

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники
Направление подготовки 15.03.04 "Автоматизация технологических процес-
сов и производств"
Направленность (профиль) программы "Автоматизация технологических
процессов и производств в энергетике"

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
И.о. заведующего кафедрой
А.А. Остапенко
« ____ » _____ 2016г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Автоматизированная система управления технологическими про-
цессами котлоагрегата Благовещенской ТЭЦ

Исполнитель
студент группы 241об

подпись, дата

_____ С.С. Болотин _____

И.О.Ф.

Руководитель
доцент, канд.тех.наук
должность, учено звание

подпись, дата

_____ Д.А. Теличенко _____

И.О.Ф.

Нормоконтроль

подпись, дата

_____ Н.С. Бодруг _____

И.О.Ф.

Благовещенск 2016

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет энергетический
Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники

УТВЕРЖДАЮ
И.о. заведующего кафедрой
А.А. Остапенко
« ____ » _____ 2016г.

З А Д А Н И Е

К выпускной квалификационной работе студента Болотина Степана Сергеевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Автоматизированная система управления технологическими процессами котлоагрегата Благовещенской ТЭЦ

(в соответствии с приказом № 2530-уч от 07.12.2015г.)

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы: 14.06.2016г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе Инструкции по эксплуатации, разгонные кривые, описание контуров регулирования.

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): 1) Подходы к построению АСУ ТП. 2) Нижний уровень АСУ ТП. 3) Математическая часть АСУ ТП

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.) Приложение А: Структурная схема котлоагрегата; Приложение Б: Спецификация; Приложение В: Принципиальная технологическая схема барабанного котла; Приложение Г: Автоматические схемы регулирования котлоагрегата; Приложение Д: Техническое задание.

6. Консультанты по выпускной квалификационной работе (с указаниями относящихся к ним разделов) _____

7. Дата выдачи задания _____

Руководитель выпускной квалификационной работы:

Теличенко Денис Алексеевич, доцент, кандидат технических наук

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): _____

(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 79 с., 3 части, 53 рисунка, 4 таблицы, 20 источников, 5 приложений.

ПОЛНАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СХЕМА, АСУ ТП, РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ ПОДХОД, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ, АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА.

В работе исследованы разные подходы и виды к построению АСУ ТП, типы интерфейсов для передачи данных, выбрано необходимое оборудование и произведен расчет систем регулирования.

Основу методологии исследований составляют распределенный и централизованный подходы к управлению, так же типы цифровых интерфейсов передачи данных. Еще составляющими являются подходы к регулированию выбранного контура котлоагрегата.

На основании распределенного подхода к построению АСУ ТП была построена аппаратная часть системы по управлению котлоагрегатом на предприятии СП БТЭЦАО «ДГК» ФАО «Амурская генерация», а так же рассмотрены подходы к управлению одного из контуров регулирования котлоагрегата.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. Подходы к построению АСУ ТП	8
1.1 Методы и виды построения АСУ ТП	8
1.2 Благовещенска ТЭЦ	14
1.3 Окончательный выбор подхода к проектированию АСУ ТП	17
2. Нижний уровень АСУ ТП	20
2.1 Технологический процесс котельного агрегата	20
2.1.1 Регулирование питания котла	22
2.1.2 Регулирование непрерывной продувки	23
2.1.3 Регулирование тепловой нагрузки, первичного воздуха и загрузки мельниц	24
2.1.4 Регулирование температуры аэросмеси за ММТ	26
2.1.5 Регулирование разрежения в топке	27
2.1.6 Регулирование температуры перегретого пара	28
2.1.7 Регулирование общего воздуха	29
2.1.8 Регулирование температуры за калорифером	30
2.2 Разработка аппаратной части	31
3. Математическая часть АСУ ТП	40
3.1 Получение математической модели объекта	40
3.2 Расчет классической системы регулирования	45
3.3 Расчет адаптивной системы	52
3.4 Расчет нечеткой системы	56
3.5 Сравнение полученных результатов	61
Заключение	66
Библиографический список	67
Приложение А. Полная электрическая схема	69
Приложение Б. Спецификация	70
Приложение В. Принципиальная технологическая схема барабанного котла	71

Приложение Г. Автоматические схемы регулирования котлоагрегата	72
Приложение Д. Техническое задание	73

ВВЕДЕНИЕ

АСУ ТП - это комплекс технических и программных средств, обеспечивающих выработку решений на основе автоматизации процессов и реализацию управляющих воздействий на технологический объект управления [6]. Предпосылками создания АСУ ТП: рост масштабов производства, увеличение единичной мощности оборудования, усложнение производственных процессов, развитие технологий.

Разработка проектов АСУ ТП для объектов теплоэнергетики заключается в выполнении задач связанных с выбором и подключением огромного количества оборудования, а так же созданием подсистем по контролю и управлению технологическим процессом.

В настоящее время достигнутый уровень развития микропроцессорных средств и моральное старение действующего оборудования, дает все возможности для реализации распределенного подхода к построению АСУ ТП.

Рассматривая предприятие СП БТЭЦ АО «ДГК» ФАО «Амурская генерация» и то, что в связи со строительством в Благовещенске Северного микрорайона, принято решение о начале сооружения в 2009 году второй очереди Благовещенской ТЭЦ, в декабре 2013 года был подписан договор на оказание услуг генерального подряда по строительству 2-й очереди Благовещенской ТЭЦ. Установленная электрическая мощность станции должна вырасти на 120 МВт и составить 400 МВт, тепловая мощность — на 188 Гкал/ч, до 1005 Гкал/ч., годовая выработка – 464 млн кВт.ч.

Задачи строительства второй очереди Благовещенской ТЭЦ: ликвидация дефицита и удовлетворение растущего спроса на тепловую энергию в г.Благовещенск; повышение эффективности системы теплоснабжения за счет замещения выбывающих мощностей нерентабельных котельных Благовещенска; повышение надежности электроснабжения потребителей; покрытие неравномерной части графиков электрической нагрузки в Объединенной энергосистеме Востока.

При строительстве второй очереди применялось новое оборудование, в том числе программно-технический комплекс «Овация» фирмы EMERSON. Поэтому предлагается унификация для первой очереди как это было реализовано на второй, а так же применение новых технологий по управлению. Таким образом, цель данной работы – найти разумное применение подходов к построению автоматизированных систем управления, а так же использование цифровых технологий для выбора необходимого оборудования, расчет и анализ подходов к регулированию, и применение всего этого для построения АСУТП котлоагрегата СП БТЭЦ АО «ДГК» ФАО «Амурская генерация».

1 ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ АСУ ТП

1.1 Методы и виды построения АСУ ТП

Управления технологическими объектами и процессами, как правило, связаны со сложными и трудоемкими процедурами сбора данных, обработки и анализа полученной информации, а также своевременной выдачей необходимых управляющих воздействий. Для обеспечения пользователей информацией об изменении свойств анализируемых потоков данных в реальном масштабе времени необходимы быстродействующие вычислительные платформы на основе базовых микропроцессорных средств, а также эффективное программное обеспечение. Перспективным является построение таких систем на базе цифровых технологий.

Одна из основных задач управления технологическим процессом на ТЭЦ состоит в поддержании требуемого соотношения вырабатываемой и необходимой энергии при изменении количества потребляемого топлива. Всякое управление подразумевает наличие объекта, измерительных элементов и управляющего органа. Объекты управления бывают самые разные, например: технологические процессы различных предприятий, отрасли народного хозяйства, энергетика, сферы электронного документооборота и т.д. Так как в современном мире еще не возможно полностью отказаться от участия человека в управлении сложной автоматизированной системой, то на него возлагается часть функций, причем, всегда самых ответственных, поэтому и создаются различные автоматизированные системы управления различными процессами.

Составными частями АСУ ТП могут быть отдельные системы автоматического управления (САУ) и автоматизированные устройства, связанные в единый комплекс. Как правило, АСУ ТП имеет единую систему операторского управления технологическим процессом в виде одного или нескольких пультов управления, средства обработки и архивирования информации о ходе процесса, типовые элементы автоматики: датчики, контроллеры, исполни-

тельные устройства. Для информационной связи всех подсистем используются промышленные сети.

АСУ ТП предназначается для:

- повышения оперативности управления, эффективности и надежности работы автоматизированной системы;
- снижения косвенных затрат на эксплуатацию удаленных объектов;
- своевременное координирование действий подразделений предприятия;
- обеспечения руководителей и инженерно-технических работников (ИТР) информацией, необходимой для принятия эффективных решений управления и планирования;
- обеспечения оптимальных решений работы технологического оборудования;
- полное протоколирование всех штатных и нештатных ситуаций, а также действий операторов автоматизированного рабочего места (АРМ).

Так же она обеспечивает выполнение всех функций современных автоматизированных систем: информационно-измерительные функции; информационно-расчетные функции; функции технологических защит и блокировок; функции автоматического регулирования; функции дистанционного управления; функции программно-логического управления; функции проверок и диагностики оборудования АСУ ТП.

При создании АСУ ТП концептуально разделяют на три уровня иерархии, таких как:

1) Низший уровень (уровень оборудования). Он включает в себя датчики, измерительные преобразователи для сбора информации о технологическом процессе, так же исполнительные механизмы и электроприводы для задания регулирующих воздействий.

2) Средний уровень (контроллерный уровень). На данном уровне используются программируемые логические контроллеры (ПЛК), которые будут собирать, и обрабатывать информацию, поступающую с нижнего уровня. Так же здесь производится расчет всех нужных параметров и реализация программных алгоритмов управления.

3) Высший уровень (диспетчерский уровень). Здесь главной задачей является управление и слежение за процессом, данными функциями занимаются SCADA системы, в состав которой входит автоматизированное рабочее место (АРМ) т.е. компьютер с человеко-машинным интерфейсом. Человек выполняет функцию диспетчера, который следит за всем технологическим процессом и управляет им с помощью этого АРМа.

Так же АСУ ТП разделяют по виду управления. Существует два подхода к управлению: централизованное, распределенное.

Централизованный подход (рис. 1) [1] представляется в виде единого органа (контроллера), как правило, занимающимся реализацией всех процессов управления объектами, который осуществляет сбор информации обо всех объектах управления (ОУ) и ее обработку и каждому ОУ на основе их анализа в соответствии с требованиями системы вырабатывает управляющие сигналы [1].

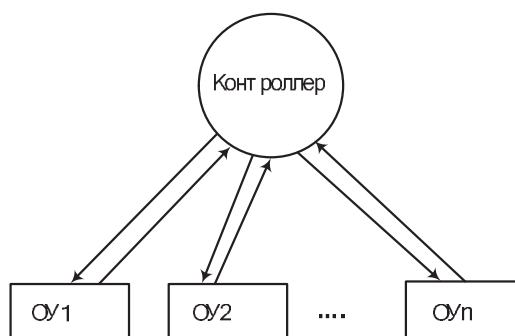


Рисунок 1 – Схема централизованного управления

Здесь ОУ – Объект управления – отдельная часть большего технологического процесса.

Децентрализованное (распределенное) управление предполагает распределение функций управления по отдельным элементам сложной системы. При таком подходе система состоит из множества ОУ, разнесенных в пространстве, каждое из которых не зависит от остальных, но взаимодействуют с ними для выполнения общей задачи. Для выработки воздействия на каждый объект необходима информация только о состоянии этого объекта (рисунок 2) [1].

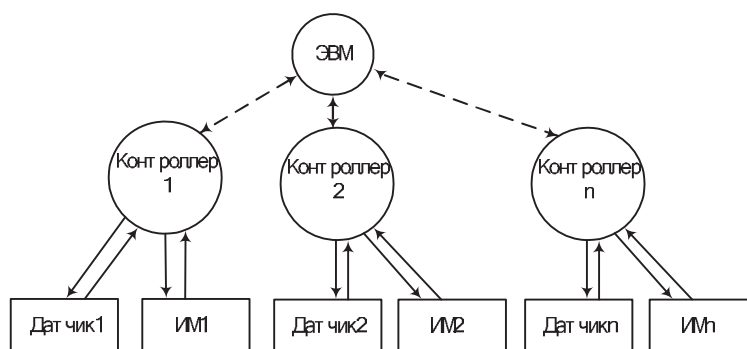


Рисунок 2 – Схема распределенного управления

Здесь на рисунке 2 ИМ – Исполнительный механизм.

В данном случае распределенные системы состоят из множества территориально распределенных контроллеров. При таком подходе функции сбора, обработки данных и управления оказываются распределенными среди множества контроллеров, потому что контроллер является локальным, так как управляет отдельным технологическим процессом. Такая система является следствием развития и совершенствования подходов к управлению, начиная от общего централизованного подхода к распределенному подходу [13].

Максимальные достоинства распределенной системы достигаются, когда контроллеры работают автономно, а обмен информацией между ними минимален. Так же все физические устройства распределенной системы должны обладать единым интерфейсом связи. Отличительная особенность такого подхода состоит в том, что база данных содержится не в одном, а в нескольких контроллерах.

В случае выхода контроллера из строя или обрыва линии связи между контроллерами и компьютером система продолжает выполнять основные функции по управлению процессом доступа в автономном режиме [11].

Еще основными техническими требованиями при проектировании данных АСУ ТП являются:

- обеспечения широкого температурного диапазона работы технических средств локальных систем автоматического управления (САУ);
- распределения системы электропитания;

- обеспечения надежного контура заземлений на каждой отдельной площадке объекта автоматизации;
- защиты контрольно-измерительных и информационных каналов от внешних воздействий, а также усиление передаваемых сигналов;
- выбора оптимального, с точки зрения эффективности, надежности и взаимозаменяемости составных частей, удовлетворяющего международным стандартам контроллерного оборудования;
- выбора оптимального, с точки зрения пылевлагодонепроницаемости, а также защиты от электромагнитного излучения, коррозии и др. факторов, удовлетворяющего международным стандартам конструктива шкафа цехового контроллера, шкафов автоматики локальных САУ и автоматизированного рабочего места системного инженера (АРМ);
- обеспечения высоконадежных каналов обмена технологической информацией между отдельными автоматизированными объектами и централизованной системой управления и контроля;
- резервирования основной аппаратуры контроля и управления, а также наиболее важных каналов передачи информации;
- обеспечения аппаратного и программного аварийного останова технологического комплекса при аварийных ситуациях;
- обеспечения высокоэффективного человеко-машинного интерфейса в системе визуализации и мониторинга;
- обеспечения обмена данными по информационным каналам в реальном масштабе времени;

Остальные требования приведены в техническом задании в приложении Г.

Рассмотрев подходы к построению АСУ ТП, можно сделать вывод, что каждый из них обладает рядом своих достоинств и недостатков. В основном можно сказать [1], что централизованные системы обладают возможностью оптимальной технической реализации и простой реализацией алгоритмов управления. К минусам можно отнести то, что здесь обязательны: сбор, хра-

нение и обработка очень больших объемов информации, высокие требования к надежности системы и высокая протяженность кабеля из-за территориального расположения оборудования. К положительным сторонам распределенной системы управления в свою очередь относят высокая надежность, низкая перегруженность каналов связи, минимальные объемы сбора, хранения и обработки информации, но к основному недостатку относиться стоимость оборудования [1].

Так же стоит отметить, что при построении АСУ ТП тип интерфейса играет немало важную роль. Существует два типа интерфейса для передачи сигналов: аналоговой и цифровой.

В первом случае аналоговые линии применяются уже не так повсеместно, так как идет развитие цифровой техники, а данный вид сигнала имеет большую неустойчивость к помехам, что приводит к искажению информации, а в условиях больших предприятий, таких как ТЭЦ это не допустимо. Так же требуется прокладка очень длинных кабельных трасс, что ведет к большим экономическим затратам на покупку и прокладку кабеля. Между тем аналоговая передача является одной из самых распространенных, так как данный стандарт является общепринятым разными производителями, а сама технология хорошо известна и распространена.

При использовании цифровых линий достигается, прежде всего, надежность передачи данных и косвенно возможная экономия кабеля. При этом может быть использована обычная витая пара и измерительные и управляющие элементы с цифровыми интерфейсами. Так же все датчики, механизмы и исполнительные устройства должны обладать взаимозаменяемостью, а именно иметь один и тот же протокол обмена и физический интерфейс связи [2]. При использовании таких датчиков для обмена информацией используют протоколы такие как: HART, UART, DeviceNET, промышленных сетей Modbus и Profibus (на основе стандарта RS 485), CAN. И возможно последней проблемой может стать стоимость самих устройств.

Подробнее стоит рассмотреть именно промышленные сети. Протокол Modbus по сравнению с Profibus является более открытым и распространенным. Данный протокол работает по принципу ведущий (master)-ведомый (slave), основанный на транзакциях, в состав которого входит запрос и ответ. Только ведущий может опрашивать устройства находящиеся в сети, которые являются ведомыми. Обычно в сети есть только одно ведущее устройство и несколько ведомых устройств. Мастер может адресовать запрос индивидуально ведомому устройству или же делать широковещательную передачу сообщения для всех ведомых устройств. Подчиненное устройство, опознав свой адрес, отвечает на запрос, адресованный именно ему. При получении широковещательного запроса ответ подчиненными устройствами не формируется [13].

В свою очередь протокол Profibus является более закрытой, и применим в основном только для контроллеров фирмы Siemens. Но Profibus характеризуется минимальным временем реакции и высокой стойкостью к воздействию внешних электромагнитных полей. Данный протокол позволяет объединять разрозненные устройства автоматизации в единую систему на уровне датчиков и приводов. Так же как и Modbus использует обмен между ведущим и ведомыми устройствами (протоколы DP и PA) или же между несколькими ведущими устройствами (протоколы FDL и FMS) [13].

1.2. Благовещенская ТЭЦ

Таким образом, до выбора подхода к реализации системы учитывая то, что здесь важен сам технологический процесс, рассмотрим особенности ТЭЦ как объекта управления. Существует два вида ТЭЦ по тепловым схемам: блочные и с поперечными связями. Виды их схем представлены на рисунке 3.

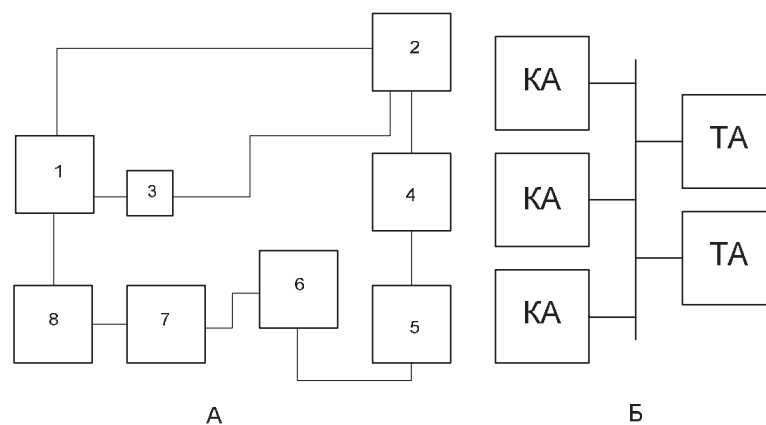


Рисунок 3–Схема блочной ТЭЦ

Здесь на рисунке 3: 1 – Пароводяной тракт, 2 – проточная часть турбины, 3 – промежуточный пароперегреватель (участок вторичного перегрева пара), 4 – участок подготовки конденсата, 5 – участок регенеративного подогрева конденсата, 6 – участок подготовки питательной воды (питательно-деаэрационная установка), 7 – участок регенеративного подогрева питательной воды, 8 – контур пусковых впрысков, КА – котельный агрегат, ТА - турбоагрегат.

В блочных ТЭЦ происходит компоновка основного оборудования с независимым технологическим процессом в пределах каждого энергоблока, рисунок 3.а.

Преимуществом такой схемы является ее экономичность, сокращаются длины трубопроводов и количество запорно-регулирующих органов. Однако для нормальной эксплуатации блочных ТЭЦ надежность их оборудования должна быть значительно выше, чем в ТЭЦ с поперечными связями, так как в блоках нет резервных котлов, поэтому в таких схемах выход из строя любого контура приводит к отключению всего блока [3].

На ТЭЦ с поперечными связями все котлы работают на одну паровую магистраль. Схема, с поперечными связями, рисунок 3.б пар от всех паровых котлов поступает в общий паропровод, а из него распределяется по турбинам, таким образом можно использовать пар от всех котлов для питания лю-

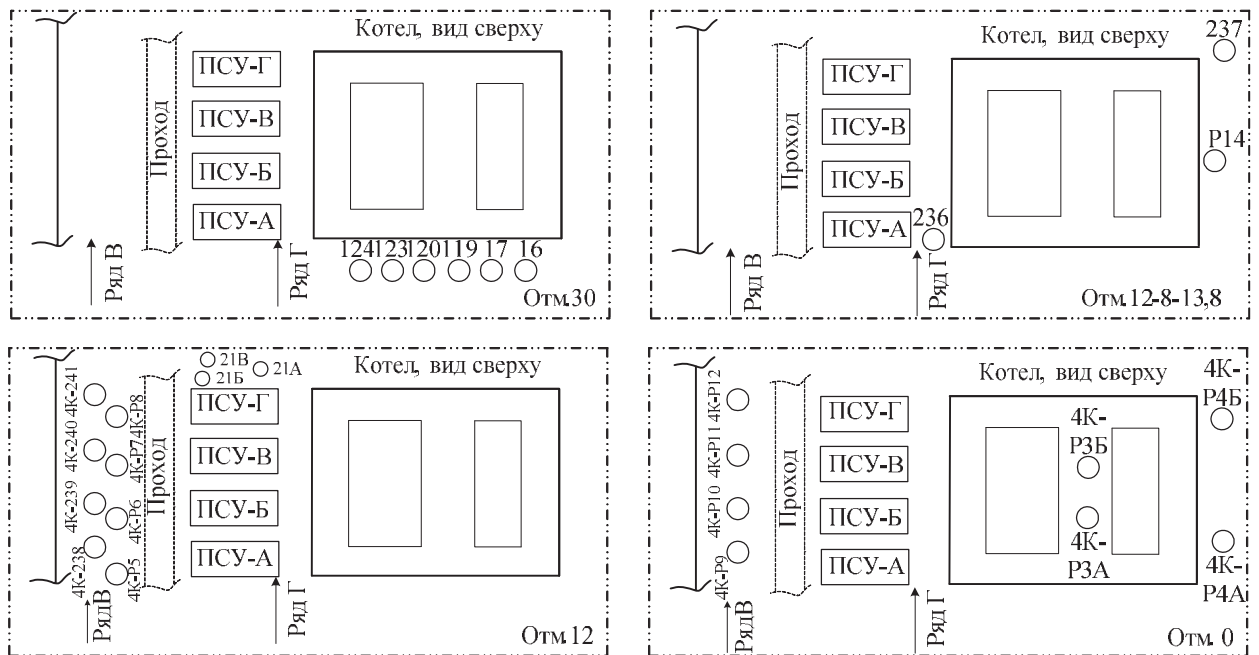


Рисунок 4 – Схема расположение исполнительных механизмов по отметкам на котле Благовещенской ТЭЦ

Здесь на рисунке: ПСУ – Питатель сырого угля, обозначения с буквой «Р» это принадлежность исполнительных механизмов к определенным регуляторам контуров.

В итоге после того как было описано про БТЭЦ можно перейти к окончательному выбору подхода к проектированию АСУ ТП.

1.3 Окончательный выбор подхода к проектированию АСУ ТП

Рассмотрев виды построения АСУ ТП, и принимая во внимание, что в данный момент идет тенденция перехода на цифровой сигнал и отказ от аналогового сигнала. А построение полномасштабной АСУ ТП всей ТЭЦ очень объемная и затратная операция, поэтому для начала был выбран один котлоагрегат.

Как было сказано выше про принятую концепцию на БТЭЦ, и так как используется аналоговая передача данных, поэтому возможна экономия прокладки кабеля для питания цифровых датчиков [5]. Потому что предполагается соединение оборудования в единую сеть, разделенную по контурам регулирования.

Так как к настоящему времени существует немалый опыт внедрения распределенных систем разного рода. Но на самом же деле однозначного и точного решения к построению АСУ ТП нет, в некоторых случаях возможен разумный компромисс, который проявляется в объединении подходов к построению АСУ ТП на её разных уровнях иерархии.

В частности стоит отметить, что распределенный подход будет реализован относительно управления всем процессом, а именно распределение на контроллерном уровне функций управления процессом. А централизованный подход будет представляться в виде единого нахождения всего контроллерного оборудования в отдельном помещении из-за того что в данный момент на БТЭЦ не предоставляется возможности размещения этого оборудования вблизи технологического объекта управления, и схождение всей информации на единый сервер. Поэтому на данном этапе составим структурную схему всей системы, в которой представлено в общем виде соединение оборудования с контроллером, схема приведена на рис. 6.

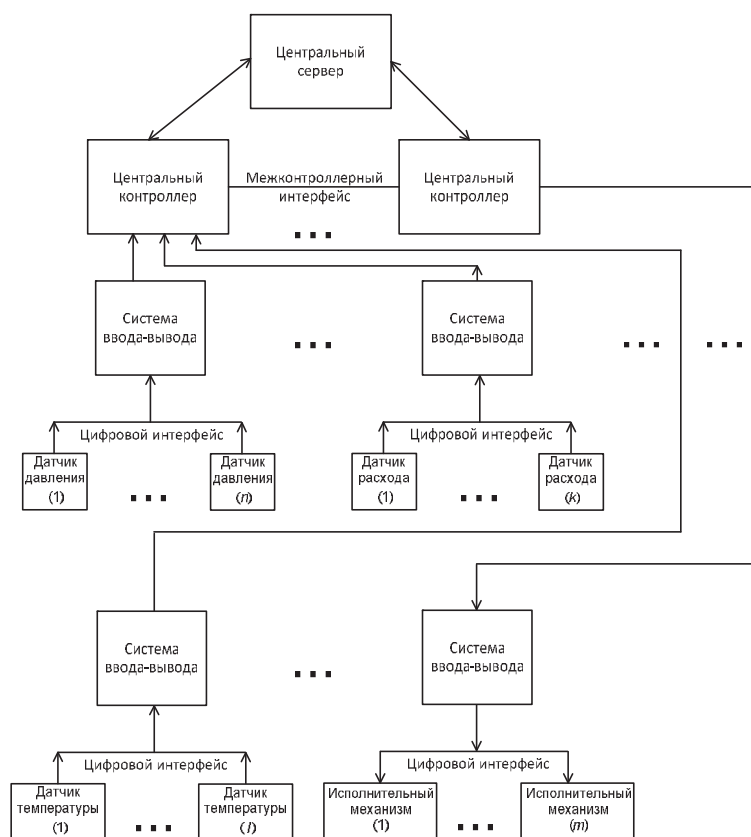


Рисунок 6 – Структурная схема

Вследствие этого будет осуществлено разумное применение подходов к управлению и цифровых технологий, а так же реализованы по возможности все три уровня иерархии АСУ ТП.

2 НИЖНИЙ УРОВЕНЬ АСУ ТП

2.1 Технологический процесс котельного агрегата

Для построения данного уровня АСУ ТП котлоагрегата требуется рассмотреть все процессы, происходящие в котлоагрегате.

Рассмотрим принципиальную схему технологического процесса, протекающего в барабанном паровом котле, которая показана на рис. 7 [1].

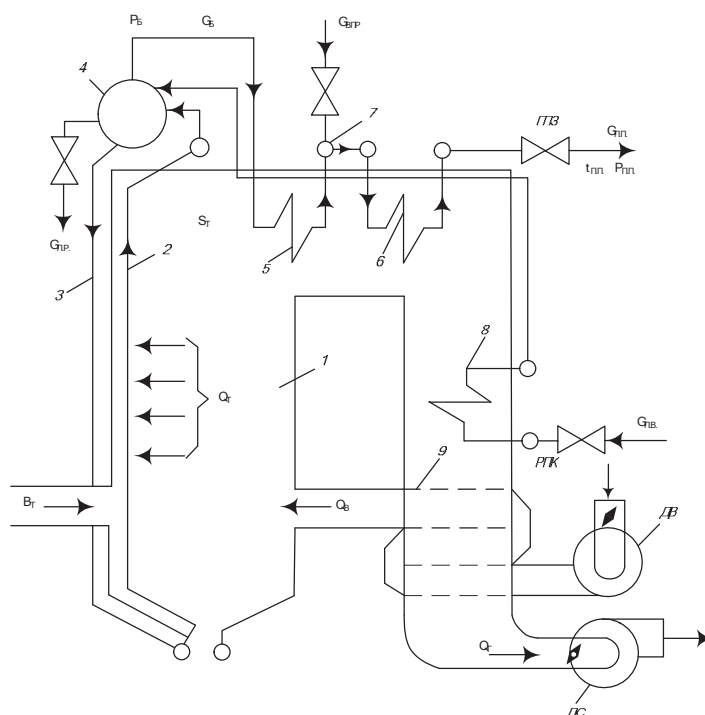


Рисунок 7 –Принципиальная технологическая схема барабанного котла

Здесь на рисунке: 1 – Топка, 2 – циркуляционный контур, 3 – опускные трубы, 4 – барабан, 5, 6 – пароперегреватели, 7 – парохладитель, 8 – экономайзер, 9 – воздухоподогреватель, ГПЗ – главная паровая задвижка, РПК – регулирующий питательный клапан, ДВ – дутьевой вентилятор, ДС – дымосос, Q_B – расход воздуха подаваемый в топку, Q_G – расход дымовых газов, G_B – расход насыщенного пара, $G_{ВПР}$ – расход воды на впрыск, P_B – давление пара в барабане, S_T – разрежение, $G_{П.В.}$ – расход питательной воды, $G_{П.П.}$ – расход воды выпускаемой из барабана, Q_T – тепловыделение в топке, $G_{П.П.}$ – расход перегретого пара.

Топливо поступает через горелочные устройства в топку 1, где его сжигают обычно факельным способом. Для поддержания процесса трения в топку подают воздух в количестве Q_B . Его нагнетают с помощью вентилятора ДВ и предварительно нагревают в воздухоподогревателе 9.

Образовавшиеся в процессе горения дымовые газы Q_r отсасывают из топки дымососом ДС. Попутно они проходят через поверхности нагрева пароперегревателей 5, 6, водяного экономайзера 8, воздухоподогревателя 9 и удаляются через дымовую трубу в атмосферу.

Процесс парообразования протекает в подъемных трубах циркуляционного контура 2, экранирующих камерную топку и снабжаемых водой из опускных труб 3. Насыщенный пар G_6 из барабана 4 поступает в пароперегреватель, где нагревается до установленной температуры за счет радиации факела и конвективного обогрева топочными газами. При этом температуру перегрева пара регулируют в пароохладителе 7 с помощью впрыска воды $G_{ВПР}$.

Основными управляемыми величинами котла являются: расход перегретого пара $G_{П.П.}$, давление перегретого пара $p_{П.П.}$ и температура перегретого пара $t_{П.П.}$. Расход пара является не постоянной величиной, в свою очередь давление и температуру стараются поддерживать в допустимых пределах отклонений, что необходимо по определенным требованиям эксплуатации турбины или различных потребителей тепловой энергии [3].

Исходя из рассмотренного процесса, можно выделить несколько контуров регулирования котлоагрегата:

- 1) Регулирование питания котла;
- 2) Регулирование непрерывной продувки;
- 3) Регулирование тепловой нагрузки, первичного воздуха и загрузки мельниц;
- 4) Регулирование температуры аэросмеси за ММТ (молотковая мельница тангенсальная);
- 5) Регулирование разрежения в топке;

- 6) Регулирование температуры перегретого пара;
- 7) Регулирование общего воздуха;
- 8) Регулирование температуры за калорифером.

Рассмотрим каждый контур регулирования котлоагрегата.

2.1.1 Регулирование питания котла

Регулятор питания котлоагрегата предназначен для поддержания (среднего) уровня в барабане (может не совпадать с геометрической осью барабана), равного нулю по шкале измерительного прибора, путем изменения подачи воды в котел с помощью регулирующего клапана. Уровень воды должен поддерживаться постоянным при изменении нагрузки и режима работы котлоагрегата. Отклонение уровня за пределы может привести к нарушению технологического процесса и повреждению основного оборудования. Снижение уровня за пределы считается «упуском» воды. Оно опасно нарушением циркуляции воды в котлоагрегате, что может привести к перегосу экранных труб. Повышение уровня – «перепитка», что может привести к забросу воды в пароперегреватель котла и далее в турбоагрегат с причинением механических повреждений [3].

Эту задачу выполняет регулятор, принципиальная схема, которая изображена на рисунке 8. Регулятор 3 перемещает клапан 4 при появлении сигнала небаланса между расходами питательной воды $G_{п.в.}$ и пара $G_{п.п.}$.

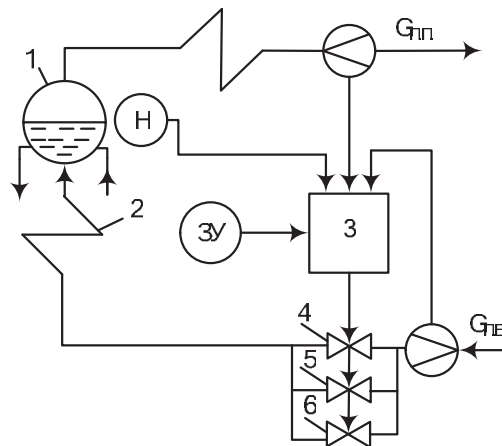


Рисунок 8 – АСР питания водой барабанного котлоагрегата

Здесь на рисунке: 1 – Барабан, 2 – водяной экономайзер, 3 – регулятор питания, 4,5 и 6 – регулирующие клапаны питательной воды, ЗУ – задающие устройство, $G_{п.п.}$ – расход перегретого пара, Н – уровень в барабане, $G_{п.в.}$ – расход питательной воды.

РПК воздействует на один из трех регулирующих клапанов узла питания котла. Выбор регулирующего клапана осуществляется.

Выбранный «основной» клапан осуществляет поддержание уровня воды в барабане в базовом режиме, и работает до момента достижения им одного из конечных выключателей. В момент, когда «основной» клапан достигает своего концевого выключателя, в работу вводится «вспомогательный» клапан.

Если, например, «основной» клапан достиг концевого на max, то «вспомогательный» клапан будет работать только в сторону «больше». В случае возникновения сигнала на «меньше» «вспомогательный» клапан останавливается, и регулирование уровня берет на себя «основной» клапан.

В случае если «основной» клапан достигает концевого на min, то вспомогательный клапан работает только в сторону «меньше». В случае возникновения сигнала на «больше» «вспомогательный» клапан останавливается, и регулирование уровня берет на себя «основной» клапан [20].

2.1.2 Регулирование непрерывной продувки

Химический состав воды, циркулирующей в барабанных котлах, оказывает существенное влияние на длительность их безостановочной и безремонтной кампаний. К основным показателям качества котловой воды относят общее солесодержание (концентрация солей в пересчете на соли Na, мг/кг) и избыток концентрации фосфатов (содержание ионов PO_4^{3-} , мг/кг).

Поддержание общего солесодержания котловой воды в пределах нормы осуществляют с помощью непрерывной и периодической продувок из барабана в специальные расширители. Потери котловой воды с продувкой восполняют питательной водой в количестве, определяемом уровнем воды в барабане. Периодическую продувку применяют для удаления скоплений шлама

в нижних коллекторах, выполняют один-два раза в смену и, как правило, не автоматизируют.

Регулирование непрерывной продувки осуществляют по схеме, представленной на рисунке 9 [3].

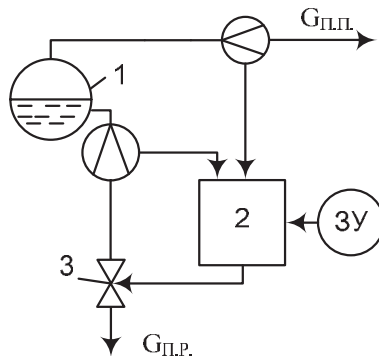


Рисунок 9 – АСР непрерывной продувки

Здесь на рисунке 1 – Барабан, 2 – регулятор продувки, 3 – регулирующийся клапан продувки, $G_{П.П.}$ – расход перегретого пара, $G_{П.Р.}$ – расход воды выпускаемой из барабана.

Данный регулятор работает путем периодической продувки в пределах 0,5 - 1 % от паропроизводительности котла, что обеспечивает безаварийную эксплуатацию котлоагрегата. На регулятор поступает расход перегретого пара за котлом, расход воды для продувки и задание для непрерывной продувки, вследствие чего регулятор представляется в виде соотношения этих расходов.

2.1.3 Регулирование тепловой нагрузки, первичного воздуха и загрузки мельниц

Котел как объект регулирования тепловой нагрузки может быть представлен в виде последовательного соединения простых участков, разграниченных конструктивно (см. рисунок 11): топочной камеры; парообразующей части, состоящей из поверхностей нагрева, расположенных в топочной камере; барабана и пароперегревателя.

Схема формирования тепловой нагрузки котла называемого в дальнейшем сигналом по теплоте, приведена на рис. 10.

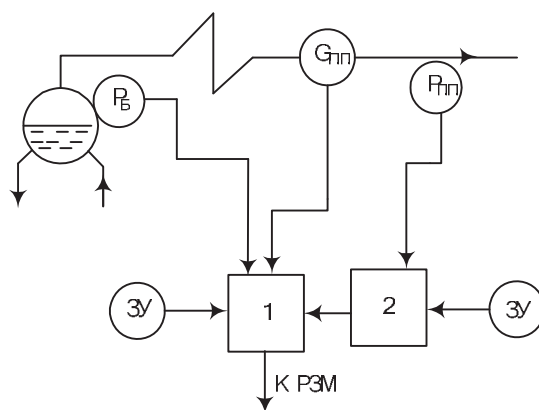


Рисунок 10 – АСР тепловой нагрузки

Здесь на рисунке 10: P_b – Датчик давления в барабане, ЗУ – задающие устройство, $G_{п.п.}$ – датчик расхода перегретого пара, $P_{п.п.}$ – датчик давления перегретого пара за котлом, 1 – регулятор тепловой нагрузки, 2 – главный регулятор, РЗМ – регулятор загрузки мельниц.

Для начала устанавливается требуемое значение давления в магистрали с помощью главного регулятора, дальнейшая работа системы видется по регулятору тепловой нагрузки, в котором регулирование осуществляется так называемым сигналом по «теплоте». Данный сигнал формируется в единицах расхода пара из расхода пара за котлом и изменении давления в барабане.

Далее этот сигнал поступает на общий регулятор загрузки мельниц и регулятор первичного воздуха. Схема такого регулятора представлена на рисунке 11 [5].

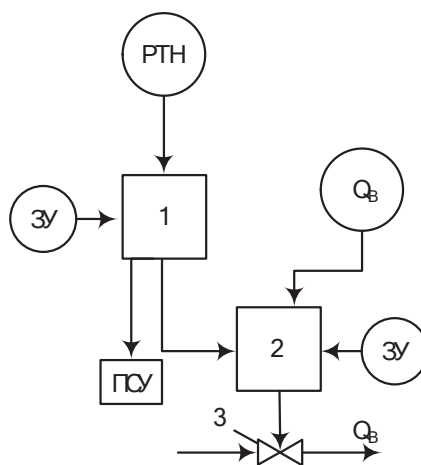


Рисунок 11 – АСР загрузки мельницы и первичного воздуха

Здесь на рисунке 11: ПСУ – Питатель сырого угля, Q_B – расход первичного воздуха, 1 – регулятор загрузки мельницы, 2 – регулятор первичного воздуха, 3 – регулирующий орган, ЗУ – задающее устройство, РНТ - выходной сигнал с регулятора тепловой нагрузки.

Сигнал с регулятора тепловой нагрузки (РНТ) «по теплоте» поступает на регулятор загрузки мельниц (РЗМ), так же на него подается задание и в итоге регулятор выдает управление на питатель сырого угля. Тем самым РНТ управляет РЗМ. Далее сигнал с РЗМ поступает на регулятор первичного воздуха (РПВ), который предназначен для поддержания расхода первичного воздуха, подаваемого в мельницу, в соответствии с подачей в нее топлива. Регулятор обеспечивает требуемый режим сушки топлива и вентиляцию мельницы. На РПВ подаются сигналы по расходу текущего воздуха, задание и выходной сигнал по загрузки мельницы, тем самым на выходе формируется сигнал по управлению исполнительным механизмом на закрытие или открытие.

2.1.4 Регулирование температуры аэросмеси за ММТ

Температуру за мельницей t_M стабилизируют в заданных пределах воздействием на расход смеси слабо подогретого и горячего воздуха. Схема регулирования показана на рис. 12.

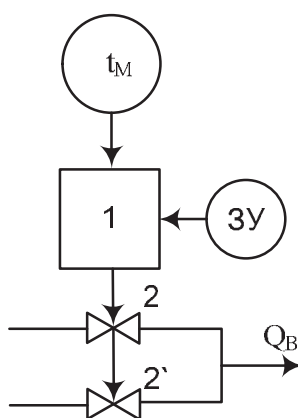


Рисунок 12 – АСР температуры аэросмеси за ММТ

Здесь на рисунке 12: 1 – Регулятор, 2,2` – спаренные заслонки, ЗУ – задающее устройство, Q_B – воздух подаваемый в топку, t_M – температура аэросмеси.

Регулятор 1 получает сигнал от датчика температуры смеси и через исполнительный механизм перемещает в нужном направлении спаренные заслонки 2 и 2', установленные на линиях слабо подогретого и горячего воздуха. Сочленения исполнительного механизма со спаренными заслонками выполняются так, чтобы при открытии одной из них вторая закрывалась, и, наоборот, с тем, чтобы общий расход воздуха через мельницу оставался неизменным [3].

2.1.5 Регулирование разрежения в топке

Регулятор разрежения предназначен для поддержания разрежения в котле. Наличие небольшого постоянного разрежения (S_T) в верхней части топки необходимо по условиям нормального топочного режима. Оно препятствует выбиванию газов из топки, способствует устойчивости факела и является косвенным показателем материального баланса между нагнетаемыми в топку аэросмесью, воздухом и уходящими газами. Объект регулирования по разрежению представляет собой топочную камеру с включенными последовательно с ней газоходами от поворотной камеры до всасывающих патрубков дымососов. К внешним возмущающим воздействиям относятся изменение расхода аэросмеси, воздуха в зависимости от тепловой нагрузки котлоагрегата, к внутренним - нарушение газо-воздушного режима, связанные с работой систем пылеприготовления. Принципиальная схема представлена на рис. 13.

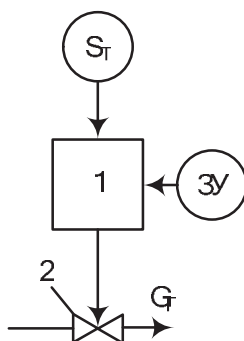


Рисунок 13 – АСР разрежения в топке

Здесь на рисунке 13: 1 – регулятор разряжения, 2 – регулирующий клапан, S_T – разряжение в топке, G_T – расход уходящих газов, ЗУ – задающее устройство.

Регулирование разрежения обычно осуществляется посредством изменения количества уходящих газов, отсасываемых дымососами. Реализуя принцип управления по отклонению.

2.1.6 Регулирование температуры перегретого пара

Для барабанных котлов наиболее распространен способ регулирования температуры пара на выходе с помощью пароохладителей.

Автоматическая система регулирования предназначена для поддержания заданного температурного режима в паровом тракте котла. С этой целью весь паровой тракт котла разбивается на ряд участков, на выходе каждого из них должно поддерживаться заданное значение температуры, определяемое заводом-изготовителем или наладочной организацией. Таким образом, объектом регулирования является участок котла между точкой ввода регулирующего воздействия и точкой контроля регулируемой температуры, включающей в себя радиационные, полурadiационные и конвективные поверхности нагрева. Схема участка представлена на рисунке 14.

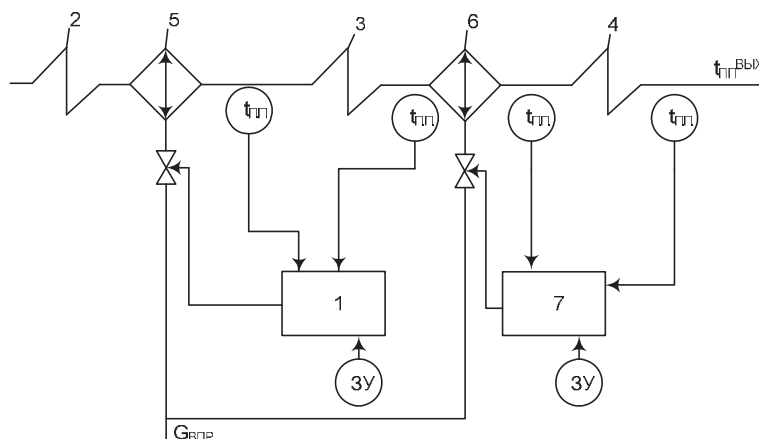


Рисунок 14 – АСР температуры перегретого пара

Здесь на рисунке 14: 1 и 7 – Регуляторы 1 и 2 ступени, 2,3,4, – ступени пароперегревателя, 5 и 6 – пароохладители 1 и 2 ступени, ЗУ – задающие устройство, $G_{ВПР}$ – расход впрыскиваемой воды, $t_{П1}$ – температура перегретого пара.

Показана только часть схемы, т.е. левая сторона пароперегревателя, так как правая сторона абсолютно идентична. В состав схемы входит регулятор температуры пара 1-й ступени и регулятор температуры 2-й ступени. Каждый регулятор воздействует на соответствующий клапан впрыска, изменяя расход конденсата [4] При увеличении впрыска температура пара снижается, при уменьшении – возрастает.

2.1.7 Регулирование общего воздуха

Основным способом регулирования избытка воздуха за пароперегревателем служит изменение его количества, подаваемого в топку с помощью дутьевых вентиляторов. Существует несколько вариантов схем автоматического управления подачей воздуха в зависимости от способов косвенной оценки экономичности процесса горения по соотношению различных сигналов.

Регулирование происходит путем согласования подачи воздуха с расходом топлива и обеспечения оптимального избытка воздуха, коэффициент избытка воздуха оценивается косвенно по содержанию свободного кислорода в дымовых газах. В качестве расхода топлива используется сигнал по тепловыделению. Так же присутствует сигнал по теплоте, в него входит поправка на фактический расход пара за котлом, которая зависит от давления пара в магистрали, но данный сигнал формируется, если регулятор загрузки мельниц находится в автоматическом режиме работы. Схема регулирования представлена на рисунке 15.

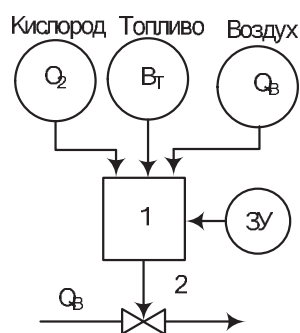


Рисунок 15 – АСР общего воздуха

Здесь на рисунке 15: 1 – Регулятор, 2 – регулирующий орган, V_T – расход топлива, ЗУ – задающее устройство, G_{II} – расход пара, Q_B – расход первичного воздуха.

2.1.8 Регулирование температуры воздуха за калорифером

Для подогрева воздуха, поступающего в котел, используют воздухоподогреватель. При этом проходящий по трубам воздухоподогревателя воздух обогревается дымовыми газами. Известно, что при сжигании топлива происходит образование серы и ее соединений, образуя в результате серную кислоту, вызывая коррозию. Коррозия разрушает металл поверхностей нагрева, приводит к образованию трудно удаляемых отложений и, в конечном счете, уменьшает время безотказной работы котлоагрегата, увеличивает стоимость и сложность ремонта.

В настоящее время основным средством защиты от коррозии металла воздухоподогревателей является первичный подогрев воздуха, подаваемого в них до температуры, превышающей на 10 - 15°C температуру точки росы продуктов горения. Достигается это за счет использования калориферных установок, с поверхностями нагрева, представляющими собой конструкцию из стальных трубок, внутри которых проходит греющий теплоноситель, снаружи они омываются нагреваемым воздухом. Сами калориферы относят к I ступени воздухоподогревателя. На выходе из калорифера воздух должен иметь температуру не менее 50°C [4].

Регулирование температуры воздуха осуществляется измерением температуры, установленные по «тылу» и «фронту» котла справа и слева, и подачи на всас дутьевого вентилятора отбора горячего воздуха из второй ступени воздухоподогревателя с помощью регулирующего клапана, приводимого в движение исполнительным механизмом МЭО. Рассмотрим схему регулирования температуры воздуха за калорифером левой части (правая идентичная) представленная на рисунке 16.

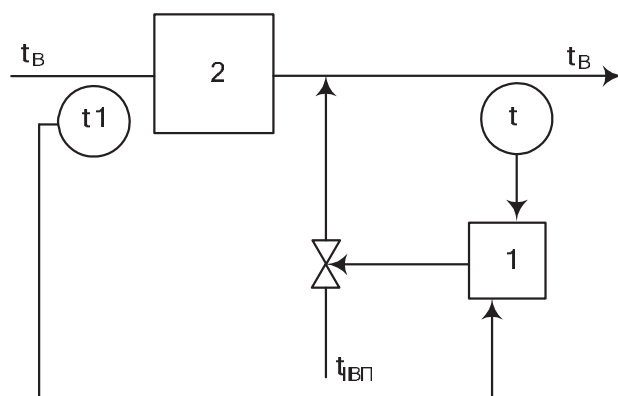


Рисунок 16 – АСУ температуры за калорифером слева

Здесь на рисунке 16: 1 – Регулятор, 2 – калорифер, $t_{ВП}$ – отбор горячего воздуха второй ступени воздухоподогревателя, t и t_1 – температуры воздуха по «тылу» и «фронту» котла слева.

Итак, рассмотрев все контура регулирования можно сделать вывод, что понадобится очень много необходимого оборудования и стоит преступить к выбору этого оборудования.

2.2 Разработка аппаратной части

И так рассмотрев каждый контур регулирования котлоагрегата можно сказать, что понадобится не малое количество оборудования. Так как проектирование АСУ ТП будет осуществляться, как было сказано выше, на основе цифровых технологий, то тогда понадобится все оборудование с поддержкой цифрового интерфейса, а так же определиться с протоколом цифровой сети, по которому будет происходить все процессы по получению информации и управлению оборудования.

Поэтому предлагается выбрать промышленный протокол, к такому виду относятся протоколы под названием Modbus и Profibus. Выбор все-таки остановим на Modbus потому что основным его преимуществом является отсутствие в необходимости специальных интерфейсных контроллеров в свою очередь Profibus для реализации необходимы заказные микросхемы. Так же Modbus обладает простотой программной реализации. Еще одна причина, по которой был выбран такой протокол это его распространенность в России. Объясняется это прежде всего, совместимостью с большим количеством обо-

рудования, которое поддерживает протокол Modbus. Кроме того еще имеет высокую достоверность передачи данных, связанную с применением надежного метода контроля ошибок [16].

В итоге при выборе необходимого оборудования в первую очередь будем обращать внимание на поддержку данного протокола. По описанным выше контурам нам необходимо оборудование такое как: датчики давления, расхода, уровня и температуры, так же необходимы исполнительные механизмы, анализатор воздуха.

Принимая во внимание, что было сказано в первом разделе про компромиссный подход к построению распределенной системы по управлению. Что децентрализация будет производиться по функциональному признаку, т.е. по разделению всего процесса на более простые части, а именно по контурам регулирования. Тогда можно сказать, что расположение далее выбранного оборудования будет не изменено как это сделано сейчас (см. рисунок 4 и 5).

По структурной схеме, представленной, на рисунке 6 сделаем полную электрическую схему. Но для начала рассмотрим схемы подключения и выберем тип используемого оборудования.

Далее для измерения давления будет использован датчик Метран-100 ДИ-1170-25МПа-МП4 и датчик для измерения разрежения МЕТРАН-100 ДИВ-1311-2,5кПа-МП4, которые уже применяется на БТЭЦ. Использовать их будет с электронными преобразователями, которые позволят обмениваться информацией с датчиками по протоколу Modbus. Схема подключения представлена на рисунке 17.

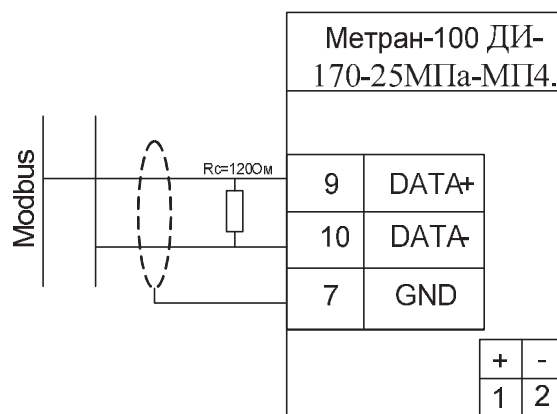


Рисунок 17 – Схема подключения датчика Метран-100 ДИ-170-25МПа-МП4

Как видно из рисунка клеммы 1 и 2 предназначены для подачи питания в 24 В, клемма 7 необходима для заземления, а клеммы 9 и 10 нужны непосредственно для передачи и получения информации.

В качестве измерения расхода на БТЭЦ присутствует датчик САПФИР 22-ДД-2440-250Кпа. Замен на новый датчик АИР-20/М2-МВ-ДД-470 фирмы «Элмер» в первую очередь, потому что он поддерживает связь по протоколу Modbus, так же у этого датчика более высокий диапазон измерений. Технические характеристики обоих датчиков приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные характеристики датчиков

Обозначение	Диапазон измерений	Напряжение питания, В	Потребляемая мощность, Вт
ССАПФИР 22-ДД-2440-250Кпа	2 кПа...10 МПа	15-42	1
АИР-20/М2-МВ-ДД-470	0,063 кПа...16 МПа	До 24	0,8

Рассмотрим подключение данного устройства приведенного на рис. 18 [7].

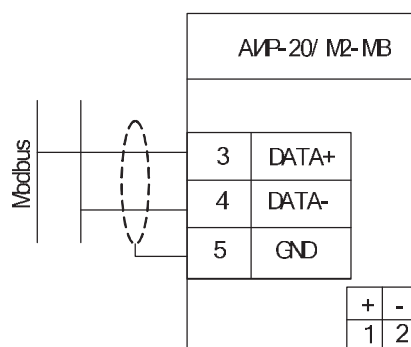


Рисунок 18 – Схема подключения датчика AIP-20/M2-MB-ДД-470

Клеммы 1 и 2 предназначены для питания самого датчика в 24 В, клеммы 3 и 4 служат для подключения устройства по протоколу Modbus, клемма 5 для заземления.

Так как в данный момент на БТЭЦ в качестве датчиков температуры используются термопары, то выберем тоже термопару типа ТХА-К и термопреобразователь сопротивления ТС-0295-Pt100. Выбор обоснован так, потому что мы используем тип передачи протокол Modbus, а это обеспечивает измерительный термопреобразователь ТПУ 0304/М3-МВ фирмы «Элмер», который в свою очередь подключается только к таким типам датчиков. Схема подключения представлена на рис. 19 [8].

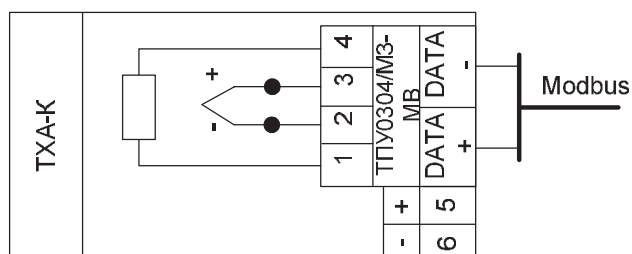


Рисунок 19 – Схема подключения термопары ТХА-К

На представленном рисунке 19 клеммы 1,2,3 и 4 отвечают за подключение термопары или термосопротивления к измерительному преобразователю ТПК 0304/М3-МВ, клеммы 5 и 6 отвечают за подачу питания на датчик, которому необходимо напряжение в 24 В.

Исполнительные механизмы МЭО, используемые на предприятии данного технологического процесса, будут иметь технические характеристики, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики исполнительных механизмов однооборотных фланцевых

Условное обозначение механизмов	Номинальный крутящийся момент на выходном валу, Н*м	Номинальное время полного хода выходного вала, сек	Номинальное значение полного хода выходного вала
1	2	3	4
МЭОФ-150/25-0,25 99К	150	25	0,25
МЭОФ-250/25-0,63 99К	250	25	0,63

Исполнительные механизмы используют для перемещения регулирующих органов в АСР технологическими процессами в зависимости от командных сигналов, поступающими от регулирующих и управляющих устройств. Для управления регулируемыми органами был подобран привод типа МЭОФ-250/25-0.63 99К с контроллером исполнительного механизма КИМ 1 встроенного в него. Схема подключения представлена на рис. 20 [9].

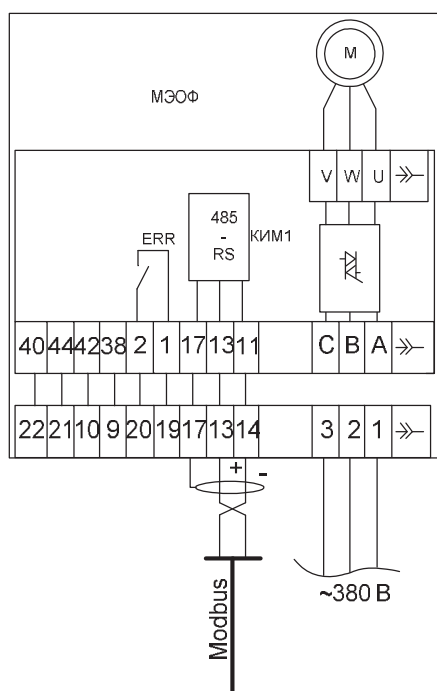


Рисунок 20 – Схема подключения МЭО

Данный КИМ 1 обеспечивает связь по протоколу Modbus. Как видно из рисунка 20 за связь обеспечивают клеммы 16,17 и 18. Для того что бы можно было отслеживать концевые положения исполнительного механизма за это отвечают клеммы 9,10,21 и 22.

ключаются модули ввода/вывода, и через них получает информацию от датчиков и управляет исполнительными механизмами. На рисунке 22 представлен внешний вид ПТК.



Рисунок 22 – Внешний вид ПТК «Овация»

Из описанного выше оборудования нам понадобится модуль ввода/вывода, который обеспечит поддержку протокола Modbus, а так же модуль, который будет отслеживать концевые положения исполнительного механизма. Для всего этого были выбраны два модуля. Первый называется модуль контроля линии связи или Link controller (LC), он обеспечивает контроллер системы «Овация» последовательной линией связи для обмена данными с устройством стороннего производителя или с системой. Эта связь осуществляется по последовательной линии связи RS-485. Имеются два последовательных порта. Второй это модуль дискретного ввода, в нем содержится 16 каналов, каждый из которых имеет чувствительную к уровню напряжения схему, которая используется для определения состояний «включено/выключено» на входе. [19] Будет использован 32-х канальный модуль, следовательно, для нашей реализации необходимо как минимум 3 таких модуля, так как на каждый исполнительный механизм необходимо 2 канала, а

исходя из таблицы 3 у нас 22 исполнительных механизма, то необходимо 44 канала.

Для связи контроллеров между собой и связи с верхним уровнем АСУ ТП будем использовать коммутатор сети Ethernet серии IKS-6726A-2GTXSFP производства МОХА. Данный коммутатор имеет 26 портов и так же ему необходимо питание в 24 В.

Покажем подключение одного контура регулирования, так как оборудование является однотипным, а электрические схемы подключения разных контуров будет отличаться лишь количественным составом, то рассмотрим на примере контура регулирования непрерывной продувки. Электрическая схема представлена на рис. 23.

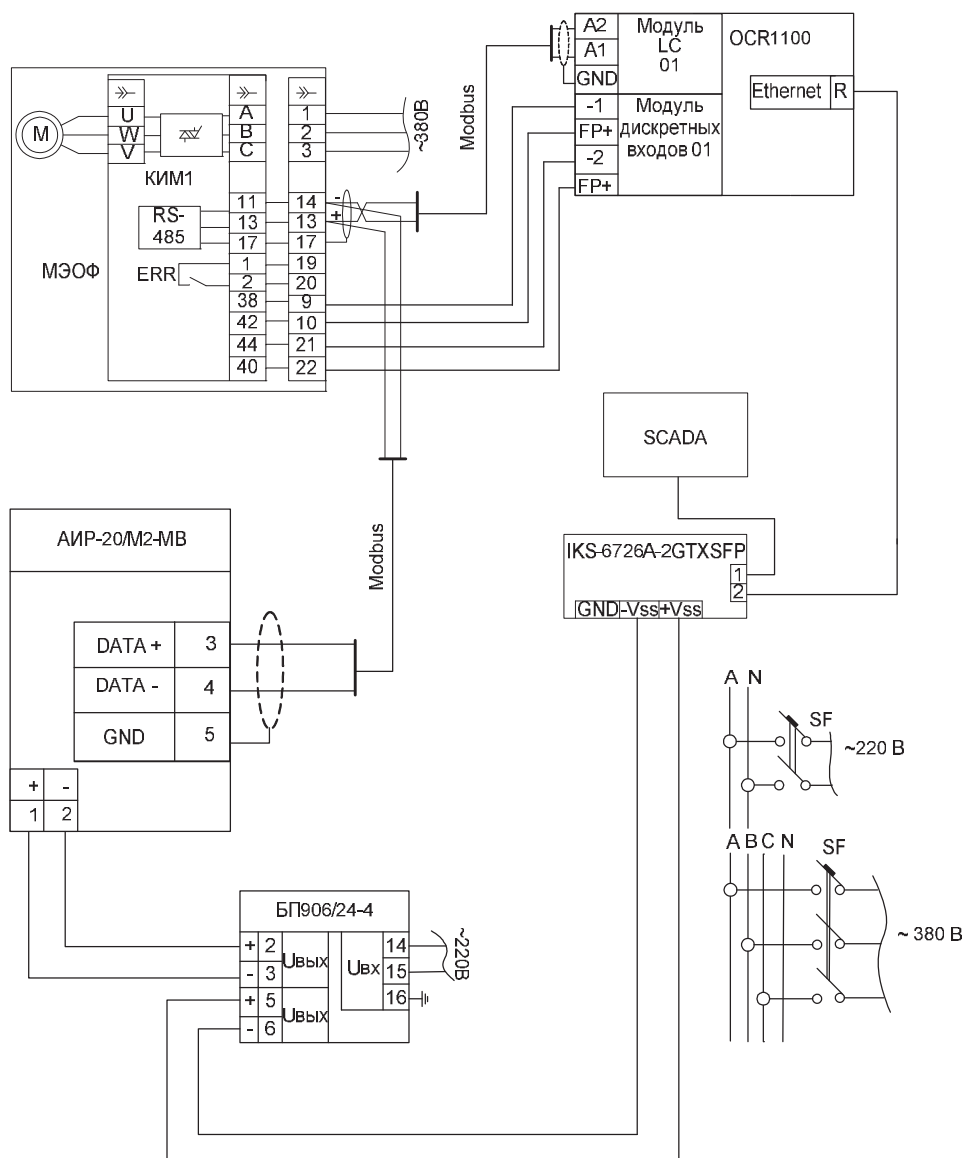


Рисунок 23 – Схема регулирования непрерывной продувки

Исходя из представленной электрической схемы и выше описанного рис. 24 видно, что контроллер будет связываться с SCADA через коммутатор сети Ethernet. Он имеет модули для связи с оборудованием по протоколу Modbus под названием LC (Link controller), который производит опрос датчиков технологического процесса, и производит так же опрос и управление исполнительного механизма, через который он будет воздействовать на регулируемую аппаратуру такую как клапан. Еще имеется модуль дискретных входов для определения конечных положений исполнительного механизма. Для питания датчика и коммутатора используется источник питания БП906/24-4 с напряжением в 24 В.

Полная разработанная электрическая схема приведена в приложении А, в ней представлено все выбранное оборудование, распределенное по вышеописанным контурам регулирования.

3 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ АСУ ТП

В данном разделе будут рассматриваться подходы и способы к управлению технологическим процессом котлоагрегата. После рассмотрения подходов будет выбран наиболее оптимальный подход, который будет реализован в предложенном программно-техническом комплексе (ПТК). А именно для примера был выбран контур регулирования перегретого пара первой ступени пароохладителя справа.

Качественный анализ и синтез данного объекта управления невозможен без математической модели, описывающей его поведение. Такая модель может быть получена либо аналитически, либо экспериментально. Учитывая сложность применения аналитического метода для объектов или систем работающих в условиях изменения режимов работы, отклонения параметров, наличия возмущений, а так же принимая во внимание тот факт, что применение современных подходов к управлению допускает наличие «грубой» модели можно использовать экспериментальный метод [14].

3.1 Получение математической модели объекта

Метод получения математической модели заключается в подборе дифференциальных уравнений, решения которых самым точным образом совпадают с экспериментально полученными реакциями объекта на известные изменения входных воздействий при заданных начальных условиях. Связанно это с получением кривых разгона исследуемого объекта.

Кривая разгона – это реакция объекта на ступенчатое воздействие, поданное в тот момент, когда объект находился в установившемся режиме. Поскольку математическое описание объекта строится как динамическая зависимость отклонения регулируемой величины от отклонения входного воздействия, можно считать, что объект находится в нулевых начальных условиях.

Для снятия разгонной характеристики выполнялся порядок определенных действий такой как:

- 1) Приводили данный контур регулирования к стабилизации, т.е. избавлялись от всех возмущений;
- 2) Отключали действующий в данном контуре регулятор;
- 3) Вручную подавали управляющие воздействие на изменение расхода конденсата на 10%, что соответствует 5 т/ч. И ждали нового установившегося значения. В дальнейшем проведен расчет для относительных величин по температуре, в %.

Все действия проходили на БТЭЦ на главном щите управления первой очереди для котлоагрегата № 2. Полученная разгонная характеристика показана на рисунке 24, а числовые значения сведены в таблицу 4.

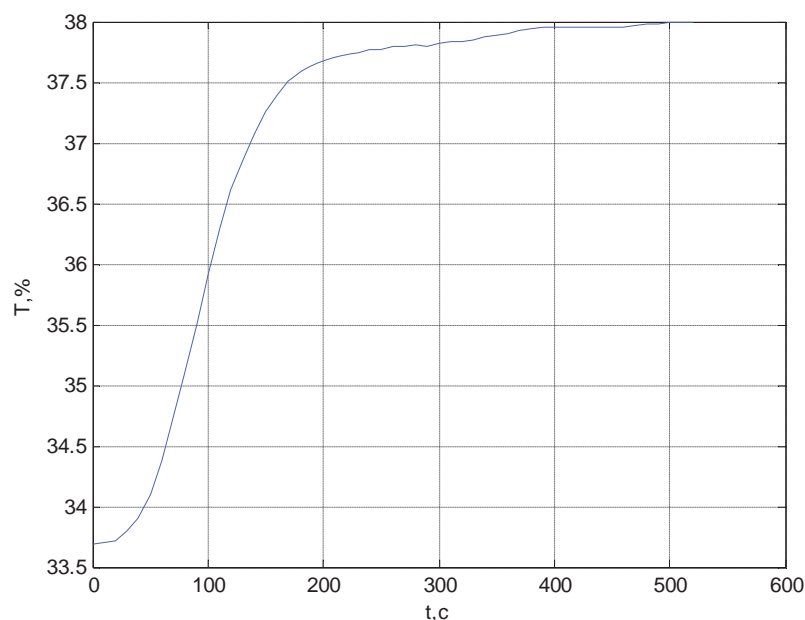


Рисунок 24 – Кривая разгона объекта

Таблица 4 – Числовые значения разгонной кривой

Время, сек	Температура, %	Время, сек	Температура, %	Время, сек	Температура, %	Время, сек	Температура, %
1	2	3	4	5	6	7	8
0	33.6913	140	37.0780	280	37.8066	420	37.9561
10	33.6993	150	37.2591	290	37.8011	430	37.9487
20	33.7229	160	37.3916	300	37.8159	440	37.9491

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8
30	33.7925	170	37.5031	310	37.8293	450	37.9505
40	33.9050	180	37.5834	320	37.8397	460	37.9596
50	34.0975	190	37.6399	330	37.8531	470	37.9685
60	34.3763	200	37.6771	340	37.8725	480	37.9745
70	34.7306	210	37.7024	350	37.8818	490	37.9849
80	35.0879	220	37.7366	360	37.9037	500	37.9908
90	35.5030	230	37.7470	370	37.9245	510	37.9923
100	35.9139	240	37.7649	380	37.9394	520	37.9893
110	36.2821	250	37.7682	390	37.9513		
120	36.6073	260	37.7905	400	37.9502		
130	36.8631	270	37.7994	410	37.9587		

После того как получены кривые разгона выбирается метод получения математической модели. В результате математическая модель должна быть адекватной и пригодной для дальнейшего использования в математических расчетах, например, расчет настроек регулятора.

Для дальнейшей обработки разгонной кривой будет использован пакет `system identification toolbox` программы Matlab. Данный пакет предоставляет возможности для построения математических моделей динамических систем по измеренным данным входа и выхода реальной системы [14].

Для того что бы приступить к получению математической модели сначала необходимо кривую разгона привести к точке с координатами (0,0), т.е. нужно сделать вычитание всех значений на минимум из всех этих значений, результат представлен на рисунке 25.

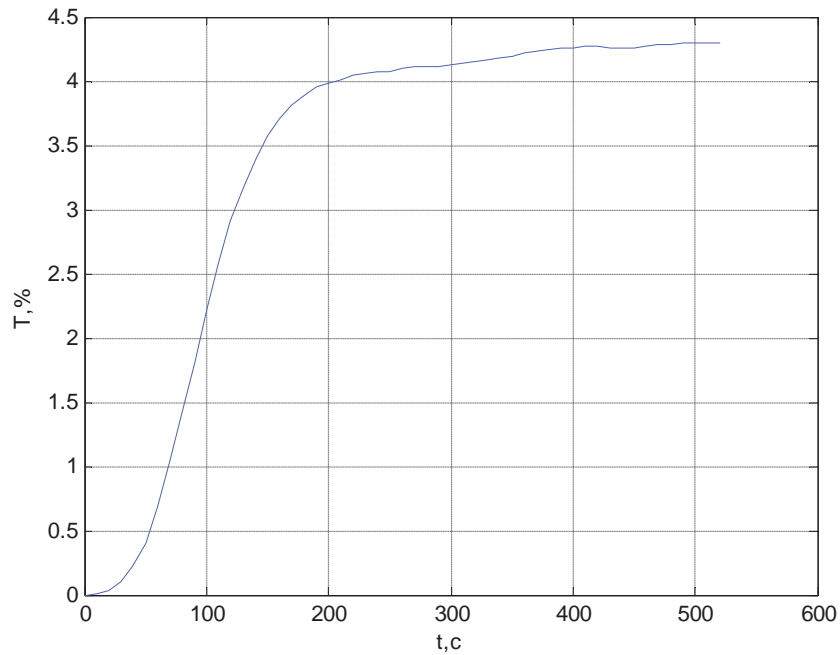


Рисунок 25 – Нормированная кривая разгона

После этого запускаем в программе Matlab пакет system identification toolbox с помощью команды `ident` в командном окне Matlab, главное окно которого изображено на рисунке 26.

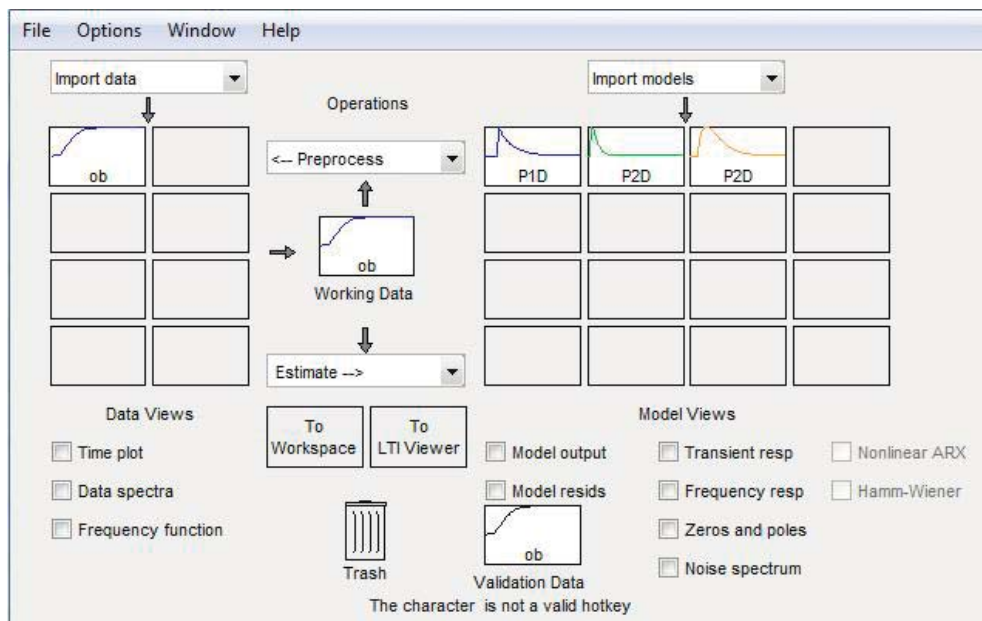


Рисунок 26 – Главное окно `ident`

Далее в данный пакет импортируется 2 массива данных в векторном виде. Это значения реакции на ступенчатое воздействие и время этого воздействия, т.е. передаются кривые разгона, полученные ранее (см. рисунок 25). После этого выбирается команда `Process Models` вид, которого показан на

рисунке 27, и собственно в нем идет подбор параметров для получения дифференциального уравнения.

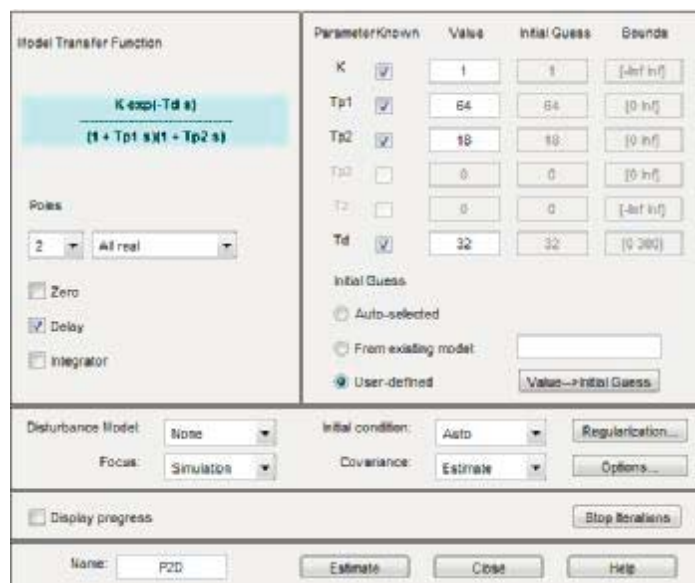


Рисунок 27 – Окно моделирования и определения параметров

После подбора параметров данный пакет строит по ним уже обработанную кривую разгона и сравнивает их, результат обработки показан на рисунке 28.

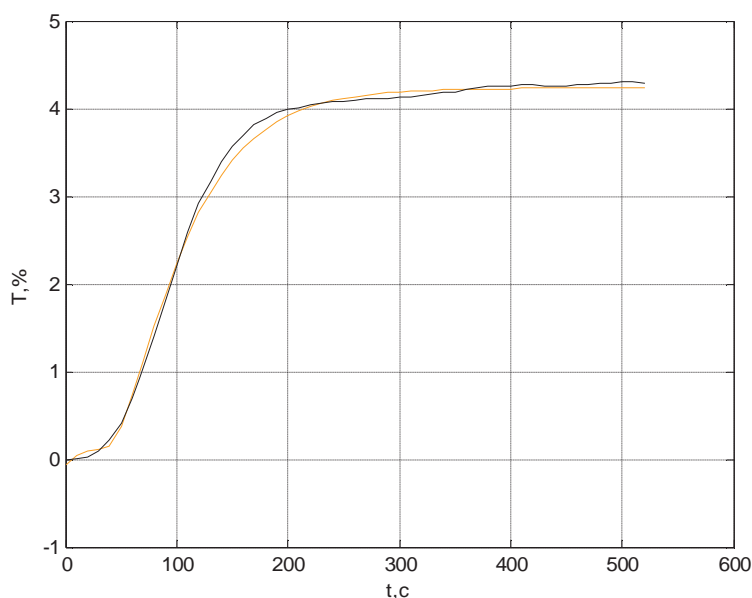


Рисунок 28 – Результаты получения математической модели

В итоге после всех проделанных операций получены математические модели, представленные в виде передаточных функций аperiodического звена второго порядка формула (1), которую можно использовать в дальнейших

методах по способам регулирования объекта и получения наилучшего управления, а именно расчет адаптивной системы, расчет нечеткой системы управления и классический расчет.

$$W_{Oy}(p) = \frac{0,84682}{1356s^2 + 77,11s + 1} \cdot \exp(-35 \cdot p) \quad (1)$$

3.2 Расчет классической системы регулирования

Одним из подходов к регулированию разных систем является расчет ПИД - регулятора на различные показатели. В общем случае система регулирования выглядит так:

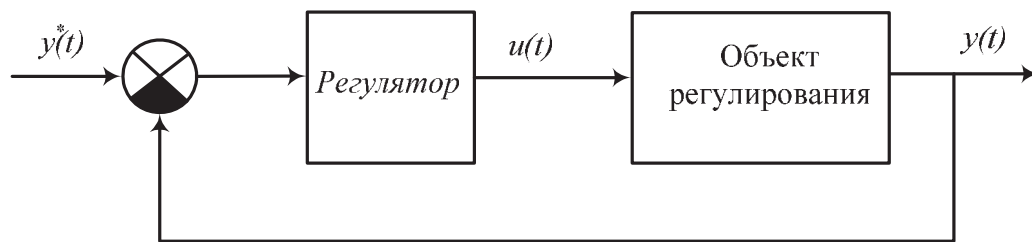


Рисунок 29 – Стандартная система регулирования

Объектом регулирования является полученная ранее передаточная функция, имеющая вид:

$$W_{Oy}(p) = \frac{0,84682}{1356s^2 + 77,11s + 1} \cdot \exp(-35 \cdot p)$$

Так как на объект нужно воздействовать, а происходит это с помощью регулирующего органа представленного в виде клапана, задвижки, редуктора и т.п. То в систему вводится интегратор с постоянной времени T_{IM} :

$$W_{IM}(p) = \frac{1}{T_{IM} \cdot p} \quad (2)$$

где: T_{IM} - время полного хода исполнительного механизма от положения «полностью открыто» до положения «полностью закрыто» и равно 25с исходя из технических характеристик описанных ранее.

Совокупность объекта регулирования и исполнительного механизма обычно называют обобщенным объектом управления:

$$W_{Ooy}(p) = W_{Oy}(p) \cdot W_{IM}(p) = \frac{0,8468}{1356s^2 + 77,11s + 1} \cdot \frac{1}{25 \cdot p} \cdot \exp(-35 \cdot p) \quad (3)$$

В качестве регулятора выступает ПИД – регулятор имеющий форму:

$$W_{\text{ПИД}}(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_{iz} p} + T_d p \right), \quad (4)$$

Стоит сказать, что форма ПИД – регулятора в форме (4) не может быть воплощена в таком идеальном виде в силу того, что имеется «идеальное дифференцирование», присутствия ШИМ – управления и т.п. Если не учитывать перечисленные факторы то может привести к тому, что параметры, рассчитанные для регулятора (4) окажутся малопригодны для практической реализации. Поэтому применим другую форму ПИД – регулятора достаточно широко используемую:

$$W_{\text{ПИД}}(p) = K_{II} \left(1 + \frac{1}{T_{II} p} + \frac{K_d \cdot T_{II} \cdot p}{\left(1 + \frac{1}{8} \cdot K_d \cdot T_{II} \cdot p \right)^2} \right) \quad (5)$$

Так как в контуре регулирования присутствует исполнительный механизм, который выполняет функция регулирования, то уже ПИД – закон преобразуется в ПДД² – закон:

$$W_{\text{ПДД}^2}(p) = K_{II} \cdot \frac{T_{ИМ}}{T_{II}} \left(1 + T_{II} \cdot p + \frac{K_d \cdot T_{II}^2 \cdot p^2}{\left(1 + \frac{1}{8} \cdot K_d \cdot T_{II} \cdot p \right)^2} \right) \quad (6)$$

При этом реализация элемента $T_{II} \cdot p$ в (6) происходит с учетом подавления высокочастотных помех, входящих во входной сигнал. Эту функцию фильтрации выполняет апериодическое звено первого порядка с небольшой постоянной времени $T_{\text{фи}}$:

$$W_{\text{ПДД}^2}(p) = K_{II} \cdot \frac{T_{ИМ}}{T_{II}} \left(1 + \frac{T_{II} \cdot p}{T_{\text{фи}} p + 1} + \frac{K_d \cdot T_{II}^2 \cdot p^2}{\left(1 + \frac{1}{8} \cdot K_d \cdot T_{II} \cdot p \right)^2} \right) \quad (7)$$

Разница между формами (6) и (7) уменьшается с уменьшением $T_{\text{фи}}$. Таким образом имея настройки только ПИД – регулятора (5) можно без

трудо перейти к ПДД² – закону (7). Структурная схема формы (7) представлена на рисунке 30.

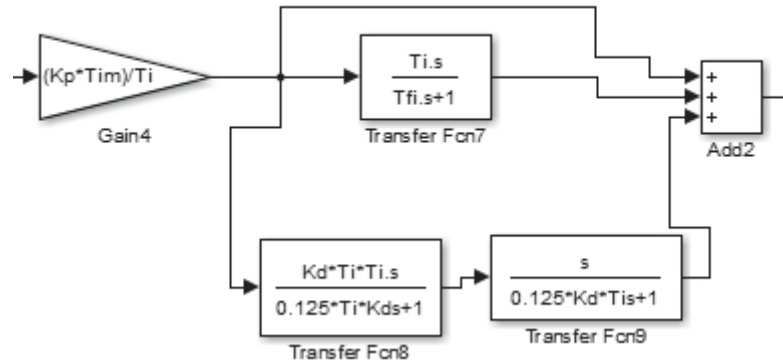


Рисунок 30 – Структурная схема ПДД²

Как было сказано ранее, для управления исполнительным механизмом может использоваться блок широтно-импульсной модуляции, который обычно входит в состав контроллера. Тогда исследуемый контур регулирования примет окончательный вид, представленный на рисунке 31.

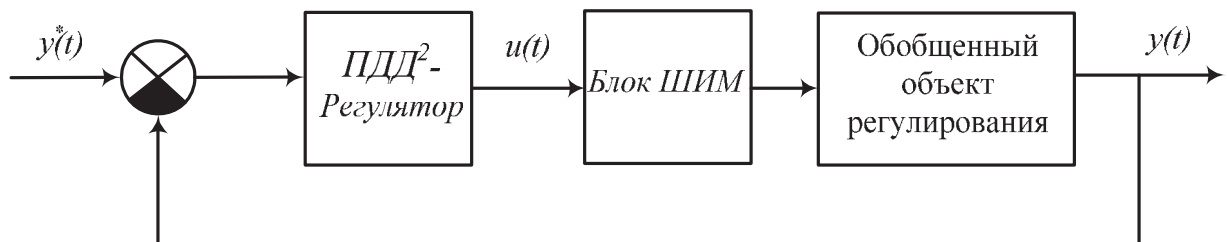


Рисунок 31 – Итоговая система регулирования

Расчет системы начнем с помощью встроенных средств Matlab – пакета «PID Tuner» (команда pidtool). В него импортируется наш объект в виде передаточной функции, далее выбирается необходимый регулятор в нашем случае это ПИД – регулятор. После настраивается желаемая переходная характеристика системы уже с ПИД – регулятором, при этом выводя параметры этого регулятора, но в данном пакете вид ПИД – регулятора, такой как в форме (4). В результате после выбранной желаемой переходной характеристики, получили настройки регулятора такие как:

$$K_p=0.5611, T_i=66.22, T_d=16.56.$$

Далее получаем переходную характеристику системы с ПИД - регулятором формы (4), представленной на рисунке 32.

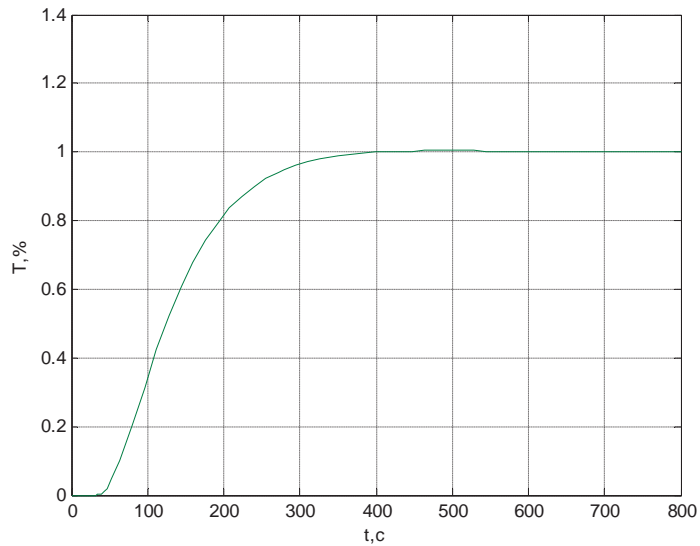


Рисунок 32 – Переходная характеристика системы с ПИД – регулятором полученная в pidtool

Как видно из графика переходная характеристика получилась без перерегулирования и довольно быстрым временем переходного процесса для исследуемого контура регулирования.

Теперь применим такие же настройки ПИД – регулятора для выбранной нами формы (5). Получим переходную характеристику, которая представлена на рисунке 33.

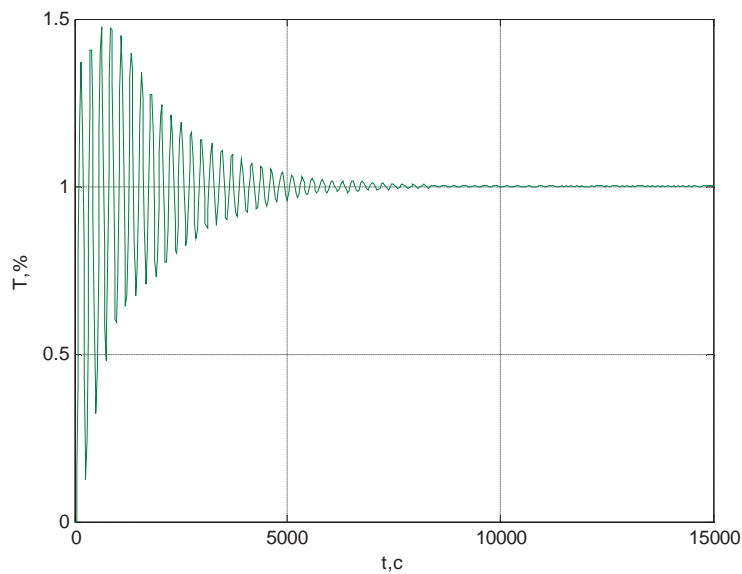


Рисунок 33 – Переходная характеристика системы с настройками ПИД – регулятора применимые к форме (5)

Судя из графика можно сказать, что такие настройки не удовлетворительны для такой формы ПИД – регулятора. Поэтому придется корректировать настройки. В форме (6) подлежит определению только величина K_{II} , а постоянные времени T_{II} T_D и также коэффициент K_D .

Используя критерий максимального подавления низкочастотных возмущений, можно установить связь между постоянными времени регулятора в виде: $T_D = 0.5T_{II}$ [4].

Таким образом, задавшись значениями T_{II} , и соответственно $T_D = 0.5T_{II}$ получают набор значений, по которым определяют несколько вариантов K_{II} . Оптимальным будет вариант, для которого отношение K_{II}/T_{II} максимально.

Однако максимум отношения не гарантирует устойчивости системы, а лишь оптимум. Т.е. из всего диапазона полученных решений надо выбрать тот вариант, который будет обеспечивать максимально возможное K_{II}/T_{II} при выполнении необходимых требований к прямым показателям качества системы – времени переходного процесса и величине перерегулирования [14].

$$\max(A_{zam}(K_p)) = \Lambda \quad (8)$$

Соответствующая задача оптимизации

$$\max(A_{zam}(K_p) - \Lambda)^2 \rightarrow \min \quad (9)$$

Для вычисления K_{II} представлен листинг на рисунке 34, в котором задается данный объект регулирования, значение времени изодрома T_{iz} , величина частотного показателя Λ обычно задается в пределах от 1.1 до 1.5, в данном случае был выбран $\Lambda=1.1$, так как данный показатель влияет на колебания в системе. Для получения коэффициента передачи регулятора необходимо вызвать функцию $K=fminbnd('ssy_3',K_0,K_\infty)$, где K_0, K_∞ границы интервала значений коэффициента передачи K_p [14].

В результате проведен ряд экспериментов по определению оптимальных параметров K_{II} и T_{II} , в итоге получено $T_{II}=20$ и $K_{II}=0,0798$. Тогда передаточная функция ПИД – регулятора принимает вид:

$$W_{\text{ПИД}}(p) = 0.0798 \cdot \left(1 + \frac{1}{20p} + \frac{5 \cdot 20 \cdot p}{\left(1 + \frac{1}{8} \cdot 5 \cdot 20 \cdot p \right)^2} \right)$$

```

function s=pidregg(K)
%Формирование передаточной функции объекта
Wo=tf(0.8468,[1356 77.11 1]);
Wo.InputDelay=35;
%Задание значения времени изодрома
Ti=20;
Td=0.5*Ti;
Kd=Ti/4;
%Формирование передаточной функции ПИД-регулятора
p=tf('p');
wpid=(1+(1/(Ti*p)))+(Kd*Ti*p)/((0.125*Kd*Ti*p+1)^2));
sys=ss(wpid)
%частотный показатель колебательности
l=1.1;
ww=Wo*wpid
%Аппроксимация
w1=pade(ww,7);
w2=K*w1/(1+w1);
%функция оптимизации
s=(max(bode(w2))-1)^2

```

Рисунок 34 – Листинг программы расчета ПИД - регулятора

И после расчета настроек ПИД – регулятора соберем имитационную модель (см. рисунок 35) по структурной схеме, представленной на рисунке 30.

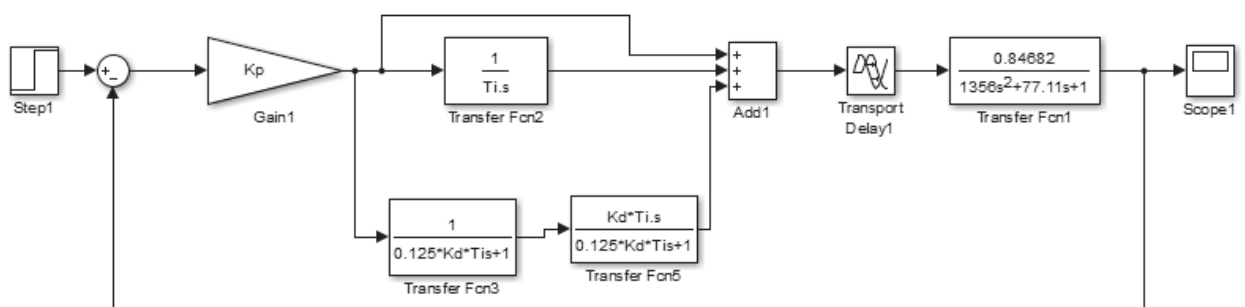


Рисунок 35 – Имитационная модель классического метода

И в итоге проведения имитационного моделирования получили переходную характеристику работы системы с классическим ПИД – регулятором, представленным на рисунке 36.

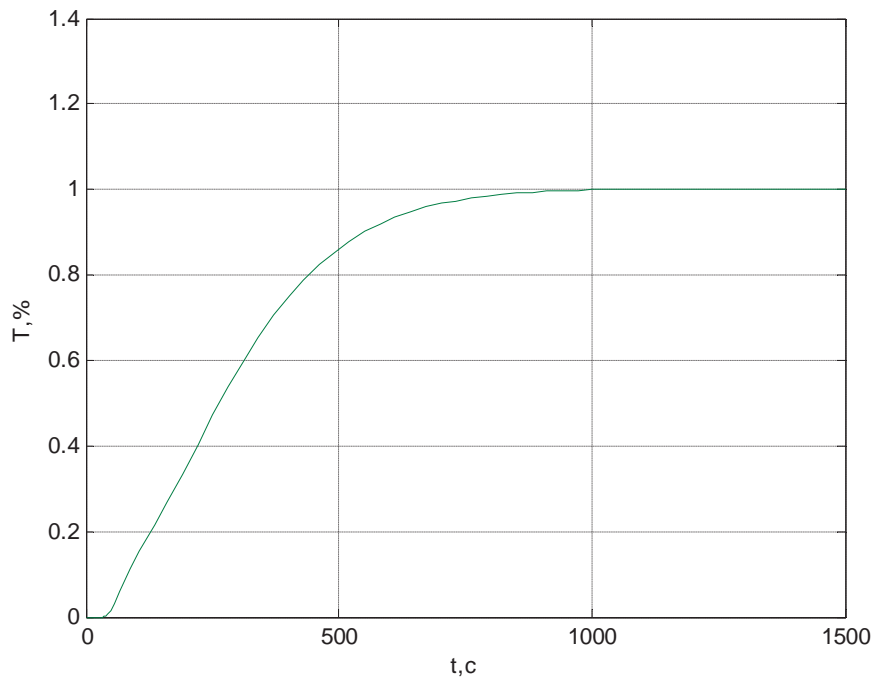


Рисунок 36 – Переходная характеристика системы с ПИД – регулятором

Так как было сказано выше, в системе присутствует исполнительный механизм, то ПИД – регулятор нужно пересчитать в ПДД² – регулятор. Соберем имитационную модель по структурной схеме, представленной на рисунке 37.

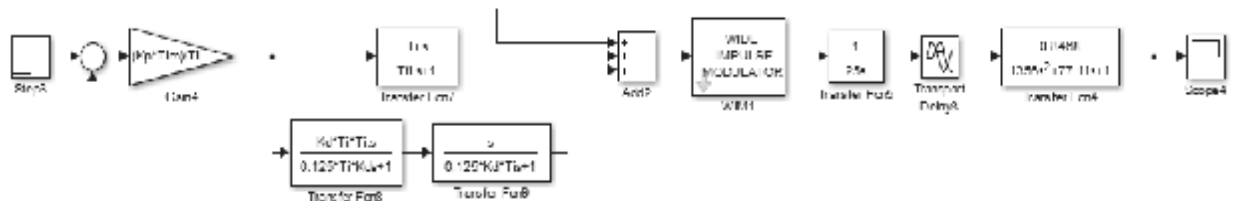


Рисунок 37 – Имитационная модель системы с ПДД² – регулятором

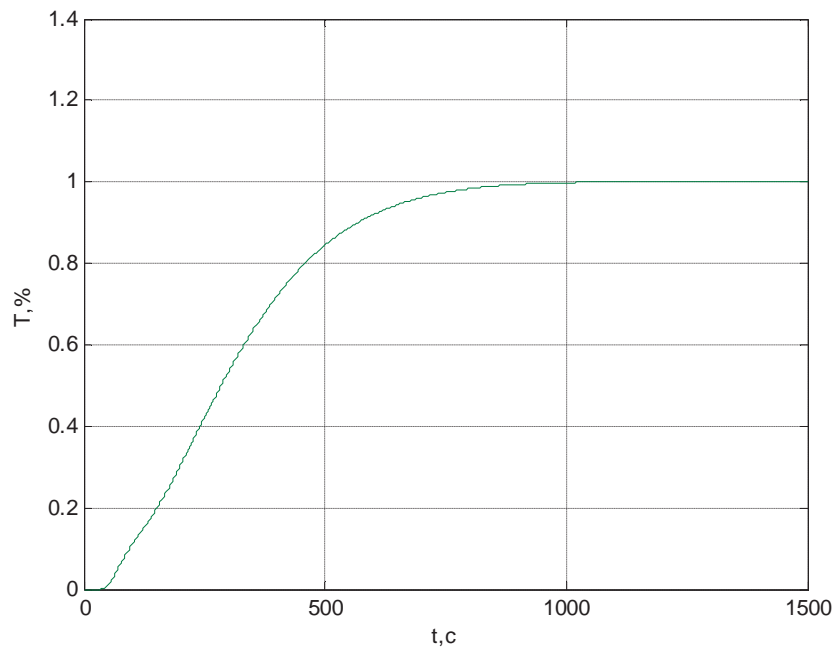


Рисунок 38 – Переходная характеристика системы с ПДД² – регулятором

Как видно из графика расчет такой системы удовлетворяет требования к качеству регулирования, а именно время переходного процесса и перерегулирования. Но по сравнению с идеальным ПИД – регулятором время оказалось больше. В дальнейшем система пригодна для реализации на контроллере.

3.3 Расчет адаптивной системы

Данные системы очень хорошо себя зарекомендовали, так как в них лишь требуется определение алгоритмов адаптации, которые по идеи при отклонении объекта должны вывести его обратно на заданный уровень с помощью алгоритмов, которые в нем заданы. Существует очень большое множество разных систем адаптации, в некоторых основной проблемой и является очень сложная настройка, но мы будем использовать самую простую систему называемая адаптивная система со стабилизирующим устройством, схема которой представлена на рисунке 39.

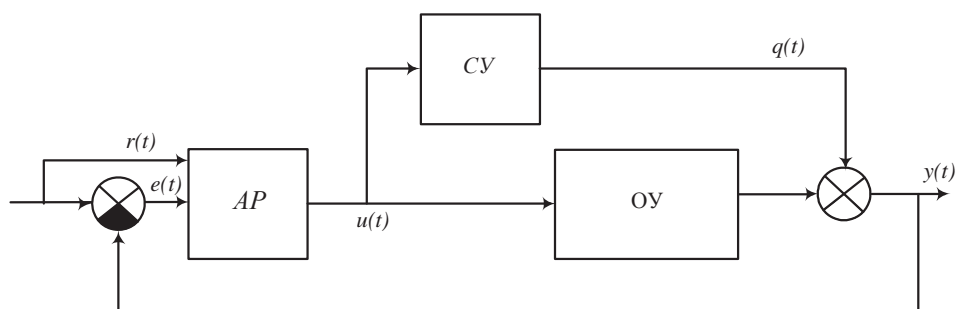


Рисунок 39 – Структура системы со стабилизирующим устройством

Здесь на рисунке 42: ОУ – объект управления, СУ – стабилизирующие устройство, АР – адаптивный регулятор.

Объект будет таким же, как и при расчете классической системы регулирования. Диапазон измерения коэффициентов объекта задается в виде априорной неопределенности [14]:

$$a_i = a_i(\xi), b_j = b_j(\xi), \tau = \tau(\xi) \quad (10)$$

$$i = \overline{0, n-1}, j = \overline{0, m}, \xi \in \Xi,$$

где: ξ – набор неизвестных параметров, принадлежащих известному множеству Ξ (т.е. заданы границы измерения параметров). Уровень априорной неопределенности объекта, определим исходя из следующих условий: отклонение коэффициента усиления обычно составляет $\pm 10\%$, отклонение коэффициентов полинома обычно составляет $\pm 10 \dots 20\%$, и возможное увеличение времени запаздывания не должно превышать 30% от заданного. Диапазоны будут иметь вид:

$$a_2^- \leq a_2 \leq a_2^+, a_1^- \leq a_1 \leq a_1^+ \quad (11)$$

$$k_{OY}^- \leq k_{OY} \leq k_{OY}^+, \tau \leq \tau^+$$

$$11526 \leq a_2 \leq 1559, 4,65,5435 \leq a_1 \leq 88,6765, \quad (12)$$

$$0,7621 \leq k_{OY} \leq 0,9315, \tau \leq 45,5$$

Задающее воздействие имеет вид:

$$r(t) = 1(t) \quad (13)$$

Как показано на рисунке 39 в качестве дополнительного контура регулирования вводится стабилизирующие устройство вида:

$$W_{CY}(p) = \frac{q(s)}{u(s)} = \frac{k}{T \cdot p + 1} \quad (14)$$

где: k – коэффициент усиления и T – постоянная времени.

Так как в системе присутствует исполнительный механизм, то адаптивный регулятор состоит из:

-линейной части, имеющей математическое описание:

$$W_{AP}(p) = \frac{u(s)}{g(s)} = \frac{K_{AP}}{T_{AP} \cdot p + 1} \quad (15)$$

-и не линейной части, имеющей математическое описание:

$$g(t) = c(t) \cdot r(t) \quad (16)$$

где: K_{AP} и T_{AP} – соответственно коэффициент усиления и постоянная времени апериодического звена, $c(t)$ – алгоритм настройки.

Сам же алгоритм настройки имеет вид [14]:

$$c(t) = (c_{II}(t) + c_{II}(t)) \cdot \theta(t), \quad \theta(t) = \begin{cases} 1, \forall |e(t)| \geq \delta, \\ 0, \forall |e(t)| < \delta, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dc_{II}(t)}{dt} = x_1 \cdot e(t) \cdot r(t), x_1 = const > 0, \\ c_{II}(t) = x_2 \cdot e(t) \cdot r(t), x_2 = const > 0, \end{cases} \quad (17)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) - \alpha \cdot q(t), \quad \alpha = const > 0$$

где: α – некоторый коэффициент, который выбирается таким, что бы при любых начальных условиях обеспечивался перевод объекта в заданное положение с учетом алгоритмов адаптации, $q(t)$ – выход стабилизирующего устройства.

Таким образом, система будет описываться следующими уравнениями:

$$W_{Oov}(p) = W_{Ov}(p) \cdot W_{IM}(p) = \frac{1}{1356s^2 + 77,11s + 1} \cdot \frac{1}{25 \cdot p} \cdot \exp(-35 \cdot p), \quad (18)$$

$$r(t) = 1(t), \quad (19)$$

$$W_{Cv}(p) = \frac{q(s)}{u(s)} = \frac{k}{T \cdot p + 1} \quad (20)$$

$$v(t) = y(t) + \alpha \cdot q(t), \alpha > 0, \quad (21)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) - \alpha \cdot q(t), \quad (22)$$

$$u(s) = W_{AP}(s) \cdot g(s), \quad (23)$$

В итоге имитационного моделирования были выбраны коэффициенты $K_{AP} = 10$, $T_{AP} = 10$, а так же выбрав постоянную времени $T = 20$ получаем соотношение $k > 1.0828$, тогда выбираем коэффициент стабилизирующего устройства $k = 9,5$. И переходная характеристика контура регулирования отвечала заданным критериям устойчивости, а именно переуправление и время переходного процесса.

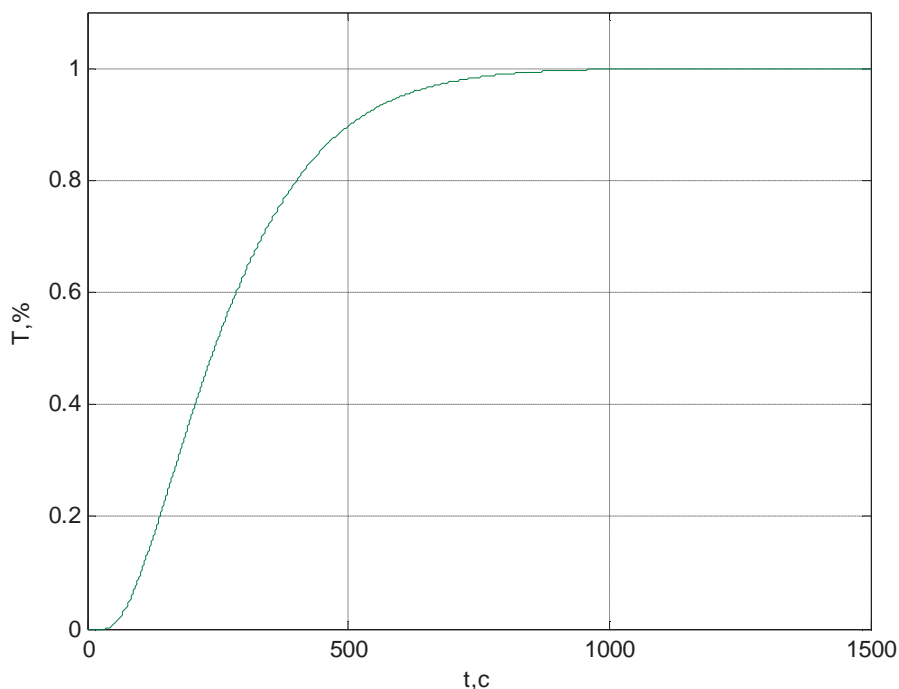


Рисунок 41 – Переходная характеристика адаптивной системы

Как видно из графика настройки адаптивной системы выбраны правильно.

3.4 Расчет нечеткой системы

Нечеткое управление позволяет получить особый класс систем, отличный выше рассмотренных видов регулирования. Данный метод перспективно использовать тогда, когда информации об объекте недостаточно, либо когда получить математическую модель объекта затруднительно получить.

Применение нечеткого управление в системах регулирования осуществляется в двух направлениях: составление самого регулятора и использова-

ние методов для подстройки коэффициентов ПИД – регулятора и его модификаций.

Общая структура нечеткого регулятора имеет вид, представленный на рисунке 42 [14].

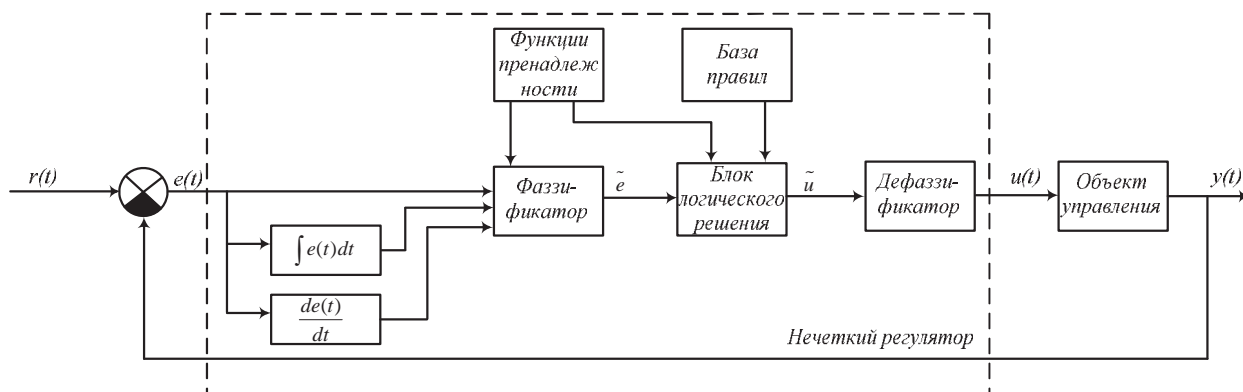


Рисунок 42 – Структура системы с нечетким ПИД – регулятором

Из рисунка 42 видно, что на вход нечеткого ПИД – регулятора поступает сигнал ошибки $e(t)$, внутри регулятора вычисляются производная и интеграл от нее. Далее сигналы поступают на блоки ответственные за организацию нечеткого управления.

Фаззификатор преобразует фиксированный вектор входных параметров регулятора в вектор нечетких \tilde{e} . Для преобразования используются функции принадлежности, определяющие насколько вектор входных переменных, соответствует определенным нечетким множествам. Полученные нечеткие переменные \tilde{e} используются в блоке логического решения для формирования нечеткого управления \tilde{u} . Для нечеткого вывода используются свои функции принадлежности для выходной переменной и база правил нечеткого вывода, обычно формируемая по принципу если <посылка>, то <заключение>. На этапе дефаззификации нечеткое управление преобразуется в четкое значение, используемое для подачи на объект.

Для описанного выше объекта будет лучше использовать нечеткий ПД – регулятор, так как составить базу правил для пропорциональной и дифференциальной составляющих легче по сравнению с интегральной. Так же как и было описано выше в систему входит сам объект управления, исполни-

тельный механизм, ШИМ нечеткий ПД – регулятор и в обход нечеткого регулятора интегральная составляющая [15]. Тогда вид системы примет вид, показанный на рисунке 43.

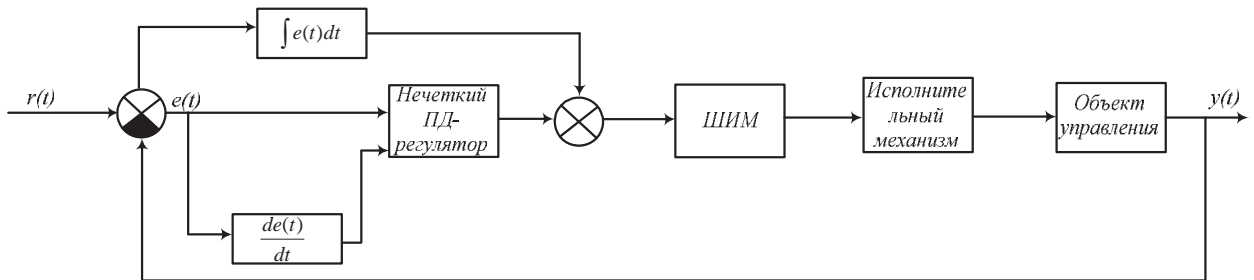


Рисунок 43 – Итоговая система нечеткого регулирования

Нечеткий ПД – регулятор будет функционировать в соответствии с алгоритмами Мамдани, для которого определены следующие правила [14]:

1. If (e is error_n) and (de is rate_z) then (y is deriv_n_s);
2. If (e is error_z) and (de is rate_n) then (y is deriv_n_s);
3. If (e is error_z) and (de is rate_z) then (y is deriv_z);
4. If (e is error_z) and (de is rate_p) then (y is deriv_p_s);
5. If (e is error_p) and (de is rate_z) then (y is deriv_p_s);
6. If (e is error_p) and (de is rate_p) then (y is deriv_p_l);
7. If (e is error_n) and (de is rate_p) then (y is deriv_n_l);
8. If (e is error_n) and (de is rate_n) then (y is deriv_n_s);
9. If (e is error_p) and (de is rate_n) then (y is deriv_p_s);

где: «n»(N), «z»(Z), и «p»(P) означают соответственно – отрицательно, равно нулю, положительно, для ошибки (ERROR), ее производной (RATE) и выхода (DERIVE); «S» и «L» - обозначают соответственно малое и большое.

Таким образом, правила работы нечеткого регулятора используют нечеткие множества ERROR_n, RATE_n и DERIVIS_N_S и т.д., которые задаются через функции принадлежности.

В нашем случае данные нечеткие множества описываются графически, на основе изменений ошибки и ее производной при применении настроек ПИД – регулятора для классической системы. Определили диапазоны для ошибки от -0.6 до 0.6, для ее производной от -0.6 до 0.6 и для выхода нечет-

кого регулятора от -0.4 до 0.4, и могут быть представлены в виде рисунка 44 [14].

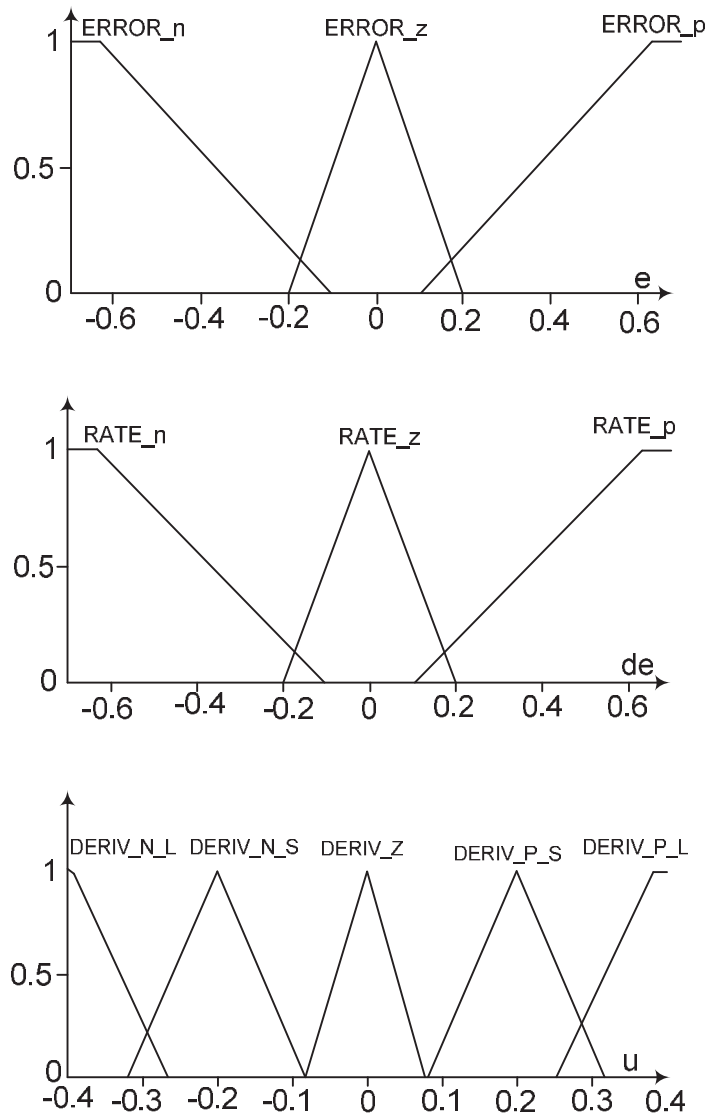


Рисунок 44 – Нечеткие множества для входов и выходов

В результате имитационная модель будет иметь вид как на рисунке 45.

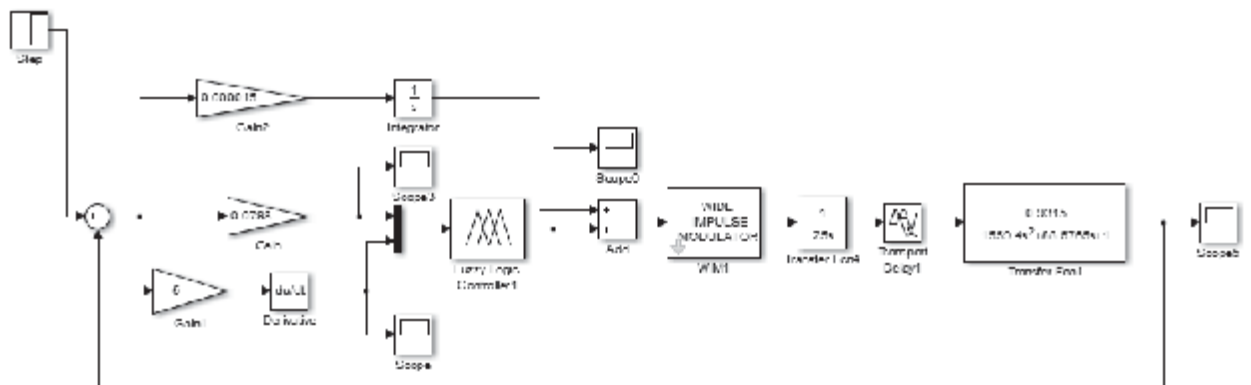


Рисунок 45 – Имитационная модель нечеткой системы

Как оказалась при проведении моделирования интегральная составляющая приводит к тому, что система неустойчива (см. рисунок 46).

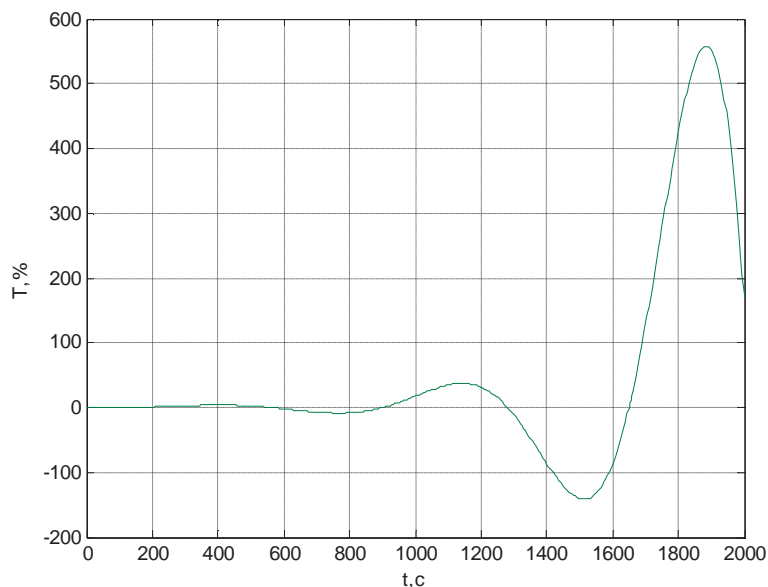


Рисунок 46 – Переходная характеристика нечеткой системы

Тогда придется отказаться от этой составляющей. Но при моделировании без нее система имеет статическую ошибку (см. рисунок 47). Если же оставлять интегральную составляющую, но брать значение слишком малое то система устанавливается, но появляются колебания и большое время установления (см. рисунок 48) что не приемлемо по технологии к данному контуру регулирования.

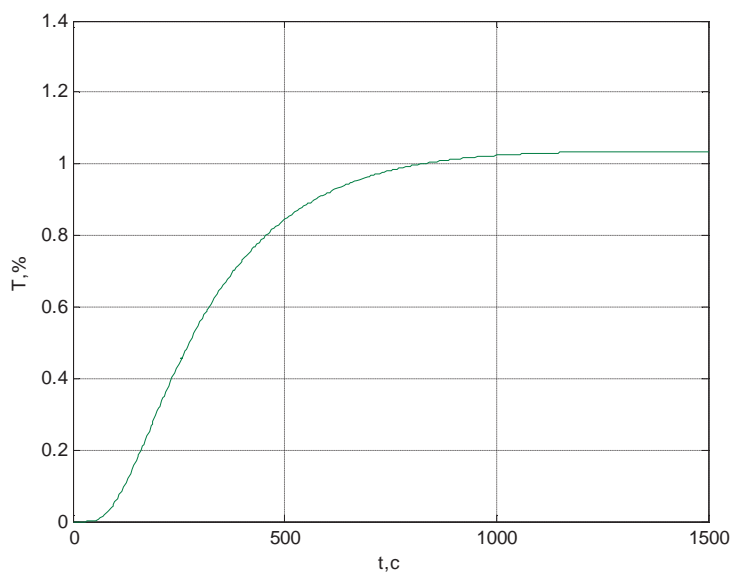


Рисунок 47 – Переходная характеристика нечеткой системы

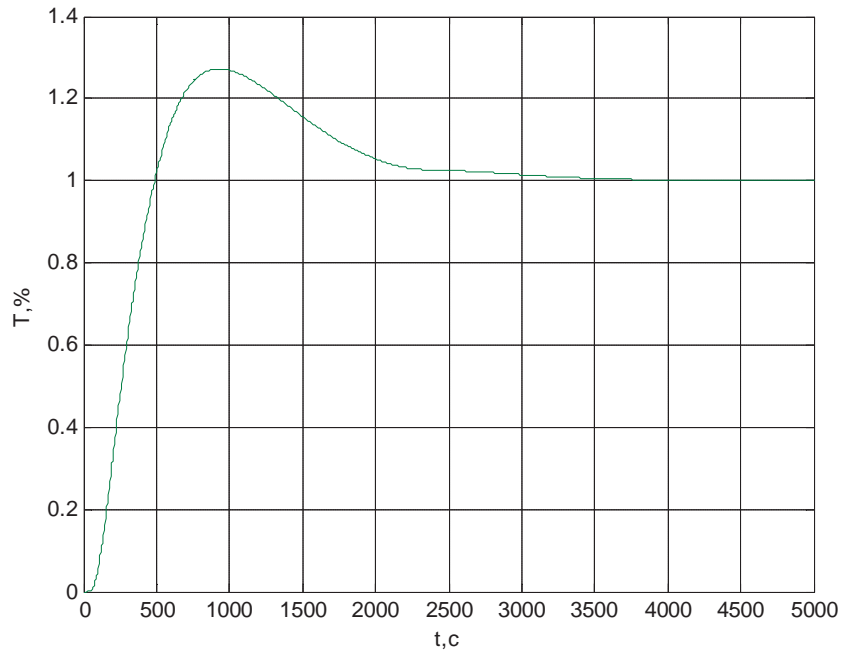


Рисунок 48 – Переходная характеристика нечеткой системы

В итоге так и не получилось настроить нечеткий регулятор, возможно, потому что не хватает экспертной оценки и более точной настройки.

3.5 Сравнение полученных результатов

Для того чтобы оценить и выбрать нужный расчет системы проведем моделирование всех трех предлагаемых систем при изменении параметров объекта в диапазоне:

$$a_2^- \leq a_2 \leq a_2^+, a_1^- \leq a_1 \leq a_1^+$$

$$k_{OY}^- \leq k_{OY} \leq k_{OY}^+, \tau \leq \tau^+$$

$$11526 \leq a_2 \leq 1559, 4, 65, 5435 \leq a_1 \leq 88, 6765,$$

$$0,7621 \leq k_{OY} \leq 0,9315, \tau \leq 45,5$$

Сначала проведем при наименьших параметрах объекта.

$$W_{OY}(p) = \frac{0,7621}{1152,6s^2 + 65,5435s + 1} \cdot \exp(-35 \cdot p)$$

Результаты представлены на рисунке 49. Но перед этим покажем на рисунке 50 все три системы с исходными параметрами объекта.

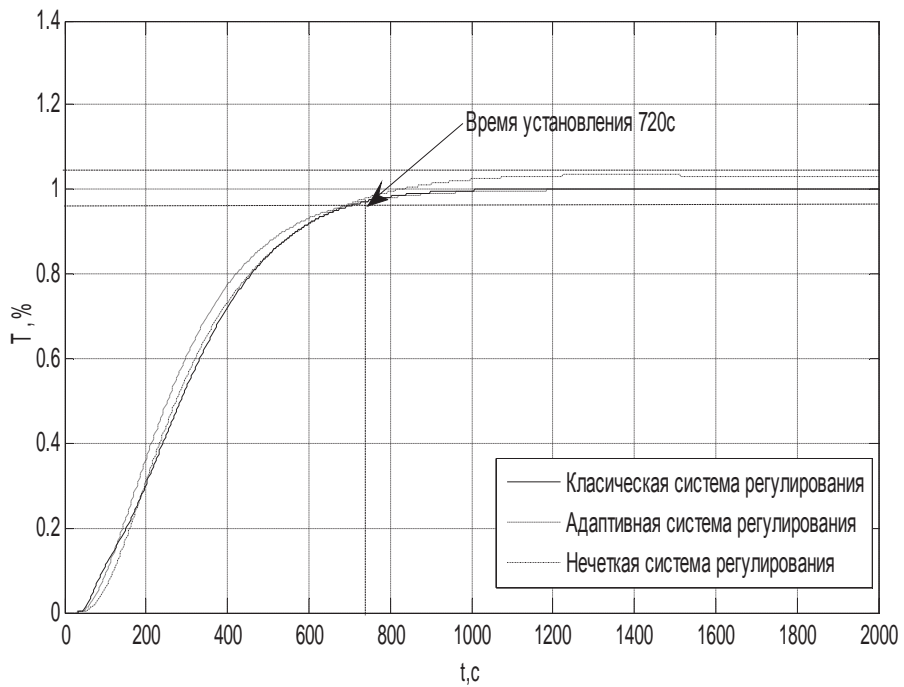


Рисунок 49 – Переходные характеристики при исходных параметрах объекта

При исходных параметрах объекта, классическая система и адаптивная система показали требуемые показатели качества, а нечеткая система не смогла показать такие требования так как имеется статическая ошибка.

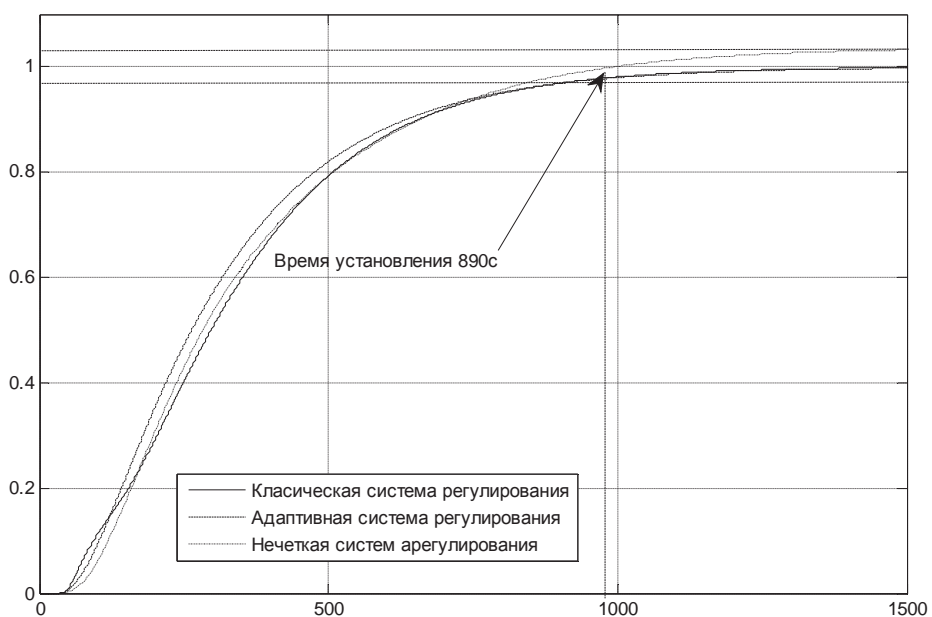


Рисунок 50 – Переходные характеристики при изменении параметров объекта

Как видно из рисунка при наименьших параметрах объекта классическая и адаптивная системы все еще сохраняют свою работоспособность, хотя и увеличилось время переходного процесса в половину, а нечеткая система, не пройдя качественной настройки, имеет статическую ошибку и не изменилась при изменении параметров.

Теперь же изменим параметры в большую сторону.

$$W_{ov}(p) = \frac{0,9315}{1559,4s^2 + 88,6765s + 1} \cdot \exp(-45,6 \cdot p)$$

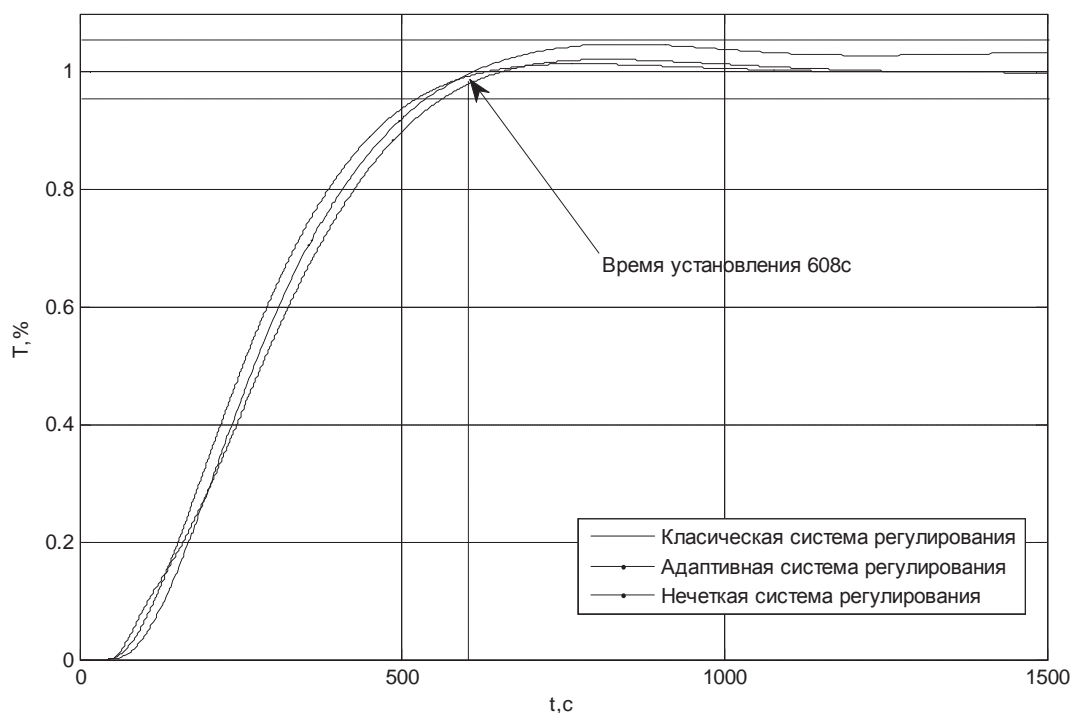


Рисунок 51 – Переходные характеристики при изменении параметров объекта

В результате полученных данных показанных на рисунке 54, видно, что обе системы ведут себя адекватно, но у классической системы увеличилось время процесса в половину по сравнению с объектом с исходными параметрами, а адаптивная система наоборот уменьшилось время процесса. Как было сказано выше про нечеткую систему, здесь она так же имеет статическую ошибку, но так же у всех трех систем появились небольшие колебания с увеличением параметров объекта.

Еще изменим параметры объекта коэффициент передачи в большую сторону, коэффициенты знаменателя при s^2 в большую сторону, а при s в меньшую.

$$W_{ov}(p) = \frac{1,1}{2000s^2 + 50s + 1} \cdot \exp(-50 \cdot p)$$

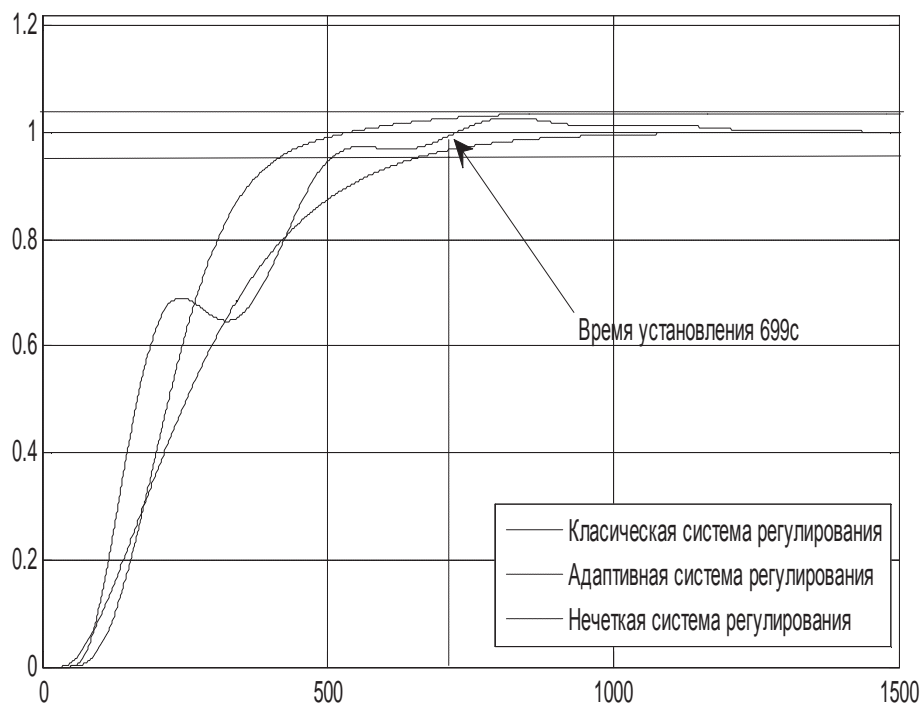


Рисунок 52 – Переходные характеристики при изменении параметров объекта

Как видно из графика при изменении параметров объекта в разные стороны время переходного процесса уменьшилось. Но у классической системы появились колебания, а в целом перерегулирование не больше 5%. Адаптивная система ведет себя так же адекватно. Нечеткая система все так же имеет статическую ошибку.

И в конце изменим только коэффициент передачи в меньшую сторону, а запаздывание в большую.

$$W_{ov}(p) = \frac{0,5}{1356s^2 + 77,11s + 1} \cdot \exp(-55 \cdot p)$$

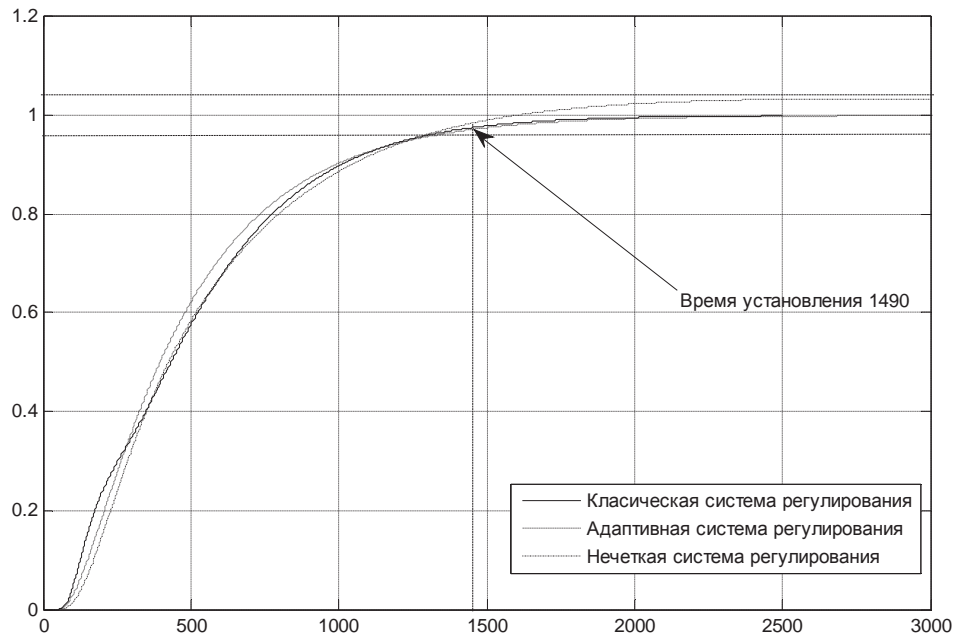


Рисунок 53 – Переходные характеристики при изменении параметров объекта

В результате получилось, что время переходного процесса всех трех систем увеличилось в два раза. Но общий вид поведения этих систем не изменился, кроме появления в самом начале небольшого колебания у классической системы.

В итоге проведенного анализа всех рассмотренных систем можно сделать вывод, что неприемлемой из всех оказалась система с нечетким регулированием, в свою же очередь адаптивная система и система с ПИД – регулятором показали наилучшие результаты. Но на этапе реализации исследуемого контура учитывается то, что в классической системе необходимо так же измерять температуру в промежуточной точке, а именно на выходе 1 ступени пароперегревателя по технологическому признаку, что бы добиться более быстрого процесса путем ввода дифференциатора. Однако адаптивная система этого не требует, то тогда классическая оказывается сложнее адаптивной и ее использование будет выгоднее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге выполненной выпускной квалификационной работы были рассмотрены различные подходы к построению АСУ ТП, так же рассмотрено само предприятие Благовещенской ТЭЦ, которое повлияло на окончательный подход к построению АСУ ТП.

Рассмотрен объект, к которому производилось проектирование АСУ ТП. В дальнейшем произведен выбор необходимого оборудования и разработана полная электрическая схема.

И в итоге были рассмотрены разные подходы к регулированию контура перегретого пара котельного агрегата на Благовещенской ТЭЦ. В результате оказалась, что отвечающая требованиям к качеству регулирования и оптимальной будет являться адаптивная система, которая в дальнейшем может быть использована для реализации на практике.

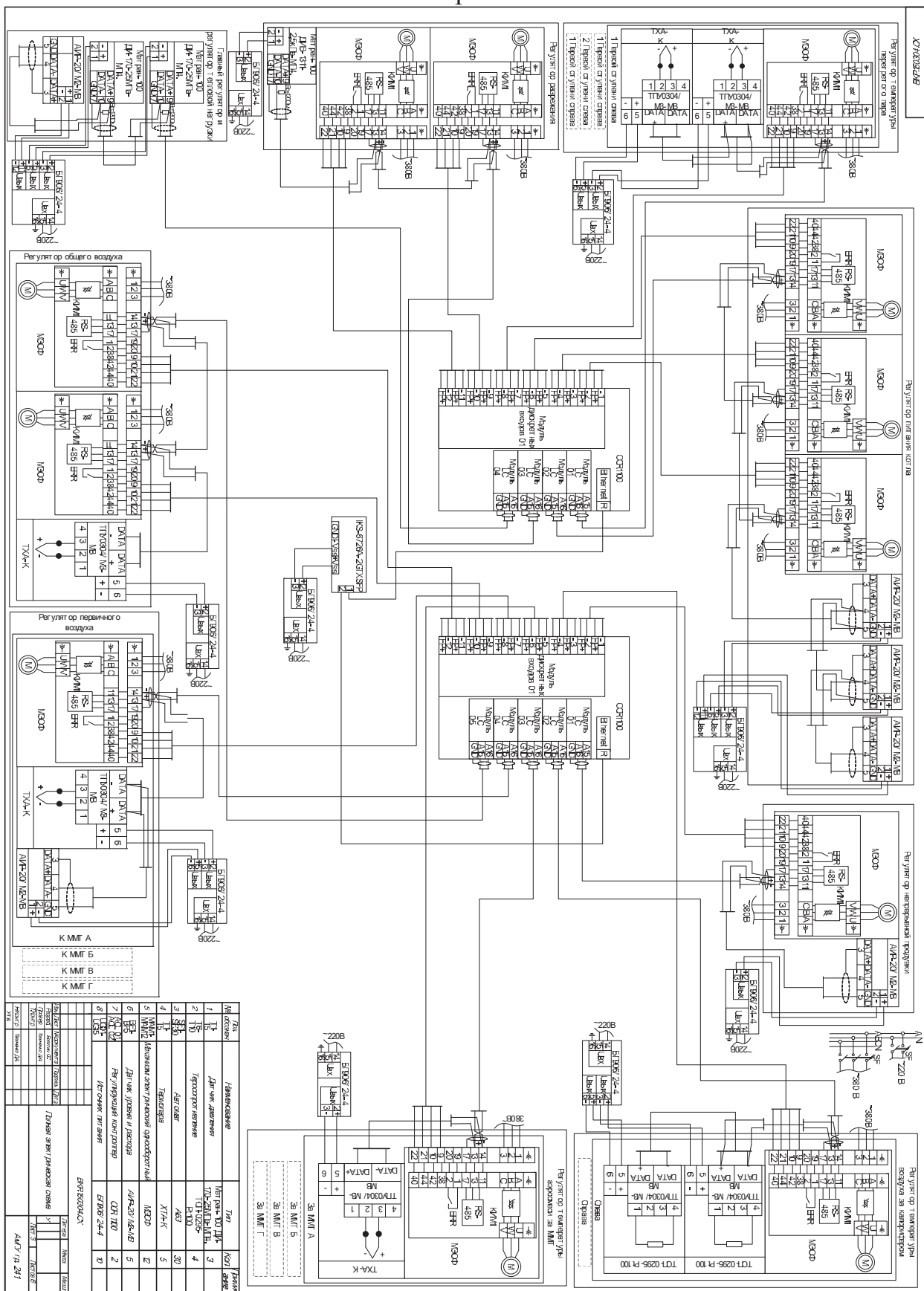
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Милосердова, А.А. Современные подходы при реализации АСУ ТП для объектов теплоэнергетики/ А. А. Милосердова, Д.А. Теличенко // Вестник АмГУ. – 2012. – № 59. – С. 89-99.
2. Свидерский, А.Г. Применение распределенных систем управления и интеграции АСУ ТП энергооборудования // Теплоэнергетика. – 2011. – № 10. – С. 4-10.
3. Плетнев, Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике: учебник для студентов вузов / Г.П. Плетнев. – 4-е изд., стереот.– М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 352 с.
4. Еремин Е. Л., Теличенко Д. А. Адаптивное и робастное управление объектами теплоэнергетики. – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2009. - 228 с.
5. Климец, Ю.Л. Техническая реализация задачи поддержания соответствия вырабатываемой и потребляемой энергии на ТЭЦ/ Ю. Л. Климец, Д.С. Теличенко // Вестник АмГУ. – 2014. – № 65. – С. 83-92.
6. Нестеров, А.Л. Проектирование АСУ ТП. Методическое пособие. Книга 1. / А. Л. Нестеров // СПб издательство ДЕАН, 2006. – 552.с.
7. Преобразователи давления измерительные АИР-20/М2-МВ. Руководство по эксплуатации НКГЖ.406233.029РЭ.
8. Термопреобразователи универсальные ТПУ 0304/М3-МВ. Руководство по эксплуатации НКГЖ.411611.005РЭ.
9. Сайт компании ООО «Чебоксарыэлектропривод» [Электронный ресурс]: каталог продукции. – Режим доступа: <http://cheber.ru/>. – 4.04.2016.
10. Датчик давления Метран – 100. Руководство по эксплуатации СПГК.5070.000.00-01 РЭ.
11. Ковалев, А.В. Архитектура построения систем управления и сбора данных/ Ковалев А.В // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2007. – № 36.

12. Горожанкин, П.А. Вопросы проектирования распределенных АСУ электротехнического оборудования электростанций // Теплоэнергетика. – 2011. – № 10. – С. 11-14.
13. Денисенко, В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием // М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с., ил.
14. Теличенко, Д.А. Современные системы автоматизации и управления// Учебное пособие. – Благовещенск: Амурский гос. Ун-т, 2013.
15. Jantzen, Jan. Foundations of fuzzy control. – West Sussex: John Wiley & Sons, 2007. – 209 p.
16. Денисенко, В.В. Протоколы и сети Modbus и Modbus TCP // Современные технологии автоматизации – 2010. – № 4. – С. 90-94.
17. Источник питания постоянного тока серии БП 906. Паспорт.
18. Перечень регуляторов используемых на Благовещенской ТЭЦ РД.
19. Руководство по системе ввода-вывода ПТК Ovation.
20. 3-К рабочие документы котельного агрегата № 3.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

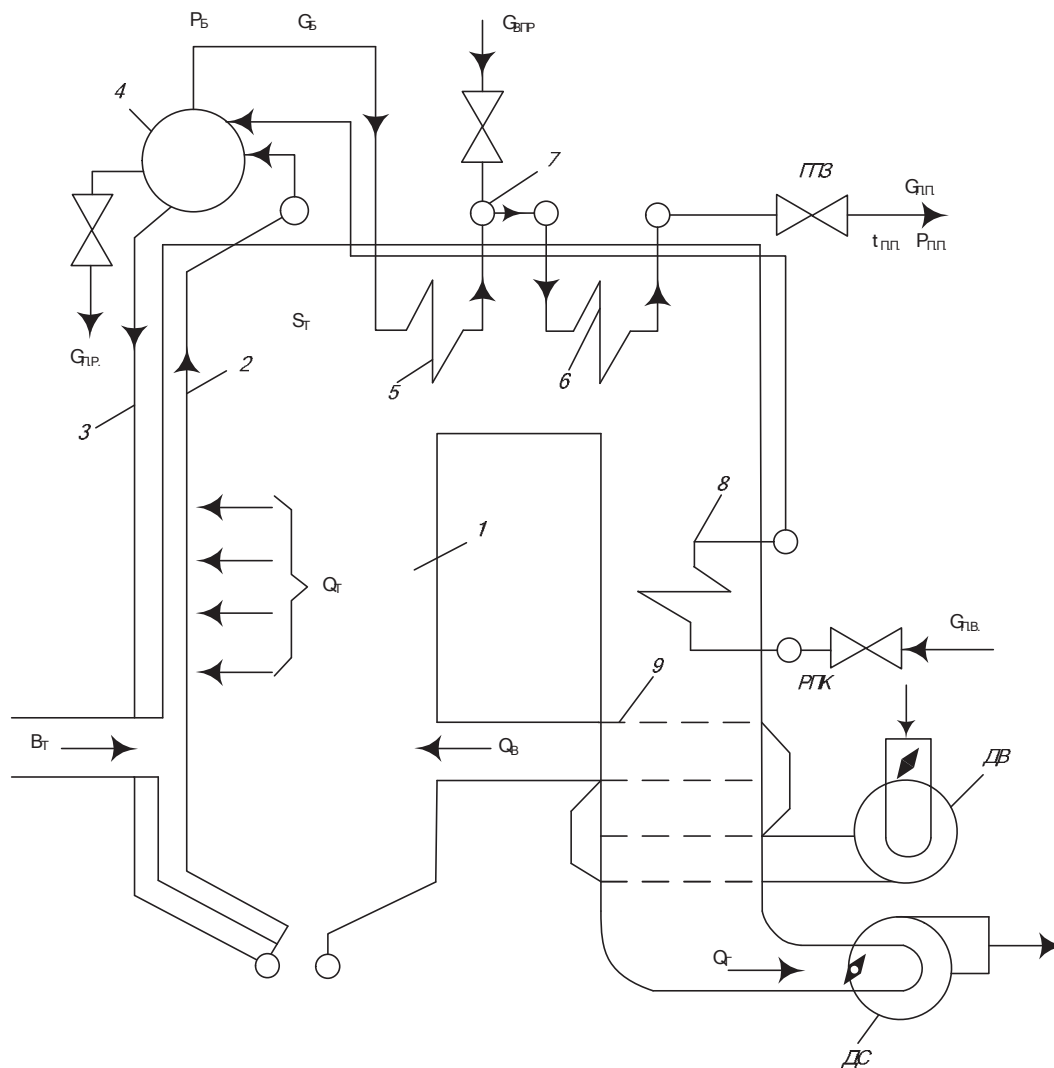
Полная электрическая схема



Провер.	Теличенко D.A.			У		1	1
Н.контр	Бодруг H.C.			АмГУ гр. 241			
Утв.							

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Принципиальная технологическая схема барабанного котла



1 – Топка, 2 – циркуляционный контур, 3 – опускные трубы, 4 – барабан, 5, 6 – пароперегреватели, 7 – пароохладитель, 8 – экономайзер, 9 – воздухоподогреватель, ГПЗ – главная паровая задвижка, РПК – регулирующий питательный клапан, ДВ – дутьевой вентилятор, ДС – дымосос, Q_B – расход

воздуха подаваемый в топку, Q_{Γ} – расход дымовых газов, $G_{\text{Б}}$ – расход насыщенного пара, $G_{\text{ВПР}}$ – расход воды на впрыск, $P_{\text{Б}}$ – давление пара в барабане, S_{T} – разрежение, $G_{\text{П.В.}}$ – расход питательной воды, $G_{\text{П.Р.}}$ – расход воды выпускаемой из барабана, Q_{T} – тепловыделение в топке, $G_{\text{П.П.}}$ – расход перегретого пара.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Автоматические схемы регулирования котлоагрегата

1 ОБЩИЕ СВЕДИНИЯ

Наименование системы: Автоматизированная система управления технологическим процессом котлоагрегата Благовещенской ТЭЦ

Плановые сроки начала и окончания по созданию системы:

Начало: 11 января 2016 г.

Окончание: 14 июня 2016 г.

Порядок оформления и предъявления результатов:

Сдача выпускной квалификационной работы 14 июня 2016 г.

2 НАЗНАЧЕНИЯ И ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ

2.1 Назначение

АСУ ТП предназначена для:

- Обеспечения потребителя требуемым количеством пара заданного качества (давления).

- Отображения информации о ходе технологического процесса: состояний технологических параметров, состояний оборудования;

- Безаварийного останова технологических объектов при аварийных ситуациях;

Все функции АСУ ТП должны быть реализованы на технических средствах программно-технического комплекса «Овация» производства ООО «Эмерсон»

2.2 Цели создания системы:

- Расчет, анализ и выбор подходов к регулированию котельного агрегата;

- Обеспечение надежного и эффективного автоматизированного управления основным и вспомогательным тепломеханическим в нормальных, переходных и аварийных режимах;

3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

СП БТЭЦАО «ДГК» ФАО «Амурская генерация». располагается в г. Благовещенск Амурской области.

Объектом автоматизации является барабанный котел Е-420-13.8-560БТ. Котел однокорпусный, П-образной компоновки. Котел оборудован топочными устройствами для сжигания бурого угля. Котел предназначен для работы на общую паровую магистраль ТЭЦ.

Краткая характеристика котлоагрегата Е-420-13.8-560БТ Благовещенской ТЭЦ.

- Производительность общая 420 т/час
- Давление пара за котлом 13,8 МПа
- Температура пара за котлом 560 °С

Котел газоплотный, имеет два осевых дымососа ДН-24х2-0.62 и два осевых дутьевых вентилятора ДН-26. На котле установлено 8 пылеугольных вихревых горелок на фронтальной стене. Котел снабжен 4 молотковыми мельницами типа ММТ 1500/2510/750 с прямым вдуванием.

Для транспортировки и сушки пылевоздушной смеси на каждую мельницу предусмотрен индивидуальный вентилятор горячего дутья ВГДН-21. Каждая мельница оснащена скребковым питателем сырого угля ПСУ-700/3000. Бункер сырого угля на каждую мельницу оснащен шнековыми затворами с гидроприводом и системой пневмообрушения.

Предусмотрены 4 пароакустические мазутные форсунки типа ФУЗ-3500 для растопки котла и подхвата факела мазутом марки М100.

Для регулирования температуры перегретого пара предусмотрен впрыск собственного конденсата. Котел имеет твердое шлакоудаление. Золоулавливающая установка типа электрофильтры.

4 ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ

4.1 Требования к системе в целом

ПТК ВУ АСУ ТП должен представлять собой цифровую распределенную систему управления. ПТК ВУ АСУ ТП должен быть реализована на базе программно-технического комплекса для управления технологическими процессами в энергетике - ПТК «Овация» производства ООО «Эмерсон».

4.1.1 Требования к структуре и функционированию системы

Иерархическая структура ПТК ВУ АСУ ТП должна состоять из следующих уровней:

- Операторский уровень, реализующий функции отображения информации, оперативного (дистанционного и автоматизированного) управления как установкой в целом, так и отдельными ее элементами, а также все неоперативные функции ВУ АСУ ТП (протоколирование, архивация, информационно-вычислительные задачи и т.п.);

- Контроллерный уровень, реализующий функции сбора и предварительной обработки информации, автоматического управления исполнительными механизмами.

- Сетевые устройства (ЛВС), связывающие в единое информационное пространство все составляющие ВУ АСУ ТП (коммуникационный уровень).

4.1.2 Требования к численности и квалификации персонала, режиму его работы

Для работы АСУ ТП необходим персонал следующих категорий:

- Оперативно-технический персонал – пользователи АСУ ТП;
- Технический обслуживающий персонал, осуществляющий оперативное и неоперативное обслуживание и ремонт программных и технических средств АСУТП.

Технический обслуживающий персонал должен иметь техническое образование по специальностям, относящимся к системам управления. Оперативно-технический персонал должен пройти обучение навыкам управления технологическим процессом с использованием АСУ ТП.

4.1.3 Требования к надежности

При проектировании АСУ ТП должны использоваться следующие системные методы обеспечения надежности:

- Выбор надежных технических средств, включая устройства связи, обеспечение надежного бесперебойного электропитания;
- Разработка надежно работающих программных средств;
- Защита от выдачи ложных команд и ложной информации;

– Рациональное распределение задач между техническими и программными средствами и между техникой и персоналом;

– Использование методов и средств технической диагностики;

4.1.4 Требования к безопасности

АСУ ТП должна быть построена таким образом, чтобы отказы технических средств не приводили к ситуациям, опасным для жизни и здоровья людей и повреждению оборудования.

4.1.6 Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению компонентов системы

Для АСУ ТП должны быть предусмотрены следующие виды технического обслуживания:

– Профилактические осмотры и ремонты с периодичностью профилактических и ремонтных остановов объектов управления, предусмотренных в инструкциях на эксплуатацию технических изделий;

– Внеплановые ремонты АСУ ТП, осуществляемые при обнаружении неисправностей в процессе эксплуатации;

– Контроль и выполнение работ по внедрению, наладке, приемке в эксплуатацию, аттестации вновь вводимых технических средств АСУ ТП;

4.1.7 Требования к защите информации от несанкционированного доступа

Должна быть разработана система регистрации изменений программного и информационного обеспечения.

В системе технически и документально должен обеспечиваться доступ к информации, необходимой для эксплуатации системы. Разработчик и изготовитель системы сообщает заказчику состав и порядок доступа к информации, в нераспространении которой он заинтересован. Заказчик обязан выполнять определенные вместе с разработчиком мероприятия по защите информации от несанкционированного доступа и распространения.

4.1.8 Требования по сохранности информации при авариях

Полная или частичная потеря информации (программы или данных) должна быть исключена при любых отказах, а также при потере питания. Защита от потери информации должна осуществляться как путем мероприятий, обеспечивающих защиту информации при отказах и потере основного питания (резервирование электрического питания), так и за счет восстановления с резервных носителей.

4.1.9 Требования к патентной чистоте

Все поставляемое оборудование и программное обеспечение должно сопровождаться разрешительными документами (лицензиями и т.п.) для соблюдения авторских прав. Лицензии и разрешения должны быть действительными на территории РФ.

4.1.10 Требования по стандартизации и унификации

ПТК должен создаваться на основе действующих стандартов, норм, правил и нормативно-технических документов.

Должен быть единый подход к решению однотипных задач, должны создаваться унифицированные объектно-ориентированные компоненты информационного, лингвистического, программного, технического и организационного обеспечения.

Во всех рабочих станциях систем одного уровня в рамках локальной сети должна использоваться единая операционная система, настраиваемая в соответствии с конфигурацией устройств и их программным обеспечением.

4.2 Требования к функциям (задачам), выполняемым системой

Функции подразделяются на информационные, управляющие и вспомогательные (сервисные).

В состав информационных функций входят следующие:

- Сбора, первичной обработки и распределения информации;
- Информационно-вычислительные и расчетные;
- Регистрация и архивирование событий и параметров;

В состав управляющих функций входят следующие:

- Дистанционного управления;

– Автоматического регулирования;

Сбор, первичная обработка и распределение информации

Функция предназначена для сбора и первичной обработки информации, вводимой с дискретных датчиков таких как: давление острого пара после котла, расход пара и давление в барабане. Функция должна выполняться автоматически во всех режимах работы системы. Выходной информацией функции являются обработанные значения параметров с соответствующими признаками проведенного контроля и обработки, занесенные в базу данных.

Регистрация и архивирование процессов и параметров

Задача предназначена для регистрации и накопления текущих значений параметров: острого пара на выходе из котла, давление в барабане и текущий режим работы.

Дистанционное управление

Функция дистанционного управления решает следующие задачи:

– Воздействие оператора на изменение заданий автоматических регуляторов;

Требования к функциям автоматического регулирования

Функция автоматического регулирования (АР) предназначена для регулирования контуров котельного агрегата и поддержания в них заданных параметров, что бы работа котлоагрегата была нормальной и безаварийной.

5 СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ

Этапы работ:

– Обследование контура регулирования;

– Выбор необходимого оборудования;

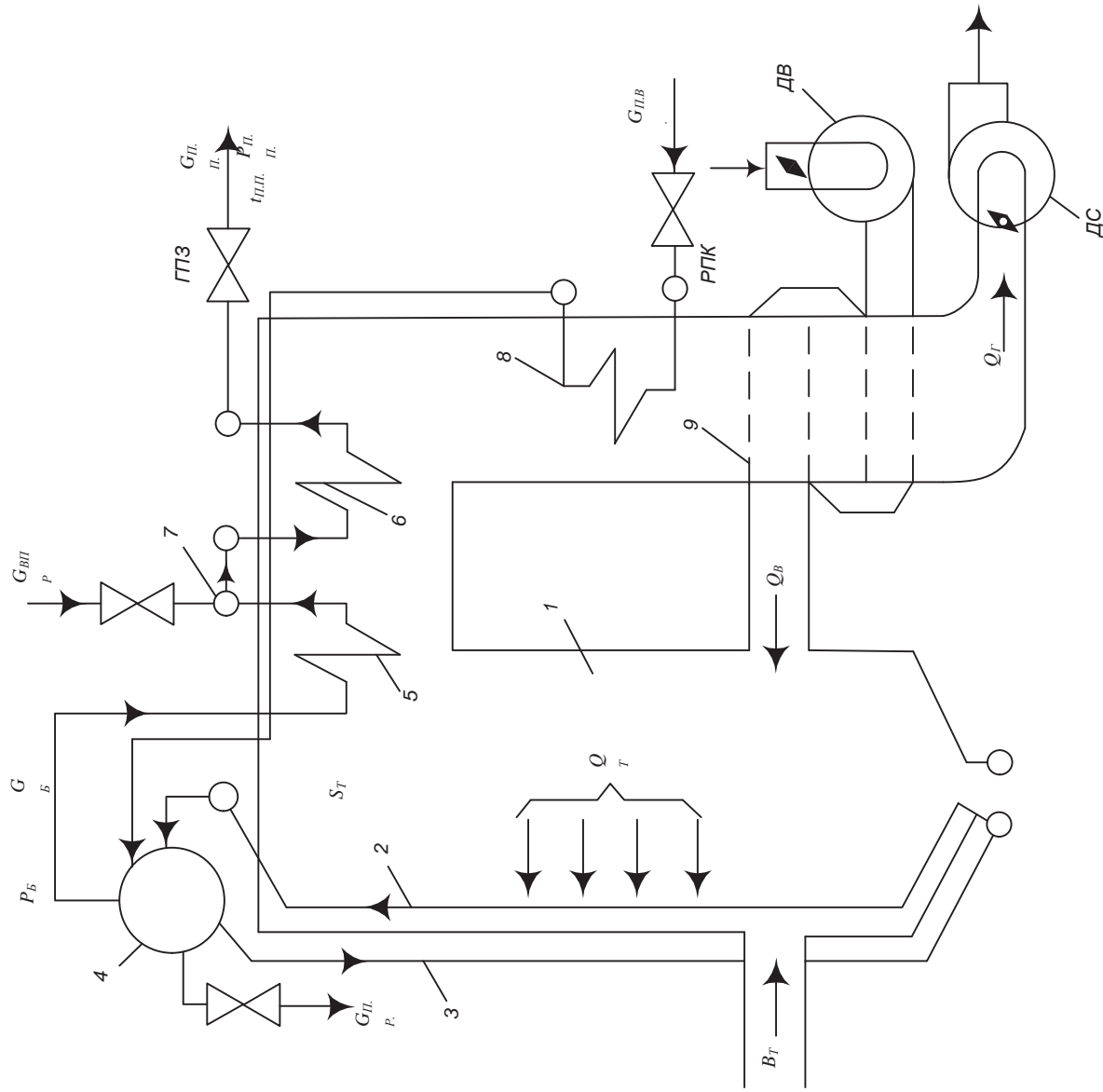
– Создание полной электрической схемы объекта;

– Расчет систем регулирования;

– Анализ рассчитанных систем регулирования и выбор оптимального решения.

6 ПОРЯДОК КОНТРОЛЯ И ПРИЕМКИ СИСТЕМЫ

Порядок контроля производится плановыми отчетами о выполненных этапах проектирования руководителю выпускной квалификационной работы. Прием разработанной системы осуществляется в виде защиты выпускной квалификационной работы



1 – Топка,

2 – циркуляционный контур,

3 – опускающие трубы,

4 – барабан,

5, 6 – пароперегреватели,

7 – парохладитель,

8 – экономайзер,

9 – воздухоподогреватель,

ГПЗ – главная паровая задвижка,

РПК – регулирующий питательный клапан,

ДВ – дутьевой вентилятор,

ДС – дымосос.

Q_B – воздух подаваемый в топку,

Q_T – дымовые газы,

G_B – насыщенный пар,

$G_{вп.р}$ – вtrysк воды,

P_B – давление пара в барабане,

S_T – разрежение,

$S_{п.в.}$ – подача питательной воды,

$S_{п.р.}$ – вода выпускаемая из барабана,

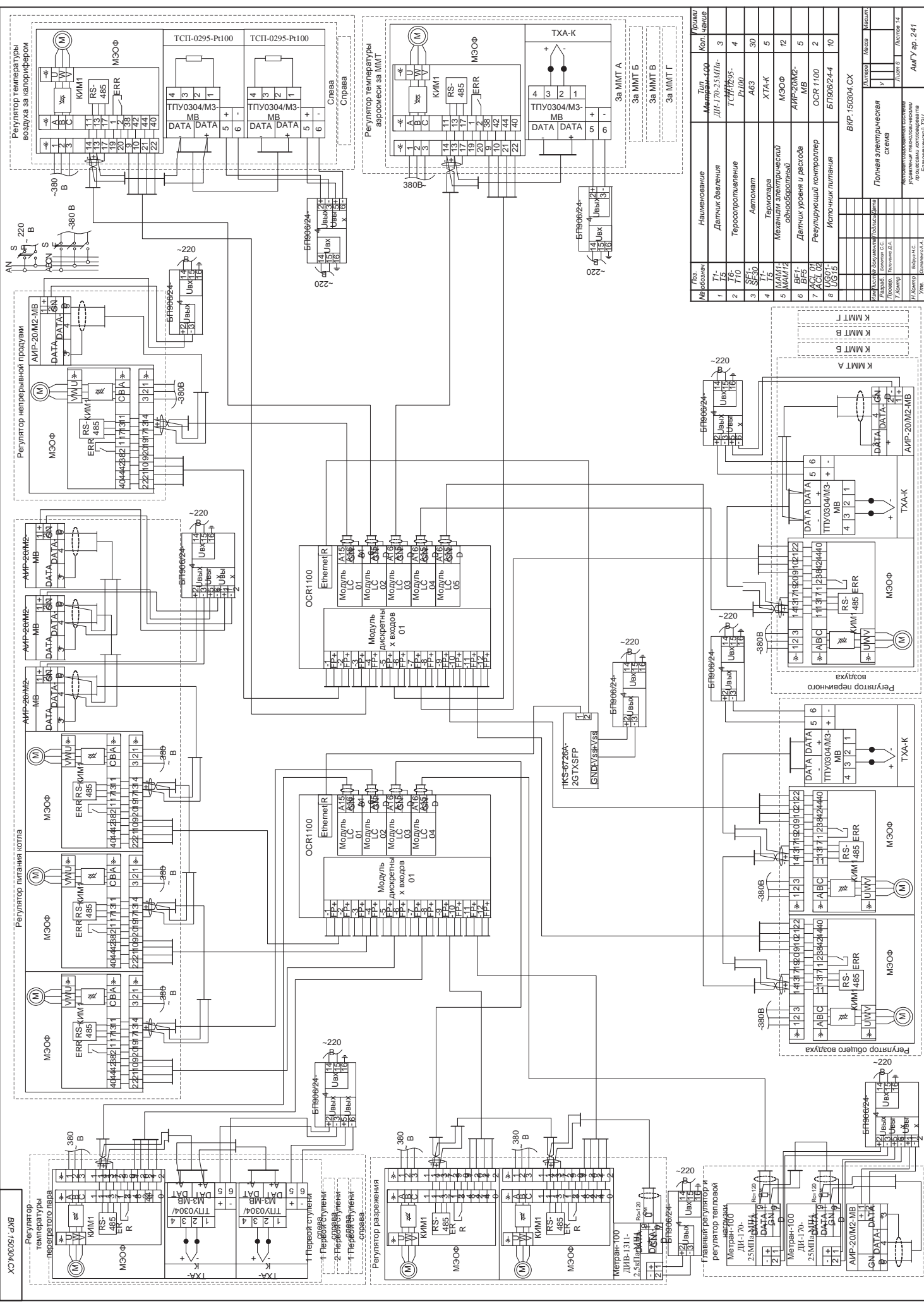
Q_T – тепловыделение в топке,

$S_{п.п.}$ – расход перегретого пара,

$P_{п.п.}$ – давление перегретого пара,

$t_{п.п.}$ – температура перегретого пара.

ВКР: 150304.ВО		Листов	Масштаб
Составитель	Проверенный	Утвержденный	Исполнитель
С.С.С.	С.С.С.	С.С.С.	С.С.С.
П.И.И.	П.И.И.	П.И.И.	П.И.И.
Т.К.К.	Т.К.К.	Т.К.К.	Т.К.К.
У.У.У.	У.У.У.	У.У.У.	У.У.У.
Подшипленная технологическая схема барabanного котла		Листов	Листов
параметры		АИГУ в.р. 241	
УТВЕРЖАЮЩИЙ		ПРОЕКТИРУЮЩИЙ	



№ п/п	Наименование	Тип	Толщина
1	Датчик давления	ММТ-100	3
2	Термостат	ТХА-К	4
3	Автомат	АВЗ	30
4	Термостат	ТХА-К	5
5	Механический электростатический регулятор	МЭОФ	12
6	Датчик уровня и расхода	ММТ-100	5
7	Регулирующий контроллер	OCR 1100	2
8	Источники питания	БП002/4-4	10

