

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники
(институт)

Кафедра «Промышленная электроника»

27.03.04 Управление в технических системах
(код и наименование направления подготовки, специальности)
Системы и технические средства автоматизации и управления
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Автоматизированная система управления котельной

Студент(ка)	<u>А.Е. Вьюгин</u>	<u>(личная подпись)</u>
Руководитель	<u>Д.Г. Токарев</u>	<u>(личная подпись)</u>
Консультанты	<u>Н.В. Яценко</u>	<u>(личная подпись)</u>

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов (личная подпись)
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)
« ____ » _____ 20 ____ г.

Тольятти 2017

Аннотация

Название выпускной квалификационной работы «Автоматизированная система управления котельной». Данная выпускная квалификационная работа состоит из 5 частей на 54 листах машинописного текста, а также графической части, выполненной на 7 листах формата А1.

В работе рассмотрена автоматизация парового котла марки ДЕ-4-14ГМ-О (Е-4-1,4ГМ), установленного в типовых котельных промышленных предприятий. В данной бакалаврской работе предложена система автоматизации парового котла -4-14ГМ-О (Е-4-1,4ГМ) на базе современных технических средств. Современные средства автоматизации на базе программно-технических комплексов (ПТК) обеспечивают управление технологическим процессом в паровом котле на основе централизованно обработанной в микропроцессоре информации по заданным технологическим и экономическим критериям, определяющим качественные и количественные результаты выработки пара.

Первая глава выпускной квалификационной работы содержит описание парового котла и основного оборудования парового котла. Рассмотрен технологический процесс, где уделяется внимание контурам регулирования процессов парового котла.

Во второй главе рассмотрены теоретические вопросы, такие как автоматизированная система марки ПМА, обоснование необходимости автоматизации технологического процесса, выбор изменяемых параметров для регулирования технологического процесса, а также было уделено внимание рассмотрению параметров для контроля и сигнализации.

Последние главы посвящены описанию и расчету системы автоматического регулирования, рассмотрению компонентов системы автоматического управления, а также разработке HMI APM оператора котельной установки.

Abstract

The title of the graduate qualification work is «Automated control system of boiler house». The graduate qualification work consists of 5 parts on 54 sheets on typescript text, including graphic part on 7 A1 sheets.

The graduation work describes the automation of steam boiler DE-4-14GM-O (E-4-1, 4GM) installed at the typical boiler industrial plants. The bachelor's thesis offers the automation system of steam boiler -4-14GM-O (E-4-1,4GM) based on the modern technical facilities. Modern automation facilities based on I&C complexes provides industrial process control in the steam boiler on the basis of centralized and processed information in the microprocessor under given engineer and economic figures that determine qualitative and quantitative results of steam generation.

The first part of the graduate qualification work contains the description of steam boiler and the basic equipment of steam boiler. There has been considered the technology process where the attention is also drawn to the control loop of steam boiler process.

The second part of the graduate qualification work touches upon such theoretical questions as automated system of PCS, need statement of technology process automation, select of changing figures for technology process control and the attention has been also given to consideration of figures for control and signaling.

The final parts of the graduate qualification work are devoted to the description and the design of automatic control system, consideration of components of automatic control system including also the development of HMI APM operator of boiler system.

Содержание

Введение	10
1 Описание парового котла и котельного оборудования.	10
1.1 Описание парового котла	10
1.2 Описание основного оборудования парового котла.	12
1.3 Технологический процесс как объект автоматизации.	15
2 Описание разработанной автоматизированной системы управления.	17
2.1 Применяемая автоматизированная система марки ПМА	17
2.2 Обоснование необходимости автоматизации технологического процесса	18
2.3 Выбор изменяемых параметров для регулирования процесса	20
2.4 Выбор параметров для контроля и сигнализации	22
3 Описание и расчет системы автоматического регулирования.	26
3.1 Расчет регулирующих устройств.	26
3.1.1 Устройство сужения	26
3.1.2 Регулирующий клапан	28
3.1.3 Устойчивость автоматического регулятора	32
3.2 Расчет чувствительности системы управления подачи пара.	32
3.3 Расчет системы автоматического регулирования температуры	34
4 Компоненты системы автоматического управления.	43
4.1 Основные модули микроконтроллера.	45
4.1.1 Модуль процессора CPU-200.	45
4.1.2 Коммуникационный CPU-320DS	46
4.1.3 Модуль ввода-вывода SIMATIC S7 SM-231	46
4.2 Подключение цифровых датчиков и внешних устройств.	47
5 Разработка SCADA HMI APM оператора котельной установки	49
5.1 Организация систем автоматического управления с использованием программно аппаратных средств фирмы Siemens	49
5.2 Проведение проверки сбора и отображения информации SCADA- системы	50

5.2.1 Отладка системы сигнализации и сообщений.	50
5.2.2 Анализ результатов проверки	51
5.2.3 Утилита имитации параметров значений тегов.	52
Заключение	54
Список использованных источников	55

Введение

Для нужд производства, отопления и горячего водоснабжения зданий в состав вспомогательных подразделений производственного предприятия входит котельный цех. В здании установлено три котла, оснащенных вспомогательным оборудованием.

Управление котлами и контроль за их работой производятся устаревшими физически и морально промышленными регуляторами. В данной бакалаврской работе разработана современная автоматизированная система парового котла средств.

Современные автоматизированные программно-технические комплексные средства (программно-технические комплексы) управляют паровым котлом в соответствии с технологическим регламентом получения пара, используя информацию о текущих технологических параметрах, определяющих результаты работы парового котла.

Современная автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) содержит аппаратное и программное обеспечения. Должностными обязанностями оператора котельной установки являются их обслуживание, наладка и наблюдение за ходом технологического процесса.

С помощью автоматизации решаются следующие задачи:

- повышение качества реализуемого технологического процесса,
- оптимизация количества работников,
- повышение безопасности производства.

1 Описание парового котла и котельного оборудования

1.1 Описание парового котла

Паровой котел представляет собой агрегатный комплекс, функционирующий для производства пара. Комплекс из нескольких взаимосвязанных теплообменников передает тепло, выделяющееся при сгорании топлива, например мазута, природного газа теплоносителю, например воде, которая при нагреве превращается в пар.

Объектом автоматизации является паровой котел ДЕ-4-14ГМ-О (Е-4-1,4ГМ), который установлен в котельном цехе. В качестве топлива он может использовать природный газ и мазут. Котел производит 4 тонны пара в час.

С помощью парового котла ДЕ-4-14ГМ-О (Е-4-1,4ГМ) (рисунок 1.1) котельный цех производит насыщенный пар (давление 1,5 МПа, температура 198°C). Основным топливом парового котла является природный газ. Котел имеет естественную циркуляцию.

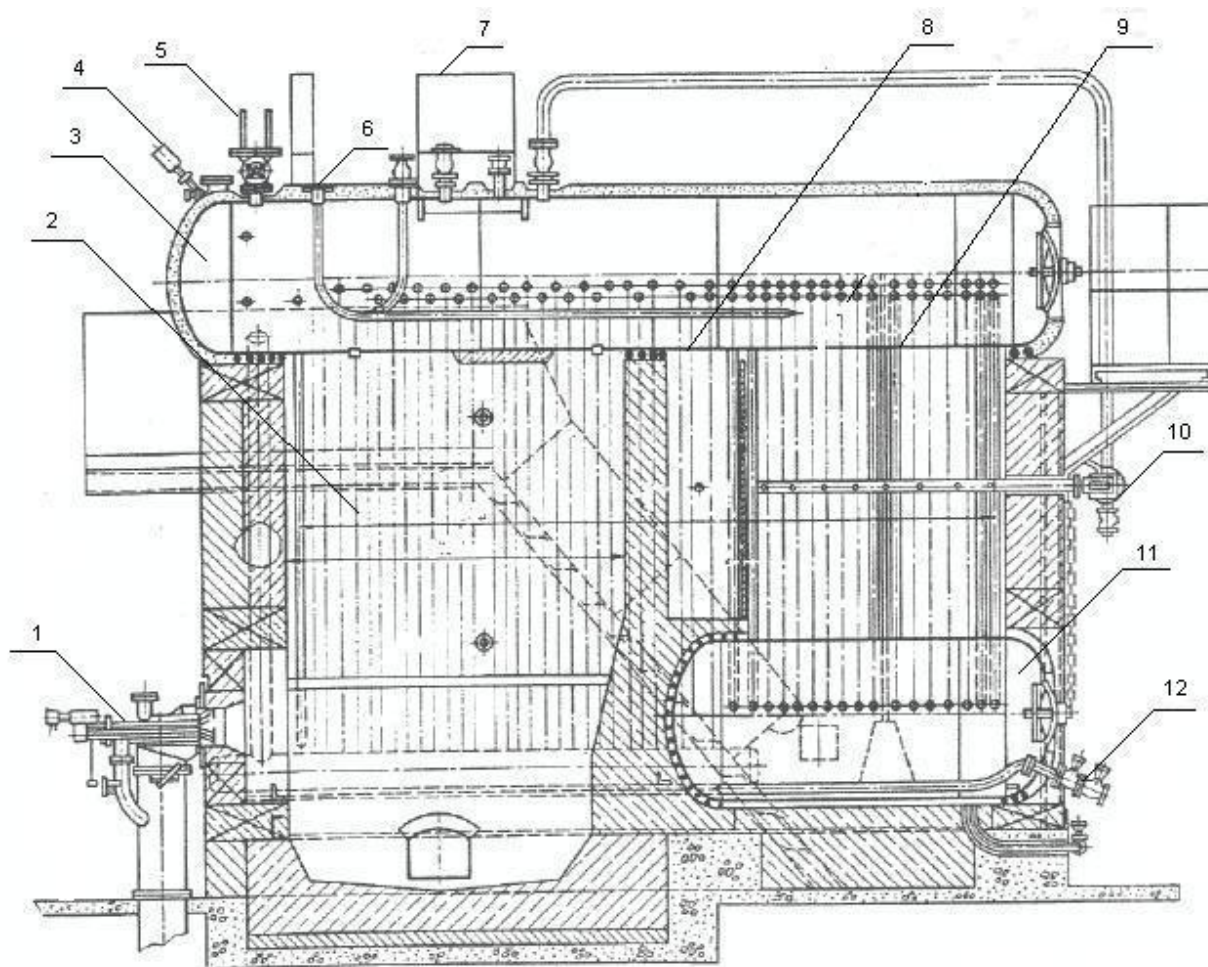


Рисунок 1.1 – Котел ДЕ-4-14ГМ-О (Е-4-1,4ГМ)

1 – горелка, 2 – трубы экрана, 3 – верхний барабан, 4 – указатель давления, 5 – клапаны предохранительные, 6 – трубы питательной воды, 7 – сепаратор пара, 8 – камера догорания, 9 – трубы кипяtilьные, 10 – устройство обдувочное, 11 – нижний барабан, 12 – трубопровод продувочный.

1.2 Описание основного оборудования парового котла

Для успешного функционирования паровой котел оснащается вспомогательными устройствами.

Вентилятор ВД-6

Вентилятор предназначен для увеличения объема подаваемого воздуха, что способствует более полному сгоранию природного газа.

Дымосос ДН-10

Дымосос, установленный за котлом, создает принудительную тягу, что способствует удалению продуктов сгорания из котла.

Вентилятор и дымосос являются тягодутьевыми устройствами (рисунок 1.2).

Возможна регулировка подачи воздуха и тяги путем использования соответствующего направляющего аппарата.

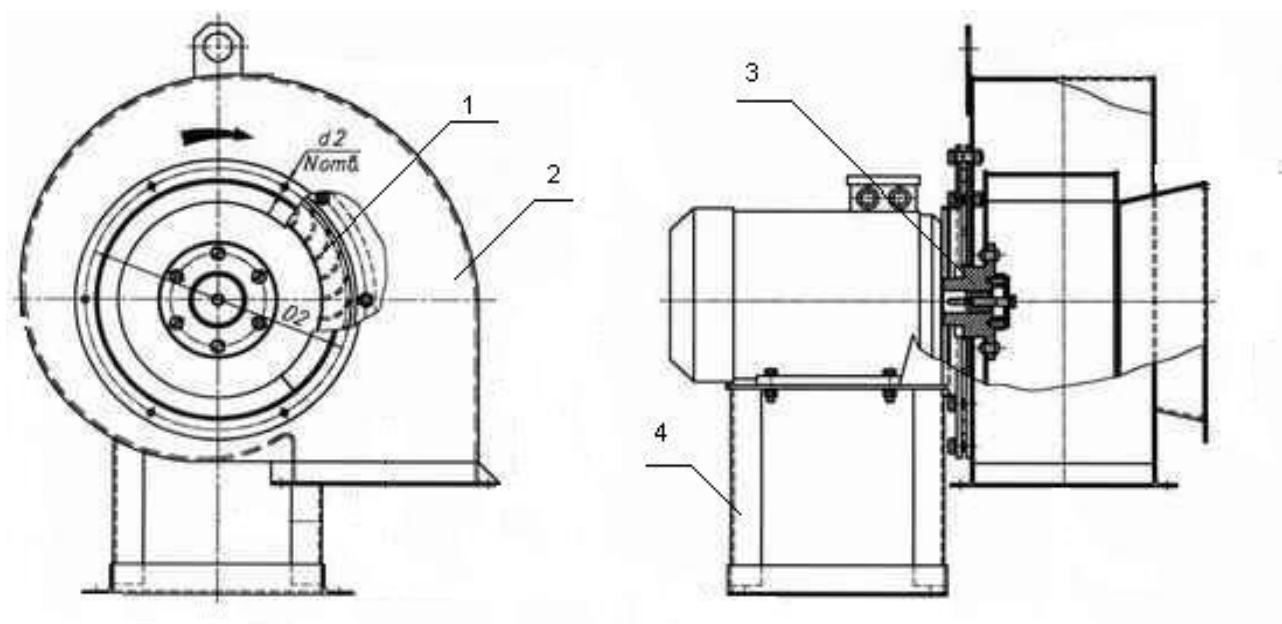


Рисунок 1.2 – Тягодутьевые устройства котла

1 –аппарат направляющий, 2 – корпус, 3 – электродвигатель, 4 –рама подmotorная

Горелка газомазутная двухзонная вихревая ГМГ-2М

Горелка (рисунок 1.3) используется для горения природного газа.

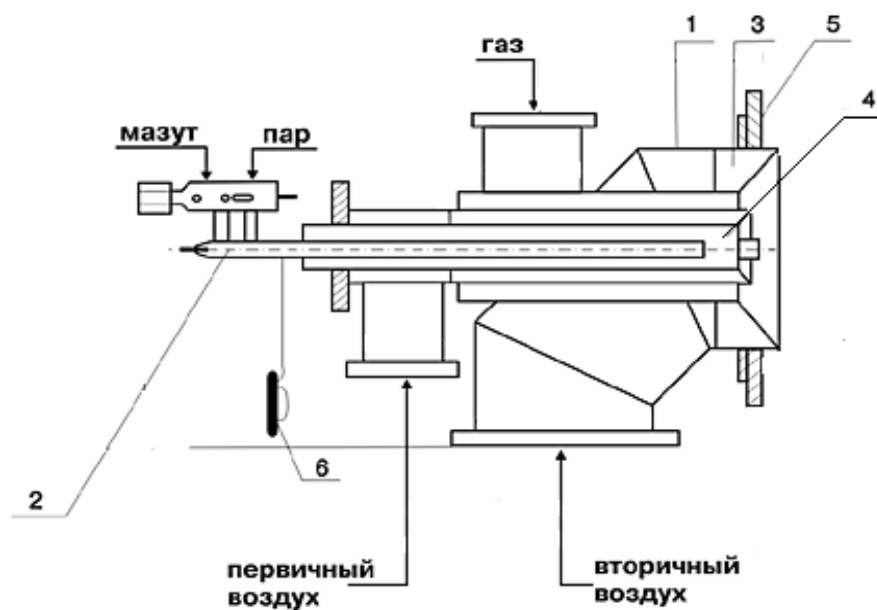


Рисунок 1.3 – Горелка ГМГ-2М

1 – корпус, 2 – паромеханическая форсунка, 3 – завихритель вторичного воздуха, 4 – завихритель воздуха первичного, 5 – монтажная плита, 6 – заглушка

Экономайзер ЭТ2-106

Экономайзер нагревается в результате сгорания природного газа. Он нагревает питательную воду, которая поступает в барабан парового котла.

Деаэратор питательной воды ДС-75

Для уменьшения коррозии устройств парового котла необходимо обеспечить удаление активных газов из воды (кислород, углерода двуоксид). Питательная вода подогревается паром в деаэраторе до начала кипения. Активные газы из воды выпускаются в атмосферу.

При сгорании природного газа, вода нагревается и вырабатывается пар, в этом в основном заключатся технологический процесс, реализуемый при использовании парового котла.

Топливо при выходе из горелки сгорает в виде факела, который создается в топочной камере. Для поддержки сгорания топлива необходим воздух, который в определенном соотношении к объему сгораемого топлива подается вентилятором. Для сгорания 1м^3 газа необходимо 10м^3 воздуха.

При постоянном сгорании природного газа образуются высокотемпературные продукты горения, которые выходя из топочной камеры, нагревают воду, кипяtilьные трубы, экономайзер. Отдавая тепло, они охлаждаются и выбрасываются в атмосферу с помощью дымососа.

Питательная вода проходит предварительную подготовку с помощью механического фильтра, химического фильтра и деаэратора. Затем подогретая вода, очищенная в результате подготовки, подается в один из двух барабанов парового котла (верхний), откуда подается в котел. Паровой котел ДЕ-4-14ГМ-О (Е-4-1,4ГМ) обеспечивает естественную циркуляцию воды по трем контурам, которые используются для образования пароводяной смеси. Верхний барабан котла

осуществляет отделение воды от пара, который подается в паропровод котельного цеха, а оставшаяся вода вливается в барабан с питательной водой.

1.3 Технологический процесс как объект автоматизации

Значительное количество параметров регулирования и регулирующих воздействий, необходимых для обеспечения нормальной работы парового котла в автоматическом режиме, свидетельствуют, что котел как объект автоматизации достаточно сложен. В топочной камере сгорает природный газ, горение которого поддерживает воздух, а газовые продукты горения выпускаются в атмосферу; в котел поступает питательная вода, а производится насыщенный пар.

Рассмотрим контуры регулирования процессов парового котла.

1. Давление пара регулируется выходе котла.

В топочной камере парового котла постоянно должно сгорать столько природного газа, чтобы объем вырабатываемого котлом пара соответствовал объему пара, потребляемого на нужды производства. Такие показатели обеспечивают показатели давления пара на выходе котла. При сгорании газа производится тепла больше, чем это необходимо – нарастает давление в котле за счет аккумуляирования излишек энергии в котле. Когда не хватает топлива, то недостаток пара покрывается за счет тепла воды в котле, хотя падает давление пара. В результате автоматического управление должно обеспечиваться постоянство парового давления на выходе парового котла. Управление осуществляется путем регулирования электроприводом положения клапана на линии подачи топлива.

2. Воздух подается в соответствии с определенным соотношением (на 1 м³ природного газа должно приходиться 10 м³ воздуха).

Соблюдение такой пропорции создает экономию топлива в результате его горения. Если воздуха не хватает, то газ сгорает не полностью, а несгоревший остаток выпускается в атмосферу, что с экономической и экологической точки зрения не выгодно. Наоборот, если воздуха слишком много, то газ полностью

сгорает, однако неиспользованный воздух образует азотный двуоксид, что вредно для людей и окружающей среды. Главной задачей является поддержание в смеси определенного соотношения природного газа и воздуха. Регулирование производится по сигналу направляющему аппарату вентилятора.

3. Необходимо поддерживать минимальный уровень разрежения в верхней части топки, для того, чтобы факел не прижимался к топочной камере, а газообразные отходы поднимались вверх. Однако, при превышении разрежения возрастают потери тепловой энергии, выбрасываемой в атмосферу и электрической энергии на питание дымососа.

Регулирование производится по сигналу направляющему аппарату дымососа.

4. В барабане парового котла необходимо регулировать уровень воды, т.к. разница между количеством поданной воды и отведенного пара определяется именно уровнем воды. От данного регулирования зависит срок эксплуатации котла. Если уровень воды очень низкий, то возможно прогорание труб парового котла, при очень высоком уровне снижается качество сепарации пара.

Регулирование производится изменением положения клапана, через который подается питательная вода.

2 Описание разработанной автоматизированной системы управления

2.1 Применяемая автоматизированная система марки ПМА

Применяемая автоматизированная система марки ПМА управления паровым котлом ДЕ-4-14ГМ-О (Е-4-1,4ГМ) представляет собой комплекс взаимосвязанных устройств и приборов. Комплекс обеспечивает безопасную работу котла с выдачей аварийных сигналов в случае возникновения неисправностей. Безопасная работа возможна за счет автоматизации регулирования технологического процесса производства пара.

При этом контролируются необходимые параметры:

- входное газовое и воздушное давление (до горелки);
- количество воды в верхнем барабане;
- паровое давление;
- воздушный расход;
- газовый расход;
- температура питательной воды и газообразных продуктов горения;
- пониженное топочное давление.

Недостатками применяемой автоматизированной системы ПМА являются:

- физическое и моральное устаревание комплектующих приборов и устройств, что приводит к снижению производительности котлом пара;

- в автоматизированной системе возможно использовать только щитовые приборы, т.к. отсутствует аппаратная и программная поддержка вычислительной системы, поэтому приходится применять значительное количество простейшего измерительного и контролирующего оборудования.

- используются простейшие управляющие алгоритмы, не позволяющие взаимно увязать управляемые параметры.

Для парового котла ДЕ-4-14ГМ-О (Е-4-1,4ГМ) необходимо обеспечить безопасную и надежную эксплуатацию, что приводит к выводу о своевременности

разработки новой автоматизированной системы управления паровым котлом с использованием современных электронных средств обработки информации и управления и соответствующего программного обеспечения для мониторинга и управления технологического процесса производства пара.

2.2 Обоснование необходимости автоматизации технологического процесса

В барабане парового котла необходимо регулировать уровень воды и давление (питание парового котла), т.к. разница между количеством поданной воды и отведенного пара определяется именно уровнем воды. От данного регулирования зависит срок эксплуатации котла. Если уровень воды очень низкий, а давление очень высокое, то возможно прогорание труб парового котла.

Слишком высокий уровень выходы тоже аварийно опасен, т.к. может вызвать неисправность пароперегревателя и сепаратора.

Поэтому необходимо обеспечить поддержание точного уровня воды с равномерным питанием водой котлового агрегата, т.к. резкие изменения уровня воды могут привести к колебаниям температуры корпуса экономайзера, что может привести к его разрушению.

Значительная способность аккумуляирования барабанов парового котла описывается переходными режимами, тогда на уровень воды влияют различные возмущения – изменение потребления производимого пара, изменение расхода воды, изменение ее температуры, изменение загрузки топочной камеры, что влечет за собой изменение количества произведенного пара.

Необходимость регулирования пропорции подачи воздуха и газа вызвана физическими и экономическими причинами. Понятно, что процесс сгорания газа в паровом котле – один из самых важных процессов, который представляет собой химическую реакцию, при которой горючие вещества окисляются кислородом атмосферного воздуха. В котел воздух затягивается из атмосферы дутьевым вентилятором в определенной пропорции с топливом (на 1 м^3 газа необходимо

подать 10м^3 воздуха). При нехватке воздуха в топке природный газ будет сгорать не полностью. Остаток газа будет выпускаться в атмосферу что экологически и экономически недопустимо. Если воздуха в топке много, то топочная камера будет переохлаждаться, в результате даже при полном сгорании газа лишний воздух будет образовывать двуоксид азота – вредное вещество для окружающей среды и людей.

Автоматическая система управления разряжением в топочной камере котла необходима для наддува камеры путем поддержания постоянного давления разряжения (около 4 мм в.ст.). Это необходимо для того, факел пламени не прижимался к горелке и низу топочной камеры, что может привести к выходу их из строя. При этом газообразные продукты сгорания могут пойти в производственное помещение, что вредно для работников котельного цеха.

Допустимое количество веществ, растворенных в питательной воде, нормируется. При производстве пара концентрация таких веществ в воде увеличивается, что может привести к частичной кристаллизации этих веществ в воде. Другая часть веществ может образовывать накипь в барабане и трубах. Кроме того, часть веществ может попадать в экономайзер.

Следовательно, эти вещества необходимо удалять, что и производится путем деаэрирования воды. Однако, автоматическое регулирование данного процесса отсутствует, т.к. зависит от расчетного соотношения питательной и добавочной выходы. Чем меньше добавляется воды, тем меньше влияние процесса деаэрации.

Оператор котельной установки не может контролировать все функциональные параметры парового котла. Поэтому во избежание аварийной ситуации необходимо автоматически контролировать эти параметры. А в случае необходимости должны срабатывать устройства сигнализации и защиты, останавливающие котельный агрегат.

Представим для примера, что уровень воды в котле понизился ниже нижнего предела, это может вызвать нарушение циркуляции воды и прогорание труб котла. Если сработает защита, то на парогенератор уменьшится нагрузка. Однако,

снижается и интенсивность процесса горения в топочной камере, в результате чего пламя может погаснуть. Поэтому, необходимо предусмотреть и защитное устройство гашения факела.

Качество работы комплекса защитных устройств зависит в свою очередь от качества этих устройств, их схемы соединения и количества.

Защитные устройства должны действовать на:

- снижение нагрузки на парогенератор;
- останов парогенератора;
- другие необходимые локальные процессы.

2.3 Выбор изменяемых параметров для регулирования процесса

Выберем из всех параметров технологического процесса производства пара те, которые оказывают влияние на его ход и параметры, т.е. регулирование которых позволит внести регулирующие воздействия на технологический процесс.

Эффективность работы парового котла характеризуется температурой пара. На величину этой температуры воздействуют:

- количество расходуемого газа;
- количество расходуемого воздуха;
- давление разрежения в топочной камере;
- количество воды, расходуемой котлом;
- температура питательной воды.

Указанные воздействия являются возмущениями.

Их нельзя устранить, т.к. первые три возмущения являются взаимосвязанными. Исключением является только количество воды, расходуемой паровым котлом. Этот параметр можно стабилизировать с помощью компенсации количества расходуемой воды подготовленной водой, прошедшей механическую, химическую очистку и деаэрацию. Немаловажно, что температура воды, поступающей в котел, зависит от температуры воздуха вне котельного цеха.

При анализе выясняем, что наиболее эффективным регулирующим воздействием на технологический процесс является изменение количества подаваемого природного газа. При этом в качестве входных параметров будут использоваться изменения величины температуры воздуха вне цеха и температуры воды, подводимой к котлу. Информативными сигналами для регулирования подачи газа будут являться сигналы температуры воды на выходе котла и температуры воды, поступающей в котел. В результате в зависимости от температур:

- воздуха вне цеха,
- пара,
- воды на выходе котла,
- воды, поступающей в котел

Можно регулировать объем газа, подаваемого на вход горелки.

Объем подаваемого воздуха должен пропорционально соответствовать объему сжигаемого газа и обеспечивать полноту его сжигания. Следовательно нужно обеспечить регулировку пропорции «воздух-топливо». Следует учитывать, что подаваемый природный газ может иметь разное качество, тогда коэффициент пропорциональности также должен изменяться. Для того, чтобы повысить качество газозоообразной смеси, необходимо иметь информацию о содержании кислорода в газообразных продуктах сгорания, выбрасываемых в атмосферу. Поэтому, изменение объема подаваемого воздуха должно зависеть от объемов расходуемого газа, расходуемого воздуха с учетом коррекции в соответствии с содержанием кислорода в выбрасываемых в атмосферу продуктах сгорания. Как вариант, возможно обеспечение косвенного регулирования по давлению воздуха.

Для обеспечения сгорания газа в топочной камере создается разрежение, если разрежение недостаточно, то факел пламени может погаснуть. Если разрежение очень большое, то пламя может отрываться от газовой горелки. Поэтому необходимо регулировать разрежение с учетом объема расходуемого воздуха путем изменения производительности дымососа.

Таким образом, для производительной и качественной работы парового котла необходимо применять следующие системы автоматического регулирования:

- расхода газа в топочной камере;
- расхода и давления воздуха в топочной камере;
- температуры в топочной камере;
- уровня воды в барабане парового котла.

2.4 Выбор параметров для контроля и сигнализации

При выборе параметров для контроля и сигнализации необходимо, чтобы для создания полного понятия о ходе технологического процесса мог использоваться минимум этих параметров. Контролироваться должны параметры, значения которых влияют на ход технологического процесса, чем обеспечивается его оперативное управление, пуск и останов. Такими параметрами обычно являются все регламентные и выходные параметры. Контролируются также входные параметры, изменения которых приводят к возмущениям, поступающим на вход объекта управления. Обязательно контролируются параметры, значения которых определены в технологическом регламенте.

Также контролируются все параметры, влияющие на регулирование:

- температуры обратной воды;
- расхода обратной воды;
- температуры воды на входе котла;
- давления поступающего воздуха;
- разряжения в топочной камере котла;
- концентрации кислорода в газообразных продуктах сгорания;
- температуры пара.

Кроме указанных параметров контролируются следующие:

- давление воды на входе котла
- давление воды на выходе из котла;

- расход пара;
- расход воды на входе котла;
- температура продуктов сгорания на выходе котла;
- давление воздуха, нагнетаемого дутьевым вентилятором;
- давление газового топлива;
- разряжение на входе дымососа;
- содержание смеси воздуха с метаном в помещении;
- наличие пламени в горелочной камере.

Контролировать расход топлива и воды необходимо для оценки эффективности работы котельного оборудования.

Контролирование давления воды необходимо для определения наличия расхода воды в котле. Давление воды уменьшается, если расход снижается.

Контролировать температуру продуктов сгорания необходимо для анализа количества тепла, выбрасываемого в атмосферу и определения расхода воздуха.

Контролировать давление воздуха за дутьевым вентилятором необходимо для анализа эффективности нагнетания. Если вентилятор отключен или закрыт его направляющий аппарат в результате неисправности регулятора, давление воздуха понижается. Если давление воздуха понижено, высока вероятность отрыва или погасания пламени.

Контролировать давление газового топлива необходимо, т.к. следствием понижения давления газа ниже минимального уровня является погасание пламени.

Если разряжение на входе дымососа повышено, то увеличивается подсос наружного воздуха, что ухудшает теплопередачу и, соответственно, снижает производительность котла с потерями тепла с выбрасываемыми продуктами сгорания. Следовательно, необходимо контролировать разряжение на входе дымососа.

Смесь воздуха с метаном взрывоопасна, оказывает вредное воздействие на персонал, поэтому необходим контроль за содержанием этой газовойоздушной смеси в котельном цехе.

Если погаснет пламя факела, топочная камера котла и помещение котельного цеха быстро наполняются взрывоопасной газовоздушной смеси, существует опасность взрыва. Чтобы исключить аварийную ситуацию, необходимо контролировать наличие факела пламени в топочной камере парового котла.

Если изменения параметров могут повлечь отрицательные последствия, связанные с авариями, несчастными случаями, нарушениями технологического регламента, то необходимо обеспечить сигнализацию о соответствующих изменениях параметров.

К таким параметрам относятся:

- повышение температуры воды на выходе котла;
- понижение давления обратной воды;
- понижение давления топлива;
- повышение давления топлива;
- понижение давления воздуха;
- понижение расхода топлива;
- наличие факела пламени в топочной камере;
- повышение разряжения газообразных продуктов сгорания топлива;
- повышение содержания кислорода в продуктах сгорания топлива.

При получении сигнала об аварийной ситуации соответствующие работники принимают действия для их устранения. Если в результате принимаемых мер значения параметров превысят допустимые значения, то вступают в действие системы противоаварийной защиты. Они должны в автоматическом режиме, включая и выключая соответствующие устройства котла, в соответствии с разработанным алгоритмом, перераспределить энергетические и материальные потоки для устранения возможности аварийной ситуации, опасности взрыва, несчастного случая.

Защита парового котла обеспечивается при возникновении следующих ситуаций:

- повышение температуры воды на выходе котла;

- повышение давления на выходе котла;
- понижение давления на выходе котла;
- повышение давления воды на выходе котла;
- понижение давления воды на выходе котла;
- понижение давления воздуха;
- повышение давления топлива;
- понижение давления топлива;
- уменьшение разряжения в топке котла;
- повышение давления питательной воды;
- погасание пламени факела в топочной камере котла.

В любой из указанных ситуаций противоаварийная защита обеспечивает безопасность эксплуатации парового котла при условии автоматического прекращения подачи природного газа.

3 Описание и расчет системы автоматического регулирования

Назначение системы автоматического регулирования подачи газа состоит в обеспечении потребителей необходимым объемом производимого пара заданного давления. Внешние и внутренние возмущения приводят к нарушению паропроизводительности котла. Внешние возмущения связаны с объемом производимого пара. В результате их воздействия объемы производимого и потребляемого пара не будут соответствовать друг другу. Об этом будет свидетельствовать изменение давления в паровой магистрали. Внутренние возмущения связаны с несоответствием характеристик газа, что влечет за собой изменение температуры его горения и расхода. На эти характеристики влияют также изменения давления топлива и параметров оборудования трубопроводов.

Для компенсации возмущений необходимо одно управляющее воздействие – регулирование расхода газа. Это задача рассматриваемой автоматической системы регулирования.

Данная система должна поддерживать устойчивое функционирование объекта регулирования (парового котла) и определенную частоту включения регулирующего устройства (не более 6 включений в минуту при стабильной нагрузке). Также необходимо, чтобы давление пара на выходе котла не отличалось от требуемого на величину не более 3% в любую сторону.

3.1 Расчет регулирующих устройств

3.1.1 Устройство сужения

Исходными данными для расчета являются:

- вещество – вода,
- абсолютное давление $P=3,5 \text{ кгс/см}^2$,
- внутренний диаметр трубы $D_{\text{тр}}=50 \text{ мм}$,
- максимальный объемный расход $Q_{0\text{max}}=20\text{м}^3/\text{ч}$ или $Q_{0\text{max}}=20000\text{кг/ч}$,
- минимальный объемный расход $Q_{0\text{min}}=10\text{м}^3/\text{ч}$ или $Q_{0\text{min}}=10000\text{кг/ч}$,

- допустимая норма давления $P_n=1$ кгс/см²,

- имеющийся прямой участок трубы перед диафрагмой $\frac{l_1}{D_{TP}} = 30$,

- температура воды $t=10^\circ\text{C}$.

Для расчета таблично определяем значения плотности $\rho=999,7$ кг/м³ и вязкости $\mu=1,3077$.

В качестве устройства сужения используем диафрагму.

Для измерений используем мембранный дифференциальный манометр.

Определяем максимальный массовый расход:

$$Q_{M \max} = Q_{0 \max} \cdot \rho \quad (3.1)$$

$$Q_{M \max} = 20\,999,7 = 19994 \text{ кг/ч}$$

В соответствии со значением максимального расхода выбираем стандартное значение с учетом 20-25% запаса:

$$Q_{M \max}^n = 25000 \text{ кг/ч}$$

В соответствии со значением максимального расхода вычисляем число Рейнольдса, характеризующее соотношение силы инерции и силы вязкости:

$$\text{Re} = 354 \cdot \frac{Q_{\min} \cdot \rho}{D_{mp} \cdot \mu} \quad (3.2)$$

$$\text{Re} = 354 \cdot \frac{10 \cdot 999,7}{50 \cdot 1,3077} = 5 \cdot 10^4$$

Для давления $DP_H=6300$ кгс/м², измеренного мембранным дифференциальным манометром, определяем число m_α :

$$m_\alpha = \frac{Q_{M \max}^n}{0,01252 \cdot D_{mp}^2 \cdot \sqrt{\Delta P_H \cdot \rho}}, \quad (3.3)$$

$$m_\alpha = 0,344$$

Измеренное давление соответствует уменьшению потери давления, которая становится меньше допустимой.

Вычислим диаметр отверстия диафрагмы:

$$\alpha = D_{mp} \cdot \sqrt{m} = 50 \cdot \sqrt{0.48} = 34,6 \text{ мм} \quad (3.4)$$

Проведем проверочный расчет:

$$Q_{M \max}^n = 0,01252 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{\Delta P_H} = 0,012 \cdot 0,76 \cdot 34,6^2 \cdot \sqrt{3600 \cdot 999,7} = 25653 \text{ кг/ч} \quad (3.5)$$

Тогда величина относительной погрешности измерения расхода:

$$\delta = \frac{|Q_{M \max}^n - Q_{M \max}|}{Q_{M \max}^n} \cdot 100 = \frac{|25000 - 25653|}{25000} \cdot 100\% = 2,6\% \quad (3.6)$$

Следовательно, расчеты правильны, т.к. ошибка не превышает 5%.

3.1.2 Регулирующий клапан

Регулирующий клапан является исполнительным механизмом, поэтому он должен соответствовать принятому закону регулирования системы. Он должен иметь соответствующие динамические и статические характеристики, обеспечивающие возможность совместной работы с выбранным регулирующим устройством.

Регулирующий клапан должен обеспечивать:

- необходимую скорость регулирования, соответствующую динамике системы;
- отсутствие искажений закона регулирования за счет обеспечения линейности передаточной характеристики на всем интервале изменения регулируемой величины;
- сохранять однозначное функциональное соответствие между перемещением исполнительного элемента и рабочим ходом регулирующего устройства.

При расчете необходимо определить:

- условную пропускающую способность $K_{\sqrt{y}}$,
- условный диаметр прохода D_y .

В соответствии с результатами расчета необходимо выбрать конкретный клапан.

Исходными данными для расчета являются:

- вещество – вода,
- температура воды – 10^0C ,
- внутренний диаметр трубы $D_{\text{тр}}=50$ мм,
- максимальный объемный расход $Q_{0\text{max}}=20\text{м}^3/\text{ч}$ или $Q_{0\text{max}}=20000\text{кг}/\text{ч}$,
- минимальный объемный расход $Q_{0\text{min}}=10\text{м}^3/\text{ч}$ или $Q_{0\text{min}}=10000\text{кг}/\text{ч}$.
- давление в начале участка трубы, где установлен регулирующий клапан

$$P_H=3,5\text{кгс}/\text{см}^2,$$

- давление в конце участка трубы $P_K=2$ кгс/см²,
- длина трубы $L=20$ м,
- труба прямая, установлена горизонтально и имеет два вентиля.

Для расчета таблично определяем значения плотности $\rho=999,7$ кг/м³ и вязкости $\mu=1,3077$.

Схема трубопровода, где установлен регулирующий клапан, имеет следующий вид:

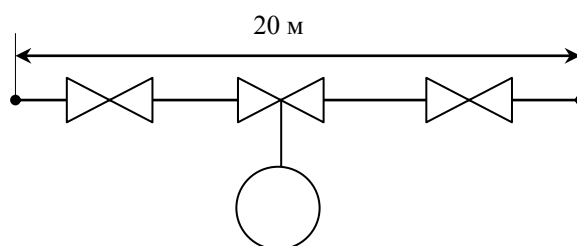


Рисунок 3.1 – Часть трубопровода с регулирующим клапаном

Для максимального и минимального расходов определяем число Рейнольдса:

$$Re_{\text{max}} = 354 \cdot \frac{Q_{0\text{max}} \cdot \rho}{D_{\text{тр}} \cdot \mu} = 354 \cdot \frac{20 \cdot 999,7}{50 \cdot 1,3077} = 108249,29 \quad (3.7)$$

$$Re_{\text{min}} = 354 \cdot \frac{Q_{0\text{min}} \cdot \rho}{D_{\text{тр}} \cdot \mu} = 354 \cdot \frac{10 \cdot 999,7}{50 \cdot 1,3077} = 54124,615 \quad (3.8)$$

Для этих же режимов определяем:

- коэффициент трения:

$$\lambda_{\max} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}_{\max}}} = \frac{0,13164}{\sqrt[4]{108249,29}} = 0,01744 \quad (3.9)$$

$$\lambda_{\min} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}_{\min}}} = \frac{0,13164}{\sqrt[4]{54124,615}} = 0,02074 \quad (3.10)$$

- средние скорости потока:

$$\omega_{\max} = 353 \cdot \frac{Q_{0\max}}{D_{mp}^2} = 353 \cdot \frac{20}{50^2} = 2,824 \text{ м/с} \quad (3.11)$$

$$\omega_{\min} = 353 \cdot \frac{Q_{0\min}}{D_{mp}^2} = 353 \cdot \frac{10}{50^2} = 1,412 \text{ м/с} \quad (3.12)$$

- потери на трение:

$$\Delta P_{T\max} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda_{\max} \cdot \frac{L}{D_{mp}} \cdot \omega_{\max}^2 \cdot \rho = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,01744 \cdot \frac{20}{50} \cdot 2,824^2 \cdot 999,7 = 0,2774 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.13)$$

$$\Delta P_{T\min} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda_{\min} \cdot \frac{L}{D_{mp}} \cdot \omega_{\min}^2 \cdot \rho = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02074 \cdot \frac{20}{50} \cdot 1,412^2 \cdot 999,7 = 0,0825 \text{ кгс/см}^2 \quad (3.14)$$

- потери на местные сопротивления (учитываем коэффициенты сопротивления: - входа в трубу $\zeta_{\text{вх}}=0,5$, - выхода $\zeta_{\text{вых}}=1$, - вентиля $\zeta_{\text{вент}}=5$):

$$\begin{aligned} \Delta P_{M\max} &= 5 \cdot 10^{-6} (\zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вых}} + 2 \cdot \zeta_{\text{вент}}) \cdot \omega_{\max}^2 \cdot \rho = \\ &= 5 \cdot 10^{-6} (0,5 + 1 + 2 \cdot 5) \cdot 2,824^2 \cdot 999,7 = 0,458423 \text{ кгс/см}^2 \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{M\min} &= 5 \cdot 10^{-6} (\zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вых}} + 2 \cdot \zeta_{\text{вент}}) \cdot \omega_{\min}^2 \cdot \rho = \\ &= 5 \cdot 10^{-6} (0,5 + 1 + 2 \cdot 5) \cdot 1,412^2 \cdot 999,7 = 0,114606 \text{ кгс/см}^2 \end{aligned} \quad (3.16)$$

- суммарные потери на трение и местные сопротивления

$$\Delta P_{n\max} = \Delta P_{T\max} + \Delta P_{M\max} ; \Delta P_{n\min} = \Delta P_{T\min} + \Delta P_{M\min} \quad (3.17)$$

Тогда

$$\Delta P_{n\max} = 0,2774 + 0,458423 = 0,735823 \text{ кгс/см}^2$$

$$\Delta P_{n \min} = 0,0825 + 0,114606 = 0,197106 \text{ кгс/см}^3$$

- перепад давления на регулирующем клапане:

$$\Delta P_{\max} = [P_n - P_k) \pm 10^{-4} \cdot z \cdot \rho] \Delta P_{n \min} \quad (3.18)$$

$$\Delta P_{\min} = [P_n - P_k) \pm 10^{-4} \cdot z \cdot \rho] \Delta P_{n \max} \quad (3.19)$$

Тогда

$$\Delta P_{\max} = [3,5 - 2,5) \pm 10^{-4} \cdot 0 \cdot 999,7] 0,197106 = 0,802894 \text{ кгс/см}^3$$

$$\Delta P_{\min} = [3,5 - 2,5) \pm 10^{-4} \cdot 0 \cdot 999,7] 0,735823 = 0,264177 \text{ кгс/см}^3$$

Определяем максимальную и минимальную пропускные способности регулирующего клапана с учетом коэффициента запаса:

$$K_{\sqrt{\max}} = 1,2 \cdot Q_{0 \max} \cdot \sqrt{\frac{10^{-3} \cdot \rho}{\Delta P_{\min}}} = 46,687 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3.20)$$

$$K_{\sqrt{\min}} = 1,2 \cdot Q_{0 \min} \cdot \sqrt{\frac{10^{-3} \cdot \rho}{\Delta P_{\max}}} = 16,94 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3.21)$$

Выбираем стандартные значения D_y и $K_{\sqrt{y}}$:

$$D_y = 50 \text{ мм}, \quad K_{\sqrt{y}} = 63 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Вычисляем максимальное значение числа Рейнольдса $Re_{\max}$ для D_y .

$$Re_{\max} = 354 \cdot \frac{Q_{0 \max} \cdot \rho}{D_y \cdot \mu} = 354 \cdot \frac{20 \cdot 999,7}{50 \cdot 1,3077} = 108249,29 \quad (3.22)$$

В соответствии с найденным значением определяем поправку на вязкость ψ :

$$\psi = 1$$

С учетом поправочного коэффициента определяем максимальную пропускную способность регулирующего клапана:

$$K_v = \Psi \cdot K_{\sqrt{\max}} = 1 \cdot 46,687 = 46,687 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (3.23)$$

При минимальном и максимальном расходах через регулирующий клапан определяем относительное положение его затвора:

$$n_{\max} = \frac{K_{\sqrt{\max}}}{K_{\sqrt{y}}} = \frac{46,687}{63} = 0,741 \quad (3.24)$$

$$n_{\min} = \frac{K_{\sqrt{\min}}}{K_{\sqrt{y}}} = \frac{14,94}{63} = 0,237 \quad (3.25)$$

Результаты расчета регулирующего клапана правильны, так как $n_{\max} < 0,9$; $n_{\min} > 0,1$.

Выбираем конкретный тип клапана 25,32ННС.

3.1.3 Устойчивость автоматического регулятора

Для соблюдения технологического регламента производства пара высокого давления необходимо поддерживать постоянную температуру нагрева воды. Этот процесс возможен при изменении объема воды, поступающей из барабана котла в змеевик топки.

В качестве исходных данных экспериментально был получен график разгона барабана котла по каналу «пар-температура».

Для расчета устойчивости регулятора следует определить передаточную функцию объекта управления по каналу «пар-температура», найти частотную характеристику и рассчитать оптимальную настройку ПИ-регулятора с учетом характеристик переходного процесса в системе регулирования.

3.2 Расчет чувствительности системы управления подачи пара

Входными параметрами являются:

Q – количество пара,

p – давление в трубопроводе,

a – характеристики открытия заслонки,

W – эффективность системы.

Определим количество пара:

$$Q = p + a \quad (3.26)$$

Определим чувствительность системы:

$$W = \frac{p}{p + a} \quad (3.27)$$

Начальные параметры: $p_n = 0,8$; $a_n = 0,5$; $Q_n = 1,2$; $W_n = 0,71$

Коэффициенты чувствительности: $a_{11}=1$; $a_{12}=1$

Найдем абсолютные коэффициенты чувствительности:

$$a_{21} = \frac{a}{(p + a)^2} = 0,29 \quad (3.28)$$

$$a_{22} = \frac{p}{(p + a)^2} = -0,47 \quad (3.29)$$

Представим значения a_{ij} и b_{ij} для выходных параметров в виде матриц чувствительности:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0,29 & -0,47 \end{vmatrix}$$

Найдем относительные коэффициенты чувствительности:

$$b_{11} = \frac{p}{Q} = -0,66$$

$$b_{12} = \frac{p}{Q} = 0,25$$

$$b_{21} = \frac{a_{21} \cdot a}{W} = 0,33$$

$$b_{22} = \frac{a_{22} \cdot a}{W} = -0,33$$

Тогда матрица чувствительности:

$$B = \begin{vmatrix} 0,66 & 0,25 \\ 0,33 & -0,33 \end{vmatrix}$$

$$\Delta W = b_{21} \Delta p + b_{22} \Delta a = 0,33(\Delta p - \Delta a) \quad (3.30)$$

$$\Delta p = \Delta a = \Delta z \quad (3.31)$$

$$0.03 < 0.66 \times \Delta W_{\max};$$

$$\Delta W_{\max} = 0.66 \Delta z_{\max}$$

$$\Delta W_{\max} < 3\% = 0.03$$

$$0.03 < 0.66 = \Delta W_{\max}$$

$$\Delta W_{\max} < \frac{0.03}{0.66} = 0.045 \text{ или } 4.5\%$$

Т.е. для обеспечения чувствительность W менее 3% , необходим подбор датчика, имеющего точность не более 4,5% .

3.3 Расчет системы автоматического регулирования температуры

Структурная схема управления котла:

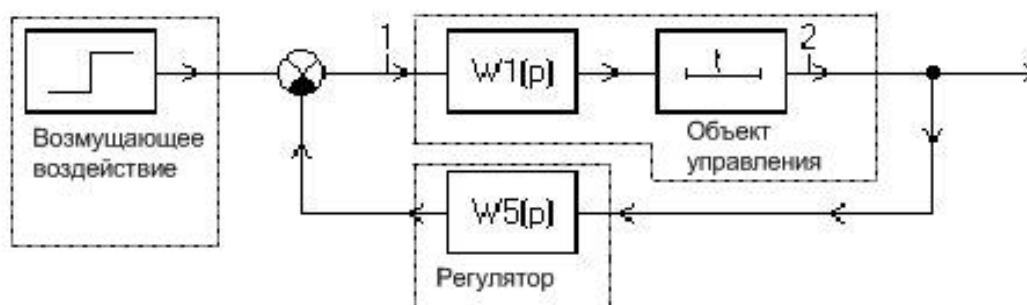


Рисунок 3.2 – Структурная схема котла

Параметры объекта регулирования:

$$K_{об} = 1.2^\circ\text{C}/\text{с}; T_1 = 8\text{с}; T_2 = 11\text{с}.$$

Данное дифференциальное уравнение описывает объект регулирования:

$$T_1 T_2 x''_{облх}(t) + (T_1 + T_2) x'_{облх}(t) + x_{облх}(t) = K_{об} Y_{вх}(t) \quad (3.32)$$

Подставляем в уравнение T_1 , T_2 и $K_{об}$. В итоге получаем уравнение вида:

$$88p^2 X_{облх}(p) + 19p X_{облх}(p) + X(p) = \frac{1.2}{p} \quad (3.33)$$

$$X_{облх}(p) = \frac{1.2}{(88p^2 + 19p + 1)p} \quad (3.34)$$

После решения уравнения получаем:

$$p_{1,2} = \frac{-b \mp \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a} = \frac{-7 \mp \sqrt{9}}{176} \quad (3.35)$$

$$p_1 = -0.0909; p_2 = -0.125.$$

Далее находим $X_{\text{ВЫХ}}(t)$:

$$X_{\text{вблх}}(t)L^{-1}[X_{\text{вблх}}(p)] = 1,2 \left(\frac{c_0}{p} + \frac{c_0}{p+0,0909} + \frac{c_0}{p+0,125} \right) = C_0 + C_1 e^{-0,0909t} + C_2 e^{-0,125t} \quad (3.36)$$

$$C_0 = pX_{\text{вблх}}(p) \Big|_{p=0} p \frac{1}{88p(p+0,0909)(p+0,125)} = 1 \quad (3.37)$$

$$C_0 = p - p_1 X_{\text{вблх}}(p) \Big|_{p=p_1} (p+0,0909) \frac{1}{88p(-0,0909)(p+0,0909)(-0,0909+0,125)} = -3,66$$

$$C_0 = p - p_2 X_{\text{вблх}}(p) \Big|_{p=p_2} (p+0,125) \frac{1}{88p(-0,125)(p+0,125)(-0,125+0,0909)} = 2,66$$

$$X_{\text{вблх}}(t) = 1 - 3,66e^{-0,0909t} + 2,66e^{-0,125t}$$

Проверка:

$$X_{\text{вблх}}(0) = 1 - 3,66 + 2,66 = 0$$

$$X'_{\text{вблх}}(0) = 1,2(3,66e(-0,0909t) + 2,66(-0,125t))$$

С учетом данного уравнения построим график $X_{\text{ВЫХ}}(t)$ (таблица 3.1, рисунок 3.3).

Таблица 3.1 – Данные для построения графика

T	$x' = 1,2(-3,66(-0,0909) + 2,66(-0,125))$
1	0,012
2	0,084
3	0,145
4	0,276
5	0,389
10	0,567
15	0,765
20	0,812

Далее определяем настройки регулятора с помощью кривой разгона:

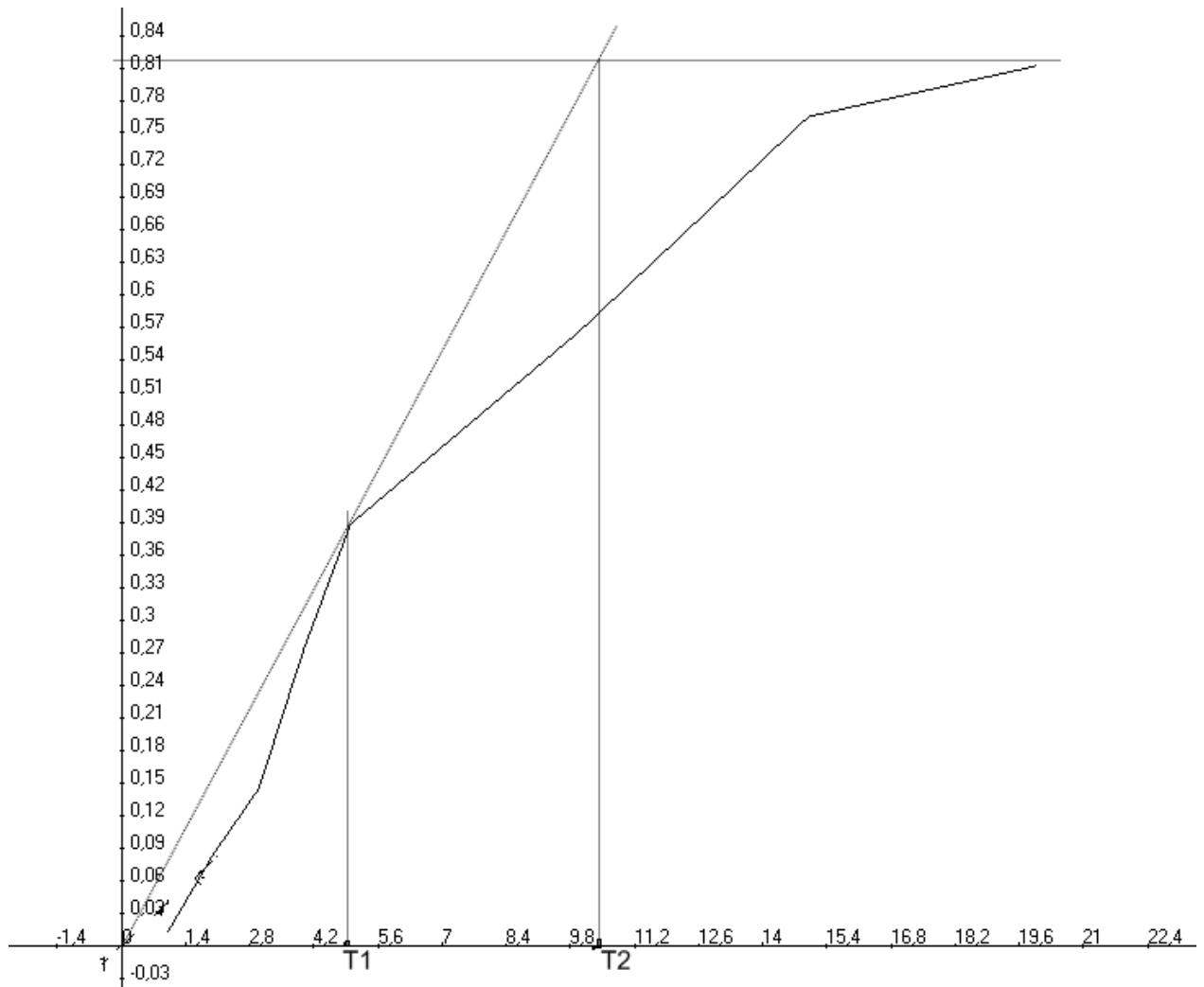


Рисунок 3.3 – Кривая разгона

$$W_{об} = \frac{K_{об}}{T_p} e^{-\tau p}; K_{рег} = \frac{0,7}{K_{об} \frac{\tau}{T}} \quad (3.38)$$

$$W_{рег}(p) = \frac{K_{рег} (1 + T_u p)}{T_u p}; T_u = 0,7T \quad (3.39)$$

К графику функции проведем касательную и найдем точку пересечения с линией 1.

В результате получим $\tau = 1,2$; $T_2 = 9,9$. Объект является аperiodическим звеном первого порядка, с ним соединено звено чистого запаздывания:

$$W_{об} = \frac{1}{9,9p+1} e^{-1,2p} \quad (3.40)$$

Далее рассчитываем настройки ПИ-регулятора:

$$K_{pez} = \frac{0,7}{1,2 \frac{1,2}{9,9}} = 4,8; \quad T_u = 0,7 \cdot 9,9 = 6,93$$

$$W_{pez}(p) = \frac{4,8(1+6,93p)}{6,93p}; \quad (3.41)$$

Передаточная функция замкнутой системы (возмущение по нагрузке):

$$W_c = \frac{W_{об}}{1+W_{об}W_{pez}} = \frac{\frac{1,2}{(88p^2+19p+1)p}}{1+(\frac{19}{(88p^2+19p+1)p} \cdot \frac{4,8+46,8p}{6,93p})} = \frac{7,2p}{74,4p^3+43,4p^2+48,3p+6,93}$$

Дальнейший расчёт производится с использованием амплитудно-фазовых характеристик. Для этого надо построим амплитудно-фазовую характеристику замкнутой системы:

$$W_c = \frac{7,2p}{74,4p^3+43,4p^2+48,3p+6,93} = \frac{7,2j\omega}{(-6,93\omega^2+6,93)-j(74,4\omega^3+48,3\omega)} \quad (3.42)$$

Re часть: $(6,93-43,4\omega^2)$

Im часть: $(74,4\omega^3+48,3\omega)$

$$W_c = \frac{270,5\omega^2-416,6\omega^4}{5535,4\omega^6-5303,5\omega^4+1742,2\omega^2+46,2} + j \frac{(38,1\omega^2-243\omega^2)}{5535,4\omega^6-5303,5\omega^4+1742,2\omega^2+46,2}$$

Таблица 3.2 – Данные для построения годографа замкнутой системы (критерий Михайлова)

ω	Re	Im
0.00000	11.73000	0.00000
1.00000	218.04258	145.53326
2.00000	306.86261	-197.32447
3.00000	-295.59782	-396.39833
4.00000	-887.76368	357.83268
5.00000	-302.30067	1422.83946
6.00000	1079.58738	1227.79263
7.00000	1348.27711	-340.42410
8.00000	-311.08265	-1219.90947
9.00000	-1977.22042	229.28306
10.00000	-1194.37690	2584.27908

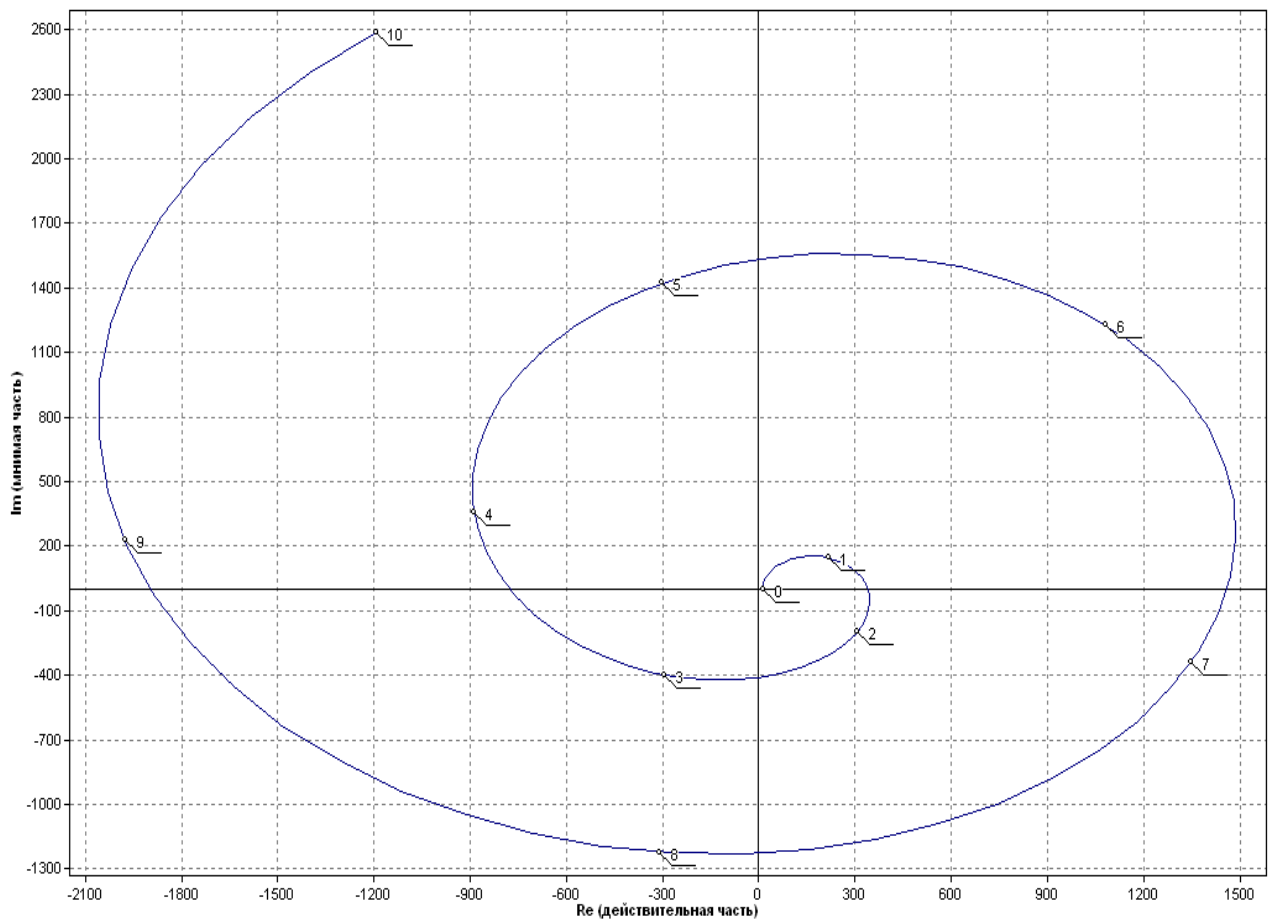


Рисунок 3.4 – Годограф замкнутой системы

Для анализа переходного процесса построим график действительной частотной характеристики (рисунок 3.5). С использованием этого графика находим характеристику трапецеидальной формы.

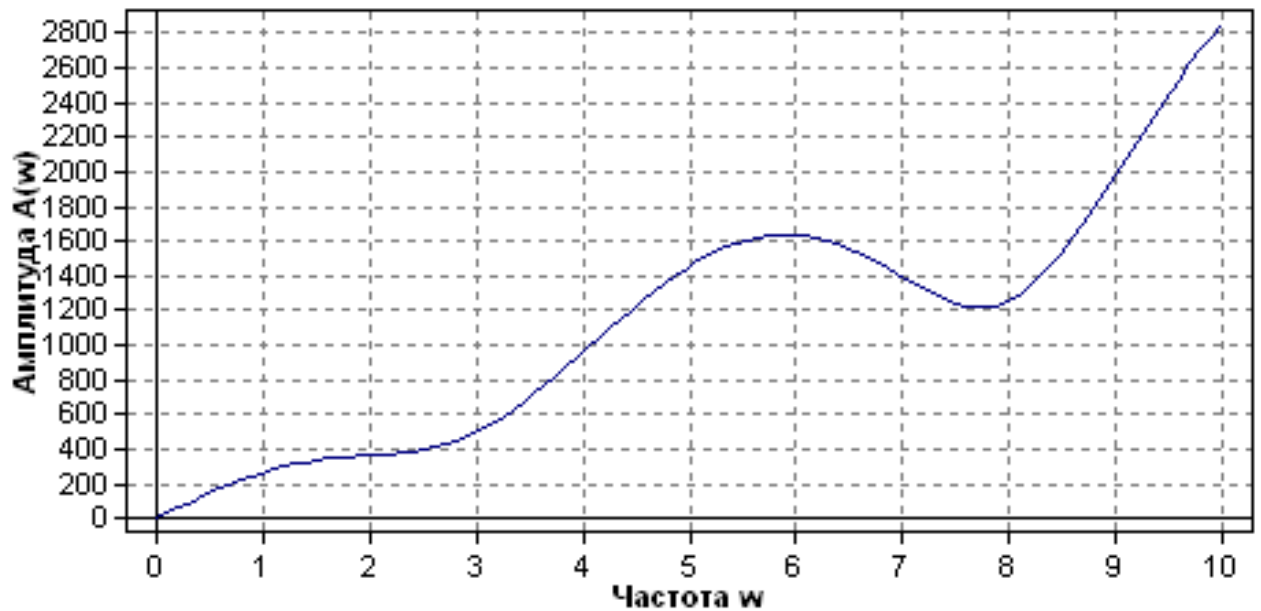


Рисунок 3.5 – График действительной частотной характеристики

Таблица 3.3 – Данные характеристики

ω	Re
0.00000	0.69264
1.00000	3.25847
2.00000	3.27032
3.00000	3.27253
4.00000	3.27330
5.00000	3.27366
6.00000	3.27386
7.00000	3.27398
8.00000	3.27405
9.00000	3.27410
10.00000	3.27414

Определяем высоты трапеций:

1-я трапеция:

$$r_{01} = 0 - r_2 = 0 - 0,178 = -0,0178;$$

$$\omega_d = 0;$$

$$\omega_0 = 0,43;$$

$$X = \frac{\omega_d}{\omega_0} = 0.$$

2-я трапеция:

$$r_{02} = r_2 - r_3 = 0,178 - (-0,072) = -0,25;$$

$$\omega_d = 0,66;$$

$$\omega_0 = 0,92;$$

$$X = \frac{\omega_d}{\omega_0} = 0,717.$$

3-я трапеция:

$$r_{03} = 0 - r_3 = 0 - 0,072 = -0,072;$$

$$\omega_d = 1,1;$$

$$\omega_0 = 5;$$

$$X = \frac{\omega_d}{\omega_0} = 0,22.$$

Таблица 3.4 – Параметры трапеций

Параметры трапеций	Номера трапеций		
	1	2	3
r_{03}	-0.178	0.25	-0.072
ω_d	0	0.66	1.1
ω_0	0.43	0.92	5
$X = \frac{\omega_d}{\omega_0}$	0	0.717	0.22

С использованием таблицы h – функций составляем таблицу данных.

Таблица 3.5 – Таблица данных

τ	$h1$	$h2$
0.00000	0.00000	-0.50069
1.00000	4.51938	8.86483
2.00000	-27.84986	14.11156
3.00000	-81.22874	-12.24610
4.00000	9.87518	-39.53562
5.00000	236.24507	-14.79124
6.00000	221.57842	46.53552
7.00000	-245.92473	59.74299
8.00000	-625.29284	-12.82199
9.00000	-164.66158	-87.20709
10.00000	830.04969	-53.96457

Построим таблицу экспериментальных значений переходного процесса.

Таблица 3.6 – Таблица значений

t	$y(t)$	$e(t)$	$u(t)$
0	0.00000	1.00000	324.84848
1	0.00000	1.00000	0.69264
2	3.07485	-2.07485	6.36296
3	-7.05514	8.05514	-38.97197
4	27.68405	-26.68405	205.38669
5	21.44396	-20.44396	171.37380
6	-69.09764	70.09764	-770.41106
7	247.33395	-246.33395	3335.80335
8	-911.77282	912.77282	-14159.69883
9	-525.88635	526.88635	-10422.99688
10	1916.47259	-1915.47259	42442.70019

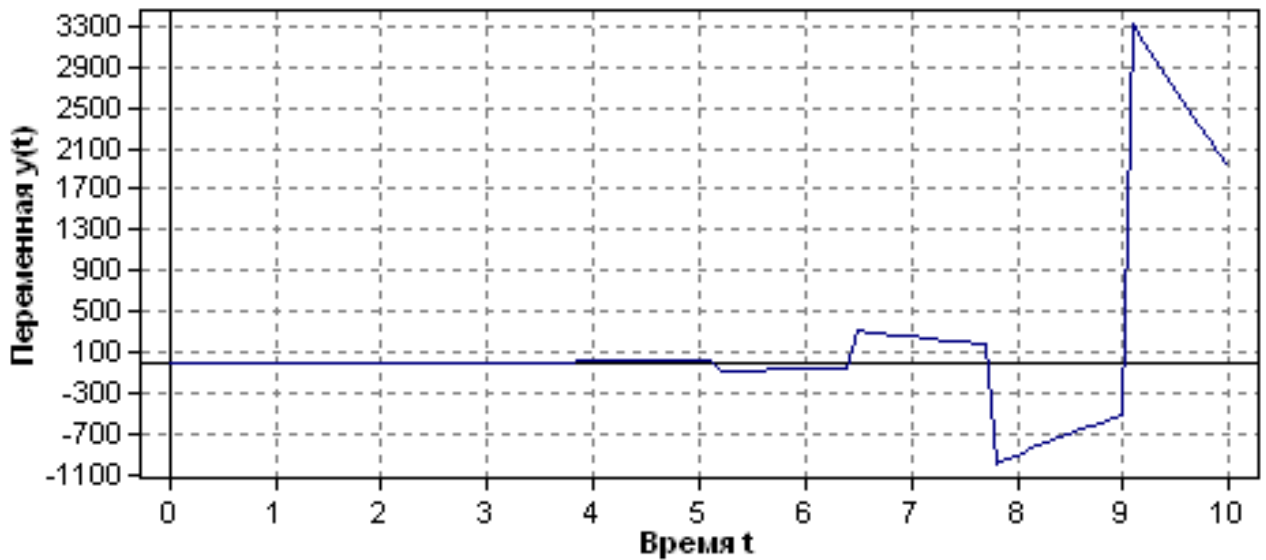


Рисунок 3.6 – График переходного процесса

Автоматическая система управления является устойчивой потому, что расположение годографа Михайлова (начало на вещественной положительной полуоси) и его направление (обход против часовой стрелки четырех квадрантов последовательно) является критерием устойчивости.

Все параметры переходного процесса находятся в заданных пределах. Выбор и расчет настроек регулятора проведены правильно.

4 Компоненты системы автоматического управления

Для программно-аппаратной поддержки автоматического управления котлом котла используем программируемый контроллер Siemens SIMATIC S7-200.

SIMATIC S7-200 – программируемый контроллер, построенный по модульному принципу. Такой подход совместно с отсутствием необходимости принудительного охлаждения, а также удобство обслуживания обеспечивают экономичность применения SIMATIC S7-200 для эффективного решения задач автоматизации.



Рисунок 4.1 – Общий вид ПЛК SIMATIC S7-200

Выбираем в качестве центрального процессора CPU-200 (рисунок 4.2)

Модули, входящие в состав микроконтроллера:

- модуль процессора CPU-200;
- модули I/O SIMATIC SM-231 включают:
 - блок дискретного ввода-вывода Vi/o16 DC24, 16 каналов ввода, 16 каналов вывода, уровень сигнала $=24V$, $I_{BX}=10mA$, $I_{ВЫХ}=0,2A$;

- блок дискретного ввода Bi32 DC24, 32 канала, уровень сигнала =24В, 10мА;
- блок дискретного ввода Bi16 AC220, 16 каналов, уровень сигнала ~220В, 10мА;
- блок дискретного вывода Bo32 DC24, 32 канала, уровень сигнала =24 В, 0,2А;
- блок дискретного вывода Bo16 AC220, 16 каналов, уровень сигнала ~220В, 2,5А;
- коммутатор дискретных входов MPX64, 64 канала, уровень сигнала =24В, 10мА;
- модуль аналогового ввода сигналов термопар Ai-TC-16, 16 каналов;
- модуль аналогового ввода Ai-NOR/RTD-1, 20 каналов значений тока или напряжения;
- модуль аналогового ввода Ai-NOR/RTD-2, 16 каналов значений тока или напряжения, 2 термопреобразователей сопротивления;
- модуль аналогового ввода Ai-NOR/RTD-3, 12 каналов значений тока или напряжения, 4 термопреобразователей сопротивления;
- модуль аналогового ввода Ai-NOR/RTD-4, 8 каналов значений тока или напряжения, 6 термопреобразователей сопротивления;
- модуль аналогового ввода Ai-NOR/RTD-5, 4 каналов значений тока или напряжения, 8 термопреобразователей сопротивления;
- модуль аналогового ввода Ai-NOR/RTD-6, 10 каналов термопреобразователей сопротивления;
- пульт оператора РО-16, дисплей – 16 букв, 24 клавиши.

Для программной поддержки автоматизации производственных процессов необходимо подготавливать и отлаживать соответствующее прикладное программное обеспечение, для чего необходимо использовать персональный компьютер.



Рисунок 4.2 – Центральный процессор CPU-200

4.1 Основные модули микроконтроллера

4.1.1 Модуль процессора CPU-200

Модуль процессора CPU-200 организует работу интеллектуальных систем управления при условии автономного функционирования или в структуре локальной информационной сети.

Модули ввода-вывода обеспечивают связь центрального процессора с объектом управления через шины расширения, через которые возможно его подключение к двум локальным сетям BITNET (ведомое-ведущее устройства; моноканал, исключающий коллизии в сети; кабель «витая пара»; интерфейс RS485; максимально 255 абонентов), что позволяет выполнять функции ведущего или ведомого устройств в обеих сетях.

4.1.2 Коммуникационный CPU-320DS

Для связи между двумя сегментами локальной сети используется модуль CPU-320DS, который выполняет, активное ретранслирование (до 32-х абонентов в каждом сегменте).



Рисунок 4.3 – Модуль CPU-320DS

Модуль CPU-320DS использует источник питания для питания внутренних элементов и модулей ввода-вывода.

Подключение модулей ввода-вывода к модулю CPU-320DS осуществляется гибкой шиной расширения, представляющей 34-жильный плоский кабель длиной до 2,5 мм.

Возможно подключать до 16 модулей ввода-вывода.

4.1.3 Модуль ввода-вывода SIMATIC S7 SM-231

Модуль ввода-вывода SIMATIC S7 SM-231 включает модули аналогового ввода Ai-NOR/RTD, которые автоматически сканируют и преобразуют сигналы датчиков с нормированным токовым выходом и термопреобразователей сопротивления в цифровые данные, а затем записывают их в память, которая доступна для модуля центрального процессора через шину расширения.

Количество модулей аналогового ввода, которые могут быть подключены к центральному процессору не может быть больше восьми. Индивидуальный адрес модуля аналогового ввода устанавливается аппаратно – переключателем.

Модули дискретного ввода-вывода преобразуют дискретные входные сигналы постоянного тока внешних устройств в цифровые данные и передают их по шине

расширения в модуль центрального процессора. Они также преобразуют цифровые данные процессорного модуля в двоичные сигналы, усиливают их и передают как сигналы управления подключенным к ним устройствам.

4.2 Подключение цифровых датчиков и внешних устройств

Организация подключений цифровых датчиков и внешних устройств производится подключением к разъемам модуля Vi/o16 DC24 в соответствии с рисунком 4.4. К разъемам XD1 и XD2 подключены внешние устройства У1-У16, к разъемам XD3 и XD4 – дискретные датчики К1-К16.

Чтобы система работала нормально, нужно обеспечить равенство или превышение мощности блоков питания U1 и U2 по сравнению с суммарной мощностью подключаемых нагрузок. Источником питания U3 является источник 220БП24 или аналогичный с током нагрузки 700мА.

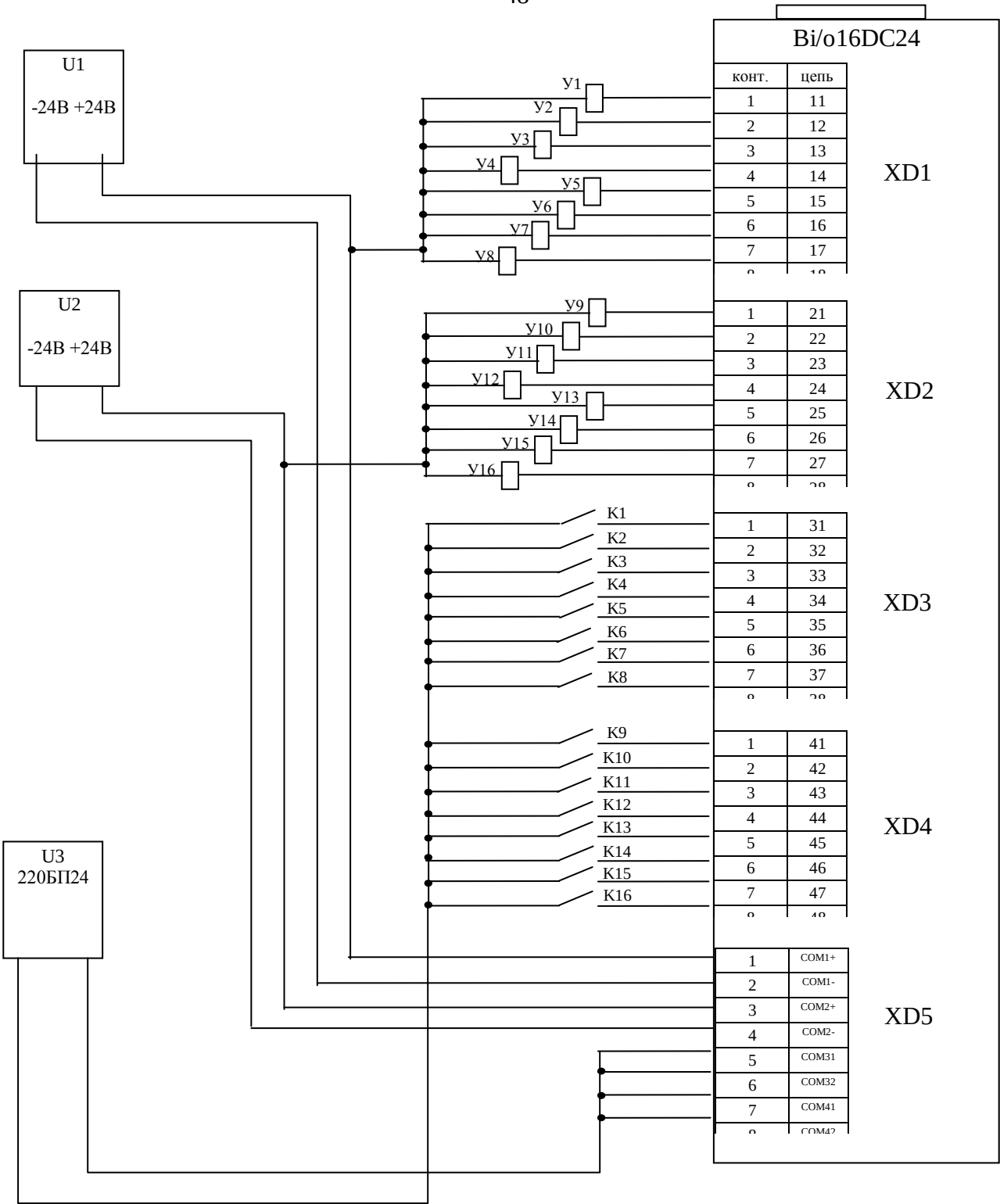


Рисунок 4.4 – Подключение цифровых датчиков и пускателей исполнительных механизмов к модулю

5 Разработка SCADA HMI APM оператора котельной установки

Сейчас большая доля котельного оборудования, изготовленного в прошедшие годы, морально и физически устарела. Однако объемы производства растут, следовательно, возрастает потребность в энергоресурсах. Следствием чего является необходимость обновления существующего оборудования. Это возможно не только за счет закупок нового энергопроизводящего оборудования, но и за счет модернизации действующих систем управления.

5.1 Организация систем автоматического управления с использованием программно аппаратных средств фирмы Siemens

Современные высокоскоростные каналы связи обеспечивают повышенное быстродействие каналов управления, что приводит к необходимости разработки автоматизированных рабочих мест другого качественного уровня с использованием передовых программно-аппаратных средств.

Комплекс программно-аппаратных средств SICAM PAS соответствует таким критериям. Его работа может быть обеспечена каналами связи различной производительности и с различными протоколами.

Решение задач, возложенных на автоматизированные рабочие места, обеспечивается использованием данной системы с поддержкой достаточного количества протоколов различного уровня и возможностью поддержки клиент-серверной архитектуры.

Система обеспечивает автоматизацию оперативного управления на базе виртуального контроллера. Для управления информационными потоками предусматривается использование режима реального времени, синтезировать сигналы управления, выполнять работы по диагностике и отладке объектов управления.

5.2 Проведение проверки сбора и отображения информации SCADA-системы

Любая SCADA-система имеет в своем составе программные средства для проведения тестов и диагностирования разрабатываемых проектов. Указанные работы проводятся в несколько этапов, однако в системе SIMATIC WinCC имеется универсальное программное средство, соответствующие требованиям разработчиков проектов и предназначенное для вышеуказанных целей.

Невозможно для проверки работоспособности и отладки проекта применять реальное технологическое оборудование. Поэтому отдельно приходится разрабатывать имитационные модели, задающие входные параметры. Это приводит к повышению трудоемкости и временным затратам разработчиков. Выходом из такой ситуации является разработка универсального программного имитационного продукта, независимого от проектной разработки.

5.2.1 Отладка системы сигнализации и сообщений

При конфигурировании системы сигнализации и сообщений возможно появление ошибок вследствие различных причин, связанных с человеческим фактором. Это может привести к коллизиям и аварийным ситуациям при эксплуатации объекта управления.

При большом количестве сообщений системы ее тестирование довольно длительно. Хотя при этом возможно не все погрешности будут устранены. Поэтому просто проверки проекта может быть мало, приходится проводить дополнительную проверку в режиме Runtime – режиме выполнения. При этом появляется возможность контроля реакции системы управления объектом на каждое из событий. Такая проверка проводится поэтапно:

- проверка при отсутствии связи с контроллером. На данном этапе проверяется пользовательский интерфейс и система сигнализации и сообщений. Могут вноситься поправки в проект;

- проверка при наличии связи с контроллером. На этом этапе тестируется как взаимодействуют между собой уровни управления. Определяются адресные ошибки, связанные с отсутствием соответствия между проектом и контроллером. Изменения в проект не вносятся.

Проверка проекта состоит в следующем. Изменяется значение тега в режиме выполнения, ответной реакцией системы должно быть соответствующее сообщение с изменением цвета мнемонической сигнализации. Имитируется поведение объекта управление в результате произвольного воздействия изменения значений параметров технологического процесса, а также в результате воздействий, поступающих в определенной последовательности.

Имитационное моделирование поведения объекта является достаточно сложной задачей. Однако, для несложных объектов с простыми управляющими алгоритмами используется разработанный сценарий, содержащий параметры, изменяющиеся по определенным законам. Разработанный сценарий обычно представлен в виде электронных таблиц.

Значения, изменяемые произвольно, необходимы в проекте при проверке отдельных графических объектов мнемосхем.

Значения, изменяемые последовательно, необходимы для проверки сообщений. При этом контролируется адекватность реакции системы при изменении отдельных значений параметров.

5.2.2 Анализ результатов проверки

В простейшем случае адекватность работы системы тестирует сам разработчик. При этом значения тегов изменяются программно по сценарию. При изменении значений ответно должны появляться соответствующие сообщения. Такой вариант возможен при наличии в объекте автоматизации многих элементов одного типа, на фоне сообщений от которых неверные сообщения будут сразу выделяться.

В более сложном варианте разработанное приложение самостоятельно оценивает проверочные результаты на основе сценарно разработанных критериев.

При использовании нескольких автоматизированных рабочих мест в одном проекте, сигнализация настраивается для каждого из них при условии одновременной проверки.

5.2.3 Утилита имитации параметров значений тегов

SCADA-система HMI WinCC - компьютерный интерфейс для взаимодействия пользователя и компьютера. Система используется для проектирования управляющих систем.

WinCC состоит из стандартных базовых модулей, дополняемых необходимыми опциями. Каждый модуль позволяет редактировать определенные части объекта разработки. WinCC является открытой системой, обеспечивающей разработку пользователем собственных утилит для решения конкретных задач проекта. Например, WinCC содержит утилиту, предназначенную для имитации тегов Tag Simulator (рисунок 5.1).

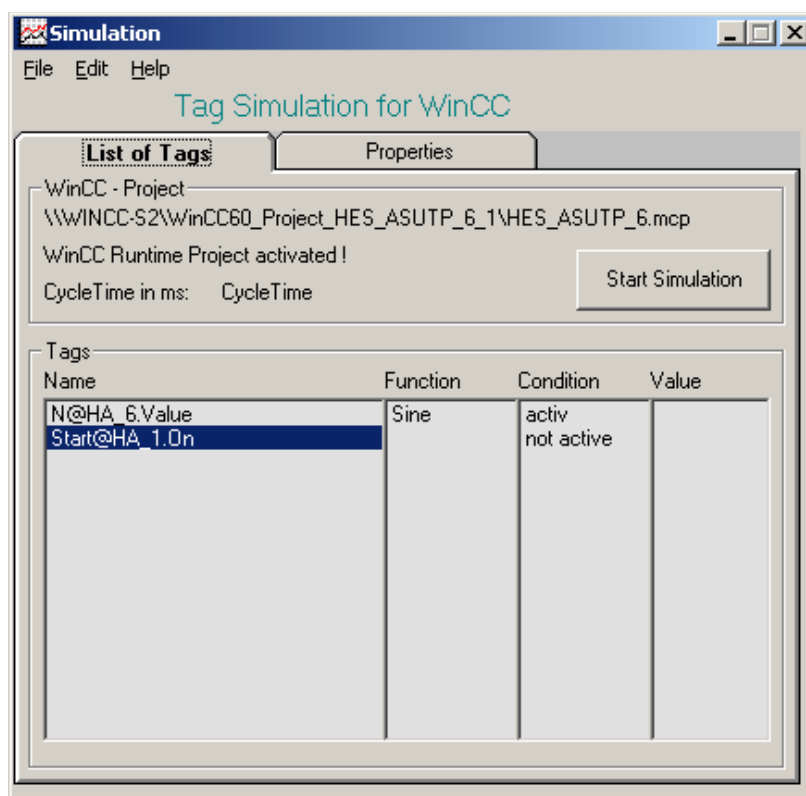


Рисунок 5.1 – Окно имитации назначений тегов

Недостатком данной утилиты является ограничение количества имитируемых тегов (не более 300). Поэтому была разработана утилита с расширенными возможностями. Это стало возможным при использовании функций интерфейса пакета для организации обменного буфера между системой и имитирующей программой функционирования объекта управления (рисунок 5.2).

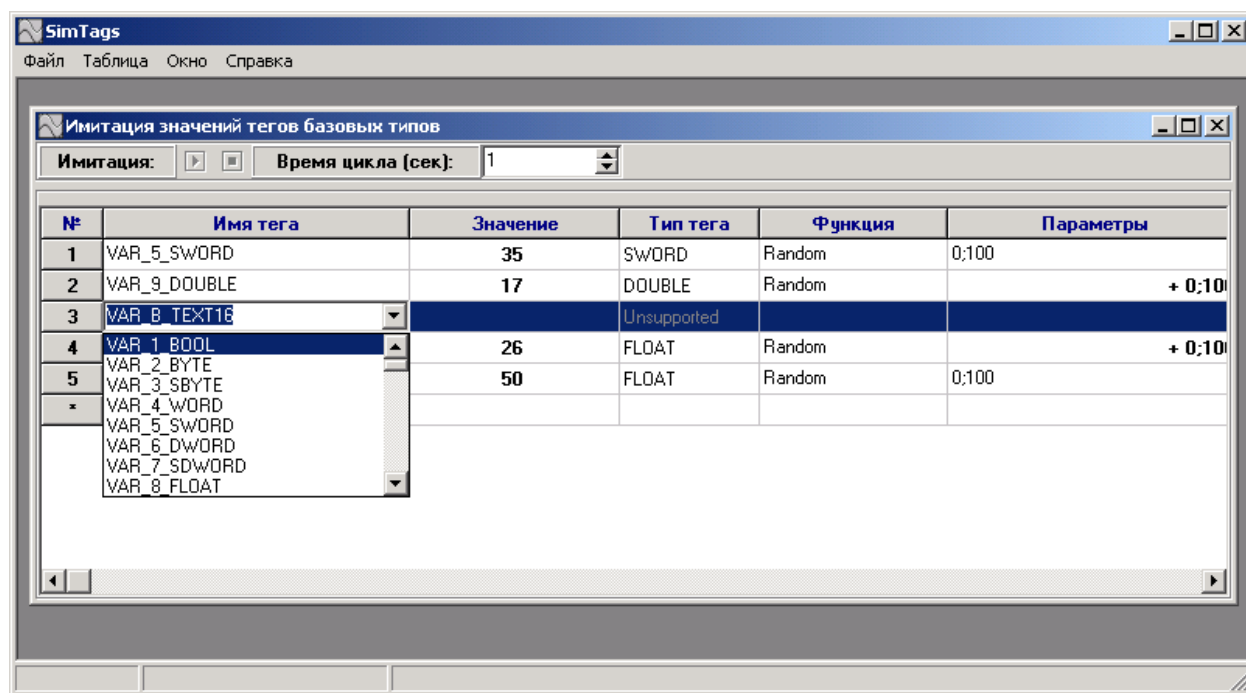


Рисунок 5.2 – Приложение SimTags

Разработанное приложение позволило увеличить количество имитируемых тегов за счет создания вложенных подменю.

Заключение

В данной бакалаврской работе была рассмотрена разработка автоматизированной системы управления котельной установки для производства пара повышенного давления.

Используемая система автоматизации устарела морально и физически, поэтому актуальность разработки достаточно высока.

В результате выполнения бакалаврской работы выбрана комплектация аппаратной части системы автоматического регулирования, включающая контрольно-измерительные и исполнительные устройства импортного и отечественного производства. Разработан алгоритм управления котельной.

Список использованных источников

1. Афитов Э.А. Планирование на предприятии: учеб. пособие / Э.А. Афитов. - 2-е изд., переработ. и доп. - Мн.: выш. шк., 2005. - 302 с.
2. Бандаков, Б.Ф. Расчёт и проектирование зубчатых и червячных передач: Учебное пособие для выполнения курсового проекта / Б.Ф. Бандаков. – М.: МГИУ, 2006. – 148 с.
3. Барановский, Ю.В. Режимы резания металлов. Справочник / Ю.В. Барановский. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - М., Машиностроение, 1995 г., 320 с.
4. Репин Л.А. Исследование винтового детандера для природного газа: Автореф. дис. . канд. техн. наук: 05.273 /КПИ. Краснодар, 1972. - 19 с.
5. Росляков П.В. Контроль вредных выбросов ТЭС в атмосферу: Учебное пособие / П.В. Росляков, И.Л. Ионкин, И.А. Закиров и др.; Под ред. П.В. Рослякова. – М.: Изд-во МЭИ, 2004.-124 с.
6. Росляков П.В., Егорова Л.Е., Ионкин И.Л. Методы расчета выбросов вредных веществ с дымовыми газами котлов / Под ред. М.А. Изюмова. – М.: Издательство МЭИ, 2000
7. Саклаков И.Ю. Энергосбережение в котельной технике // Строительство - формирование среды жизнедеятельности: Материалы второй международной седьмой межвузовской научно - практической конференции молодых ученых аспирантов и докторантов. - М.: МГСУ, 2004. - 274 с.
8. Саклаков И.Ю., Потапов А.Д., Богомоллова Т.Г., Гогина Е.С., Потапов П.А. Организационно - учебное обеспечение флочно - модульной схемы подготовки и переподготовки инженерных кадров «Спецстроя» РФ в области охраны природной среды, водоподготовки, и водоотведения: Материалы научно - практической конференции «Наука, инновации, подготовка кадров в строительстве». - М.: МГСУ, 2004. - 139 с.
9. Сакун И.А. Винтовые компрессоры. Л.: Машиностроение, 1970.- 400 с.
10. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 386 с.

11. Репин А.Л. Расчетные исследования когенерационной установки для паровых котельных/ Энергосбережение и водоподготовка 2006 № 2, С.71-72.
12. Репин А.Л. Перспективы производства электроэнергии и холода на газотурбинных станциях. / Материалы четвертой южнороссийской научной конференции. «Энерго- и ресурсосберегающие технологии и установки». Краснодар. 7.04.2005. С. 27-30.
13. Репин А.Л. К вопросу о повышении надежности электроснабжения паровых котельных/ Материалы четвертой южнороссийской научной конференции. «Энерго- и ресурсосберегающие технологии и установки». Краснодар. 7.04.2005. С. 27-30.
14. Репин А.Л., Репин Л.А. Возможности использования энергии давления природного газа на малых газораспределительных станциях/ Энергосбережение. 2004 . № 3. С. 70-72.
15. Репин Л.А., Чернн Р.А., Репин А.Л. Методика расчета рабочего процесса винтового парового двигателя/ Материалы V международной конференции. Новочеркасск. 26.10.2005. С. 28-31.
16. Саклаков И.Ю. Повышение эффективности работы теплогенераторов // Энергосбережение и водоподготовка. - 2005. № 1. - С.63.
17. Саклаков И.Ю., Потапов А.Д. Энергосберегающая теплоэнергетика как фактор обеспечения устойчивости атмосферы - важнейшей геосферной оболочки // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века.-2004. № 5. - С.62.
18. Сакун И.А., Пекарев В.И., Носков А.Н. Исследование процессов сжатия и выталкивания в холодильном винтовом компрессоре сухого сжатия / Труды XIV научно-технической конференции / ЛТИХП. Л., 1984. - С. 2-9.
19. Салихов А. А. Комбинированной выработке тепловой и электрической энергии зеленый свет!/ Энергетик. 2003. № 2. С. 10-13

20. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – М.: Изд-во МЭИ, 2001
21. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – М.: Изд-во МЭИ, 2001.
- 22 Huang, Y. J. The Design and Implementation of a Solar Tracking Generating Power System/ Y. J. Huang, Member, T. C. Kuo, Member, C. Y. Chen, C. H. Chang, P. C. Wu, and T. H. Wu. 2007.
23. J. D. Garrison, “A program for calculation of solar energy collection by fixed and tracking collectors,” Sol. Energy, vol. 72, no. 4, pp. 241-255, 2002
24. S. Rahman, “Green power: what is it and where can we find it?” IEEE Power and Energy Magazine, vol. 1, no. 1, pp. 30-37, 2003.
25. L. A. Zadeh, “Fuzzy Algorithms,” Inform. and Contr., vol. 12, pp. 94-102, 1968.
26. M. Berenguel, F. R. Rubio, A. Valverde, P. J. Lara, M. R. Arahal, E. F. Camacho, and M. López, “An artificial vision-based control system for automatic heliostat positioning offset correction in a central receiver solar power plant,” Sol. Energy, vol. 76, no. 5, pp.563-575, 2004.