Министерство образования и науки Украины

Севастопольский национальный технический университет

Кафедра технической кибернетики

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по дисциплине «Системы автоматики»

на тему:

«Разработка и исследование системы автоматического регулирования температуры электропечи на базе промышленного регулятора Р-111»

(альбом документов)

Выполнил: ст. гр. А-41з

Брусинов С.Э.

Проверил: профессор

Дубовик С. А.

Оценка: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата: « \_\_ » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Подпись \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Севастополь

2007

ОПИСЬ АЛЬБОМА

Данный альбом по курсовой работе на тему «Разработка и исследование системы автоматического регулирования температуры электропечи на базе промышленного регулятора Р-111» содержит следующие пункты:

а) техническое задание на 2 листах;

б) пояснительная записка на 25 листах;

в) приложения на 2 листах.

Министерство образования и науки Украины

Севастопольский национальный технический университет

Кафедра технической кибернетики

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по дисциплине «Системы автоматики»

на тему:

«Разработка и исследование системы автоматического регулирования температуры электропечи на базе промышленного регулятора Р-111»

(техническое задание)

Выполнил: ст. гр. А-41з

Брусинов С.Э.

Проверил: профессор

Дубовик С. А.

Оценка: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата: « \_\_ » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Подпись \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Севастополь

2007

Севастопольский национальный технический университет

Кафедра \_\_\_\_\_\_\_Технической кибернетики

Дисциплина \_\_\_\_Системы автоматики

Специальность \_\_Компьютеризированные системы, автоматика и управление

Курс \_\_\_4 \_\_\_\_\_Группа \_\_\_\_А-41з \_\_\_

# ЗАДАНИЕ

**на курсовой проект (работу) студента**

## Брусинова Сервера Энверовича

1 Тема проекта (работы): Разработка и исследование системы автоматического регулирования температуры электропечи на базе промышленного регулятора Р-111

2 Срок сдачи студентом законченного проекта (работы): \_\_.12.2007

3 Исходные данные проекта (работы):рабочая температура Tр = 200°С (Ом); уровень тока

I = 0.5 мА; возмущающее воздействие длительность 10с

4 Содержание расчётно-пояснительной записки (перечень подлежащих, разрабатываемых вопросов): краткое описание исследуемой САУ; построение математической модели объекта управления; синтез регулятора; заключение; библиография; приложения

5 Список графического материала (с точными определениями обязательных чертежей)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата выдачи задания\_\_\_21.06.2007

# КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Название этапов курсового проекта (работа) | Срок выполнения этапов проекта (работы) | Пометки |
| 1. | Выдача задания | 21.06.07 |  |
| 2. | Изучение устройства и работы прибора ТРМ-10 | 21.06.07 - 25.06.07 |  |
|  | Построение математической модели объекта | 25.06.07 |  |
| 3. | управления различными методами | 25.06.07 |  |
| 4. | Синтез регулятора методом логарифмических | 25.06.07 |  |
|  | амплитудно-частотных характеристик | 25.06.07 |  |
| 5. | Определение параметров ПИД регулятора | 25.06.07 |  |
| 6. | Проверка показателей качества рассчитанного  регулятора на лабораторном стенде | 25.06.07 |  |
|  |
| 7. | Оформление пояснительной записки | 25.06.07 |  |
| 8. | Защита курсового проекта | \_\_.12.07 |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

Студент\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(подпись)

Руководитель\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Дубовик С. А.

(подпись) (фамилия, имя, отчество)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_г

Министерство образования и науки Украины

Севастопольский национальный технический университет

Кафедра технической кибернетики

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

по дисциплине «Системы автоматики»

на тему:

«Разработка и исследование системы автоматического регулирования температуры электропечи на базе промышленного регулятора Р-111»

(пояснительная записка)

Выполнил: ст. гр. А-41з

Брусинов С.Э.

Проверил: профессор

Дубовик С. А.

Оценка: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Дата: « \_\_ » \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Подпись \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Севастополь

2007

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1 Краткое описание исследуемой САУ

2 Построение математической модели объекта управления

2.1 Методы математического описания объектов управления

2.2 Экспериментальные данные

2.3 Построение статической характеристики

2.4 Посторонние математической модели первого порядка

2.5 Посторонние математической модели методом площадей

2.6 Посторонние математической модели методом Ротача

2.7 Выбор окончательной аппроксимирующей модели

3 Синтез регулятора

3.1 Синтез регулятора методом ЛАЧХ

3.2 Определение параметров ПИД-регулятора

3.3 Построение переходной характеристики замкнутой системы

Заключение

Библиография

Приложение А (Результаты снятия переходного процесса объекта управления)

Приложение Б (Результаты снятия переходного процесса замкнутой системы)

ВВЕДЕНИЕ

Задачей автоматического регулирования и управления является автоматическое выполнение в определённой последовательности различных операций и поддержанию величин, характеризующих производственный процесс, на выполнение определённых, заданных значений или принудительное изменение этих величин по заранее описанному закону.

Автоматическое регулирование широко применяется в электрометрии, в электрических печах сопротивлении температурного режима, а также автоматическое управление работой различных механизмов печного аппарата. В индукционных печах и устройствах автоматически регулируется напряжение источников питания и коэффициента мощности установки, длительность отдельных процессов нагрева и их тепловой режим. В дуговых и рудно-термических печах применяют автоматические регуляторы, стабилизирующие их режим и обеспечивающие поддержание их мощности на заданном уровне, ведущие работы по комплексной автоматизации этих печей.

Некоторые из электротермических процессов вообще не могут быть осуществлены в промышленных масштабах без их автоматизации. В других случаях автоматизация снижает брак, улучшает качество изделий, повышает производительность труда, улучшает качество технологических показателей производства, высвобождение обслуживающего персонала и облегчает условия его труда.

В электрических печах сопротивление осуществляется нагрев различных материалов до заданной температуры.

Во многих случаях после нагрева следует период выдержки, необходимый для выравнивания температуры в нагреваемых изделиях или для прохождения в цепях процессов, требующих времени. В связи с этим, основная задача устройств автоматического регулирования температуры состоит в обеспечении нагрева изделий до заданной температуры и в поддержании на заданном уровне с точностью, соответствующей требованиям технического процесса. Эти требования могут изменяться в широких пределах.

Различные электронные печи получили широкое распространение. Их существенные особенности:

* Возможность компенсации большого количества энергии в весьма малых объектах и получение высоких скоростей нагрева и любой необходимой температуры;
* Возможность обеспечения высокой равномерности нагрева изделий;
* Лёгкость регулирования подводимой мощности, а также, следовательно, температуры, лёгкость автоматизации регулирования температурного режима.

В настоящей курсовой работе осуществляется исследование системы автоматического регулирования температуры электропечи на базе промышленного регулятора Р-111.

1 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМОЙ САУ

Функциональная схема САП температуры нагрева металлического сердечника электропечи представлена на рисунке 1.1:

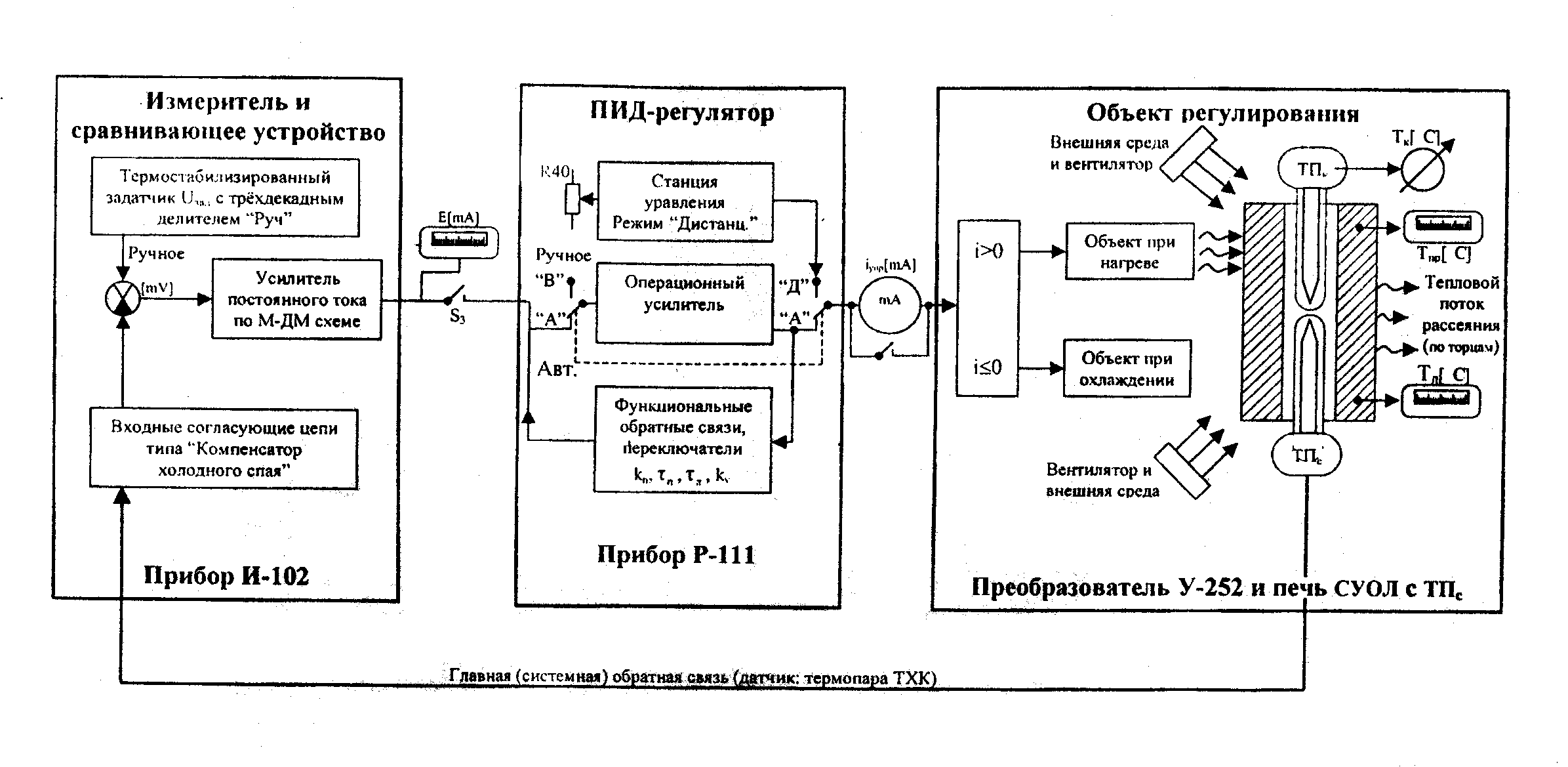


Рисунок 1.1 - Функциональная схема САП температуры нагрева металлического сердечника электропечи

Автоматическое регулирование температурного режима осуществляется системами управления с обратной связью, вырабатывающими управляющие воздействия в зависимости от величины знака отклонения регулируемой величины от заданного значения.

В качестве объекта исследования рассмотрим промышленную электрическую печь СУОП-015.20/12М-43 в системе автоматической стабилизации температуры, выполненной на базе высокочастотного регулятора температуры ВРТ-3.

Система автоматической стабилизации температуры электропечи выполнена на промышленных приборах государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) аналоговой электрической ветви. Ее структурная схема представлена на рисунке 1.2.

И-102

Р-111

У-252

ЭП

Дт

ε

t°

i

U

f

ÂÐÒ-3

Uзад

Рисунок 1.2 – Структурная схема исследуемой САУ

Сигнал с датчика температуры Дт (термопара) поступает на вход. В блоке И-102 сигнал термопары компенсируется сигналом от встроенного задатчика и разница этих сигналов усиливается предварительным усилителем блока И-102.

Усиленный сигнал ошибки ε поступает на вход регулирующего аналогового прибора Р-111, в котором могут быть сформированы П, ПИ, ПИД законы регулирования. Реализация типовых законов регулирования осуществляется на базе операционного усилителя с использованием RC-звеньев коррекции в цепи обратной связи. Р-111 имеет индикаторы, по которым можно контролировать величину разбаланса и выходной ток, органы динамической настройки, а также переключатель управления, позволяющий перейти на ручное управление объектом и обеспечивающий "безударное" переключение.

Усиленный сигнал, с выхода У-252, в виде напряжения подаётся в цепи нагрева электропечи.

**2 ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ**

**2.1 Методы математического описания объектов управления**

Для построения высокоэффективной системы управления необходимо иметь описание объекта управления в виде математической модели. Для описания объектов управления, в которых отсутствует зависимость переменных состояния, управления от пространственных координат (линейные многомерные системы с сосредоточенными параметрами), используются системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений или соответствующие изображения по Лапласу. Рассмотрим многомерную линейную систему с m - управлениями, l - возмущениями и k - входами. Модель линейной системы с сосредоточенными параметрами во временной области:

(2.1)



где х(t) – вектор состояния системы, ;



u(t) – вектор управлений (входов), ;



у(t) – вектор выходов, ;



f(t) – вектор возмущений, ;



А – матрица размерности n x n;

В – матрица размерности n x m;

D – матрица размерности n x l;

С – матрица размерности k x n.

Применяя преобразование Лапласа к системе, получим эквивалентную модель в комплексной области:

(2.2)



или

(2.3)



Частотное или временное представления выбираются из соображений удобства, так как в случае постоянных матриц A, B,C и D они эквивалентны. Для построения подобных моделей можно использовать два пути: применять фундаментальные физические соотношения в виде законов сохранения вещества, энергии или восстанавливать параметры моделей по эмпирическим данным, причем второй путь более часто применяется на практике.

**2.2 Экспериментальные данные**

Для построения математической модели объекта управления использовался метод восстановления параметров модели по эмпирическим данным. Для этого с помощью лабораторной установки были получены экспериментальные данные для исследования объекта управления и построения его математической модели. Результаты снятия экспериментального переходного процесса приведены в Приложении А.

Нормирование переходных процессов проводилось в MathCAD-е по следующему соотношению:

(2.4)



Рисунок 2.1 – Экспериментальный нормированный переходной процесс

Так динамика этих процессов совпадает, то можно для улучшения экспериментальных данных усреднить два процесса, и для усреднённого процесса искать аппроксимирующую модель объекта управления. Усредненный переходный процесс изображён на рисунке 2.2.

Рисунок 2.2 – Усредненный переходный процесс



Структура аппроксимирующего выражения для передаточной функции объекта может быть выбрана в общем случае в виде:

(2.5)



Коэффициент усиления объекта управления можно найти по статической характеристике. Постоянные времени передаточной функции могут быть найдены по реакции системы на единичный скачок, т.е. по полученному усреднённому переходному процессу.



**2.3 Построение статической характеристики**

Коэффициент усиления объекта управления можно найти по его статической характеристике. В результате различных экспериментов были получены следующие результаты приведенные в таблице 1:

Таблица 1:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| I, мА | 0 | 0.2 | 0.25 | 0.3 | 0.35 | 0.4 | 0.45 | 0.5 | 0.55 | 0.6 | 0.65 | 0.7 |
| T, °C | 2 | 13 | 41 | 79 | 117 | 158 | 200 | 239 | 280 | 319 | 355 | 390 |

В результате статическая характеристика имеет вид, приведённый на рисунке 2.3:



Рисунок 2.3 – Статическая характеристика

Коэффициент усиления объекта управления определяется из соотношения:

(2.6)



**2.4 Посторонние математической модели первого порядка**

При q=0 получаем математическую модель первого порядка с запаздыванием:

(2.7)



Коэффициент усиления для нормированного переходного процесса равен единице. Постоянную времени можно найти из соотношения:

(2.8)



(2.9)



(2.10)



То есть для нахождения постоянной времени нужно провести прямую на уровне 0.63 до пересечения с графиком переходного процесса. Так как экспериментальный переходный процесс не является процессом первого порядка, то для его описания необходимо ввести запаздывание τ=61.



Рисунок 2.4 – Усредненный переходный процесс

(2.11)



(2.12)



(2.13)



**2.5 Посторонние математической модели методом площадей**

При q=1 и τ=0 получаем объект второго порядка. Рассчитать постоянные времени T1 и T2 можно при помощи метода площадей:

(2.14)



Построим математическую модель системы при помощи метода площадей:



Так как меньше чем 0.75, то метод площадей применять нельзя, применим упрощенный метод площадей. Упрощённый метод площадей:



Абсцисса точки перегиба равна: ;



Коэффициент усиления: .



(2.15)



Рассчитаем значения постоянных времени:

.



**2.6 Построение математической модели методом Ротача**

Проведем в точке перегиба касательную, для определения интервала времени Т0, заключенного между точками пересечения этой касательной оси абсцисс и линии установившегося значения h(∞) переходной характеристики. В рассматриваемом случае: T0=440, tп=150, h(tп)=0,181. Введем обозначение: (q=1).



Возьмем запаздывание τ=0, тогда получаем следующую модель:

(2.16)



Для нахождения T0 проводим касательную через точку перегиба и находим точки её пересечения с уровнями 0 и 1.

Применим алгоритм метода Ротача для звена 2-го порядка, т.е. q=1 τ=61:



Рассчитаем значения постоянных времени:



Передаточная функция будет иметь вид:



Переходной процесс задается формулой:



Рисунок 2.5 – Переходный процесс для модели объекта

**2.7 Выбор окончательной аппроксимирующей модели**

Для выбора лучшей аппроксимирующей модели объекта управления среди найденных моделей сравним теоретические и экспериментальный переходные процессы (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Теоретические и экспериментальный переходные процессы

Для оценки качества полученных передаточных функций описывающих объект управления вычислим оценку χ2:

- звено первого порядка с запаздыванием



- звено второго порядка (упрощенный метод площадей)



- звено второго порядка (метод Ротача)



Так как наименьшая оценка χ2 получилась у модели построенной по упрощенному методу площадей, то примет ее за окончательную модель объекта управления.

Передаточная функция объекта управления имеет вид:

(2.17)



3 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА

**3.1 Синтез регулятора методом ЛАЧХ**

WДТ

WОУ

WИ

Рисунок 3.1 – Структурная схема замкнутой системы

Преобразуем структурную схему, представленную на рисунке 3.1, к структурной схеме следующего вида:

WИ

WР

WДТ

1/WДТ

WО

ε

–

Рисунок 3.2 – Структурная схема исследуемой САУ

Найдем передаточную функцию неизменяемой части прямой цепи:

(3.1)



где WДТ=kД – передаточная функция датчика температуры Тд;

WИ=kИ – передаточная функция измерительного блока;

WО – передаточная функция объекта управления.

(3.2)



Передаточная функция прямой цепи (неизменяемой части системы):

(3.3)



Тогда коэффициент усиления неизменяемой части K:

(3.4)



Передаточная функция неизменяемой части прямой цепи будет иметь вид:

(3.5)



Передаточную функцию синтезируемого регулятора найдём методом логарифмических частотных характеристик. По ЛАЧХ определяются ω1, ω2, а также Kж, по которым находится желаемая передаточная функция прямой цепи:

(3.6)



где T1=1/ω1, T2=1/ω2, T3=1/ω3, Kж – находится как пересечение прямой (до ω1) желаемой ЛАЧХ с осью частот.

Передаточная функция регулятора:

(3.7)



Полученная передаточная функция регулятора имеет очень сложную техническую реализацию и на практике такой регулятор не применяется. Практически реализуемые регуляторы строятся с использованием следующих допущений и приближений: объект управления достаточно инерционен и в цепях регулятора нет высокочастотных помех или они достаточно малы, то высокочастотной частью регулятора можно пренебречь и считать, что T3=0. Если потребовать чтобы T1=T2, тогда желаемая передаточная функция будет иметь вид:

(3.8)



В этом случае для объекта второго порядка будет получен ПИД-регулятор.

**3.2 Определение параметров ПИД-регулятора**

Так как требования к высокочастотной части не высоки, то считаем что T3=0 и T1=T2, тогда получаем, что желаемая ЛАЧХ имеет вид приведенный выше и передаточная функция регулятора будет иметь вид:

(3.9)



Как видно в этом случае получаем ПИД-регулятор со следующими параметрами:

(3.10)



**3.3 Построение переходной характеристики замкнутой системы**

Передаточная функция прямой цепи:

(3.11)



Передаточная функция замкнутой системы:



(3.12)



или введя обозначения:

(3.13)



Получили передаточную функцию замкнутой системы в виде отношения двух полиномов:

(3.14)



Для желаемой передаточной функции прямой цепи будем иметь следующую замкнутую систему:

(3.15)



(3.16)



Полученный переходный процесс для объекта управления и экспериментальный переходный процесс замкнутой системы изображён на рисунке 3.3:

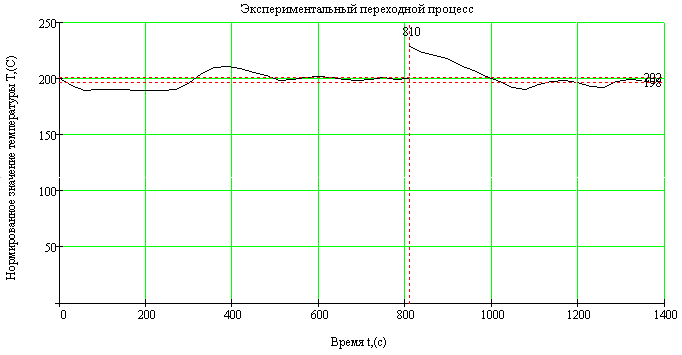


Рисунок 3.3 – Реакция замкнутой системы на единичный скачок

перерегулирование: .



**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения данного курсового проекта нами была изучена и исследована САР температуры жидкости в термостате на основе промышленного цифрового регулятора ТРМ-10. Был произведен расчет системы стабилизации температуры, работающей в заданном диапазоне изменения выходной переменной при заданном уровне и типе возмущений, и обеспечивающей требуемые характеристики точности и качества стабилизации. Были проведены эксперименты с системой, реализованной на учебном стенде.

По экспериментальным данным была найдена передаточная функция объекта управления в виде модели первого порядка и моделей второго порядка, найденных по упрощённому методу площадей и методу Ротача. По результатам сравнения теоретических переходных процессов с экспериментальным за окончательную модель объекта управления была принята модель, рассчитанная по упрощенному методу площадей, как модель, имеющая наименьшую оценку χ2: .



Коэффициент усиления объекта управления был найден по статической передаточной характеристике. Исходя из требований к системе по точности и качеству, был синтезирован ПИД-регулятор с помощью метода ЛАЧХ.

В результате была синтезирована желаемая передаточная функция прямой цепи: .



Для которой был получен ПИД-регулятор в виде:



Для замкнутой системы с синтезированным ПИД-регулятором был построен переходный процесс, по которому было найдено время регулирования tр=520 с и перерегулирование σ=5%, что соответствует требованиям задания.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1 Рей У. /Методы управления технологическими процессами./ – М.: «Мир». 1983.

2 Ротач В. Я. /Расчет динамики промышленных автоматических систем./ – М.:«Энергия». 1973.

3 Паспортные данные.

Приложение А

**Результаты снятия переходного процесса объекта управления**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| (с) | (°С) | (°С) | (В) |
| 0 | **3** | **28** | **0.04** |
| 30 | **5** | **30** | **0.11** |
| 60 | **8** | **32** | **0.17** |
| 90 | **17** | **35** | **0.22** |
| 120 | **30** | **39** | **0.45** |
| 150 | **40** | **44** | **0.66** |
| 180 | **53** | **50** | **0.93** |
| 210 | **70** | **56** | **1.23** |
| 240 | **85** | **63** | **1.58** |
| 270 | **103** | **71** | **1.96** |
| 300 | **115** | **78** | **2.37** |
| 330 | **127** | **84** | **2.67** |
| 360 | **140** | **90** | **2.93** |
| 390 | **153** | **98** | **3.10** |
| 420 | **165** | **106** | **3.16** |
| 450 | **179** | **112** | **3.22** |
| 480 | **190** | **118** | **3.26** |
| 510 | **200** | **123** | **3.32** |

Приложение Б

**Результаты снятия переходного процесса замкнутой системы**

|  |  |
| --- | --- |
| (с) | (°С) |
| **0** | **200** |
| **30** | **194** |
| **60** | **190** |
| **90** | **191** |
| **120** | **191** |
| **150** | **191** |
| **180** | **190** |
| **210** | **190** |
| **240** | **190** |
| **270** | **191** |
| **300** | **196** |
| **330** | **205** |
| **360** | **210** |
| **390** | **211** |
| **420** | **209** |
| **450** | **206** |
| **480** | **203** |
| **510** | **199** |
| **540** | **200** |
| **570** | **201** |
| **600** | **202** |
|  | **201** |
|  | **200** |
|  | **199** |
|  | **200** |
|  | **201** |
|  | **200** |
|  | **229** |
|  | **224** |
|  | **221** |
|  | **218** |
|  | **212** |
|  | **208** |
|  | **202** |
|  | **198** |
|  | **192** |
|  | **191** |
|  | **195** |