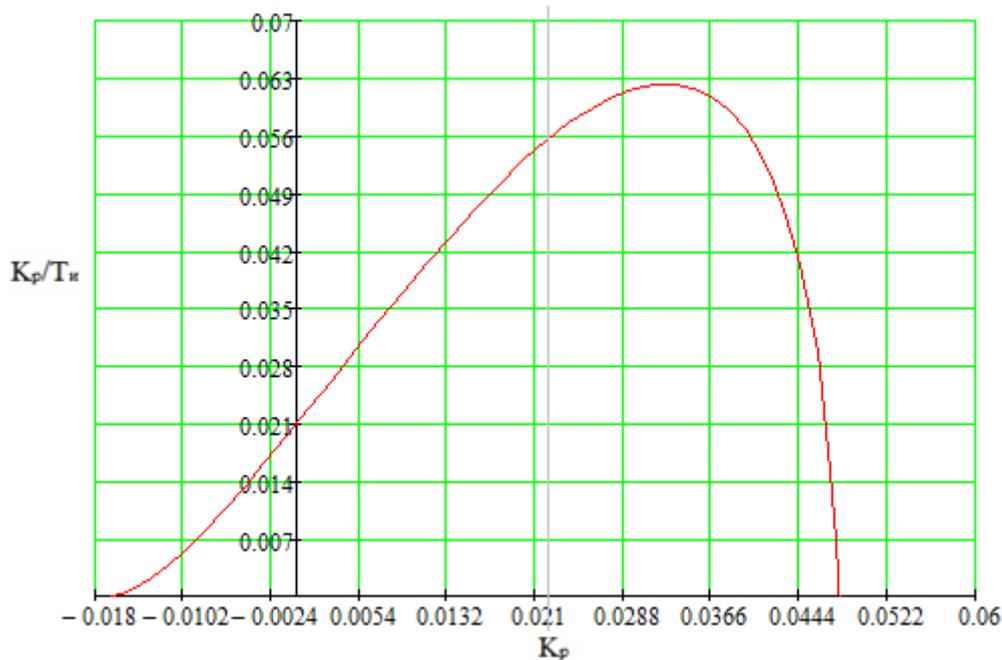


Рисунок 10.4 – Параметры настройки ПИ-регулятора

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 10.2 определяем:

$$\max\left(\frac{K_p}{T_i}\right) = 0.0334, \quad K_p = 0.06226, \quad \text{резонансная частота } \omega = 2,674 \text{ с}^{-1}.$$

Определяем значение постоянной интегрирования:

$$T_u = \frac{K_p}{K_p/T_i}, \quad (10.20)$$

$$T_u = \frac{0,06226}{0,0334} = 1,864 \text{ с.}$$

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

Передаточная функция будет иметь вид:

$$W(P) = \frac{W_{об}(P) \cdot W_p(P)}{1 + W_{об}(P) \cdot W_p(P)} \quad (10.21)$$

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

Переходный процесс идущий в замкнутой системе по каналу задающего воздействия рассчитывается по методу трапеций. Чтобы рассчитать переходный процесс, необходимо определить вещественную частотную характеристику системы. На рисунке 10.5 представлен график вещественной частотной характеристики.

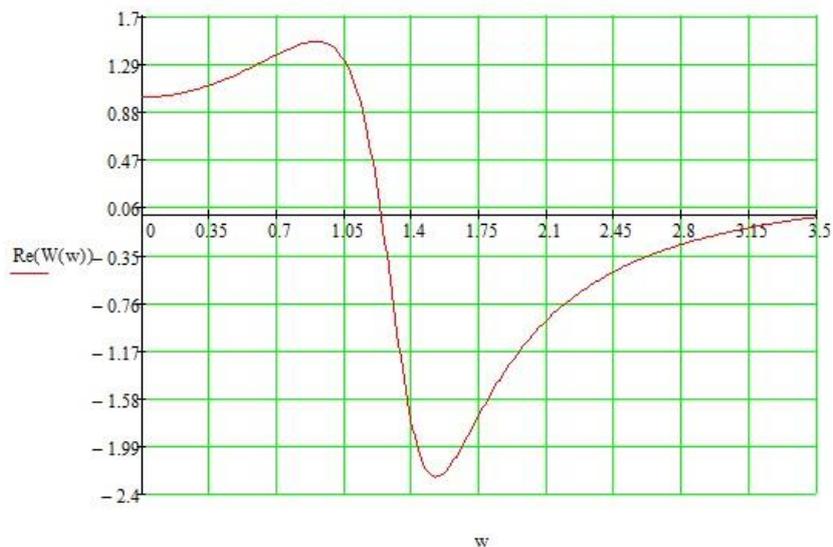


Рисунок 10.5 – Графическое представление вещественно частотной характеристики системы

При нулевых начальных условиях и единичном ступенчатом воздействии связь между переходной характеристикой и ВЧХ системы имеет вид:

$$y(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{\text{Re}_{s-y}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega, \quad (10.22)$$

где t – время переходного процесса в замкнутой АСР.

Для упрощения расчета интеграла $y(t)$, в качестве верхнего предела принимают не бесконечность, а значение частоты среза ω_{CP} , т. е. частоту, при которой график ВЧХ стремится к 0. Из графика, приведенному на рисунке 10.2.3, можно определить эту частоту, $\omega_{CP} = 3,5 \text{ с}^{-1}$.

Тогда переходный процесс в замкнутой АСР по каналу S-Y можно рассчитать по формуле:

$$y_{S-Y}(t) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{3,5} \frac{\text{Re}_{S-Y}(\omega)}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot d\omega. \quad (10.23)$$

На рисунке 10.6 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.

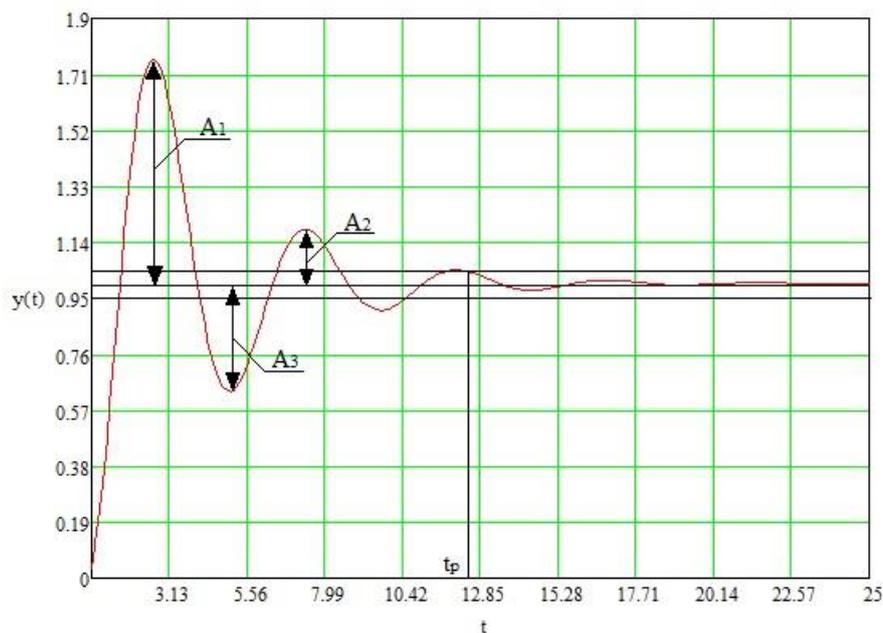


Рисунок 10.6 – Переходный процесс в системе по каналу задающего воздействия

Используя график определяются прямые оценки качества:

– максимальная динамическая ошибка: $A_1 = 0.76$;

– перерегулирование: $\sigma = \frac{A_3}{A_1} \cdot 100\% = \frac{0,18}{0,76} \cdot 100\% = 21\%$,

где $A_3 = 0,18$ - первое минимальное отклонение регулируемой величины;

– степень затухания переходного процесса: $\psi = 1 - \frac{A_2}{A_1} = 1 - \frac{0,366}{0,76} = 0,518$;

где $A_2 = 0,366$ - второй максимальный выброс регулируемой величины;

– статическая ошибка: $\varepsilon_{CT} = S - y(\infty) = 0$;

– время регулирования: $t_p = 12,3$ с.

11 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО, ПРОГРАММНОГО И ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЙ

11.1 Математическое обеспечение АСУ

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

В данной работе представлен алгоритм управления тепловым модулем. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 11.1.

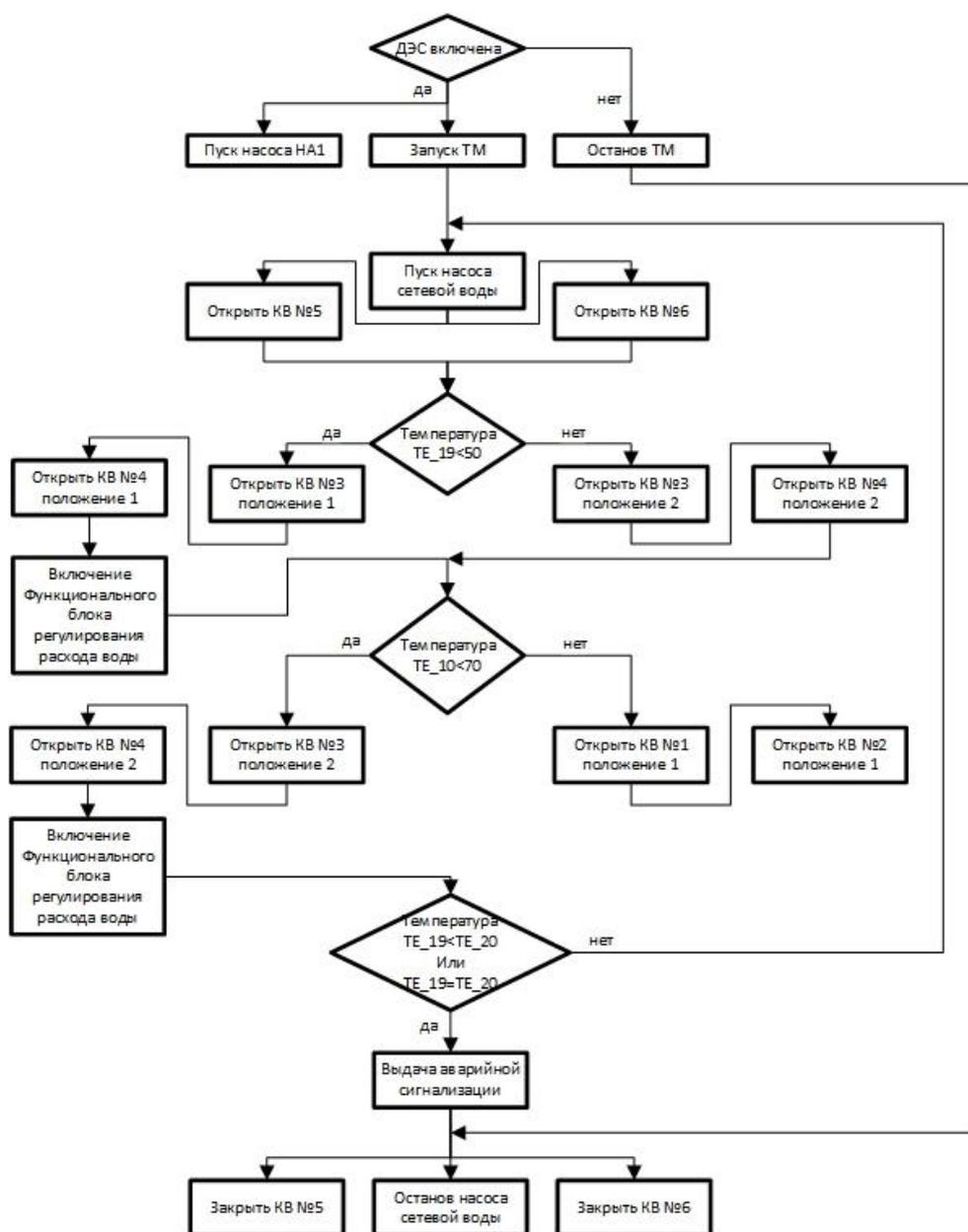


Рисунок 11.1 – Алгоритм управления тепловым модулем

При наличии сигнала о включенном состоянии ДЭС, включается насос антифриза и выдается разрешение на запуск теплового модуля. При наличии разрешения на пуск теплового модуля, запускается насос сетевой воды и открываются задвижки КВ№5 и КВ№6. Если температура сетевой воды от потребителя меньше 50 градусов, то задвижки КВ№3 и КВ№4 открываются в положение 1 и запускается функциональный блок регулирования расхода воды.

Если температура сетевой воды между теплообменниками меньше 70 градусов, то задвижки КВ№1 и КВ№2 открываются в положение 1 и запускается функциональный блок регулирования расхода воды.

Если температура сетевой воды к потребителю больше или равна температуре сетевой воды от потребителя, то выдается сигнал аварии, останавливается насос сетевой воды, закрываются задвижки КВ№5 и КВ№6.

Если температурное соотношение сетевой воды в норме, то работа теплового модуля продолжается в штатном режиме.

11.2 Программное обеспечение АСУ

Программным обеспечением являются программы, которые обеспечивают функционирование, а также решение всех функциональных задач на этапах разработки и наладки цифровых вычислительных средств АСУ, таких как программируемые логические контроллеры, серверы, панели оператора.

Программное обеспечение АСУ разделяется на две категории:

– общее программное обеспечение, которое включает в себя SCADA-системы, операционные системы, софт для программирования контроллеров, графические и текстовые редакторы. Такое программное обеспечение не привязывается к какому-то конкретному объекту, закупается и поставляется, как и технические средства.

– специальное программное обеспечение — это те программы, которые разрабатываются для определенной конкретной АСУ. К таким программам относятся программы для логических контроллеров, реализующие

функциональные задачи управления и обработки информации; программы, для визуализации, разработанные в среде SCADA-систем, для архивирования данных технологического процесса.

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

11.3 Информационное обеспечение АСУ

Информационное обеспечение АСУ включает в себя:

- исходные данные, используемые в процессе разработки системы;
- промежуточные данные, используются для последующей обработки и хранения в базах данных;
- выходные данные, которые передаются на исполнительные устройства для реализации управляющего воздействия, а также визуально отображаются на мониторах рабочих станций, панелях операторов и табло;
- данные пользователям в бумажном или электронном виде;
- система кодирования информации, принятая организацией;
- электронные или бумажные формы входных и выходных документов;
- электронные архивы данных.

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

Информационное обеспечение АСУ – 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 11.2.

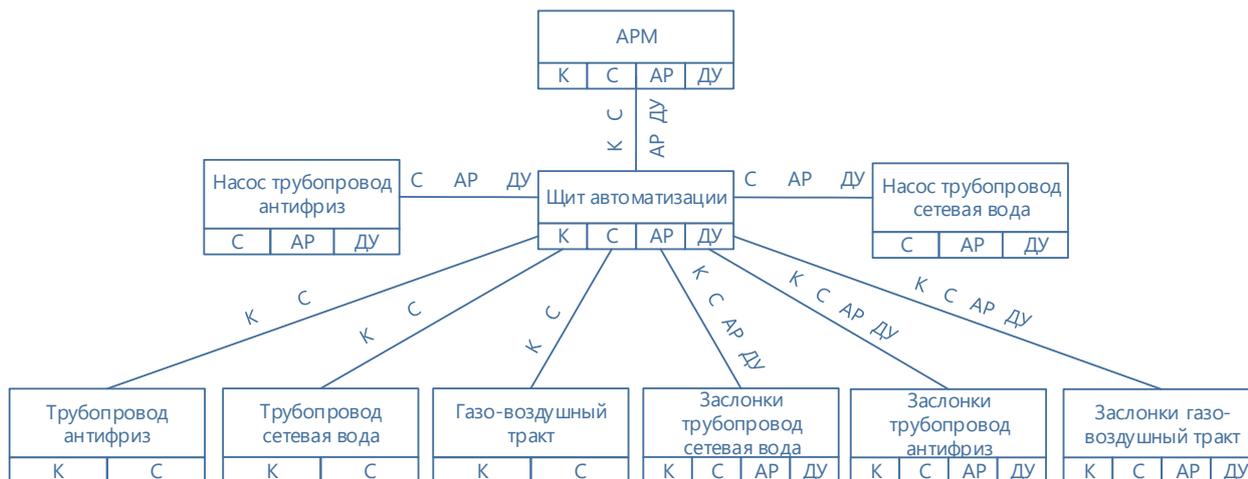


Рисунок 11.2 – Структура управления тепловым модулем:

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

12 РАЗРАБОТКА SCADA-СИСТЕМЫ

Процесс разработки SCADA-систем включает в себя следующие операции:

- разработка графического интерфейса (графики, всплывающие окна, мнемосхемы, таблицы, элементы ввода команд оператором и прочее);
- процесс отладки алгоритмов работы системы промышленной автоматизации АСУ ТП. В большинстве SCADA систем отладку можно выполнить двумя вариантами – в режиме эмуляции оборудования или при подключенном оборудовании;
- произведение настройки систем промышленной коммуникации (модемов, промышленных сетей и коммуникационных контроллеров);
- процесс создания баз данных с дальнейшим подключением к ним SCADA-системы.

SCADA-система должна выполнять следующие задачи:

- осуществление взаимодействия с оператором (представление слуховой и визуальной информации, трансляция системе команд оператора);
- оказание помощи оператору в процессе выработки необходимого решения (выполнение функций экспертной системы);
- автоматическую сигнализацию об аварии и случившихся в критических ситуациях;
- вывод на пульт оператора информации о состоянии процесса;
- ведение журнала событий;
- поиск и извлечение архивной информации, и предоставление её оператору в удобном для него варианте;
- создание отчетов (графики смены операторов, таблицы температур, перечень необходимых действий оператора в определенной ситуации и прочее);
- учет наработки технологического оборудования.

В качестве SCADA пакета, в котором должна проходить разработка мнемосхем была выбрана Simple Scada, исходя из ее доступности, бесплатности, простоты и большой применимости.

Разработанная SCADA система для управления тепловым модулем системы утилизации тепла представлена в приложении Г.

На мнемосхеме отображен технологический процесс утилизации тепла от дизельной электростанции. На экранной форме слева расположено изображение ДЭС с подходящими к ней трубопроводу антифриза и дымоходу продуктов сгорания. По центру экранной формы расположено изображение трубопровода сетевой воды, а также теплообменников и радиатора охлаждения антифриза.

На линиях трубопровода расположены изображения заслонок с указанием режима управления (А - автоматический, М - ручной) и индикацией положения заслонки (зеленый – открыта в данном направлении, красный – закрыта в данном направлении). Также на точках, соответствующих реальному месторасположению датчиков, располагаются области вывода измеренных параметров теплоносителей, поступающих с этих датчиков. При этом, если значение лежит в допустимых пределах, то область вывода подсвечивается зеленым цветом, если значение выходит за нормальный предел – красным.

Справа на экранной форме располагаются области вывода сведений о режиме работы заслонок и насосов, а также их положение.

Внизу экранной формы располагается область вывода о режиме работы теплового модуля и дизельной электростанции. Также внизу располагаются кнопки ручного обновления экранной формы, кнопки выхода в браузер, кнопки возврата на основную экранную форму и кнопка вывода печати. Настройки экранной формы можно изменить нажатием на кнопку «Настройки» в правом нижнем углу, также возможен сброс к настройкам по умолчанию нажатием на кнопку «Сброс настроек».

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

Студенту:

Группа	ФНО
5БМ74	Ушакову Кириллу Павловичу

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	И.Н. Бутякова
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- В исследовании задействовано 2 человека: Руководитель исследования, магистрант. - Исследования выполняются на базе ТИУ - Стоимость материально-технических ресурсов определяется в соответствии с информацией, представленной в научных публикациях.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления в внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИИ</i>	- Техничко-экономическое обоснование научно-исследовательской работы, потенциальные потребители результатов исследования. - Анализ конкурентных технических решений
2. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Разработка календарного, формирование сметы расходов на проектирование
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка ресурсной и финансовой эффективности исследований.
Перечень графического материала:	
1. <i>Календарный план проведения НИИ</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФНО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФНО	Подпись	Дата
5БМ74	Ушаков Кирилл Павлович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5BM74	Ушакову Кириллу Павловичу

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	И.Н. Бутакова
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Тема ВКР:

Автоматизированная система управления процессом утилизации тепла дымовых газов дизельной электростанции	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Характеристика объекта исследования и области его применения	Разработка автоматизированной системы управления тепловым модулем, служащего для утилизации теплоты продуктов сгорания топлива дизельной электростанции блок-контейнерного исполнения.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	- Правила технической эксплуатации дизельных электростанций. Минтопэнерго России от 09.02.1993. - ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. - ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования - ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
2. Производственная безопасность	Вредные и опасные факторы: 1) поражение электрическим током; 2) превышение уровня шума; 3) превышение уровня общей вибрации; 4) недостаточная освещенность; 5) продукты сгорания жидкого топлива; 6) отклонение показателей микроклимата.
3. Экологическая безопасность	Воздействие на окружающую среду: 1) анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 2) анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); 3) разработанные решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация — это пожар. Для предупреждения возникновения ЧС необходимо соблюдение правил ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность».

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Куликова Ольга Александровна	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5BM74	Ушаков Кирилл Павлович		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе магистерской диссертации выполнено экспериментальное исследование по диагностике протекания процессов взаимодействия воздушного потока и мелко распылённой воды, а также разработана автоматизированная система управления процессом утилизации тепла дымовых газов дизельной электростанции.

Перед проведением исследований, был выполнен анализ существующих систем и способов утилизации тепла дымовых газов и способов снижения температуры выбрасываемых в атмосферу продуктов сгорания дизельного топлива. Для научного исследования был сконструирован экспериментальный стенд и разработаны методики снижения температуры газового потока. На основе полученных результатов, были найдены оптимальные параметры распыла мелкодисперсного потока воды.

Для реализации на производстве автоматизированной системы управления процессом утилизации тепла дымовых газов дизельной электростанции, были разработаны функциональная и структурная схема технологического процесса, составлена заказная спецификация приборов и средств автоматизации, спроектированы принципиальная электрическая схема щита автоматизации, чертеж общего вида щита автоматизации, перечень элементов щита автоматизации и спецификация его оборудования, монтажная схема электрических и трубных проводок.

Разработано математическое, информационное и программное обеспечение автоматизированной системы управления утилизацией тепла дымовых газов. Для отображения технологического процесса на автоматизированном рабочем месте оператора выполнена мнемосхема в программной среде Simple SCADA. Для работы системы в автоматическом режиме был написан программный код, загружаемый с помощью программного обеспечения Codesys 2.3 в программируемый логический контроллер. Составлен перечень входных и выходных сигналов вводимого оборудования системы.

Автоматизированная система управления утилизацией тепла дымовых газов соответствует сформулированным к ней требованиям и осуществляет выполнение технологического процесса в автоматическом, ручном и дистанционном режиме. Достоинствами такой системы является трехуровневый принцип организации, сокращение участия оператора в процессе, оснащение современными средствами автоматизации и оборудованием.

В разделе «Социальная ответственность» выявлены и описаны вредные и опасные факторы, возникающие на производстве, а также описаны возможные ЧС и меры по их предупреждению и оповещению.

В разделе «Менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» осуществлено планирование работ на выполнения научного исследования, рассчитан бюджет затрат на научно-исследовательскую работу, рассчитана стоимость оборудования, закупаемого при реализации проекта, а также определена финансовая эффективность проекта, срок окупаемости составил 1 год и 6 месяцев при использовании автоматизированной системы управления утилизацией тепла дымовых газов 3 000 часов в год.

Список источников

1. Косьянов В. А., Черезов Г. В., Меркулов М. В., Головин С. В. Система утилизации теплоты передвижных дизельных электростанций при бурении геологоразведочных скважин. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2010. – 196 с.
2. Маслов В.В. Утилизация теплоты судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1990. – 144 с.
3. Абрамов Г. А. Разработка концепции утилизации теплоты на речных судах. – Н. Новгород, 1994. – 141 с.
4. Безюков О. К., Ерофеев В. Л., Ерофеева Е. В., Пряхин А. С. Энергосбережение: энергетическая эффективность водного транспорта. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2016. – 283 с.
5. Ерофеев В. Л., Маркин В. В. Основы энергосбережения. Энергетическая эффективность водного транспорта. – СПб.: Судостроение, 2006. – 220 с.
6. Артемов А. В., Артемов Г. А., Волошин В. П., Захаров Ю. В., Шквар А. Я. Судовые энергетические установки. – СПб.: Судостроение, 1987. – 480 с.
7. Васильев Б. В., Кофман Д. И., Эренбург С. Г. Диагностирование технического состояния судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1982. – 144 с.
8. Камкин С.В. Анализ КПД судовых дизельных установок. – М.: Транспорт, 1965. – 112 с.
9. Виноградов В. В., Кондратьев В. В. Утилизаторы теплоты выпускных газов поршневых двигателей и газовых турбин // Турбины и дизели. – М., 2006.
10. Г.И. Левченко, И.Д. Лисейкин, А.М. Капелиович. Оребренные поверхности нагрева паровых котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 168с.
11. Ройзен Л.И., Дулькин И.Н. Тепловой расчет оребренных поверхностей. – М.: Энергия, 1977. – 256 с.
12. Юдин В.Ф. Теплообмен поперечнооробренных труб. – СПб.: Машиностроение, 1982. – 189 с.

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. Каталог продукции ОАО «ОВЕН» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.owen.ru/> свободный. – Загл. с экрана.
16. Каталог продукции Промышленная группа «Метран» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/ru-ru/brands/metran/pages/index.aspx> свободный. – Загл. с экрана.
17. Механизмы исполнительные электрические однооборотные. Руководство по эксплуатации ЯЛБИ.421321.004 РЭ. – Чебоксары: ОАО «АБС ЗЭиМ Автоматизация». – 54 с.
18. Блоки управления электродвигателем реверсивные. Руководство по эксплуатации КГЖТ.426436.007 РЭ. – Чебоксары: ЗАО «Волмаг». – 35с.
19. Каталог продукции ПО «Энергомаш» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tomsk.energomash-nasos.ru/nasos-tsns180-128> свободный. – Загл. с экрана.
20. Каталог продукции «Метрол» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mashprom-zvd.ru/wp-content/uploads/2014/11/RE_bru-110_6226_103.pdf свободный. – Загл. с экрана.
21. Клюев А.С., Глазов Б.В. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. Справ. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.
22. ГОСТ 34.201-89. Виды, комплектность и обозначение документов при создании автоматизированных систем. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
23. 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.

24. Каталог продукции ООО "Риттал" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rittal.com/ru-ru/content/ru/start/index.jsp> свободный. – Загл. с экрана.
25. Правила технической эксплуатации дизельных электростанций. Минтопэнерго России. – М.: Изд-во стандартов, 1993.
26. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1978.
27. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
28. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2015.
29. ГОСТ 12.1.019-2017. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Изд-во стандартов, 2017.
30. ГОСТ 12.1.003-2014. ССБТ. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 2014.
31. ГОСТ 12.1.012-2004 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2004.
32. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – М.: Изд-во стандартов, 2016.
33. ГН 2.2.5.686-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. – М.: Изд-во стандартов, 1998.
34. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Изд-во стандартов, 1996.

35. Правила устройства электроустановок. Издание 7. – М.: Изд-во стандартов, 2018.
36. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. – М.: Изд-во стандартов, 2001
37. ГОСТ 12.1.004-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
38. СНиП 21.01-97. «Пожарная безопасность зданий и сооружений». – М.: Изд-во стандартов, 1997.
39. 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. – М.: Изд-во стандартов, 1969.
40. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: Изд-во стандартов, 2003.

Приложение А

Раздел 1

Systems of Heat Utilization: Analytical Review.

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ74	Ушаков Кирилл Павлович		

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

Russia is the largest country in terms of the area of decentralized power supply in the world. More than half of the territory of Russia is currently not connected to the central electricity supply networks. The main reason for this is sparsely populated and swampy areas. Most of the decentralized territories are located in areas of adverse climatic conditions: Siberia, the Extreme North, and the Far East. About 15 million people live in such territories of Russia. Reliable and high-quality supply of these regions is one of the priorities of domestic energy.

Power supply of consumers in decentralized zones is carried out by means of small energy. Under the small energy are considered small power plants, mini-and micro power plants. The main share of energy in the small power industry of Russia is produced by diesel power plants, their approximate number is 50 thousand, and the installed capacity reaches about 15 million kW [1].

Diesel power plants have a large service life, durability and high reliability. The principle of operation of diesel power plants is to convert the thermal energy of internal combustion of diesel fuel of the power plant into the mechanical energy of rotation of the rotor of the generator set. The generator generates electrical energy for consumers. Combustion products are emitted into the atmosphere in the form of flue gases. In order to increase the efficiency of a diesel power station, heat recovery systems can be used. Such systems involve the use of the heat of combustion products for heating the heat-transfer fluid, which can be supplied to the consumer for heating residential and non-residential premises, buildings, and structures.

Heat utilization systems for exhaust gases and water that cool the main engine and diesel generator have been used for a long time in power plants on the marine fleet [2]. This experience has been successfully used in the creation of small thermal power plants, especially in block-container design, where it is necessary to ensure high compactness of heat exchange equipment. Diesel and gas piston power plants are placed in containers. They can be used both in the Extreme North and in desert

conditions. Such power plants are ready for operation and require only a foundation of a simplified design.

Diesel power station of block-container design with heat recovery systems are autonomous sources of combined production of electrical and thermal energy. Installations can be used as a backup, auxiliary or main source of electricity at enterprises, in administrative and medical institutions, at military facilities, construction sites, at airports, hotels, communications centers, in life support systems. Such diesel power stations can operate both autonomously and in conjunction with centralized power supply and heat systems.

A heat recovery unit installed with a diesel power plant allows the heat of the engine and exhaust gas cooling circuit to be used to heat water and then supply water to the heating system and / or hot water supply. The heating capacity is about 80-110% of the diesel generator power. The heat recovery unit consists of a heat recovery boiler, heat exchangers, a hydraulic and gas piping and fitting system, and an automatic control and monitoring system.

1 HEAT RECOVERY SYSTEM. ANALYTICAL REVIEW

1.1 Analysis of existing heat recovery systems for water transport

An analysis of the literature [3–7] shows, that an increase in the efficiency of the work of ship power plants can be achieved:

- providing constant functioning of the serviceable condition of ship engines and other technical means of the vessel, parameters and technical workflow states are regulated manufacturer's technical documentation. Particular attention should be paid to maintaining the serviceable technical condition of fuel injection equipment for fuel consumer;

- the choice of the navigator in the implementation of the voyage of such operating modes of the main engines, which ensure the lowest possible fuel consumption in these operating conditions;

- exclusion of ship energy consumers that are unnecessary during a given period of time, primarily electrical;

- introduction of energy-saving provisions, the most suitable for implementing events for on board secondary heat disposal, the heat of the burned fuel is not returned to the work in implementing the workflow, main and auxiliary engines are not transmitted to the coolant in the autonomous and utilizing boilers, produced by chillers and other objects SEU.

Sources of secondary heat on ships are engine exhaust gases, charge air, cooling water of main and auxiliary engines, refrigeration machines, air conditioning systems and hold cooling. In complex systems, several sources may be involved in various combinations. Diesel generator exhaust gases with a temperature of 250–450 °C are classified as sources of high-grade heat, and cooling water with a temperature of 60–90 °C – sources of low-grade heat.

The specifics of the operation of river vessels imposes a restriction on the use of many modern technologies for heat recovery. On ships built 40 years ago, and on newly built ships, the utilization of the heat of exhaust gases of the internal combustion engine is implemented mainly through the installation of utilization boilers, and the lack of

heat for heating, hot water, heating of liquid cargo is compensated by the operation of an autonomous boiler. At the same time, such flows are released into the environment that could ensure the heat demand of the vessel not only in the warm, but also in the cold period of navigation.

Secondary energy resources on ships, including modern ones, are practically not used or are used insufficiently, and, in addition, certain damage is caused to the environment. Analysis of the reasons for the insufficient use of secondary energy resources on ships is complex, and the main reasons include the following:

- the customer during the construction of the vessel is focused on minimizing capital investments without calculating the operating costs and neglecting the possible savings of fuel spent on heating and hot water supply;

- the lack of automated control systems for the heat recovery systems, which leads to a decrease in the economic efficiency of the heat recovery systems and to the difficulties of integration into the control system.

The task of utilization plants is to increase the degree of heat utilization of waste gases of ship internal combustion engines of a power plant due to more complete utilization of their heat and during the period when the utilization boiler cannot work in some modes of its operation because the temperature of waste gases is less than 160-180 °C, as well as during the period of small needs of ship consumers in thermal energy (for example, when sailing a ship in the tropics).

This task is achieved by the fact that when utilizing the heat of waste gases of the power plant of the vessel, the exhaust gases of the main shipboard internal combustion engines, through their turbo-compressors, are sent to the utilization boiler, where coolant is fed from the steam separator, which is heated in the utilization boiler vapor pipes sent to the steam separator, and the exhaust gases of the main marine engines are sent to the exhaust in the chimney, and the gas temperature for utilization boiler during all engine operation modes is maintained no lower than 160 °C.

The same problem can be solved by replacing the water coolant of the evaporator tubes in waste heat boiler air. To do this, it is necessary to disconnect the evaporator

pipes of the utilization boiler from the steam separator by means of disconnecting valves, dry the evaporator pipes of the utilization boiler from the water heat carrier and supply the air heat carrier to them by communication of the evaporation pipes of the utilization boiler with an air tank communicated with the ship's compressed air system. Then heat the air coolant in the utilization boiler with the flue gases of the ship's engine and feed it to the heat exchanger to desalinate the sea and saline water by opening the corresponding isolating valves of the utilization boiler. Moreover, the brine and hot air obtained at the outlets of the desalination unit can be used for the needs of the vessel, and the steam generated can be sent to the steam separator for condensation.

The utilization of heat losses of main ship internal combustion engines can be carried out using part of the heat of the cooling water only in a vacuum evaporator unit [8]. The heat of the water flow circulating in the engine cooling system is used in an evaporative unit to produce fresh water. This method of utilization has become widespread on motor ships, which is explained by the possibility of using heat of low potential and the resulting economic efficiency.

The device for this method of heat recovery contains the main marine engine, a fresh watercooler, an evaporator, an ejector with a ejector pump, a brine pump, a rotameter, a condensate pump, a seawater pump, a diesel fresh water pump, pipelines and valves that regulate performance evaporative installation by limiting the amount of fresh water through the evaporator installation [8].

The disadvantage of this method and device disposal is the need to maintain the optimum temperature in the engine cooling system due to changes in its mode of operation. As a result, a change in the desalination plant's operation occurs with its change. In this case, with the cooling water of the main engine, less heat is lost than with exhaust gases, since the water cooling the main engine has a lower temperature potential than the gases leaving the engine. Also one of the drawbacks manifested in the operation of any type of desalination plant, is the formation of scale or salt deposits on heat transfer surfaces. The occurrence of scale and contaminating deposits clearly affects the performance of the installation, the quality of the produced water, the failure

of the main apparatus and auxiliary elements and, as a result, the inevitable deterioration of efficiency due to increased costs.

1.2 Analysis of heat recovery systems of block-container execution

The main element of the heat recovery system is the thermal module, also called a block or heat recovery module. It is the thermal module that utilizes the heat from each power plant, which is combined with the heat from other thermal modules and is delivered to the consumer through the assembly heat point. This system is a heat recovery system. Combining the system with the cooling system provides a complete thermal and mechanical system of the object.

Thermal module allows to significantly increase the total efficiency of a thermal power plant, bringing its value to 85-90%. Thus, the main task of the heat recovery system is to save the cost of heat generation, respectively, the introduction of the heat recovery system is fully energy-saving technology.

During the operation of an internal combustion engine, thermal energy is utilized in the thermal module as follows:

- antifreeze heat utilizer removes heat from the engine antifreeze – instead of cooling the antifreeze on the radiator, the antifreeze transfers its heat energy to the consumer's water. Antifreeze heat utilizer is a shell-and-tube or plate-type heat exchanger operating according to the "water-antifreeze" scheme.

- flue gas heat exchanger removes heat from the exhaust of the engine exhaust gases leaving the flue gas temperature at the outlet of the engine of about 450-550 ° C, the gas temperature at the exit from under the gun is 120-180 ° C. This temperature drop allows for substantial heating of the water consumer. Flue gas heat recovery unit

- shell-and-tube heat exchanger operates according to the "water -flue gases" scheme.

Traditionally, the thermal module in full factory readiness includes:

- heat exchanger for the exhaust gases;
- heat exchanger antifreeze;
- switch flow exhaust with control;
- piping in the line of antifreeze and network water;

- bypass pipeline with butterfly valves;
- frame base.

As a heat exchanger, the exhaust gases-water uses a surface heat exchanger (heat recovery boiler). The waste heat boiler constructively consists of a bundle of pipes along which heated water moves. A bundle of pipes with coolant - water is located in the shell, inside which, opposite to the direction of water movement in the pipes, the coolant moves - exhaust gases.



Figure 1.2.2 - Thermal module TMM-TM for gas-piston installation FG Wilson



Figure 1.2.3 - Thermal module TMM-TMTM.1350 for gas-piston installation
Caterpillar G3516B

1.3 Analysis of thermal modules and heat exchangers

With combined energy production, the heat exchanging equipment of the power plant includes additional heat exchangers utilizing the heat of the engine exhaust gases and the heat of the liquid that cools the engine.

Gas-liquid heat exchangers of diesel power plants of relatively low power (up to 1 MW) can be made shell-and-tube. Despite the low overpressure, the exhaust gases are directed to the inside of straight, smooth pipes, and the heated coolant (antifreeze or process water) moves in a longitudinal-transverse flow in the annular space.

Exhaust gases contain sticky particles of soot and / or unburned lubricating oil. They form porous low heat-conducting deposits on the pipe walls, which significantly reduce the heat capacity of the utilizer and increase the aerodynamic resistance of its gas path. After the mechanical cleaning of the inner surface of the pipe, its initial indicators are fully restored.

Gas-water utilizers can be put into action and stopped when the engine is running. The increase in pressure in the annular space as a result of partial vaporization is eliminated by the release of steam through a safety valve with increasing fluid pressure by more than 5% of the nominal value.

In order to increase the compactness and reduce the metal consumption of heat exchangers, the external surface of the pipes is increased due to the transverse spiral finning. Such a heat exchanger is intended for operation as part of a powerful gas-piston installation and is made of a number of typical tubular compact packages housed in a gas path. The finning of pipes from the gas side increases the compactness of the heat exchanger, but at the same time makes it difficult to periodically clean it.

The low potential heat exchangers of engine cooling media are bulky and metal consuming, despite the high heat transfer coefficients in the paths. This is due to the low temperature pressure between the coolants exchanging heat. Their compactness can be increased by using plate-type heat exchangers with small hydraulic diameters of the channels of both paths. Such a technical solution is quite acceptable for relatively "clean" coolants.

1.4 Analysis of the thermal performance of finned surfaces in heat exchangers

Since the intensity of heat transfer from flue gases to water is low, to increase the heat exchange surface, their pipes are supplied with transverse fins on the outside. As a result, economizers become more compact than smooth walls, that is, they have a large heat exchange surface per unit volume [10].

Increased interest in finned tubes in heat exchange equipment of power plants when burning fossil fuels is also due to the prospect of improving the reliability of heat exchange equipment, reduced length of finned tubes compared to smooth ones, the number of pressure contact joints is reduced.

When designing finned heat exchangers, the issues of determining their rational geometrical parameters are relevant [11]. Depending on the purpose of the heat exchanger there are a number of additional requirements. For example, the minimum dimensions of the heat exchanger, the minimum weight.

Properly designed finning allows several times to increase the amount of heat transferred (at a given temperature) compared with a smooth wall surface. Incorrectly calculated fins may even impair wall heat transfer [12].

To increase the heat exchange surface, the following types of ribs and spikes are used (Figure 1.4.1).

The following characteristics are used to calculate such heat transfer surfaces:

- heat flux transmitted through the base of the ribs.
- rib efficiency. Under the efficiency of the rib, we mean the ratio of the heat flux really diverted by the rib to the stream that would discharge the same ideally conducting rib with a uniform temperature equal to the temperature at the base. The efficiency of the rib varies with changes in thermal conductivity, cross-sectional dimensions and rib height.
- distribution of temperature difference along the height of the rib.

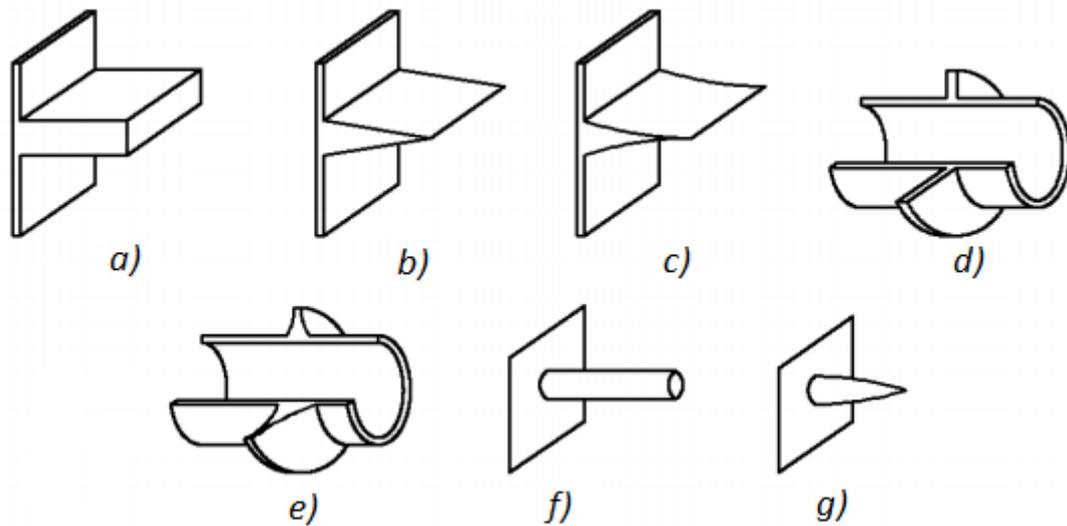


Figure 1.4.1 – Examples of finned surfaces:

a) a longitudinal edge of a rectangular profile, b) a longitudinal edge of a triangular profile, c) a longitudinal edge of a parabolic profile, d) a round pipe with a radial edge of a rectangular profile, e) a round pipe with a radial edge of a parabolic profile, f) a cylindrical thorn, g) a parabolic thorn.

The use of a heating surface with an artificially created roughness is one of the possible ways to intensify heat transfer in a turbulent flow of heat carrier. Types of artificial roughness may be different. Some profiles of such surfaces are shown in Figure 1.4.2.

Roughness of *a* and *b* type is created by applying a thread on the pipe surface. Profiles are obtained by organizing annular protrusions on a smooth pipe. Typically, the height of the projections h is small compared to the diameter of the pipe D . Intensification of heat transfer occurs mainly due to the effect of roughness on the hydrodynamics of turbulent flow. The role of the finning effect (due to an increase in the actual surface area of heat exchange) is usually relatively small.

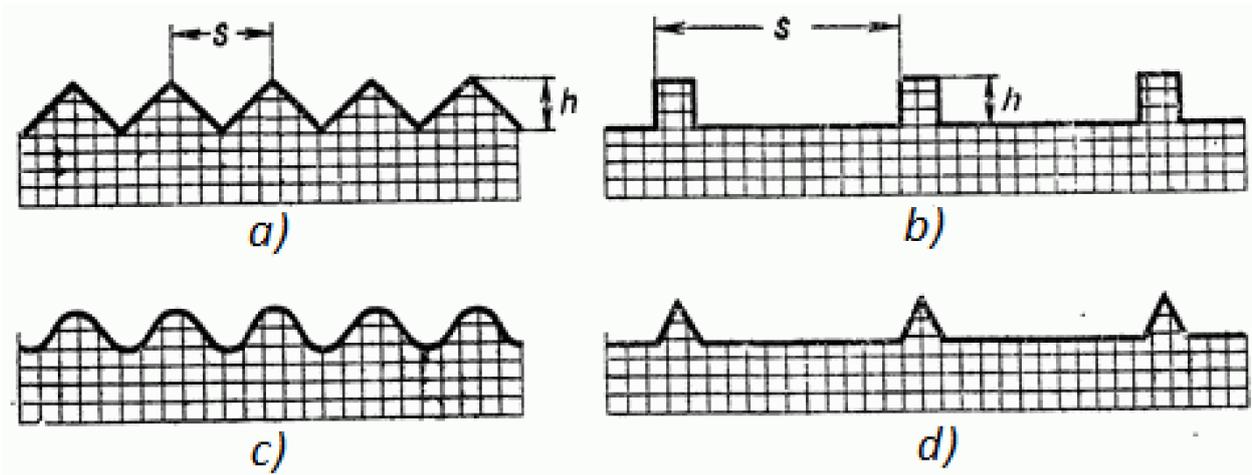


Figure 1.4.2 - Profiles of surfaces with artificial roughness:

a- a triangular carving; b - wavy thread; c - rectangular projections; d - triangular protrusions.

The use of artificial roughness is justified if, with the same amount of heat transferred, a rough surface at a speed w and a smooth surface at a higher speed, provided that:

$$Q_m(\omega) = Q(\omega')$$

The power consumption for pumping the coolant N will be less for a rough surface:

$$N_m(\omega) < Q(\omega')$$

The amount of heat transferred in a smooth pipe is proportional to the flow rate to the power of 0.8:

$$Q = A\omega^{0.8}$$

The coefficient of proportionality A includes all quantities that do not depend on speed (geometrical dimensions of a pipe or channel, physical properties of the coolant, temperature pressure). Its numerical value is the same in both cases.

In case of increase in the velocity of the coolant, the hydraulic resistance increases throughout the entire circulation system of the coolant, while the creation of artificial roughness causes an increase in the hydraulic resistance only in the heat exchange surface area.

Приложение Б
Заказная спецификация приборов и средств автоматизации

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и средств автоматизации	Тип и марка прибора	Кол-во
1	2	3	4
1а, 26а	Устройство плавного пуска УПП1-1К5-В Компания «ОВЕН» г. Москва	УПП1-1К5-В	2
1б, 26б	Переключатель двухпозиционный LA Y5-BD25 ПГ «Schneider Electric»	LA Y5-BD25	2
2б, 21б, 27б	Термопара «хромель-алюмель», с диапазоном измерения и преобразования температур: 50...+600 °С, класс точности 0,1, во взрывозащищенном исполнении температурный класс Т6 Компания «ОВЕН» г. Москва	ДТПКО45Д-0110.100.10.И.ЕХD-Т6	2
2г, 10г, 18г	Измеритель 8-канальный с аварийной сигнализацией Компания «ОВЕН» г. Москва	УКТ38	3
2в, 3в, 4г, 5г, 10в, 11в, 12в, 15в, 18г, 19в, 20в, 21в	Токовый разветвитель аналоговых сигналов BSG.175 Компания «Промстат» г. Москва	BSG.175	12
3б, 10б, 11б, 19б, 20б	Термометр сопротивления платиновый диапазон измерения и преобразования температур: 0...+200 °С, класс точности 0,1, во взрывозащищенном исполнении (взрывонепроницаемая оболочка 1Ex d IIC Т6 Gb X), температурный класс Т6 Компания «ОВЕН» г. Москва	ДТС3105-РТ1000.В2.70	5
4а	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
ФЮРА.421000.010 С01			
Разраб.	Ушаков		
Проб.	Волков		
Н. контр.	Глушков		
Утверд.	Стрижак		
Спецификация приборов и средств автоматизации		Стад ТРП	Лист 1
		Листов 3	
		ТПУ НОЦ ИШЭ Группа 5БМ74	

1	2	3	4
4д	Сосуд разделительный изготовленный из углеродистой стали, рассчитан на температуру от -30 до +380 градусов С НПП «Элемер» г. Зеленоград	СР-25-2-Б	
4в	Интеллектуальный преобразователь разности давлений с пределом измерения расхода до 500 м ³ /ч, с выходным унифицированным токовым сигналом 4 – 20 мА с протоколом HART ПГ «Метран» г. Челябинск	Метран -150RFA	1
5а, 18а	Диафрагма камерная сварная. Таганрогский котельный завод	ДКС 0,6-150 Б/Б	2
5д, 18д	Сосуд конденсационный, условное давление 4 Мпа, исполнение 1, сталь 20 ПГ «Метран» г. Челябинск	СК-4-1-А	2
5в, 18в	Преобразователь разности давлений, микропроцессорный, предел допускаемой основной погрешности ± 0,5 %, верхний предел измерения расхода среды до 100 м ³ /ч, выходной сигнал 4...20 мА, взрывозащищенное исполнение ООО ТД «Тепломеханика» г. Челябинск	Метран-150-СД	2
6а, 8а, 13а, 16а, 22а, 25а	Механизм электроисполнительный однооборотный с номинальным значением момента на выходном валу 630 Нм, номинальное значение времени полного хода 25 с, номинальное значение полного хода 0,25 об., в составе с токовым блоком сигнализации положения выходного вала; год разработки - 1992. ОАО «СКБ СПА», г. Чебоксары	МЭО-630/25-0,25-92КБ	6
6д, 8д, 13д, 16д, 22д, 25д	Блок управления электродвигателем реверсивный, входной сигнал управления 4...20 мА, степень защищенности IP20 ЗАО «Волмаг», г. Чебоксары	БЧЭРЗ-30-02	6
6в, 8в, 13в, 16в, 22в, 25в	Многофункциональная станция ручного управления, 8 входов для подключения датчиков ООО «завод Микрол» г. Челябинск	БРУ-110	6
ФЮРА.421000.010 С01			Лист 2
1	2	3	4

12а	Преобразователь избыточного давления с керамической измерительной мембраной, сенсором на основе технологии ТНК, выходной сигнал 4...20 мА, взрывозащищенное исполнение Компания «ОВЕН» г. Москва	ПД100-ДИ2,5-311-1	1
15а	Преобразователь давления с открытым измерительным кремниевым кристаллом сенсора и кабельным вводом стандарта EN175301-803, выходной сигнал 4...20 мА, взрывозащищенное исполнение Компания «ОВЕН» г. Москва	ПД100И-ДИО,1-811-0,2	1
24а, 24б	Клапан электромагнитный (соленоидный) типа EV220W с сервоприводом, Danfoss A/S, Дания	EV220W	1
Контроллер	Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК160. Универсальные аналоговые выходы (ток 4-20 мА, напряжение 0-10 В). Тип поддерживаемых унифицированных сигналов ток 4-20 мА и 0-5 мА, напряжение 0-10 В. Тип дискретных входов/выходов – релейный. Напряжение питания 220 В.	ПЛК160-200.А-М	1
ФЮРА.421000.010 С01			Лист
			3

Приложение В

Листинг программы автоматизированной системы управления тепловым модулем системы утилизации тепла от ДЭС

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
    DES_work, DES_alarm:BOOL; //сигнал ДЭС в работе, авария ДЭС
    NA1_pusk, NA1_stop:BOOL; //Насос НА1 пуск/стоп
    NA2_pusk, NA2_stop:BOOL; //Насос НА2 пуск/стоп
    NA1_ON, NA1_OFF:BOOL; //Насос НА1 включен/отключен
    NA2_ON, NA2_OFF:BOOL; //Насос НА2 включен/отключен
    TM_pusk, TM_stop:BOOL; //Тепловой модуль включить/отключить
    KV1_rejim, KV2_rejim, KV3_rejim, KV4_rejim: INT; //Положение задвижек
    KV1_open, KV2_open, KV3_open, KV4_open, KV5_open, KV6_open: BOOL;
    KV1, KV2, KV3, KV4, KV5, KV6: REAL; //Процент открытия задвижек
    FE_4, FE_5, FE_18:REAL; //Измеренные значения расходомеров
    FB_Regulator_sv:FB_Regulator_sv; //Функциональный блок регулятора
    FB_ON:BOOL; //Использование функционального блока
    TE_10, TE_19, TE_20: REAL; // Измеренные значения датчиков температуры
    Alarm:BOOL; //сигнал авария
    T_alarm, T1, T2, T3: TON; // аварийный таймер
END_VAR

IF DES_work=1 THEN
    TM_pusk:=1;
    TM_stop:=0;
    NA1_pusk:=1;
    NA1_stop:=0;
    IF DES_alarm=1 THEN
        TM_pusk:=0;
        TM_stop:=1;
        NA1_pusk:=0;
        NA1_stop:=1;
    END_IF
ELSE
    TM_pusk:=0;
    TM_stop:=1;
    NA1_pusk:=0;
    NA1_stop:=1;
END_IF

IF TM_pusk=1 THEN
    NA2_pusk:=1;
    NA2_stop:=0;
    KV5_open:=1;
```

```

KV6_open:=1;
IF TE_19<50 THEN
    T1(IN:=TRUE,PT:=T#15S);
ELSE
    T1(IN:=FALSE,PT:=T#0S);
END_IF
IF TE_19<50 AND T1.Q=1 THEN
    KV3_rejim:=2;
    KV4_rejim:=2;
ELSE
    T1(IN:=FALSE,PT:=T#0S);
    KV3_rejim:=1;
    KV4_rejim:=1;
    FB_ON:=1;
END_IF
IF TE_10<70 THEN
    T2(IN:=TRUE,PT:=T#15S);
ELSE
    T2(IN:=FALSE,PT:=T#0S);
END_IF
IF TE_10<70 AND T2.Q=1 THEN
    KV1_rejim:=1;
    KV2_rejim:=1;
ELSE
    T2(IN:=FALSE,PT:=T#0S);
    KV3_rejim:=2;
    KV4_rejim:=2;
    FB_ON:=1;
END_IF
IF TE_19=TE_20 OR TE_19<TE_20 THEN
    T_alarm(IN:=TRUE,PT:=T#60S);
ELSE
    T_alarm(IN:=FALSE,PT:=T#0S);
END_IF
IF (TE_19=TE_20 OR TE_19<TE_20) AND T_alarm.Q THEN
    Alarm:=1;
    NA2_pusk:=0;
    NA2_stop:=1;
    KV5_open:=0;
    KV6_open:=0;
ELSE
    Alarm:=0;
END_IF
FB_Regulator_sv(

```

```
FB_FE_4:=FE_4,  
FB_FE_5:=FE_5,  
FB_FE_18:=FE_18,  
FB_KV1=>KV1,  
FB_KV2=>KV2,  
FB_KV3=>KV3,  
FB_KV4=>KV4,  
FB_KV5=>KV5,  
FB_KV6=>KV6);
```

```
ELSE
```

```
NA2_pusk:=0;
```

```
NA2_stop:=1;
```

```
KV5_open:=0;
```

```
KV6_open:=0;
```

```
END_IF
```

Приложение Г

Мнемосхема автоматизированной системы управления тепловым модулем системы утилизации тепла от ДЭС

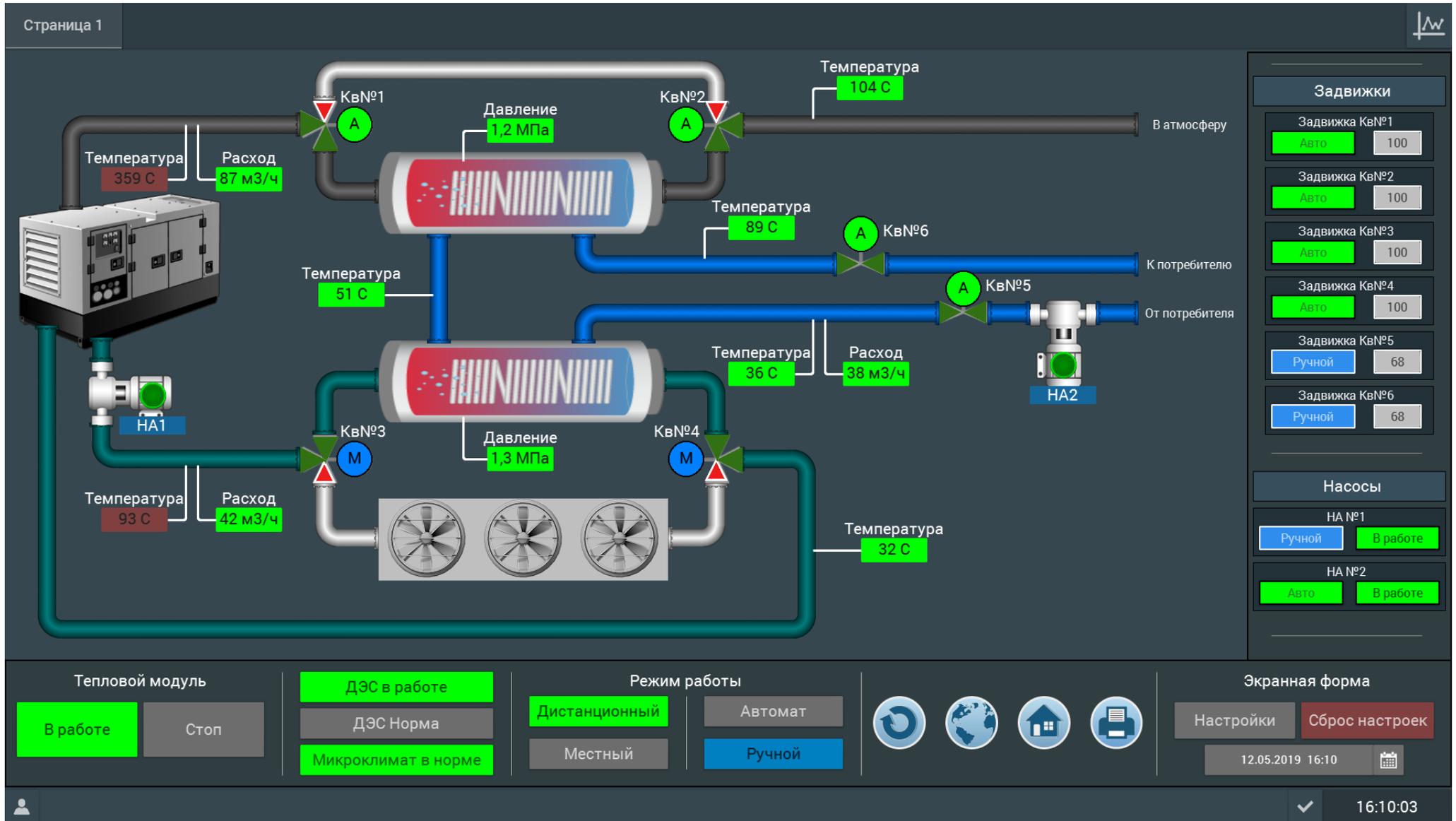


Рисунок Г.1 – Мнемосхема в нормальном режиме работы

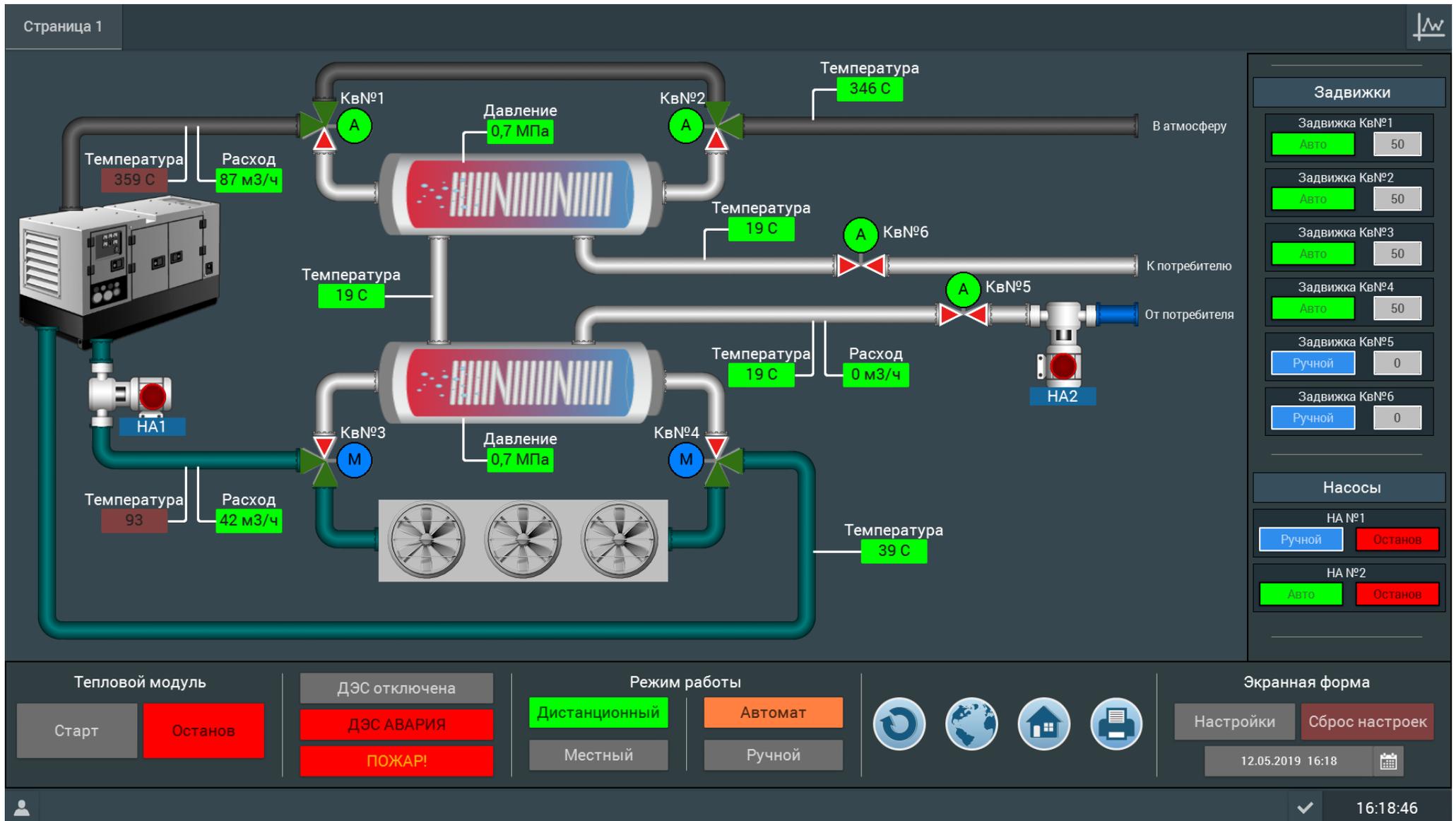


Рисунок Г.2 – Мнемосхема в аварийном режиме работы