Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Утверждаю

Декан АВТФ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ С.А. Гайворонский

«\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2009г.

В.Н Скороспешкин, В.С. Аврамчук

**Локальная система автоматического регулирования температуры электрической печи на базе промышленного регулятора РП4-ТМ1**

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 3

по курсу «Основы автоматизации производственных процессов» для студентов, обучающихся по специальности 130501 - «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» и 130503 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Издательство

Томского политехнического университета

2009

УДК 681.325.5-181.48(076.5)

ББК 32.973.26-04я73

С446

Скороспешкин В.Н., Аврамчук В.С.

С446 Локальная система автоматического регулирования температуры электрической печи на базе промышленного регулятора РП4-ТМ1. Методические указания к выполнению лабораторной работы № 7 по курсу «Основы автоматизации производственных процессов» для студентов специальности 130501 «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» и 130503 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».-Томск: Изд. ТПУ 2009 - 39.

УДК 681.325.5-181.48(076.5)

ББК 32.973.26-04я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры автоматики и компьютерных систем АВТФ « 17 » сентября 2009 г.

Зав. кафедрой АиКС

доктор технических наук \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Г.П. Цапко

Председатель учебно-методической

комиссии \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_В.И. Рейзлин

*Рецензент*

Доцент, кандидат технических наук

В.И. Коновалов

© Скороспешкин В.Н.,

Аврамчук В.С., 2009

© Томский политехнический университет, 2009

© Оформление. Издательство Томского

политехнического университета, 2009

**Цель лабораторной работы.** Ознакомление с функциональными возможностями САР температуры электрической печи на базе промышленного регулятора РП4-Т-М1. Определение оптимальных параметров настройки регулятора. Приобретение практических навыков по настройке регулятора на процесс.

**1 Описание лабораторного стенда**

Современные электрические средства автоматического регулирования разрабатываются по агрегировано-блочному принципу. Блоки образуют агрегированный комплекс технических средств (КТС), с помощью которого для конкретного технологического объекта путем набора определенных блоков проектируют автоматическую систему регулирования с требуемыми статическими и динамическими свойствами.

Каждый блок КТС выпускается заводами приборостроительной промышленности в виде конструктивно законченного изделия. При автоматизации технологических процессов в настоящее время наиболее широкое применение находят агрегированные комплексы электрических средств регулирования АКЭСР, АКЭСР-2 и др.

Рассматриваемый лабораторный стенд локальной САР температуры электрической печи реализован на базе комплекса технических средств, входящих в состав агрегированного комплекса электрических средств регулирования АКЭСР-2. Это такие технические средства, как блок ручного управления БРУ-32 и блок «ручной задатчик» РЗД-12, входящие в группу устройств оперативного управления, а также регулирующий блок РП4-Т, входящий в группу регулирующих устройств системы АКЭСР-2.

Структурная схема лабораторного стенда локальной системы автоматического регулирования температуры печи представлена на рисунке 1.

На рисунке 1 используются следующие обозначения:

Рис. 1 – Структурная схема лабораторного стенда.

РЗД

РП4-Т

БРУ

РЭС

ИМ

РТ

УП

мА

НЭ

ТС

ТХК

ИТ

РЗД – ручной задатчик РЗД-12;

РП4-Т – регулирующий прибор;

БРУ – блок ручного управления БРУ-32;

РЭС – электромагнитное реле РЭС-22;

ИМ – исполнительный механизм СД-54;

УП – указатель положения;

РТ – регулятор тока;

мА – миллиамперметр;

НЭ – нагревательный элемент;

ТС - датчик температуры (термосопротивление медное);

ИТ – микропроцессорный измеритель температуры типа 2ТРМ0;

ТХК – датчик температуры (термопара «хромель-копель»).

Сигнал от термоэлектрического преобразователя температуры типа «хромель-копель» ТХК и сигнал задания, формируемый задатчиком РЗД-12, поступает на вход регулирующего прибора РП4-Т. На входе регулирующего прибора РП4-Т формируется сигнал рассогласования. Управление объектом от регулирующего прибора РП4-Т может осуществляться как автоматически, так и дистанционно. Переключение это осуществляется ключом выбора режимов блока управления БРУ-32. В автоматическом режиме сигнал рассогласования обрабатывается в регуляторе РП4-Т в соответствии с ПИ-законом регулирования и через ключ блока ручного управления БРУ-32, установленный в положение «автоматическое», поступает на электромагнитное реле РЭС, которое управляет исполнительным механизмом МЭО. В качестве исполнительного механизма служит реверсивный электродвигатель СД-54, через вал которого происходит воздействие на регулятор тока РТ, через который, в свою очередь, осуществляется питание нагревательного элемента (лампы накаливания). В режиме ручного управления через ключ блока ручного управления БРУ-32, установленный в положение «ручное», сигнал формируется путем нажатия кнопок «Больше» и «Меньше», встроенных в панель управления БРУ-32. Сигнал от датчика положения УП исполнительного механизма МЭО поступает на индикатор, встроенный в панель блока БРУ-32. Регулятор тока РТ включен последовательно с нагревательным элементом НЭ и величина тока регистрируется миллиамперметром мА. Информация в виде сигнала о текущем значении температуры теплового контура поступает от термопреобразователя сопротивления медного ТСМ-50 на двухканальный микропроцессорный измеритель температуры ИТ типа 2ТРМ0 и регистрируется на светодиодном дисплее измерителя. Использование разных датчиков температуры, термоэлектрического преобразователя типа ТХК для работы с регулятором РП4-Т и термопреобразователя сопротивления типа ТСМ-50 для работы с микропроцессорным измерителем типа 2ТРМ0, обусловлено исполнением измерителя.

Функциональная схема лабораторного стенда локальной САР представлена на рисунке 2.

Принципиальная электрическая схема установки «тепловой объект» представлена на рисунке 3.

*Установка «тепловой объект»*

*Пульт управления и контроля процесса*

(ТСМ)

3

4

(ТХК)

Ручной

задатчик

РЗД-12 (10)

5

2

6

6

1

Импульсный регулятор РП4-Т (8)

Блок

ручного управления БРУ-32 (11)

МЭО (12)

Регулятор

тока (9)

Измеритель

температуры

2ТРМ0 (7)

Миллиамперметр (13)

Рис. 2 – Функциональная схема лабораторного стенда.



Рис. 3 – Принципиальная электрическая схема установки

«тепловой объект».

Конструктивно лабораторный стенд состоит из *установки «тепловой объект»* и *пульта управления и контроля процесса* регулирования температуры печи, которые соединены между собой с помощью многожильного кабеля.

*Установка «тепловой объект»* состоит из пустотелого корпуса печи (1), в котором расположена на штоке лампа накаливания (2), служащая источником тепла. Над лампой накаливания в верхней части корпуса печи установлены датчики температуры типа термосопротивление ТСП (3) и термопара ТХК (4). Над датчиками температуры расположен экран (5), а в основании корпуса печи и в верхней его части предусмотрены жалюзи (6), с помощью которых можно изменять температуру в печи за счет конвекции воздушных потоков. Конструкция штока позволяет изменять расстояние между лампой накаливания и датчиками температуры. Сигналы о текущем значении температуры поступают с термосопротивления на микропроцессорный измеритель температуры (7), а с термопары через коробку холодных спаев КХС4 – на вход регулирующего устройства РП4-Т (8). Напряжение на лампу накаливания поступает от регулятора тока (9), который собран на электронных элементах 2У202Н и КЦ402А. Управление регулятором тока осуществляется от переменного сопротивления 22 кОм, которое расположено с одной стороны вала исполнительного механизма (МЭО). С другой стороны вала МЭО установлено переменное сопротивление 3 кОм, которое выполняет роль указателя положения исполнительного механизма, сигнал с которого поступает на индикатор блока ручного управления БРУ-32. Исполнительный механизм в свою очередь управляется в импульсном режиме от регулятора РП4-Т. Вал МЭО приводится в движение от электродвигателя СД-54 посредством червячной передачи. Реверсирование электродвигателя СД-54 осуществляется замыканием контакта В2 (синий провод) с контактом В1 (красный провод) или с контактом В3 (зеленый провод). Конденсатор С2 (1мкф) понижает напряжение питания электродвигателя СД-54 с 220 В до 127 В. Микропереключатели МП1 и МП2 выполняют роль концевых выключателей для электродвигателя СД-54. В установке «тепловой объект» используется лампа накаливания мощностью 60 Вт. Возможно применение лампы накаливания другой мощности, лишь бы величина тока не превышала допустимую для электронного элемента КЦ402А.

*Пульт управления и контроля процесса* состоит из средств контроля за процессом регулирования температуры печи: миллиамперметра (13) и микропроцессорного измерителя температуры 2ТРМ0 (7); и комплекса технических средств, входящих в состав АКЭСР-2: блока «ручной задатчик» РЗД-12 (10), регулирующего прибора РП4-Т (8) и блока ручного управления БРУ-32 (11).

*Миллиамперметр* (шкала 0 – 40 mA) предназначен для измерения величины постоянного тока на регуляторе тока.

*Микропроцессорный программируемый измеритель типа 2ТРМ0* совместно с датчиком температуры ТС125-50М предназначен для измерения температуры в печи и отображения текущего значения измеряемого параметра на встроенном светодиодном цифровом индикаторе. Функциональные параметры прибора задаются пользователем при программировании и сохраняются при отключении питания в энергозависимой памяти.

Функциональная схема двухканального микропроцессорного измерителя типа 2ТРМ0 представлена на рисунке 4.

Прибор имеет два входа для подключения первичных преобразователей (датчиков), блок обработки данных, состоящий из измерителей физических величин и разности между ними и цифрового фильтра, а также светодиодный индикатор для отображения информации.

Датчик 2

Датчик 1

**2ТРМ0**

Блок обработки данных

Вход 1

Вход 2

Цифровой фильтр

Цифровой фильтр

Вычислитель разности

***0000***

Рис. 4 – Функциональная схема прибора 2ТРМ0.

Электрическое питание микропроцессорного программируемого измерителя осуществляется переменным однофазным напряжением 220 В 50 Гц. Потребляемая мощность не более 6 ВА.

Преобразование сигнала в текущее цифровое значение измеряемой температуры производится в измерителе Т1.

Поскольку большинство датчиков температуры имеют нелинейную зависимость выходного сигнала от температуры в измерителях заложены таблицы коррекции показаний для всех типов датчиков, которые могут быть подключены к прибору.

Вычисленные прибором значения могут быть откорректированы пользователем с целью устранения начальной погрешности преобразования входных датчиков. Эти погрешности устраняются путем ввода корректирующих значений.

В приборе заложены два параметра, позволяющие осуществлять сдвиг и изменение наклона измерительной характеристики прибора на заданную величину. Сдвиг и изменение наклона измерительной характеристики представлены на рисунке 5.

Рис. 5 – Сдвиг и изменение наклона измерительной характеристики.

Тинд = Тизм + α

α – значение параметра «наклон характеристики»

с коррекцией

без коррекции

Тинд = Тизм + δ

с коррекцией

без коррекции

ТСМ 50

W100 = 1,426

ТСМ 50

W100 = 1,426

Тизм,°С

(RТСМ,Ом)

0 20 40 60 80  100

(50) (71,3)

Тинд,°С

100

80

60

40

20

Тизм,°С

(RТСМ,Ом)

0 20 40 60 80  100

(50) (71,3)

δ - значение параметра

«сдвиг характеристики»

Тинд,°С

100

80

60

40

20

К каждому вычисленному значению измеренной величины прибавляется значение, заданное программируемыми параметрами b1-1 и b2-1 для первого и второго каналов измерения соответственно. Эти параметры используются для компенсации погрешностей, вносимых сопротивлениями подводящих проводов (при подключении термопреобразователей сопротивления по двухпроводной схеме), а также при отклонении у термопреобразователя сопротивления значения R0 (R0 – сопротивление датчика при 0 °С).

Скорректированное «сдвигом» значение умножается на поправочный коэффициент, задаваемый программируемыми параметрами b1-2 и b2-2 для первого и второго каналов измерения соответственно. Этот коэффициент близок к единице и находится в пределах 0.900…1.100. Используется, как правило, для компенсации погрешностей самих датчиков, например, при отклонении значения W100 у термопреобразователя сопротивления (W100 - отношение сопротивления датчика при 100 °С к его сопротивлению при 0 °С).

Для улучшения эксплуатационных качеств в блок обработки входных сигналов введен цифровой фильтр, позволяющий уменьшить влияние случайных помех на измерение контролируемых величин. Параметр b0-2, называемый полосой цифрового фильтра, позволяет защитить измерительный тракт от единичных помех.

Полоса фильтра задается в единицах измеряемой величины. Если полученное значение отличается от предыдущего на величину, большую, чем установлено в этом параметре, то прибором производятся повторные измерения, до тех пор, пока полученное значение не попадает в заданную полосу. В течение всего этого времени на цифровом индикаторе остается старое значение измеренной величины.

Графическое изображение принципа работы цифрового фильтра представлено на рисунке 6.

быстрое изменение

измеряемой величины

единичная помеха

Полоса фильтра

Время опроса датчика

t

Т°С

Рис. 6 – Полоса цифрового фильтра.

Вывод текущих значений измеряемой величины на цифровом индикаторе осуществляется в одном режиме: «0» - фиксированный Т1. На индикацию выводятся показания только первого канала измерения. Режим работы индикации задается при программировании функциональных параметров прибора путем установки соответствующего значения параметра b0-4.

Кнопка «ПРОГ» предназначена для входа в режим просмотра и установки параметров, а также для записи новых установленных значений в энергонезависимую память прибора.

Кнопки «▲» и «▼» предназначены при установке параметров для выбора и увеличения или уменьшения значения параметра. При удержании кнопки скорость изменения возрастает.

Вход в режим «УСТАНОВКА ПАРАМЕТРОВ» осуществляется нажатием и удержанием кнопки «ПРОГ» более 6 с. Если в течение 20 с в режиме «УСТАНОВКА ПАРАМЕТРОВ» не производится операций с кнопками, прибор автоматически возвращается в режим «РАБОТА».

*Блок «ручной задатчик» РЗД-12* предназначен для выполнения операций ручной установки задания для регулирующего прибора РП4-Т.

Выходной сигнал задатчика – плавное изменение коэффициента деления потенциометра с сопротивлением 10 кОм. Задатчик представляет собой потенциометр, сопротивление на выходе которого изменяется от 0 до 10 кОм. Задатчик РЗД-12 мощности не потребляет.

На передней панели задатчика расположена ручка задания, с помощью которой, устанавливаются выходные сигналы, оцениваемые по шкале 0-100 %. Потенциометр откорректирован таким образом, что 20 % шкалы задатчика соответствуют ~ 20 °С, 50 % шкалы задатчика соответствуют ~ 80 °С, 80 % шкалы задатчика соответствуют ~ 115 °С.

*Блок ручного управления БРУ-32*предназначен для переключения цепей управления исполнительными устройствами и индикации положений цепей управления.

Блок ручного управления БРУ-32 обладает следующими функциональными возможностями: ручное переключение с автоматического режима управления на ручной и обратно; кнопочное управление интегрирующими исполнительными механизмами; световая индикация выходного сигнала регулирующего устройства с импульсным выходным сигналом; определение положения регулирующего органа.

Коммутационная способность групп переключающих контактов реле и кнопок управления при активной нагрузке - постоянный ток до 0,25 А при напряжении до 34 В.

Электрическое питание блока ручного управления БРУ-32 осуществляется от пускателей, имеющих источники двухполупериодного выпрямленного напряжения со средним значением 24 В при токе 100 мА. Потребляемая мощность не превышает 2,5 ВA. Параметры питания индикаторов - напряжение постоянного тока 24 В, ток не более 10 мА.

Переключатель режимов предназначен для ручного переключения цепей управления. Нажатое и не нажатое положение переключателя имеют фиксацию. Нажатое, с поворотом против часовой стрелки, положение соответствует режиму управления «Автомат», не нажатое – режиму управления «Ручной».

Переключение реле может производиться также дистанционно. Переключающие группы контактов реле выведены на контакты разъема. После включения питания блока реле переходит в положение, определяемое замкнутой цепью дистанционного управления.

Блок содержит стрелочный указатель, осуществляющий индикацию аналоговых сигналов 0-5 мА.

*Устройство регулирующее РП4-Т* с импульсным выходным сигналом предназначено для формирования динамических свойств ПИ-закона регулирования системы, содержащей электрический исполнительный механизм постоянной скорости.

Функциональная схема регулирующего устройства РП4-Т представлена на рисунке 7.

**Входы**

**0 – 10 В**

**Выход**

**0 – 5 mA**

**ЗД**

**± 5%**

**ЗД**

**0 ÷ 95%**

**L**

**Входы**

**6**

**4**

**Б**

**М**

**Y2**

**Y3**

**αп**

**τи**

**Дистанционная подстройка**

**3**

**Σ**

**ε**

**2**

**1**

**0**

**Y1**

**Σ**

**Тф**

**Δ**

**αп**

**τи**

**Выход «М»**

**Выход +24**

**Выход «Б»**

**Ср. точка ключей**

**=**

**Сеть ~220 В 50 Гц**

**5**

Рис. 7 – Функциональная схема устройства регулирующего РП4-Т.

Устройство выполнено по функциональной схеме, которая содержит:

1 – входной сумматор;

2 – демпфер;

3 – операционный усилитель-сумматор;

4 – трехпозиционный нуль-орган;

5 – инерционное звено отрицательной обратной связи;

6 – источник питания;

7 – задатчик.

Сигналы регулируемого параметра и задания поступают на входы сумматора 1, в котором происходит их алгебраическое суммирование и формируется сигнал рассогласования **ε**.

**С**игнал рассогласования поступает на демпфер 2, представляющий собой инерционное RC-звено с регулируемой постоянной времени демпфирования Тф.

С выхода демпфера 2 сигнал рассогласования поступает на вход операционного усилителя-сумматора 3, с выхода которого поступает на вход трехпозиционного нуль-органа 4, имеющего регулируемую зону нечувствительности ∆. При сигнале рассогласования, превышающем порог срабатывания устройства регулирующего, нуль-орган срабатывает и скачком подает сигнал в цепь отрицательной обратной связи, представляющей активное инерционное RC-звено 5, и на выходные ключи, коммутирующие цепи внешней нагрузки. При срабатывании соответствующего полярности сигнала рассогласования ключа, на выходе появляется напряжение.

При отключенной цепи отрицательной обратной связи устройство представляет собой трехпозиционный нуль-орган с гистерезисом.

Характеристика регулирующего устройства РП4-Т при отключенной цепи обратной связи представлена на рисунке 8.

Y1

∆

∆в

∆в

1

Yвых

-σср

σср

σср – порог срабатывания;

σв – порог отпускания;

Δ – зона нечувствительности;

Δв – зона возврата;

Y1 – сигнал рассогласования;

Yвых – состояние выходных ключей.

Рис. 8 – Характеристика устройства регулирующего РП4-Т

при отключенной цепи обратной связи.

При включенной цепи отрицательной обратной связи и сработанном состоянии нуль-органа 4 сигнал отрицательной обратной связи на выходе инерционного звена 5 начинает плавно увеличиваться и компенсировать сигнал рассогласования на выходе операционного усилителя-сумматора 3. Сигнал на входе нуль-органа 4 плавно уменьшается до порога отпускания, после чего нуль-орган отключается, сигналы на выходе устройства и на входе отрицательной обратной связи скачком уменьшаются до нуля.

Сигнал отрицательной обратной связи на выходе инерционного звена 5 начинает плавно уменьшаться, а сигнал на входе нуль-органа 4 возрастать до порога срабатывания σср, после чего нуль-орган срабатывает, включает выходные ключи и подает сигнал в цепь отрицательной обратной связи. При сохранении сигнала рассогласования цикл повторяется.

Таким образом, устройство регулирующее РП4-Т формирует на своем выходе импульсы, чередующиеся паузами. Интегрирование этих импульсов при помощи исполнительного механизма постоянной скорости позволяет получить пропорционально-интегральный ПИ-закон регулирования.

Работа регулирующего устройства при включенной отрицательной обратной связи и при скачкообразном сигнале рассогласования Y1 показана на рисунке 9.

tи

tп

tи

tп

t1

Yвых

Δв

Uос

Uвх

t1 – длительность первого импульса (пропорциональная часть), с;

tп – длительность паузы, с;

tи – длительность интегрального импульса, с.

t

t

t

Рис. 9 – Работа устройства регулирующего РП4-Т

с включенной цепью обратной связи.

Длительность первого импульса t1 (пропорциональная часть) зависит от величины сигнала рассогласования и коэффициента передачи αп инерционного RC-звена 5.

Интегрирование последующих импульсов дает интегральную часть регулятора, которая характеризуется величиной постоянной времени интегрирования τи инерционного звена 5.

Коэффициент передачи αп и постоянная времени интегрирования τи регулируются при помощи переменных резисторов в цепях заряда и разряда активного инерционного RC-звена 5.

Длительность интегральных импульсов tи на выходе устройства регулируется при помощи дополнительной положительной обратной связи, поступающего с RC-звена 5 на вход операционного усилителя 3 и расширяющего зону возврата ∆в нуль-органа 4 при срабатывании. Во время паузы этот сигнал отсутствует.

Минимальная длительность импульса формируется при малых сигналах рассогласования. При увеличении сигнала рассогласования длительность импульса увеличивается. Минимальная длительность импульса устанавливается органом tи, определяет статическую точность регулирования в системе регулирования.

Контроль срабатывания устройства по направлениям работы осуществляется при помощи световых индикаторов «М» и «Б». Для контроля работы устройства служат контрольные гнезда «0» - «Y3». Питание электрической схемы устройства осуществляется от источника питания 6.

Схема предусматривает подключение к регулятору РП4-Т внешнего потенциометрического задатчика РЗД-12 сопротивлением 10 кОм.

Термопара подключается к регулятору через коробку холодных спаев КХС4, которая служит для компенсации влияния окружающей температуры на термо-э.д.с. термопары.

Схема соединений коробки холодных спаев КХС4 представлена на рисунке 10.

R8 65,7 Ом

R7 90,9 Ом

R6 14,5 Ом

R5 6,04 Ом

8Р

ХА

ХК

ПП

2кОм

53 Ом

2кОм

R4

R3

ЭСМ-03гр.23

R2

R1

Выход

Выход

ТХК (+)

ТХК (-)

Питание

**-**

**+**

1

2

-

+

Рис. 10 – Коробка холодных спаев КХС4.

Схема представляет собой мост, образованный резисторами R1, R2, R3, R4. Резистор R1 – медный. Питание моста осуществляется от регулятора РП4-Т напряжением постоянного тока. Изменение чувствительности измерительного моста КХС4 в зависимости от типа термопары осуществляется путем изменения напряжения, подаваемого на вход измерительного моста. Это в коробке холодных спаев осуществляется путем переключения перемычки, подключающей параллельно входу моста соответствующий резистор R5 – R8. В зависимости от используемой термопары (в нашем случае ТХК) перемычка в КХС4 устанавливается на соответствующие контакты.

Рабочие параметры регулятора РП4-Т имеют следующие номинальные диапазоны:

- плавной установки зоны нечувствительности «Δ» 0.2-2 % диапазона изменения входного сигнала;

- плавной установки коэффициента передачи «αп» 0.5-5 c / %;

- плавной установки постоянной времени интегрирования «τи» 5-500 c;

- плавной установки постоянной времени демпфирования «Тф» 0-10 c;

- плавной установки минимальной длительности импульса «tи» 0.1-1 c;

- плавной установки коэффициента масштабирования устройства 0-1;

- действия внешнего реостатного задатчика ± 5 %;

- действия «корректора» ± 5 %.

Питание регулирующего устройства РП4\_т осуществляется от однофазной сети переменного тока напряжением 220 В 50 Гц.

Потребляемая мощность не более 15 ВA.

Регулирующее устройство РП4-Т не имеет гальванической развязки между входными и выходными цепями. В регуляторе обеспечивается дискретная трехступенчатая дистанционная подстройка коэффициента передачи в диапазоне 0.5 – 5 c / % и постоянной времени интегрирования в диапазоне 5–500 c с кратностью 10 от установленного значения в сторону увеличения.

ц ошибка;ется а РП4-ТРУ-32лы задатчика соответствуют 20 и возвращается в режим аписи новых установленных значений в энергонезавФункциональная связь между входными сигналами регулирующего устройства и положением выходного органа исполнительного механизма имеет вид:

, (1)

где y – значение выходного сигнала;

ε – значение входного сигнала;

τи – постоянная времени интегрирования, с.

Коэффициент пропорциональности регулятора, образованного регулирующим устройством РП4-Т и исполнительным механизмом постоянной скорости, определяется выражением:

, (2)

где Кп – коэффициент пропорциональности регулятора;

αп – коэффициент передачи регулирующего устройства, с / %;

Тим – время 100 % хода исполнительного механизма, с.

**2 Подготовка регулирующего устройства РП4-Т к работе**

Подготовка регулирующего устройства заключается в установке всех органов настройки параметров, расположенных на боковой панели управления, на начальные значения.

Расположение органов установки параметров показано на рисунке 11.

Y1

Y2

αп

τи

tи

Δ

Y3

0

корректор

Тф

α1

Рис. 11 – Расположение органов установки параметров.

На панели управления установлены следующие органы настройки, с начальными значениями параметров:

«α1» - масштабирование входного сигнала, 0.2;

«Тф» - установка постоянной времени демпфирования, 6 с;

«корректор» - балансировка устройства, 0;

«αп» - установка коэффициента передачи регулятора, 5.0 с / %;

«τи» - установка постоянной времени интегрирования, 15 с;

«Δ» - установка требуемого значения зоны нечувствительности, 2.0 %;

«tи» - установка длительности интегральных импульсов, 0.4 с;

«0» - гнездо общее;

«Y1» - гнездо для контроля работы входной схемы;

«Y2» - гнездо для контроля работы усилителя регулирующей схемы;

«Y3» - гнездо для контроля работы интегратора обратной связи.

В регулирующем устройстве РП4-Т значение коэффициента передачи устанавливается органом «αп» на панели управления. Значение постоянной времени интегрирования устанавливается органом «τи» на панели управления. При определенных соотношениях параметров настройки «αп», «tи» и «Δ» возможен автоколебательный режим работы устройства, что фиксируется по поочередному включению индикаторов «Б» и «М» на передней панели. Условием отсутствия автоколебаний является выполнение следующего соотношения: tи / αп < Δ.

**3 Методы настройки промышленных регуляторов**

Параметры настройки регуляторов должны быть выбраны такими, чтобы в замкнутой автоматизированной системе регулирования (АСР) был обеспечен заданный запас устойчивости; при этом выбранный показатель качества регулирования должен быть не хуже требуемого (или должен иметь экстремальное значение).

Поскольку в теории автоматического регулирования запас устойчивости может быть оценен по-разному, а также используются различные показатели качества регулирования, в инженерных расчетах применяются несколько методов определения оптимальных параметров настройки регуляторов.

Ниже рассмотрены наиболее распространенные из них.

**3.1 Формульный метод определения настроек регулятора**

В практике наладочных работ широко используют приближенные формулы для определения оптимальных параметров настройки регуляторов. Метод используется для быстрой, приближенной оценки значений параметров настройки регулятора для трех видов оптимальных типовых процессов регулирования. Метод применим как для статических объектов с самовыравниванием (таблица 1), так и для объектов без самовыравнивания (таблица 2).

Таблица 1 - Формульный метод определения настроек регулятора для статических объектов с самовыравниванием.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Регулятор | Типовой процесс регулирования | | |
| Апериодический | С 20% перерегулированием | Jmin |
| И |  |  |  |
| П |  |  |  |
| ПИ |  |  |  |
| ПИД |  |  |  |

где T, τ, Коу - постоянная времени, запаздывание и коэффициент усиления объекта. В этих формулах предполагается, что настраивается регулятор с зависимыми настройками, передаточная функция которого имеет вид:

, (3)

где *Kp* – коэффициент усиления регулятора;

*Tи* – постоянная интегрирования регулятора;

*Tд*– постоянная дифференцирования.

Таблица 2 – Формульный метод определения настроек регулятора для статических объектов без самовыравнивания.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Регулятор | Типовой процесс регулирования | | |
| Апериодический | С 20% перерегулированием |  |
| П |  |  | - |
| ПИ |  |  |  |
| ПИД |  |  |  |

**3.2 Оптимальная настройка регуляторов по номограммам**

В отличие от формульного метода, метод расчета по номограммам позволяет более точно определить настройки регулятора, т.к. учитывает наличие нелинейной зависимости между параметрами настройки регулятора и величиной отношения *τ/Т*.

Существуют номограммы для расчета настроек ПИ- и ПИД-регуляторов для объектов первого и второго порядков с запаздыванием [1].

Номограмма для настроек ПИ-регулятора представлена на рисунке 12.

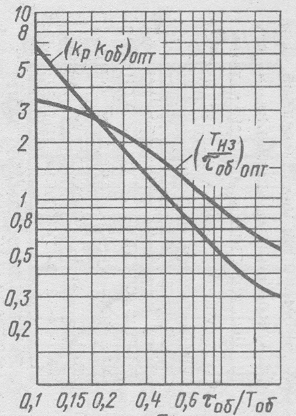


Рис. 12 – Номограмма для расчета настроек ПИ-регулятора.

Предположим, что объект управления описывается звеном первого порядка с запаздыванием, а оптимальный процесс регулирования – это процесс с 20%-ным перерегулированием. Следует иметь в виду, что современные электронные и микропроцессорные регуляторы реализуют ПИ- и ПИД-законы регулирования с зависимыми настройками, а пневматические регуляторы – с независимыми настройками вида

. (4)

Дифференциальная составляющая промышленных регуляторов обычно реализуется в виде

, (5)

где *Kpд* – коэффициент усиления регулятора по дифференциальной составляющей (выбирается в диапазоне 1 – 10);

*Tf* – постоянная времени фильтра.

Эти параметры определяются из соотношения

. (6)

Чем выше уровень помех в выходном сигнале объекта, тем меньше рекомендуется брать величину *Kpд*. Это будет способствовать уменьшению величины средней квадратичной ошибки регулирования.

**3.3 Расчет настроек по частотным характеристикам объекта**

Существует специальная аппаратура для экспериментального определения амплитудно-фазовой характеристики АФХ объекта управления. Эту характеристику можно использовать для расчета настроек ПИ-регулятора, где главным критерием является обеспечение заданных запасов устойчивости в системе.

Запасы устойчивости удобно характеризовать показателем колебательности системы *M*, величина которого в системе с ПИ- регулятором совпадает с максимумом амплитудно-частотной характеристики замкнутой системы. Для того чтобы этот максимум не превышал заданной величины, АФХ разомкнутой системы не должна заходить внутрь окружности с центром *P0* и радиусом *R*, где

, . (7)

Можно доказать, что оптимальными, по минимуму среднеквадратичной ошибки регулирования настройками будут такие, при которых система с показателем колебательности *М ≤ Мз* будет иметь наибольший коэффициент при интегральной составляющей, чему соответствует условие *Kp / Tи → min*.

В связи с этим расчет оптимальных настроек состоит из двух этапов:

1. Нахождение в плоскости параметров *Kp* и *Tи* границы области, в которой система обладает заданным показателем колебательности *Мз*.

2. Определением на границе области точки, удовлетворяющей требованию *Kp / Tи → min.*

**3.3.1 Методика расчета настроек ПИ регулятора по АФХ объекта**

1. Строится семейство амплитудно-фазовых характеристик разомкнутой системы при *Kp* = 1 и различных значениях *Tij* (5-6 значений).

. (8)

2. Задаются значением показателя колебательности *M*, из диапазона 1.55 ≤ *M* ≤ 2.3 (рекомендуется *М* = 1.6). Из начала координат проводят прямую OE под углом

, (9)

где *Мз* - выбранное значение показателя колебательности.

3. Строится семейство окружностей, касающихся *АФХ0j*прямой OE под углом *β*, причем центр окружностей все время лежит на отрицательной действительной оси. В результате построения определяются радиусы этих окружностей *Rj*.

4. Для каждой окружности вычисляют предельное значение *Kp* .

5. По значениям *Kpj* и *Kij* строят границу области заданного показателя колебательности.

6. На этой границе определяют точку, для которой отношение *Kp / Tи* максимально.

Существует упрощенная методика настройки ПИ-регулятора по одной точке АФХ разомкнутой системы. В основу методики положен следующий факт. В результате экспериментов и численных расчетов было установлено, что для различных типов объектов управления при оптимально настроенном ПИ-регуляторе АФХ разомкнутых систем проходят приблизительно через одну точку с амплитудой *Ap = 0.8*, фазой *φp = - 2.62 rad = - 150°* и частотой ωp.

**3.4 Экспериментальные методы настройки регулятора**

Для значительного числа промышленных объектов управления отсутствуют достаточно точные математические модели, описывающие их статические и динамические характеристики. В то же время, проведение экспериментов по снятию этих характеристик весьма дорого и трудоемко. Экспериментальный метод настройки регуляторов не требуют знания математической модели объекта. Однако предполагается, что система смонтирована и может быть запущена в работу, а также существует возможность изменения настроек регулятора. Таким образом, можно проводить некоторые эксперименты по анализу влияния изменения настроек на динамику системы. В конечном итоге гарантируется получение хороших настроек для данной системы регулирования. Существуют два метода настройки - метод незатухающих колебаний (метод Циглера и Никольса) и метод затухающих колебаний.

**3.4.1 Метод незатухающих колебаний**

В работающей системе выключаются интегральная и дифференциальная составляющие регулятора (*Tи = ∞, Tд = 0*), т.е. система переводится в П-закон регулирования. Путем последовательного увеличения *Kp* с одновременной подачей небольшого скачкообразного сигнала задания добиваются возникновения в системе незатухающих колебаний с периодом *Kkp*. Это соответствует выведению системы на границу колебательной устойчивости. При возникновении данного режима работы фиксируются значения критического коэффициента усиления регулятора *Kkp* и периода критических колебаний в системе *Tkp*. При появлении критических колебаний ни одна переменная системы не должна выходить на уровень ограничения. По значениям *Kkp* и *Tkp* рассчитываются параметры настройки регулятора:

П-регулятор: *Kp = 0.55 Kkp*;

ПИ-регулятор: *Kp = 0.45 Kkp*; *Tи = Tkp /1.2*;

ПИД-регулятор: *Kp = 0.6 Kkp*; *Tи = Tkp /2*; *Tд = Tkp /8* .

Расчет настроек регулятора можно производить по критической частоте собственно объекта управления *ωkp*. Учитывая, что собственная частота *ωkp* объекта управления совпадает с критической частотой колебаний замкнутой системы с П-регулятором, величины *Kkp* и *Tkp* могут быть определены по амплитуде и периоду критических колебаний собственно объекта управления.

При выведении замкнутой системы на границу колебательной устойчивости амплитуда колебаний может превысить допустимое значение, что в свою очередь приведет к возникновению аварийной ситуации на объекте или к выпуску бракованной продукции. Поэтому не все системы управления промышленными объектами могут выводиться на критический режим работы.

**3.4.2 Метод затухающих колебаний**

Применение этого метода позволяет настраивать регуляторы без выведения системы на критические режимы работы. Так же, как и в предыдущем методе, для замкнутой системы с П-регулятором, путем последовательного увеличения *Kp* добиваются переходного процесса отработки прямоугольного импульса по сигналу задания или возмущения с декрементом затухания *D = 1/4.*

Далее определяется период этих колебаний *Tк* и значения постоянных интегрирования и дифференцирования регуляторов *Tи* и *Tд*

Для ПИ-регулятора: *Tи = Tк /6*;

Для ПИД-регулятора: *Tи = Tк /6*; *Tд = Tк /1.5.*

После установки вычисленных значений *Tи* и *Tд*на регуляторе необходимо экспериментально уточнить величину *Kp* для получения декремента затухания *D = 1/4*. С этой целью производится дополнительная подстройка *Kp* для выбранного закона регулирования, что обычно приводит к уменьшению *Kp* на 20 ÷ 30%. Аналогичный метод настройки используется в адаптивных регуляторах американской фирмы "Фоксборо".

Большинство промышленных систем регулирования считаются качественно настроенными, если их декремент затухания *D* равен 1/4 или 1/5.

В настоящее время разработан новый метод настройки замкнутых систем управления, основанный на подаче пробных синусоидальных колебаний на вход регулятора. По амплитуде и фазе колебаний выходного сигнала объекта управления осуществляется расчет настроек ПИ-регулятора, исходя из условия обеспечения заданного показателя колебательности *M* и максимума отношения *Kp / Tи*.

**4 Экспериментальное определение модели объекта управления**

Для определения оптимальных параметров настройки регуляторов необходимы сведения о статических и динамических характеристиках объектов регулирования. Эти характеристики могут быть получены либо аналитически, либо путем активного эксперимента. При планировании эксперимента выбирают метод исследования динамики объекта, а также вид испытательного (с заранее известным характером изменения) воздействия.

Для ускорения определения динамических характеристик обычно используют *метод переходных характеристик* [2]. Этот метод прост, требует минимального количества аппаратуры и позволяет получить динамические характеристики объекта за короткий промежуток времени.

При определении переходной характеристики на вход объекта подают сигнал заданной формы и через определенные промежутки времени снимают показания выходной величины до установления состояния равновесия (установившийся режим).

По результатам проведенного эксперимента строится график переходной характеристики, по аналогии с рисунком 13, который несет в себе исходную информацию о модели объекта.

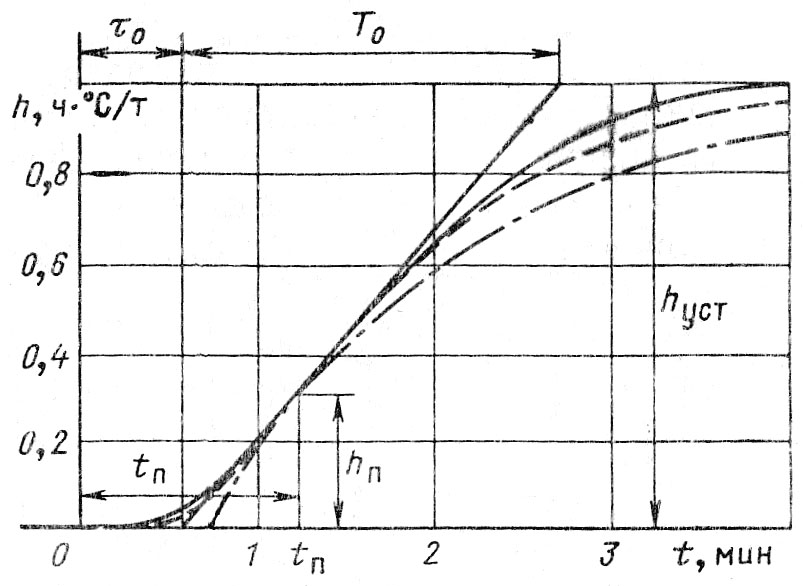


Рис. 13 – Экспериментальная переходная характеристика

статического объекта управления.

Такие характеристики часто называют *S* – образными.

Аппроксимируем переходную характеристику моделью, состоящей из запаздывающего звена и инерционного звена первого порядка

. (10)

По переходной характеристике определяют исходные данные для аппроксимации: *hуст, hп, tп, T0*.

Определяются значение положения точки перегиба

b = hп / hуст . (11)

Очевидно, что *k = hуст*. Требования, чтобы переходная характеристика инерционного звена первого порядка и производная от нее в некоторый момент времени приняли заданные значения *bk* и *k/T0*, записываются следующим образом

  . (12)

Отсюда легко найти постоянную времени аппроксимирующей модели

T1 = (1 – b) T0 . (13)

При найденном таким образом *Т1*время *t*, при котором выполняется условие аппроксимации, определяется по формуле

t = T1ln (*T0 / T1*). (14)

а время запаздывания

τ = tп – t. (15)

По номограмме (рисунок 14), используя найденные значения *T1*и *τ*, определяются оптимальные параметры настройки регулятора. Здесь следует учитывать, что  *τ / Т1* берется как *τоб / Тоб*.

Очевидно, что Коб = hуст. Тогда, с учетом выражения (2) коэффициент передачи регулятора определяется

**,** (4.7)

где *Тим* - время 100 % хода исполнительного механизма от одного конечного состояния до другого, с/ %.

Скорость исполнительного механизма *Тим* определяется экспериментально и составляет 195 с.

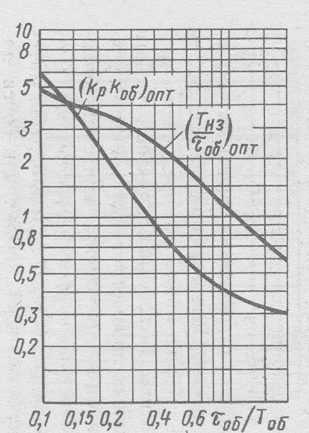


Рис. 14 – Номограмма для определения оптимальных параметров настройки регулятора РП4-Т.

**5 Задание на выполнение лабораторной работы**

5.1 Снять кривую разгона объекта управления, выполняя пункты 6.1 – 6.8 раздела 6. Результаты, полученные в ходе эксперимента, свести в таблицу.

Таблица 3 – Результаты эксперимента.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t, с | Θ, °С | t, с | Θ, °С | t, с | Θ, °С |
|  |  |  |  |  |  |

5.2 Построить график кривой разгона и определить исходные данные для аппроксимации *hуст, hп, tп, T0*, выполняя пункты 6.9 – 6.10 раздела 6.

5.3 Рассчитать оптимальные параметры настройки регулятора РП4-Т по методу настройки с помощью номограмм: *αп*, *τи*.

5.4 На основании полученных значений оптимальных параметров настройки построить график переходного процесса и провести анализ качества процесса регулирования, выполняя пункты 6.12 – 6.16 раздела 6.

5.5 Оформить отчет по лабораторной работе.

**6 Методические указания по выполнению лабораторной работы**

6.1 Включить питание стенда «пульт управления и контроля процесса» нажатием кнопки «Пуск».

6.2 Убедиться в соответствии параметров настройки регулятора РП4-Т, расположенных на боковой панели органов управления, начальным значениям в соответствии с разделом 2.

6.3 Записать начальное значение температуры объекта по показанию микропроцессорного измерителя температуры 2ТРМ0.

6.4 Установить ключ управления блока БРУ-32 в положение «Ручное».

6.5 Открыть верхние и нижние жалюзи (6) на корпусе печи, совместив отверстия (рисунок 2).

6.6 Включить питание стенда «тепловой объект».

6.7 Установить стрелку индикатора указателя положения исполнительного механизма на значение 30 %, оперируя кнопками блока ручного управления БРУ-32 «Больше» и «Меньше». При данном положении исполнительного механизма величина тока, которая регистрируется миллиамперметром, составляет 21 мА.

6.8 Приступить к записи показаний температуры по микропроцессорному измерителю через каждые 15 с. По истечении 3-х минут записывать показания температуры через 30 с. Показания снимать на протяжении 15 – 20 минут до установившегося режима (~ 75 – 80 °С).

6.9 Построить кривую кривую разгона *θ = f (t)*.

6.10 Провести касательную к кривой разгона *θ = f (t),* как показано на рисунке 13, и определить начальные данные *hуст, hп, tп, T0* для расчета параметров аппроксимирующей модели *Т1* и *τ*.

6.11 Произвести расчет оптимальных параметров настройки регулятора *τи* и *αп*.

6.12 Установить задание 35 % на шкале блока РЗД-12, что соответствует ~ 55 °С.

6.13 Перевести ключ блока БРУ-32 в положение «Автоматическое» и приступить к записи показаний текущих значений температуры по микропроцессорному измерителю.

6.14 Показания снимать с интервалом 30 с до установившегося режима, когда световые индикаторы «М» и «Б» на передней панели импульсного регулятора РП4-Т не горят.

6.15 Построить график функции *θ = f (t)*.

6.16 Провести анализ качества процесса регулирования по показателям качества: время регулирования tp,

перерегулирование ,

степень затухания .

6.17 Перевести ключ блока БРУ-32 в положение «Ручное».

6.18 Установить задание 0 % на шкале блока РЗД-12 и отключить питание стенда нажатием кнопки «Стоп».

**7 Содержание отчета**

7.1 Структурная схема САР регулирования температуры электрической печи.

7.2 Таблицы экспериментальных данных и графики, построенные по ним.

7.3 Результаты вычисления оптимальных настроек регулятора.

7.4 Выводы по качеству регулирования.

7.5 Ответы на контрольные вопросы.

**8 Контрольные вопросы**

8.1 Укажите основные характеристики ПИ-закона регулирования.

8.2 Какое требование должно выполняться при выборе параметров настройки регуляторов?

8.3 Какие методы настройки промышленных регуляторов вы знаете?

**Список использованных источников**

1 Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие/ А.С.Клюев и др.; Под ред. А.С.Клюева. – М:. Энергоатомиздат, 1989. с. 327 – 331.

2 Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. с. 83 – 87.

Учебное издание

Скороспешкин Владимир Николаевич

Аврамчук Валерий Степанович

**Локальная система автоматического регулирования температуры электрической печи на базе промышленного регулятора РП4-ТМ1**

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 7 по курсу «Основы автоматизации производственных процессов» для студентов, обучающихся по специальности 130501 - «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» и 130503 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Подписано к печати 21.01.2009. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».  Печать Xerox. Усл. печ. л. 0,81. Уч.-изд. л. 0,74.  Заказ ХХХ. Тираж 100 экз. | | |
|  | Томский политехнический университет  Система менеджмента качества  Томского политехнического университета сертифицирована  NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000 |  |
| . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. | | |