

Институт	Энергетический
Направление подготовки	130301 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра	Автоматизация теплоэнергетических процессов (АТП)

Тема работы	
Модернизация системы автоматического регулирования температуры перегретого пара парового котла типа ТГМ-96Б	

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2В	Анисимов Николай Сергеевич		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Медведев Валерий Васильевич	к.т.н.		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Менеджмента	Попова Светлана Николаевна	к.э.н, доцент		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. Экологии и БЖД	Василевский Михаил Викторович	К.Т.Н., доцент		

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АТП	Стрижак Павел Александрович	д.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2016 г.

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

Код резу- ль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий для решения <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	Достигать должный уровень экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.

P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки 130301 Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Автоматизация теплоэнергетических процессов

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой АТП

(Подпись) _____ (Дата) Стрижак П.А.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5Б2В	Анисимову Николаю Сергеевичу

Тема работы:

Модернизация системы автоматического регулирования температуры перегретого пара парового котла типа ТГМ-96Б	
Утверждена приказом директора	3706/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.06.2016 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Модернизация системы автоматического регулирования температуры перегретого пара парового котла типа ТГМ-96 на базе современных технических средств. Цикл работы котлоагрегата непрерывный. Величина температуры перегретого пара на выходе парогенератора должна изменяться в пределах $\pm 5^{\circ}\text{C}$ от базового значения при степени затухания переходного процесса не менее 0,95.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Введение (актуальность темы, цель и постановка задачи). 2) Системный анализ объекта автоматизации. 3) Выбор структурной схемы АСР. 4) Разработка функциональной схемы АСР. 5) Выбор технических средств автоматизации. 6) Расчет параметров АСР.

	7) Разработка принципиальной электрической схемы АСР. 8) Разработка монтажной схемы АСР. 9) Вопросы финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения. 10) Вопросы социальной ответственности.
Перечень графического материала	1) Структурная схема АСР. 2) Функциональная схема АСР. 3) Принципиальная электрическая схема АСР. 4) Схема монтажная.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Технико-экономическое обоснование работы	Попова Светлана Николаевна
Производственная и экологическая безопасность	Василевский Михаил Викторович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б2В	Анисимов Н.С.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 78 страниц, 17 рисунков, 9 таблиц, 20 источников, 1 приложение и 5 листов графического материала.

Ключевые слова: управление, автоматизация, температура, ПИ регулятор, регулирование, котлоагрегат.

Объектом исследования является паровой котел типа ТГМ-96Б.

Цель работы – модернизация автоматической системы регулирования температуры перегретого пара парового котла типа ТГМ-96Б на базе современных технических средств.

В процессе работы проводились выбор и разработка структурной схемы АСР, составлена заказная спецификация средств автоматизации, разработка функциональной схемы АСР, расчет параметров настройки системы автоматического регулирования, а также разработаны принципиальная электрическая и монтажная схемы.

В результате разработана автоматическая система регулирования температуры перегретого пара парового котла ТГМ-96Б.

Содержание

Введение	9
1 Системный анализ объекта автоматизации	10
2 Обзор методов регулирования температуры перегретого пара	13
2.1 Метод смешивания	13
2.2 Метод поверхностного охлаждения	15
2.3 Метод воздействия на тепловосприятие	17
3 Выбор и разработка структурной схемы АСР температуры перегретого пара	19
4 Проектирование функциональной схемы АСР температуры перегретого пара	24
5 Выбор технических средств АСР температуры перегретого пара и составление заказной спецификации	26
5.1 Выбор датчика температуры перегретого пара	26
5.2 Выбор исполнительного механизма	27
5.2.1 Расчет максимального значения крутящего момента	28
5.3 Выбор пускового устройства	29
5.4 Выбор регулирующего устройства	31
6 Расчет параметров настройки системы автоматического регулирования температуры перегретого пара	34
6.1 Получение передаточной функции объекта	34
6.2 Выбор типа регулирующего устройства	37
6.3 Расчёт и построение границы заданного запаса устойчивости АСР	38
6.4 Определение оптимальных параметров настройки ПИ-регулятора	42
7 Проектирование принципиальной электрической схемы АСР температуры перегретого пара	46
8 Проектирование монтажной схемы АСР температуры перегретого пара	49

8.1 Выбор проводов, кабелей и защитных труб	51
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	55
9.1 Анализ экономической целесообразности реализации проекта	55
9.2 Декомпозиция проекта по работам и по видам монтажных работ	57
9.3 Затраты на разработку проекта	60
9.4 Расчет срока окупаемости проекта	63
9.5 Результаты экономического анализа системы	65
10 Социальная ответственность	67
10.1 Уровень шума и вибраций	68
10.2 Показатели микроклимата	69
10.3 Освещенность рабочих мест	71
10.4 Электробезопасность	72
10.5 Пожарная безопасность	72
10.6 Выводы по разделу	73
Заключение	74
Список использованных источников	75
Приложение А Заказная спецификация приборов и средств автоматизации	76
Графический материал:	
ФЮРА.421000.002 С2 АСР температуры перегретого пара. Схема функциональная.	
ФЮРА.421000.002 СТ АСР температуры перегретого пара. Схема структурная.	
ФЮРА.421000.002 ЭЗ АСР температуры перегретого пара. Схема электрическая принципиальная.	
ФЮРА.421000.002 С4 АСР температуры перегретого пара. Схема монтажная.	

Введение

В настоящее время на некоторых объектах теплоэнергетики, системы управления основными технологическими процессами являются морально и физически устаревшими. В частности, то оборудование которое установлено в системах регулирования температур перегретого пара на некоторых тепловых электростанциях уступает современному по причине выработки своего ресурса.

На котлах типа ТГМ-96Б существует необходимость модернизации системы автоматического регулирования перегретого пара, так как существующая система существенно устарела и технические средства которые установлены на ней уже не удовлетворяют техническим требованиям системы регулирования. Актуальной является задача разработки современных систем управления, отвечающих современным требованиям.

Целью выпускной квалификационной работы является модернизация системы автоматического регулирования температуры перегретого пара парового котла типа ТГМ-96Б на базе современных технических средств.

Для выполнения поставленной цели необходимо разработать схемы автоматической системы регулирования и техническую документацию по выбору оборудования.

1 Системный анализ объекта автоматизации

Котельный агрегат ТГМ-96Б предназначен для получения пара высокого давления при сжигании природного газа и высокосернистого и высокосольного мазута. Данные котлы поставляются на ТЭЦ и предназначены для работы с турбинами Т-100/120-130-3 и ПТ-60-130/13 [1].

Данные котлы – вертикально-водотрубные котлы, радиационного типа с естественной циркуляцией, одnobарабанные, с П-образной компоновкой поверхности нагрева. Данный парогенератор имеет паропроизводительность – 480 т/ч, максимальное рабочее давление перегретого пара за ГПЗ – 140 кгс/см².

Одним из важных параметров котла является температура перегретого пара на выходе пароперегревателя, который определяет экономичность и надежность работы котла. Регулирование температуры перегретого пара требует точного поддержания параметров на заданных значениях. Максимальное отклонение температуры от нормы для данного типа котлоагрегатов составляет от минус 5 до плюс 5 °С.

При значительном понижении температуры перегретого пара происходит понижение экономичности работы агрегата и повышение влажности пара на ступенях турбины. Следствием этого может являться гидравлический удар и разрушение лопаток турбины.

Объектом автоматизации является участок трубопровода перед впрыскивающим пароохладителем в рассечке ширмового пароперегревателя и заканчивая главной паровой задвижкой котельного агрегата типа ТГМ-96Б.

Питательная вода, которая получается из возвращаемого с производства конденсата, а также очищенная и специально обработанная подпиточная вода, которая заранее подогревается в подогревателях низкого и высокого давления до температуры 232 °С поступает на входной коллектор водяного экономайзера. Здесь вода нагревается за счет тепла отходящих из топки котла дымовых газов до 352 °С. Далее вода поступает в барабан котла. Барабан заполнен больше чем на половину водой. Из барабана вода, пройдя

настенный пароперегреватель, поступает в нижние коллекторы. После того как вода поднимается, происходит ее вскипание и образование водяного пара. Пар собирается в верхней части барабана (сухой насыщенный пар). Потoki пара проходят все части пароперегревателя.

Участок регулирования расположен между ширмовой и конвективной частью пароперегревателя. На рисунке 1 показана конструкция котельного агрегата типа ТГМ-96Б.

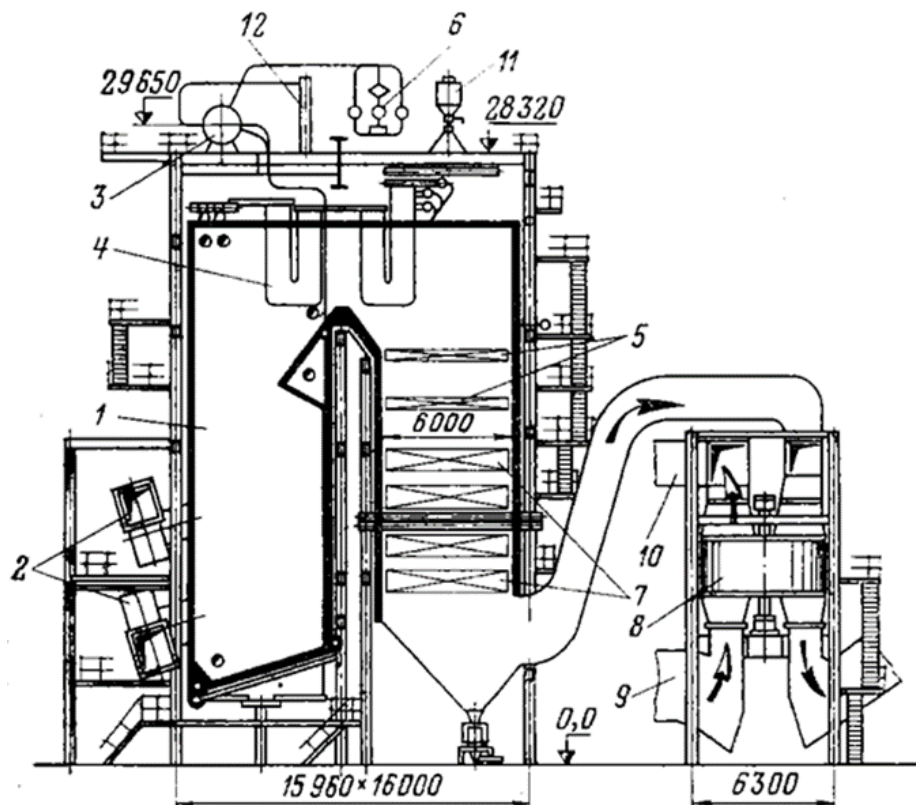


Рисунок 1 – Конструкция котельного агрегата ТГМ-96Б:

- 1 – топочная камера (топка); 2 – газомазутная горелка; 3 – барабан;
 4 – ширма; 5 – конвективная часть пароперегревателя;
 6 – конденсационная установка для впрыскивающих пароохладителей; 7 – экономайзер; 8 – аппарат регенеративного воздухоподогревателя; 9 и 10 – коробка для подачи и вывода воздуха из воздухоподогревателя; 11 – дробеуловитель; 12 – выносной сепарационный циклон.

Движение пара по перегревателю следующее: поток пара подводится по паро-перепускным трубам из барабана котла в панели радиационного настенного пароперегревателя. Далее поток направляется в левую панель потолочного пароперегревателя и движется в направлении от фронта к задней

стенке котла. После потолочного пароперегревателя пар по перепускным трубам направляется в камеру первого пароохладителя. Пройдя его, пар перебрасывается по коллектору на правую сторону котла и далее – в семь крайних правых ширм, по которым движется от задней стенки к фронту котла. Из крайних ширм поток пара направляется во второй пароохладитель. Далее пар перебрасывается на левую сторону котла по коллектору, из него – в восемь средних левых ширм, по которым движется от фронта котла к задней стенке котла. Из выходного коллектора левых средних ширм ширмового пароперегревателя пар по перепускным трубам подводится к верхнему правому пакету конвективного пароперегревателя, затем – в третий пароохладитель. После пароохладителя, прямоточно проходя нижний пакет конвективного пароперегревателя, пар через главную паровую задвижку выходит из котла с давлением, равным 155 кгс/см^2 и температурой $560 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и направляется в главную паровую магистраль.

2 Обзор методов регулирования температуры перегретого пара

В современных котлах для регулирования температуры перегретого пара используются три способа воздействия на нее, такие как смешивание, поверхностное охлаждение и воздействие на тепловое восприятие [2].

2.1 Метод смешивания

Метод смешивания осуществляется посредством впрыска в пар воды или добавлением к нему пара, имеющего более низкое теплосодержание.

Самый распространенный способ регулирования температуры первичного пара – способ впрыска воды в охлаждаемый пар. У впрыскивающих пароохладителей благодаря хорошим динамическим свойствам имеется малое запаздывание и незначительная инерционность. Для улучшения динамических свойств объекта регулирования ВПО устанавливаются в рассечку пароперегревателя таким образом, чтобы величина приращения энтальпии пара в пакете пароперегревателя за местом смешивания составляла 30-40 ккал/кг. На котлах с сильно развитыми пароперегревателями устанавливают несколько впрыскивающих пароохладителей. В данном случае регулирование температуры является более точным, а отдельные пакеты защищаются от значительного перегрева. Для впрыска используют не только питательную воду, но и конденсат турбины или конденсат, который получают из насыщенного пара котла («собственный» конденсат).

Технологическая схема регулирования температуры перегретого пара впрыском питательной воды изображена на рисунке 2.1 [3].

Вода для впрыска отбирается из питательной магистрали 1 до регулирующего клапана парового котла 2 и через регулирующий клапан впрыска 3 вводится в поток пара между первым 4 и вторым 5 пакетами перегревателя. Клапан 2 регулирует расход питательной воды, которая проходя через экономайзер 6 поступает в барабан 7 котельного агрегата [3].

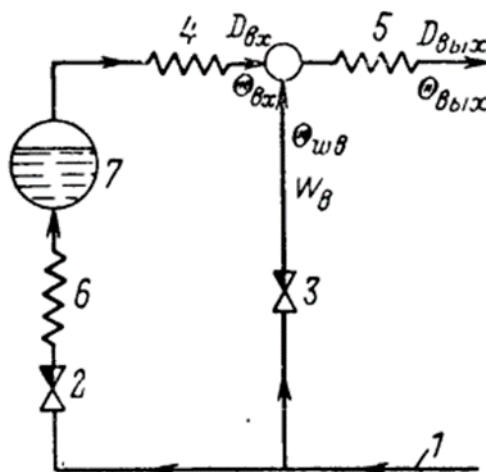


Рисунок 2.1 – Схема регулирования температуры перегретого пара методом впрыска питательной воды:

1 – питательная магистраль; 2 – регулирующий клапан питания котла; 3 – регулирующий клапан впрыска; 4 – первый пакет перегревателя; 5 – второй пакет перегревателя; 6 – экономайзер; 7 – барабан котла

Для впрыска используют питательную воду с низким солесодержанием, если солесодержание превышает норму, то для впрыска применяется конденсат турбины. Для создания необходимого напора в этом случае обычно устанавливают плунжерные насосы.

На рисунке 2.2 [3] представлены схемы регулирования перегретого пара впрыска конденсата.

На рисунке 3а насыщенный пар из барабана котла по паропроводу 10 поступает в конденсатор, где он конденсируется питательной водой, которая циркулирует по змеевикам конденсатора. Конденсат поступает на впрыск через регулирующий клапан 3 за счет перепада давления от барабана котла до точки впрыска. Количество питательной воды, проходящей по змеевикам конденсатора, регулируется клапаном 8. Клапан 9 является подпорным.

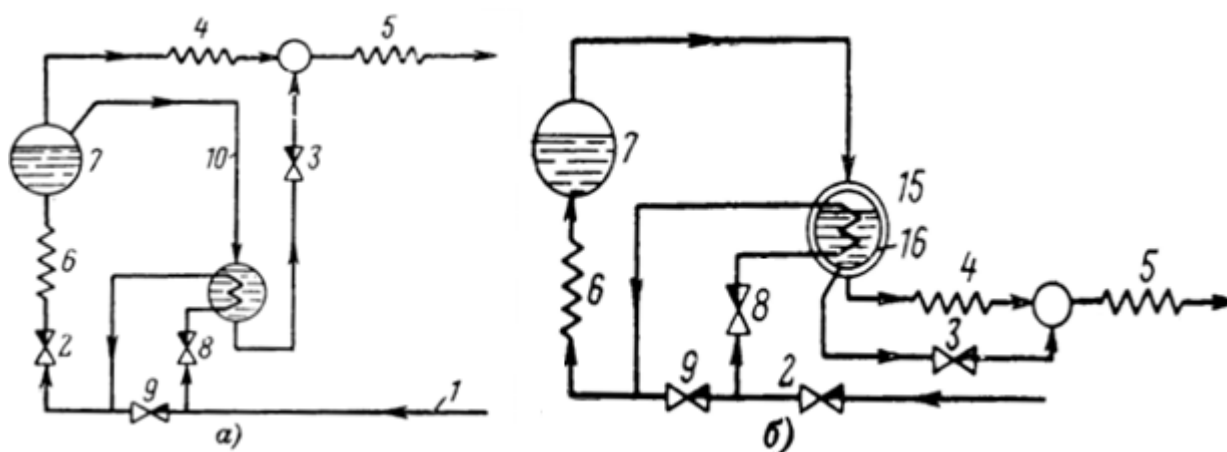


Рисунок 2.2 – Схемы регулирования температуры перегретого пара впрыском собственного конденсата

Основным отличием в схемах регулирования представленных выше является пароохладитель 15 в который установлен конденсатор 16. Вверху конденсатора находятся отверстия, по которым в него подаётся некоторое количество насыщенного пара. Пар конденсируется в конденсаторе в виде питательной воды. Основная часть пара проходит между камерой пароохладителя и наружной поверхностью конденсатора и подаётся в первый пакет пароперегревателя 4.

Давление в ВПО меньше, чем в питательной магистрали, поэтому питательная вода самотеком поступает в ВПО, где смешивается с потоком пара, при открытии регулирующего клапана впрыска. Это исключает наличие вспомогательных насосов для перекачки питательной воды и является основным достоинством данного способа регулирования.

2.2 Метод поверхностного охлаждения

Метод поверхностного охлаждения заключается в передачи тепла от одной среды другой без смешивания веществ в различных теплообменниках. На рисунке 2.3 [3] изображены схемы регулирования температуры перегретого пара с охлаждением питательной водой, которая проходит по змеевикам теплообменника 3, забирая тепло от перегретого пара. Температура перегретого пара в таком случае регулируется количеством воды, движущейся

через теплообменник, и определяется по положению двухходового регулирующего клапана 2.

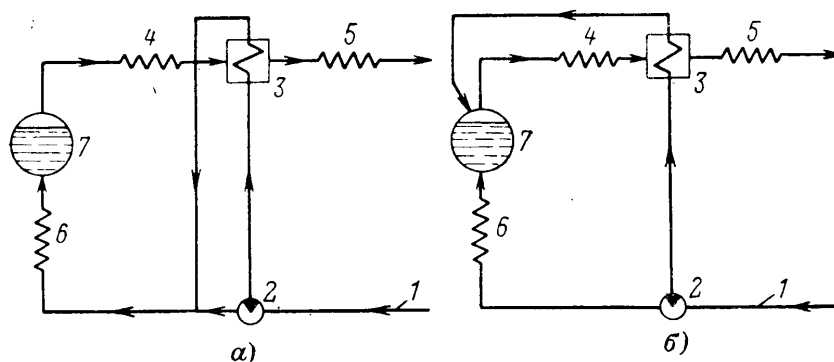


Рисунок 2.3 – Схемы регулирования температуры перегретого пара в поверхностных охладителях

Поверхностные пароохладители применяются в барабанных котлах высокого давления для регулирования температуры перегретого пара если нет возможности использовать питательную воду по причине высокого содержания соли в ней.

В отличие от впрыскивающих, поверхностные пароохладители применяются в современных котлах высокого и повышенного давления крайне редко. Это обусловлено тем, что поверхностные пароохладители имеют сложную конструкцию и существенно большую инерционность по причине использования питательной воды при охлаждении пара.

Схема регулирования, изображенная на рисунке 2.3 а, более надежна, чем схема на рисунке 2.3 б, так как в последнем случае при некоторых режимах работы котлоагрегата через пароохладитель может проходить вся питательная вода и экономайзер 6 окажется в тяжелых температурных условиях.

Возврат охлаждающей воды из пароохладителя на вход в водяной экономайзер приводит к некоторой потере экономичности, так как в этом случае уменьшается тепловосприятие экономайзера и, следовательно, увеличиваются потери с уходящими газами. Поэтому при двухступенчатом

экономайзере отвод воды из пароохладителя целесообразнее направлять в промежуточный коллектор. Для охлаждения иногда используется также пароводяная смесь испарительной части котлоагрегата в выносных пароохладителях. При этом пароохладитель также может быть расположен непосредственно в барабане котла. В котлах малой мощности часть воздухоподогревателя иногда заменяется паровым калорифером, проходя через который перегретый пар передает излишнее тепло воздуху, который подается в топочное пространство [1].

2.3 Метод воздействия на тепловосприятие

Метод воздействия на тепловосприятие поверхностей перегрева, осуществляется с помощью изменения положения факела в топке, распределением газов по газоходам и циркуляцией дымовых газов. Положение факела в топке изменяется поворотом горелок и включением дополнительных горелок при их многоярусном расположении.

При регулировании температуры поворотом горелок снижается экономичность сжигания топлива, так как в этом случае нарушается настроенный топочный режим. Этот метод иногда используется для улучшения статических характеристик перегревателя.

При изменении положения факела переключением горелок последние должны располагаться в четыре или пять ярусов. При понижении нагрузки подвод топлива уменьшается за счет включения нижних горелок. Следует отметить, что метод изменения числа включенных горелок применяется сравнительно редко, так как имеет небольшой диапазон регулирования и возможен только при жидком или газообразном топливе.

Метод рециркуляции газов состоит в том, что часть дымовых газов из конвективной шахты с помощью специального дымососа возвращается обратно в топку. Обычно дымовые газы отбираются за экономайзером при температуре около 400 °С. Регулирование температуры перегретого пара осуществляется изменением количеством газа который возвращается в топку

при перестановке направляющего аппарата дымососа рециркуляции. На рисунке 2.4 показаны схемы регулирования температуры перегретого пара методом рециркуляции дымовых газов.

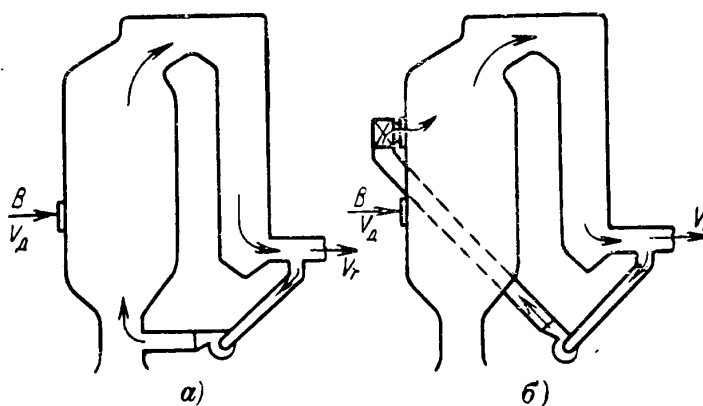


Рисунок 2.4 – Схемы регулирования температуры перегрева методом рециркуляции дымовых газов

На рисунке 2.4 а рециркулируемые газы вводятся в топку ниже, а на рисунке 2.4 б – выше горелок. При вводе дымовых газов в топку ниже горелок эффект регулирования получается больше, а при вводе рециркулируемых газов выше горелок уменьшается шлакование конвективных пакетов.

Применение рециркуляции газов для регулирования температуры приводит к снижению экономичности работы котлоагрегата, вследствие увеличения расхода электроэнергии на собственные нужды и увеличения потерь тепла с уходящими газами. Кроме того, при использовании этого метода усложняется конструкция и обслуживание котлоагрегата.

Для данной АСР температуры перегретого пара выбираем метод смешивания, так как в рассматриваемом котле присутствует собственный конденсат.

3 Выбор и разработка структурной схемы АСР температуры перегретого пара

Метод смешивания получил широкое применение для автоматических систем регулирования температуры перегретого пара. Для реализации данного метода необходимо выбрать автоматический регулятор, подобрать параметры его настройки и замкнуть через него схему регулирования.

Сигнал поступающий на вход регулятора, пропорционален отклонению температуры перегретого пара от заданного значения. В зависимости от знака и величины отклонения температуры регулирующее устройство воздействует через исполнительный механизм на регулирующий орган, восстанавливая тем самым заданное значение температуры перегретого пара. В качестве примера на рисунке 3.1 представлена в общем виде схема системы автоматического регулирования температуры перегретого пара методом впрыска. Температура на выходе второго (регулируемого) пакета пароперегревателя измеряется термопарой ИУ (измерительное устройство) и ее значение $\Theta_{\text{вых}}$ сравнивается с заданием $g(t)$ и в зависимости от знака и величины рассогласования регулирующее устройство РУ через исполнительный механизм ИМ воздействует на регулирующий орган РО, который изменяет количество впрыскиваемой жидкости в сторону восстановления заданного значения температуры пара. На второй пакет пароперегревателя как объекта регулирования поступают возмущающие воздействия в виде изменения температуры пара на его входе f_{Θ} , изменения расхода пара f_D и изменения обогрева f_Q .

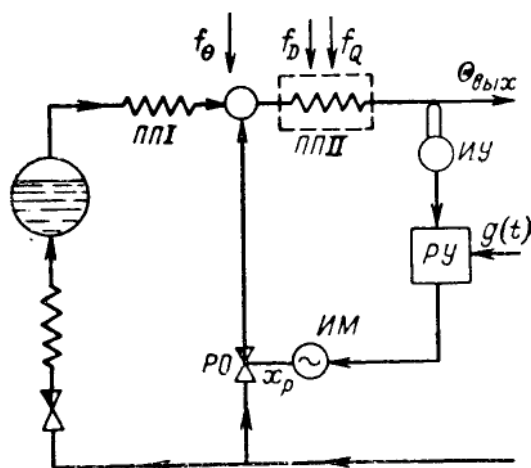


Рисунок 3.1 – Схема одноимпульсной АСР температуры перегретого пара

Одноимпульсная система автоматического регулирования имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что такая система не учитывает возмущающие воздействия в виде изменения температуры на выходе первого пакета пароперегревателя вследствие разных факторов.

Для улучшения качества характеристик переходного процесса в настоящее время при регулировании температуры перегрева пара чаще всего используется двухимпульсная система автоматического регулирования. Внутренний контур возникает внедрением дифференцирующего звена, с помощью которого можно учитывать скорость изменения промежуточной регулируемой величины. Внутренний малоинерционный контур позволяет отфильтровать практически все возмущающие воздействия, идущие со стороны пароперегревателей в регулируемый участок паропровода, а внешний инерционный контур обеспечивает поддержание выходной регулируемой величины на заданном значении [3].

Двухимпульсная система регулирования обеспечивает относительное постоянство температуры пара на входе в регулируемый участок паропровода, следовательно, и более высокое качество регулирования температуры на выходе из пароперегревателя [3].

Схема такой системы автоматического регулирования представлена на рисунке 3.2.

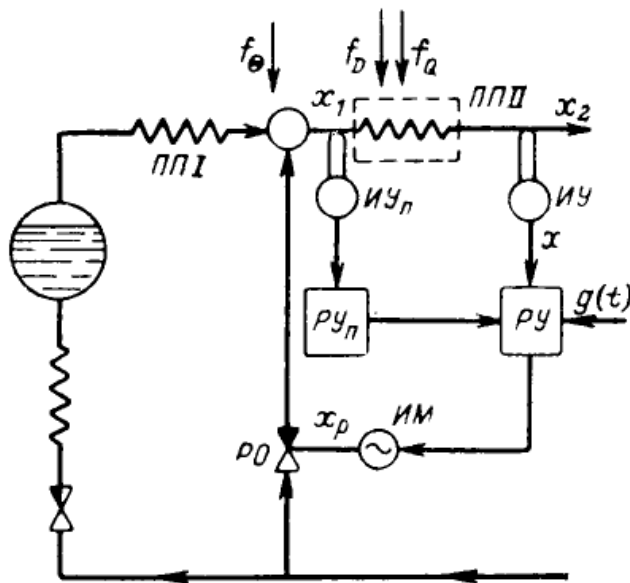


Рисунок 3.2 – Схема двухимпульсной АСР температуры перегретого пара

В этой схеме имеется дополнительная термопара ИУ_п, которая измеряет температуру пара перед регулируемым пакетом пароперегревателя. Выход с ИУ_п подается на вход дополнительного регулирующего устройства РУ_п, который формирует требуемое дополнительное воздействия на регулирующее устройство РУ от промежуточной величины.

Так как в установившихся режимах работы котла регулирующее устройство должно контролировать лишь температуру на выходе пароперегревателя x , сигнал от ИУ_п должен появляться лишь в переходных режимах (так как в противоположном случае регулирующее устройство будет поддерживать на заданном значении не температуру пара после пароперегревателя, а сумму температур пара после пароперегревателя и после пароохладителя). Поэтому преобразователь сигнала ДФ обычно выполняют в виде реального дифференцирующего звена [2].

На основании изложенного составляем структурную схему АСР температуры перегретого пара. Данная структурная схема представлена на рисунке 3.3.

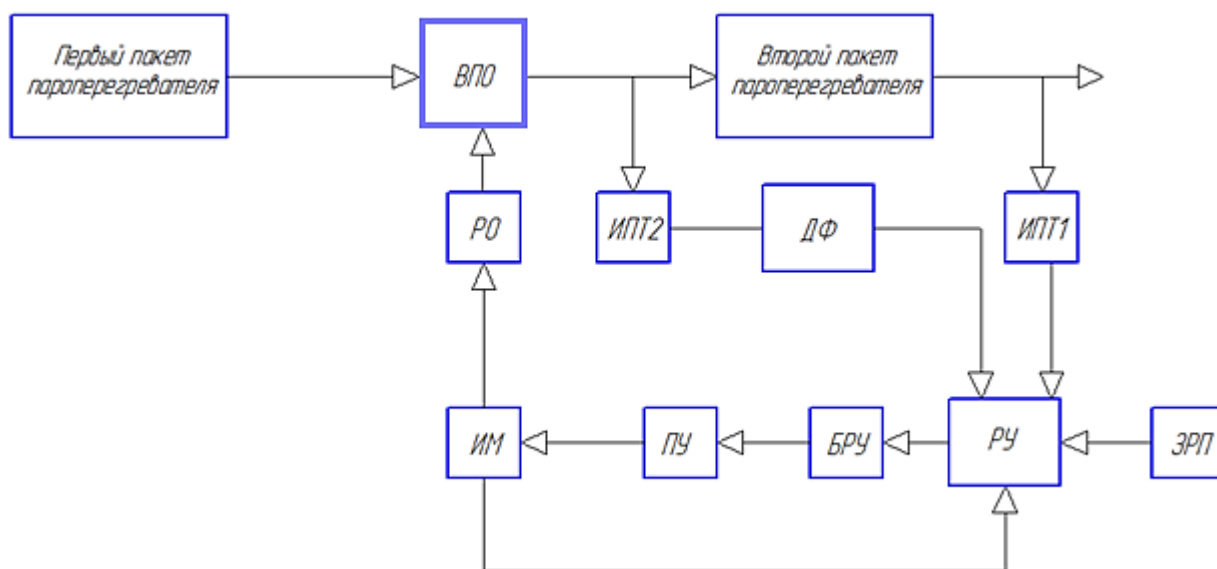


Рисунок 3.3 – Структурная схема АСР температуры перегретого пара:

ИПТ1, ИПТ2 – измерительные преобразователи температуры; РУ – регулирующее устройство; ДФ – дифференциатор; РО – регулирующий орган; ИМ – исполнительный механизм; ЗРП – задатчик регулируемого параметра; ПУ – пусковое устройство; БРУ – блок ручного управления

В разрабатываемой системе в качестве регулирующего устройства предполагается использовать многоканальный микропроцессорный программируемый контроллер (МПК). Учитывая это структурная схема преобразуется до вида представленного на рисунке 3.4. Также исключается использование дистанционного указателя положения, т.к. проконтролировать положение вала ИМ можно непосредственно с автоматизированного рабочего места. Микропроцессорный программируемый контроллер исключает использование блока ручного управления, задатчика регулируемого параметра, т.к. их функции может выполнять контроллер. Сигнал по положению вала может поступать на аналоговый вход МПК без использования дистанционного указателя положения, т.к. в исполнительном механизме используется токовый датчик положения. В случае аварийной

ситуации и отказа МПК предполагается использование резервного такого же устройства.

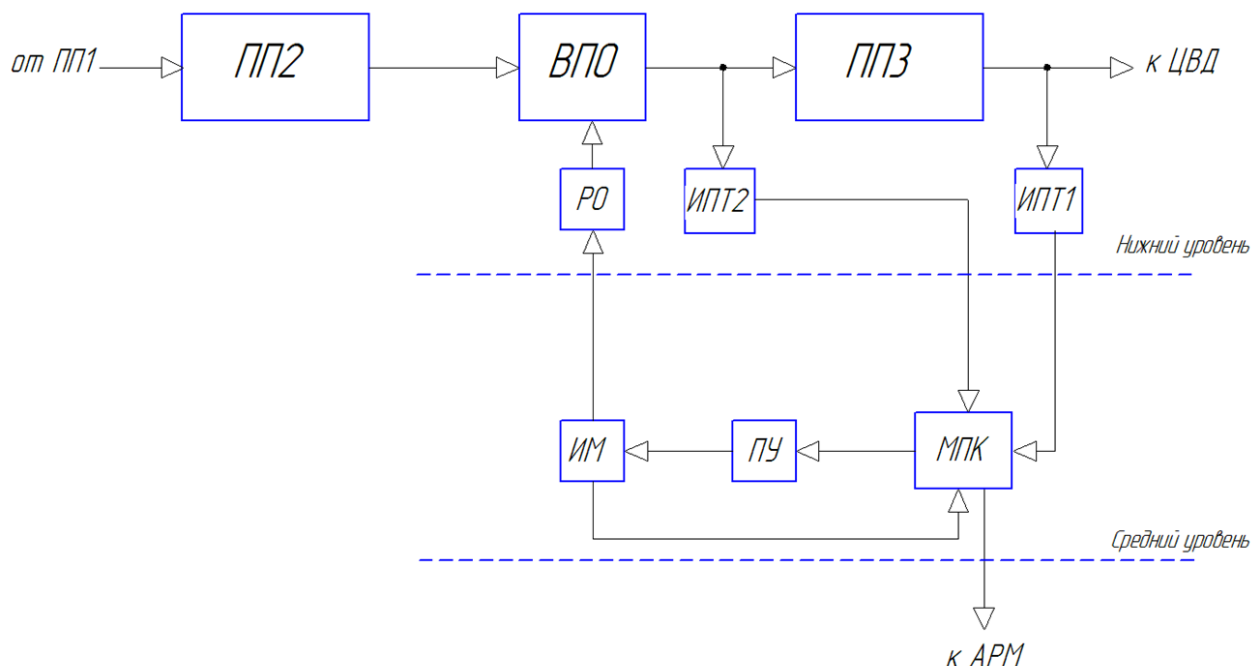


Рисунок 3.4 – Структурная схема АСР температуры перегретого пара на базе микропроцессорного программируемого контроллера:

ИПТ1, ИПТ2 – измерительные преобразователи температуры;
МПК – микропроцессорный программируемый контроллер; РО – регулирующий орган; ПУ – пусковое устройство; ИМ – исполнительный механизм;

Получение информации о текущем значении температуры регулируемого параметра происходит при помощи измерительных преобразователей. На выходе измерительного преобразователя возникает сигнал который подается на МПК. С помощью встроенного аналого-цифрового преобразователя процессор обрабатывает сигналы и вырабатывает управляющие воздействия, подаваемые на пусковое устройство. Аналоговые сигналы усиливаются пусковым устройством и поступают на обмотку управления ИМ. Вал ИМ вращается, и, соответственно, меняется положение РО.

4 Проектирование функциональной схемы АСР температуры перегретого пара

Функциональные схемы систем автоматизации технологических процессов являются основным функционально – блочным техническим документом, определяющим структуру и характер как системы в целом, так и отдельных узлов автоматического регулирования, контроля и управления технологического процесса и оснащения их средствами автоматизации и приборами [3].

В процессе разработки функциональной схемы решены следующие задачи:

- 1) изучена технологическая схема объекта автоматизации;
- 2) на основании структурной схемы определен перечень регулируемых и контролируемых параметров. Перечень контролируемых параметров представлены в таблице 1. Регулируемым параметром является температура перегретого пара после второго пакета пароперегревателя;
- 3) на основании структурной схемы на технологической схеме объекта автоматизации точки отбора измерительной информации располагаются после впрыскивающего пароохладителя (ВПО) и перед главной паровой задвижкой (ГПЗ);
- 4) предельные рабочие значения контролируемых и регулируемых параметров определены по заданию и представлены в таблице 1;
- 5) выбрана структура каналов измерительной, информационно-управляющей и исполнительной частей: в состав структуры каналов измерительной части входит первичный преобразователь температуры без нормирующего преобразователя, в состав структуры каналов информационно-управляющей части входит МПК, в состав структуры исполнительной части входят пусковое устройство и исполнительный механизм;
- 6) выбран контактный метод измерения температуры перегретого пара посредством термоэлектрического преобразователя (ТЭП), т.к. термопреобразователи сопротивления (ТПС) медные не могут обеспечить

измерение температуры до 600 °С, а платиновые ТПС дорогие. Для реализации функций контроля и управления предусмотрен МПК;

7) первичные преобразователи температуры установлены непосредственно на технологическом оборудовании, пусковое устройство расположено в шкафу пусковой арматуры, МПК располагается в шкафу управления и автоматики.

Таблица 1 – Значения контролируемых параметров

Наименование параметра	Значение параметра
1. Температура пара на входе пароперегревателя	540 °С
2. Температура пара на выходе пароперегревателя	560 °С

Разрабатываемая функциональная схема АСР температуры перегретого пара представлена на листе с шифром ФЮРА. 421000.002 С2.

В верхней части чертежа функциональной схемы изображен участок паропровода от первого пакета пароперегревателя до ГПЗ. Между первым и вторым пакетами пароперегревателя установлен ВПО. Технологические объекты выполнены в виде условных графических изображений. Также вверху чертежа располагаются первичные преобразователи температуры и запорная арматура. Внизу чертежа показано пусковое устройство, установленное по месту, а также МПК установленный на щите автоматизации.

Сигнал в виде термо-ЭДС с термоэлектрических преобразователей 1а, 2а поступает на МПК 3а, который по заданной программе формирует и выдает управляющее воздействие на пусковое устройство 3б. Пусковое устройство усиливает токовый сигнал и передает его на исполнительный механизм 3в. В исполнительный механизм встроен блок датчиков положения, который может передавать информацию о положении вала исполнительного механизма на контроллер.

5 Выбор технических средств АСР температуры перегретого пара и составление заказной спецификации

5.1 Выбор датчика температуры перегретого пара

В качестве первичных преобразователей температуры используются аналоговые преобразователи температуры с унифицированным выходным сигналом. Первичный преобразователь температуры выбираем по каталогу завода-изготовителя «ОВЕН» [5]. По подходящим конфигурациям выбираем преобразователи температуры типа ОВЕН ДТПЛ-045Л.И.

ОВЕН ДТПЛ-045Л.И предназначены для измерения высоких температур различных сред, в том числе и агрессивных сред.

Диапазоны измеряемых температур: $0 \div 600$ °С.

Класс допуска 2. Рабочий спай термопары изолирован относительно корпуса датчика.

Предел допускаемой основной приведённой погрешности $\pm 0,75$ % [5].

Альтернативным вариантом может быть преобразователь типа ТХАУ 205 с НСХ ХК(L) производства ООО НПО «Элемер». По техническим характеристикам он очень схож с ОВЕН ДТПЛ-045Л.И, но стоимость преобразователей типа ТХАУ 205 превышает стоимость преобразователей типа ОВЕН ДТПЛ-045Л.И.

Таким образом, в качестве первичного преобразователя выбираем ОВЕН ДТПЛ-045Л.И, так как он:

- подходит по техническим характеристикам;
- оптимален по цене;

Так как характеристики всех термоэлектрических преобразователей в той или иной степени являются нелинейными функциями, в контроллере должны быть предусмотрены средства для линеаризации показаний.

Монтаж термопары на трубопроводе осуществляется под углом 45° . Для этого для данного типа термоэлектрического преобразователя из каталогов завода-изготовителя «ОВЕН» выбираем защитную гильзу ГЗ.25.1.1.160 и

бобышку угловую Б.У.1.20х1,5.40.2. Место установки термоэлектрического преобразователя следует выбирать таким образом, чтобы обеспечить точность замера температуры перегретого пара. Также должно соблюдаться условие – чувствительный элемент должен быть направлен навстречу потоку пара и находиться в центре потока. Способ монтажа термоэлектрического преобразователя представлен на рисунке 10 [5].

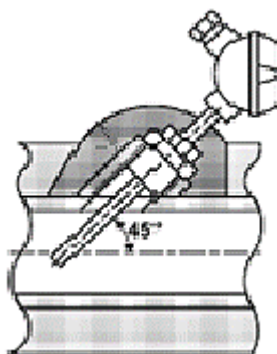


Рисунок 10 – Способ монтажа термоэлектрического преобразователя на трубопроводе

5.2 Выбор исполнительного механизма

Исполнительные механизмы (ИМ) являются приводной частью регулирующего органа и предназначены для его перемещения. При автоматизации объектов теплоэнергетики преимущественно используются электрические ИМ. В общем случае электрический ИМ включает электродвигатель и редуктор, которые вместе представляют собой электропривод, блок датчиков положения и штурвал. Блок датчиков состоит из блока концевых и путевых выключателей, а также датчика положения ИМ. Концевые выключатели выполняют функцию отключения электродвигателя при достижении крайних положений выходного вала ИМ. Путевые выключатели позволяют коммутировать электрические цепи управления под воздействием управляющих упоров в определённых точках пути контролируемого объекта. В зависимости от назначения в комплекте ИМ имеются различные датчики положения: реостатные (резистивные), индуктивные, токовые.

Выбор типа ИМ (однооборотный – МЭО, однооборотный фланцевый – МЭОФ, прямоходный постоянной скорости – МЭП, прямоходный кривошипный переменной скорости – МЭПК) определяется типом трубопроводной арматуры. В данной работе предполагается использование запорно-регулирующего крана, который позволяет управлять интенсивностью потока воды на смешивание либо надежно перекрывать его. Значит, тип ИМ – МЭОФ.

5.2.1 Расчет максимального значения крутящего момента

Исходные данные:

Внутренний диаметр трубопровода 160 мм.

Максимальный крутящий момент МЭО

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D_y - 338 = 6,89 \cdot 160 - 338 = 764,4 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

При выборе ИМ типа МЭО должно выполняться условие $M_H > M_{\max}$, поэтому по каталогу завода-изготовителя «АБС ЗЭиМ Автоматизация» выбираем механизм электроисполнительный однооборотный фланцевый с номинальным значением момента на выходном валу 1000 Н·м, номинальное значение времени полного хода 25 с; в составе с токовым блоком сигнализации положения выходного вала БД-10АМ; год разработки – 2007. ОАО «ЗЭиМ», г. Чебоксары. Тип МЭОФ–1000/25–0,25-07К [7].

Фланцевые механизмы устанавливаются непосредственно на трубопроводной арматуре и соединяются с регулирующим органом посредством фланца.

Конструкция исполнительного механизма МЭОФ-1000/25-0,25 представлена на рисунке 11 [7].

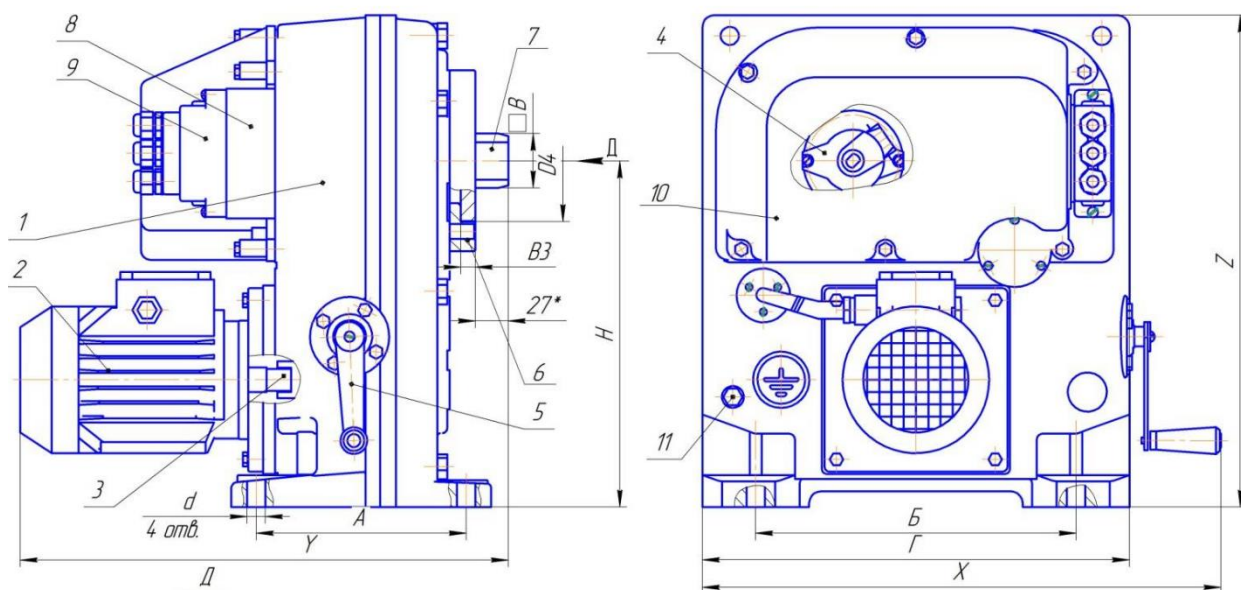


Рисунок 11 – Конструкция МЭОФ-1000/25-0,25:

1 – редуктор; 2 – электродвигатель; 3 – тормоз; 4 – блок сигнализации положения; 5 – ручной привод; 6 – фланец; 7 – выходной вал; 8 – ввод штуцерный; 9 – кожух штуцерного ввода; 10 – кожух; 11 – болт заземления.

Электрическое питание двигателя механизма с номинальным крутящим моментом 1000 Н·м осуществляется от сети переменного тока напряжения 220 В или 380 В с частотой 50 Гц [7].

Блок датчиков состоит из датчиков положения и момента, имеет концевые и путевые выключатели, представляющие собой дискретные уставки по положению и моменту [7].

5.3 Выбор пускового устройства

По выбранному исполнительному механизму определяется тип пускового устройства. Выбираем пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-ЗИ, обеспечивающий бесконтактное управления регулирующими и запорными электроприводами трубопроводной арматуры.

Альтернативным вариантом может выступать БУЭР-3, который может управлять ИМ с трехфазным электродвигателем по командам, получаемым по резервированному цифровому каналу. Может выполнять функции управления

электродвигателем (пуск, реверс, останов), самодиагностику, диагностику ИМ, защиту силовых ключей от короткого замыкания, защиту от перегрузки по току. По объему выполняемых функций БУЭР-3 превосходит ПБР-3И, также цена на БУЭР-3 выше по сравнению с ПБР-3И, поэтому в качестве пускового устройства был выбран ПБР-3И. Также использование современного ПБР-3И уменьшает количество используемых кабелей. Пускатель ПБР-3И работает в комплекте с блоком датчиков БД-10АМ.

От блока датчиков по аналоговому сигналу пускатель получает информацию о положении выходного органа электропривода, моменте, перегреве электродвигателя, состоянии и неисправности блока датчиков, состоянии виртуальных концевых и путевых выключателей, а также на запросы включения электропривода при местном от блока датчиков управлении. При отсутствии связи, неготовности, неисправности блоков датчиков пускатель выключает электродвигатель.

Динамические характеристики:

- время запаздывания выходного сигнала при подаче управляющего сигнала – не более 40 мс;
- формирование паузы между реверсивными включениями – не менее 20 мс.

Пускатель ПБР-3И может выполнять следующие функции [6]:

- реверсивное управление двигателем электропривода по команде ОТКРЫТЬ и ЗАКРЫТЬ, подаваемой на дискретные входы пускателя;
- выполнение команд управления от контроллера или компьютера, подключаемого через интерфейс RS-485 по протоколу MODBUS;
- остановка электропривода в крайних положениях по сигналам концевых или моментных выключателей;
- выполнение "дожима" короткими импульсами при закрытии или открытии по моменту;

- блокирование управления электроприводом при наличии на входе дискретного сигнала ЗАПРЕТ;
- торможение электропривода методом обратного включения;
- питание цепей управления произвольной полярности, концевых и моментных выключателей электропривода от двух внутренних нестабилизированных гальванически развязанных источников питания постоянного тока 24 V;
- выполнение функции позиционера – по аналоговому сигналу задания (ЗД) от системы управления и сигналу обратной связи от датчика положения (ДП) электропривода;
- вывод аналогового сигнала положения выходного органа электропривода для информации системе управления;

5.4 Выбор регулирующего устройства

В настоящее время микропроцессорные программируемые контроллеры (МПК) являются неотъемлемой частью систем автоматизации, так как обладают рядом достоинств (компактность, надежность, реализация сложных алгоритмов управления программными методами и др.). При этом возможность исключения таких устройств как блоки ручного управления, ручные задатчики регулируемого параметра, т.к. их функции может выполнять контроллер.

Физически типичный МПК представляет собой блок, имеющий определенный набор модулей для подключения датчиков и исполнительных механизмов.

Для выбора МПК рассмотрим два варианта.

- 1) ОВЕН ПЛК 63 производства ООО «ОВЕН» [4].

Контроллер предназначен для:

- измерения и автоматического регулирования технологических параметров, значение которых первичными преобразователями

может быть преобразовано в унифицированный электрический сигнал постоянного тока, а также сигнала с термопар;

- измерение аналоговых электрических сигналов;
- измерение входных дискретных сигналов;
- управление посредством дискретных выходов;
- осуществления обмена данными по интерфейсам RS-485, RS-323, OVEN, а также Ethernet по протоколам ModBus, DCON, CODESYS.

Контроллер может применяться для создания систем автоматизированного управления технологическим оборудованием в энергетике, на транспорте, в различных областях промышленности.

Питание контроллера осуществляется от сети питания переменного тока 220 В. Количество аналоговых входов – 8, количество дискретных входов – 8, количество дискретных выходов – 6. Полное время преобразования сигнала с термопары – 0,4 с. Габаритные размеры – 157x86x58 мм

Возможно расширение количества точек ввода/вывода с помощью подключения внешних модулей по любому из встроенных интерфейсов [4].

2) Ремиконт Р-130 производства «АБС ЗЭиМ Автоматизация» [9].

Это компактный микропроцессорный контроллер, предназначенный для автоматического регулирования технологическими процессами. В модели Ремиконт Р-130 предусмотрено:

- до 4 контуров регулирования;
- более 76 алгоритмов непрерывной и дискретной обработки зашитых в ПЗУ;
- до 99 алгоблоков со свободным их заполнением любыми алгоритмами из библиотеки;

В состав контроллера Р-130 входят следующие блоки:

- блок БК-1/П-01;
- блок усилителей сигналов низкого уровня БУТ-10;

- блок усилителей сигналов резистивных датчиков БУС-10;
- блок усилителя мощности БУМ-10;
- блоки питания БП-1, БП-4;
- 7 типов модулей УСО (МАС, МДА, МСД).

Программирование контроллеров осуществляется в среде ISaGRAF. Также в контроллере имеются два канала для подключения к сетям Ethernet и Modbus-RTU, также имеется канал с интерфейсом RS-232 для организации резервирования, а также программирования контроллеров. Встроенное программное обеспечение позволяет выполнить проверку работоспособности и настройку контроллеров. Питание контроллера осуществляется от сети питания переменного тока 220 В или 240 В. Габаритные размеры блока контроллера – 80х160х365 мм.

Цена на ОВЕН ПЛК 63 в среднем составляет 11800 руб., а цена на Ремиконт Р-130 – 28000 руб.

Для системы автоматического регулирования температуры перегретого пара в качестве регулирующего устройства выбираем более компактный и дешевый по цене ОВЕН ПЛК 63.

Контроллер ПЛК 63 крепится на DIN-рейку в шкафу автоматизации. Конструкция шкафа должна быть такой, чтобы обеспечивать защиту контроллера от попадания на него влаги, грязи или посторонних предметов. Подключение интерфейса RS-485 выполняется по двухпроводной схеме. Рабочие условия эксплуатации: закрытые взрывобезопасные помещения без агрессивных паров или газов, при атмосферном давлении от 80 до 106 кПа, с температурой в диапазоне не менее от минус 10 до + 55 °С и относительной влажностью от 5 до 95 %, без конденсации влаги.

При рассмотрении вариантов регулирующих устройств, выбор пал на отечественные фирмы «ОВЕН» и «АБС ЗЭиМ Автоматизация», т.к. эти фирмы зарекомендовали себя на рынке микропроцессорных контроллеров как поставщики надежных приборов контроля, а также регулирующих устройств.

На основе сделанного выбора технических средств составлена заказная спецификация средств автоматизации, приведенная в приложении А.

7 Проектирование принципиальной электрической схемы АСР температуры перегретого пара

Принципиальная электрическая схема необходима для определения полного состава приборов, устройств и аппаратов, а также связей между ними. Действие данных связей позволяет решить задачи управления, регулирования, защиты, а также задачи измерения и сигнализации. На основе принципиальной схемы разрабатываются другие документы проекта такие как схемы внешних соединений и монтажные таблицы щитов и пультов.

Требования, которые предъявляются к принципиальной электрической схеме: высокая надежность, простота и экономичность, четкость действия при аварийных ситуациях, удобство эксплуатации и оперативной работы, четкость оформления.

При проектировании принципиальной электрической схемы АСР решались следующие задачи:

- 1) на основе информации, полученной в ходе разработки функциональных и структурных схем, а также на основе технической документации выбранных технических средств изображены элементарные цепи, каждое из которых отвечает определенному условию действия схемы;
- 2) элементарные цепи объединены в общую схему;
- 3) выбрана аппаратура и сделан расчет электрических параметров отдельных элементов схемы;
- 4) схема проверена на наличие ложных цепей, а также на возможность неправильной работы при повреждениях контактов;
- 5) рассмотрены возможные варианты решения и применительно к имеющейся аппаратуре принят окончательный вид схемы;

Исходными данными для проектирования принципиальной электрической схемы являлись функциональная схема, а также технические описания и инструкции по эксплуатации выбранных средств автоматизации.

Ниже приведено описание разработки принципиальной электрической схемы АСР температуры перегретого пара.

На основании функциональной и структурной схем, заказной спецификации, а также технических описаний и инструкции по эксплуатации выбранных технических средств произведено изображение элементарных цепей исполнительного механизма МЭОФ-1000/25 с блоком датчиков БД-10АМ, пускового устройства ПБР-3И, контроллера ПЛК 63, датчиков температуры и блока питания БП15Б-Д2 и их объединение в общую схему. Каждому элементу схемы присвоены позиции. Далее произведено изображение задействованных клемм каждого элемента и подключений к другим техническим средствам в соответствии со схемами подключений, приведенных в технических описаниях или инструкциях по эксплуатации. Все линии связи промаркированы и показаны полностью. Далее выполнена расстановка обозначений электрических цепей. Применительно к имеющейся аппаратуре был принят окончательный вид принципиальной электрической схемы АСР температуры перегретого пара, который представлен на листе ФЮРА.421000.002 ЭЗ.

Получение информации о текущих значениях регулируемого параметра происходит при помощи преобразователей температуры В1, В2. На выходе измерительного преобразователя возникает сигнал в виде термо-ЭДС, который затем поступает на аналоговый вход ПЛК ОВЕН 63. С помощью встроенного аналого-цифрового преобразователя процессор обрабатывает сигналы согласно программе и вырабатывает управляющие воздействия, подаваемые на пусковое устройство с помощью аналоговых выходов. Аналоговые сигналы усиливаются пусковым устройством В3 и поступают на обмотку управления ИМ (В4). Вал ИМ вращается, и, соответственно, меняется положение РО. Сигнал о положении выходного вала формируется с помощью

токового датчика, встроенного в ИМ передается на пусковое устройство. Аналоговые сигналы о состоянии виртуальных конечных и путевых выключателей поступают на аналоговые входы контроллера и служат для контроля положения вала.

Ниже в таблице 4 представлены условные обозначения, применяемые на схеме.

Таблица 4 – Условные обозначения принципиальной электрической схемы АСР

Позиционное обозначение	Наименование, тип	Кол.
A1	Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК63	1
B1, B2	Преобразователь температуры ОВЕН ДТПЛ-045Л, диапазон измерения 0...600°C	2
B3	Пускатель бесконтактный реверсивный интеллектуальный ПБР-3И	1
B4	Исполнительный механизм МЭОФ-1000/25-0,25	1
B5	Блок питания БП15Б-Д2	1

8 Проектирование монтажной схемы АСР температуры перегретого пара

При проектировании монтажной схемы были рассмотрены принципы построения внешних проводок и проводок щита автоматизации.

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 внешних проводок выполнена на основании функциональной схемы, принципиальной электрической схемы автоматического регулирования, принципиальных схем питания, схем электрических соединений приборов разрабатываемой системы, спецификаций приборов, и вспомогательной аппаратуры.

На монтажной схеме внешних электрических проводок, которая представлена в нижней части листа с шифром ФЮРА.421000.002 С4, содержится следующая информация:

- 1) о подключении первичных преобразователей, расположенных вне щита к щиту автоматизации;
- 2) о внешних электрических проводках;
- 3) технические требования, предъявляемые к монтажу щита автоматизации.

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 технологическом трубопроводе.

Датчики температуры, исполнительные механизмы и другие технические средства автоматизации с электрическими входными и выходными сигналами изображены монтажными символами в соответствии с заводскими инструкциями. Шкаф контроля и управления изображен в виде прямоугольника в нижнем левом углу чертежа. В прямоугольнике показаны блоки зажимов, а также подключенные к ним жилы кабелей с соответствующей маркировкой.

Для каждой внешней электрической проводки приведена ее техническая характеристика: марка, длина, сечение и количество жил, количество занятых жил, указаны в прямоугольнике, помещённом справа от обозначения данных кабеля.

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

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

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

Присвоены порядковые номера средств системы автоматизации. Проводники, подключаемые к зажимам и клеммам технических средств, маркированы в соответствии с принципиальной схемой.

8.1 Выбор проводов, кабелей и защитных труб

Для электропроводок систем автоматизации применяются изолированные провода и кабели с алюминиевыми и медными жилами [2]. Кабели с медными жилами (например, типа КРВГ, КВВГ, КВВБ, КРСК) стоят дороже кабелей с алюминиевыми жилами (например, типа АКРВГ, АКВВГ, АКВВБ, АКПсВГ), поэтому в целях экономии они применяются лишь в

некоторых проводках. Применительно к разрабатываемой системе такими проводками являются информационные цепи, для них выбираем кабели типа КВВГ. Кабели с алюминиевыми жилами используются для цепей питания, для них выбираем кабели АКВВГ.

Для присоединения термоэлектрического преобразователя к измерительному каналу контроллера применяем термоэлектрические провода типа ПТВВ-ХК 2х1 [10]. Данные провода используются для исключения влияния температуры окружающей среды на показания термопреобразователя, поэтому свободные концы нужны удалить на большое расстояние. Материал токопроводящих жил должен быть идентичен по термоэлектрическим параметрам материалу термоэлектродов преобразователя. Поэтому для ТЭП с НСХ ХА(К) материал жил – хромель-копель. Изоляция и защитная оболочка кабеля выполнена из поливинилхлорида.

В качестве кабеля для промышленного стандарта RS-485 (используется для связи пускателя с контроллером, а также для приема пускателем данных о состоянии конечных выключателей от блока датчиков положения) применяем кабель марки КИПЭВ, состоящим из однопарного сердечника с жилами диаметра 0,6 мм² [11]. Результаты выбора проводок приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики кабелей разрабатываемой АСР

Обозначение проводки	Марка кабеля	Число жил	Номинальное сечение жилы, мм ²
5,11,12	АКВВГ	4	2,5
6	АКВВГ	5	2,5
1,2	ПТВВ-ХК	2	1
3,9	КВВГ	4	1
4	КВВГ	7	1
8	КВВГ	5	1,5
7,10	КИПЭВ	1 пара	0,6

В качестве защитных труб в электрических проводках системы применяются стальные и пластмассовые трубы. Диаметр защитных труб зависит от категории сложности протяжки проводников в защитные трубы. В данной работе категория сложности – II.

Для защиты кабелей, которые необходимо протянуть на большие расстояния, применяем защитные трубы. В качестве защиты кабелей выбираем стальные электросварные прямошовные трубы, применяемы в влажных помещениях, а также при прокладке в пожароопасных, пыльных помещениях [2].

Для определения внутреннего диаметра защитной трубы, необходимой проводки, учитываем наружный диаметр кабеля, проложенного в ней. Для удобства протяжки кабелей через трубы, внутренний диаметр должен быть в полтора раза больше наружного диаметра кабеля. Таким образом, защитные трубы выбираем по наружному диаметру с учетом толщины стенки из стандартного ряда.

Согласно таблице 11-27 [4, с.345] расчетная формула для определения определяем внутреннего диаметра защитной трубы II категории сложности будет иметь вид:

$$D \geq 1,4 \cdot d,$$

где D – внутренний диаметр защитной трубы, мм; d - диаметр кабеля, мм.

Ближайшее большее значение наружного диаметра трубы выбирается в соответствии с ГОСТ 10.704-91.

Тогда для кабелей марки КВВГ 4х1,0 диаметр трубы будет равен:

$$D \geq 1,4 \cdot 7,6 = 10,64 \text{ мм},$$

Ближайшее большее значение наружного диаметра защитной трубы равно $D = 13$ мм, учитывая толщину стенки 1мм.

Для кабелей марки КВВГ 7х1,0 наружный диаметр защитной трубы будет равен:

$$D \geq 1,4 \cdot 9,5 = 13,3 \text{ мм},$$

Ближайшее большее значение наружного диаметра защитной трубы равно $D = 16$ мм, учитывая толщину стенки 1 мм.

Для кабелей марки КВВГ 5х1,5 наружный диаметр защитной трубы будет равен:

$$D \geq 1,4 \cdot 10 = 14 \text{ мм},$$

Ближайшее большее значение наружного диаметра защитной трубы равно $D = 16$ мм, учитывая толщину стенки 1 мм.

Для кабелей марки АКВВГ 4х2,5 внутренний диаметр будет равен:

$$D \geq 1,4 \cdot 10,2 = 14,28 \text{ мм},$$

Ближайшее большее значение внутреннего диаметра равно $D = 18$ мм, учитывая толщину стенки 1 мм.

Для кабелей марки АКВВГ 5х2,5 наружный диаметр защитной трубы будет равен [12]:

$$D \geq 1,4 \cdot 11 = 15,4 \text{ мм},$$

Ближайшее большее значение наружного диаметра защитной трубы равно $D = 18$ мм, учитывая толщину стенки 1 мм.

Для кабелей марки ПТВВ-ХК 2х1 наружный диаметр защитной трубы будет равен [10]:

$$D \geq 1,4 \cdot 8 = 11,2 \text{ мм},$$

Ближайшее большее значение наружного диаметра защитной трубы равно $D = 14$ мм, учитывая толщину стенки 1 мм.

Для кабелей марки КИПЭВ 2х0,6 наружный диаметр защитной трубы будет равен:

$$D \geq 1,4 \cdot 6,2 = 8,68 \text{ мм},$$

Ближайшее большее значение наружного диаметра $D = 12$ мм, учитывая толщину стенки 1 мм.

9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Задачей раздела финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение является качественное и количественное обоснование целесообразности создания автоматической системы контроля и регулирования температуры перегретого пара парового котла типа ТГМ-96Б.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выполнить анализ экономической целесообразности реализации проекта;
- 2) произвести расчет всех вложений на разработку проекта системы контроля и управления;
- 3) определить размер единовременных вложений на покупку средств автоматизации, размер затрат на их монтаж, поверку и наладку;
- 4) выполнить расчет экономической эффективности проекта за счет внедрения в эксплуатацию данной системы автоматизации.

Учитывая все выше описанные задачи необходимо сформировать структуру выполнения данного проекта, провести необходимые расчеты и сделать выводы.

9.1 Анализ экономической целесообразности реализации проекта

Данный проект предназначен для использования на Северной ТЭЦ-21 для наиболее эффективного контроля и регулирования температуры перегретого пара. Также, исследование можно использовать на других ТЭЦ и ГРЭС, которые оснащены парогенератором типа ТГМ-96Б.

Конкурентами являются компании производители котлоагрегатов, занимающиеся разработкой и производством паровых котлов, а также различных локальных систем контроля и регулирования параметров котла. Потенциальными конкурентами могут быть компании: ЗАО БКЗ

«Барнаульский Котельный Завод», ООО Белэнергомаш – БЗЭМ «Белгородский котлостроительный завод».

Далее представлены поставщики оборудования, приборов и технических средств автоматизации для разрабатываемого проекта.

Поставщиками датчиков температуры (ДТПЛ-045Л.И.), которые монтируются на участок автоматизации, является ОАО "ОВЕН", г. Москва.

Среди отечественных и зарубежных аналогов можно выделить такие компании по производству теплоэнергетического оборудования и технических средств автоматизации как Элемер (Россия), Siemens (Германия), Rosemount (США), а также Schneider Electric (Франция). Выбор российского производителя обоснован подходящими техническими и эксплуатационными характеристиками, которые удовлетворяют техническим требованиям разрабатываемой системы, а также более низкой стоимостью по сравнению с конкурентами.

Отечественная компания "ОВЕН", уже более 10 лет выпускает оборудование для различных систем автоматизации, самого современного уровня и высокого качества. Микропроцессорные программируемые контроллеры ОВЕН ПЛК 63 (МПК) этой компании обладают рядом достоинств (компактность, надежность, реализация сложных алгоритмов управления с помощью программных методов, возможность расширения количества точек ввода/вывода с помощью подключения внешних модулей по любому из встроенных интерфейсов и др.). Стоимость зарубежных аналогов значительно выше, поэтому в условиях тяжелой экономической ситуации, а также импортозамещения данный контроллер является наиболее выгодным вариантом.

Исполнительный механизм МЭОФ-1000/25-0,25 а также соответствующий данному типу ИМ пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3И поставляются отечественной компанией-производителем ОАО «ЗЭиМ», г.Чебоксары. Данные технические средства при работе в связке показывают хорошую надежность и очень высокие эксплуатационные и

технические характеристики на протяжении уже нескольких лет. Среди конкурентов могут быть такие компании как Leroy Somer (Франция), Delta Electronics Inc. (Тайвань), но выбор сделан в пользу отечественных приборов т.к. они очень простые в эксплуатации, соответствуют всем заданным требованиям разрабатываемой системы и гораздо дешевле зарубежных аналогов.

Конечный продукт представляет собой комплекс специализированных технических средств и приборов, расположенных на разрабатываемом участке трубопровода парового котла, которые обеспечивают контроль и регулирование температуры перегретого пара в автоматическом режиме.

К основным средствам можно отнести АРМ оператора, с которого оператор выполняет визуальный контроль функции управления и регулирования.

Оборотным капиталом будет являться экономический эффект, полученный от эксплуатации автоматической системы регулирования.

По полученным результатам SWOT-анализа можно сделать вывод, что разрабатываемая технология будет являться перспективным проектом.

9.2 Декомпозиция проекта по работам и по видам монтажных работ

Ниже будет приведен перечень монтажных работ и объемов работ по замене существующей системы автоматизации на объекте, исходя из работы одной бригады, включающей в свой состав одного мастера бригады и двух слесарей, выполняющих непосредственно сам монтаж.

Перечень работ включает в себя:

- 1) установку датчиков температуры перегретого пара, на участке трубопровода;
- 2) установку регулятора (микропроцессорного контроллера) с последующим подключением к нему датчиков температуры;
- 3) монтаж исполнительного механизма и бесконтактного реверсивного пускателя;

4) подключение между собой всех технических средств автоматизации;

Для оценки трудоемкости выполнения работ воспользуемся экспертным путем в человеко-днях (чел.-дн.). По причине того что имеется множество трудно учитываемых факторов, влияющих на расчет, оценка трудоемкости является вероятностной. Для определения среднего значения трудоемкости воспользуемся следующей формулой:

$$t_{\text{ожі}} = \frac{3t_{\text{міні}} + 2t_{\text{максі}}}{5},$$

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

$t_{\text{міні}}$ – минимальная трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\text{максі}}$ – максимальная трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.

Результаты расчетов ожидаемой трудоемкости выполнения работы представлены в таблице 9.1.

Определим продолжительность выполнения каждой работы в рабочих днях T_p , воспользовавшись результатами предыдущего расчета. Учтем при этом возможность параллельного выполнения работ несколькими исполнителями. Данный расчет необходим для дальнейшего расчета заработной платы.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ожі}}}{\text{Ч}_i},$$

где T_{p_i} – длительность выполнения одной работы, рабочие дни (раб. дн.);

Ч_i – численность исполнителей, которые могут одновременно выполнять одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Также требуется найти продолжительность выполнения работ в календарных днях:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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

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

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

Временные показатели проведения монтажных работ представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Временные показатели проведения монтажных работ

Название текущих работ	Трудоёмкость выполняемых работ			Длительность работ T_{pi} , раб.дн.	Длительность работ T_{ki} , кал. дн.
	t_{min} , чел.-дн.	$t_{\text{ож}}$, чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.		
1) Установка датчиков температуры	1	1,4	2	0,7	1,1
2) Установка регулятора	1	1,4	2	0,7	1,1
3) Монтаж исполнительного механизма	2	2,4	3	1,2	1,8
4) Монтаж пускателя	1	1,4	2	0,7	1,1
5) Настройка и проверка работоспособности	2	2,4	3	0,8	1,2
Итого:				4,1	6,3

9.3 Затраты на разработку проекта

В процессе планирования сметной документации разрабатываемого проекта необходимо отразить все виды расходов, которые необходимы для его выполнения. В процессе формирования сметы должны быть учтены затраты по следующим статьям:

- материальные затраты проекта;
- основная заработная плата исполнителей;

- страховые отчисления;
- накладные расходы.

Материальные затраты проекта включают в себя стоимость каждого технического средства, которая определяется по формуле:

$$C = k \cdot Ц,$$

где C – стоимость прибора/технического средства автоматизации, руб.;

k – количество, шт.;

$Ц$ – цена прибора/технического средства автоматизации, руб.

Сумму расходов на приборы и ТСА сведены в таблице 7.

Таблица 7 - Затраты на приборы и ТСА

Наименование прибора/технического средства автоматизации	Количество, шт.	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Первичный преобразователь температуры ОВЕН ДТПЛ-045Л.И.	2	826	1652
Микропроцессорный программируемый контроллер ОВЕН ПЛК 63	2	9027	18054
Исполнительный механизм МЭОФ-1000/25-0,25	1	35600	35600
Пускатель бесконтактный реверсивный ПБР-3И	1	7200	7200
Итого:			62479

С учетом транспортных расходов и затрат на монтаж, получим:

$$C_1 = 62479 \cdot 1,14 = 71226 \text{ руб.}$$

Расходы на заработную плату состоят из основной заработной платы работников, которые заняты монтажом приборов и ТСА (включая доплаты, премии) и дополнительную заработную плату.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{тс}} + Д + Д_{\text{р}}}{F_{\text{д}}},$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке (оклад), руб.;

$Д$ – надбавка, руб.;

D_p – сумма, учитывающая районное регулирование, 30% от ($Z_{тс} + D$);

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени персонала;

$F_d = 26$ раб.дн.

Основная заработная плата исполнителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

$T_p = 7$ дней;

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

Заработная плата исполнителя, участвующего в выполнении монтажа:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $Z_{осн}$), руб.

Все результаты расчета з/п исполнителей технического проекта выписаны в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты расчета заработной платы исполнителей технического проекта

Исполнители	Оклад, руб.	Над-бавка, руб.	Район-ное регулирование, руб	Средне-дневная зар. плата, руб.	Продол-жительность работ, раб. дн.	Основ ная зар. плата, руб.	Допол-нительная зар.плата, руб.	Полная зар. плата, руб.
Мастер бригады	25342	4700	9012	1502	7	10517	1568	12085
Слесарь 4 разряда	14218	2900	5135	856	7	5998	998	6996
Слесарь 4 разряда	14218	2900	5135	856	7	5998	998	6996
Итого								26077

Отчисления в социальные страховые фонды представляют размер обязательных отчислений по нормам, которые установлены законодательством Российской Федерации органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского

страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина затрат во внебюджетные фонды составляет 30 % от оплаты труда:

$$З_{\text{внеб}} = 0,30 \cdot 26,1 = 7,8 \text{ тыс. руб.}$$

Накладные расходы составляют 16 % от размера заработной платы и в нашем случае будут равны:

$$З_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 26,1 = 4,1 \text{ тыс. руб.}$$

Другие расходы определяются как 1% от суммы материальных затрат, затрат на оплату труда и социальных отчислений:

$$З_{\text{пр}} = 0,01 \cdot (26,1 + 7,8 + 71,2) = 1 \text{ тыс. руб.}$$

Далее составляем смету затрат на выполнение технического проекта, которая приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Расчетная смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Структура затрат, %
Материальные затраты	71,2	91,9
Оплата исполнителей технического проекта	26,1	4,8
Отчисления во внебюджетные фонды	7,8	1,5
Накладные расходы	4,1	0,8
Прочие расходы	1	1
Себестоимость проекта	110,2	100,0

Проанализировав данные сметы (Таблица 9.4), можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят 110,2 тыс. руб., из которых около 91,9 % составят затраты на оборудование и 4,8 % – затраты на полную заработную плату исполнителей проекта.

9.4 Расчет срока окупаемости проекта

Определим срок окупаемости затрат на реализацию технического проекта. Для апробации оборудования на практике берем генерирующий объект мощностью 300 МВт.

Целью установки оборудования является обеспечение безопасности и надежности работы котла. В случае если оборудование не установлено или используется некорректно возникает 5% вероятности выхода системы из строя, что приведет к аварийной ситуации.

Ориентированный расчет времени простоя составляет часов 100 часов.

В течении года эксплуатации время простоя составляет 55 суток (0,15 года).

Рассчитаем количество потерь энергии за год P_3 :

$$P_3 = T \cdot W = 0,15 \cdot 258,72 = 38,8 \text{ Гкал},$$

где T – время простоя, ч;

W – тепловая мощность, Гкал/час

Рассчитаем стоимость потерь за год C_p :

$$C_p = P_3 \cdot C_T = 38,8 \cdot 1300 = 50440 \text{ руб},$$

где P_3 – количество потерь за год, кВт·ч;

C_T – тариф на электроэнергию (1300 руб/Гкал).

Установка выбранного оборудования обеспечивает экономию этих потерь.

В соответствии с ЕСН (единицами сметными нормами) стоимость проектных и монтажных работ в теплоэнергетике составляет 10% от их нормативной стоимости и составляет 10500 рублей.

Общая стоимость оборудования и монтажа составляет 81726 рублей.

Экономия потерь за первый год составляет:

$\mathcal{E}_{k1} = 50440$ рублей.

Экономия потерь за второй год составляет:

$\mathcal{E}_{k2} = 50440$ рублей.

Срок окупаемости будет равен:

$T_{\text{окуп}} = C_{\text{об}}/\mathcal{E}_{ki} = 81726/50440 = 1,62 \text{ года} = 19,4 \text{ месяца.}$

Срок окупаемости выбранного оборудования составит 19,4 месяца, но основная цель приборов учета и контроля это обеспечение безопасности и надежности работы станции.

9.5 Результаты экономического анализа системы

В результате выполнения поставленных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

- 1) выполнен анализ экономической целесообразности реализации проекта;
- 2) определив монтажные работы и их объемы, разработана таблица временных показателей, рассчитана заработная плата бригады по монтажу оборудования, приборов и ТСА;
- 3) составлена смета технического проекта
- 4) затраты на реализацию технического проекта составили 110,2 тыс. руб.;
- 5) проведен расчет срока окупаемости данного технического проекта.