

УДК 621.3.078

О.Н. Федонин, В.А. Хандожко, В.П. Матлахов

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ В ТРЕХЗОННОЙ ПЕЧИ С МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ ФИРМЫ «ОВЕН»

Рассмотрена система автоматического управления температурой в камерах трехзонной печи с алгоритмом ПИД-регулирования. Представлен учебный стенд, имитирующий работу трехзонной печи (с независимым управлением каждой из трех зон), с микропроцессорными ПИД-регуляторами модели ТРМ101 фирмы «ОВЕН», который может работать как автономно, так и под управлением SCADA-системы.

Ключевые слова: система автоматического управления, автоматизированное производство, учебный стенд, трехзонная печь.

В технологических процессах термической обработки металлов, сплавов и керамики точное поддержание температуры является необходимым условием выпуска качественной продукции. Двухпозиционные системы автоматического регулирования [1] не обеспечивают точного поддержания температуры при внешних возмущениях.

Для изучения автоматического регулирования температуры в лаборатории кафедры «Автоматизированные технологические системы» ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет» был создан стенд «Трехзонная печь». Как и в промышленных печах, температура в каждой из зон стенда регулируется независимо от других зон. Так, первая зона может быть зоной нагрева, вторая – зоной выдержки, а третья – зоной охлаждения, имитируя движение детали по конвейеру в ходе технологического процесса.

Для точного поддержания температуры используется система автоматического управления с регулированием по отклонению (рис. 1). Задающее устройство определяет установленную технологическую температуру, которая сравнивается с фактической температурой, измеренной датчиком обратной связи. Ошибка рассогласования подается на микропроцессорный ПИД-регулятор, далее усиливается твердотельным реле и подается на нагревательный элемент термопечи. Для имитации внешнего возмущения (поток воздуха при открывании двери печи) используется вентилятор.



Рис. 1. Схема системы автоматического управления температурой в трехзонной печи

Для реализации стенда было выбрано оборудование фирмы «ОВЕН»: микропроцессорный ПИД-регулятор ТРМ101 и эмулятор печи ЭП10. Прибор ТРМ101 выполняет функции задающего устройства, ПИД-регулятора, показывающего устройства и компью-

терного интерфейса. Возможны как автономная работа регулятора, так и управление от SCADA-системы. Эмулятор печи ЭП10 содержит нагревательный элемент и термосопротивление. Аналоговое управляющее воздействие (задание цифро-аналогового преобразователя) поступает на вход твердотельного реле КИПРИБОР.

Конструктивно стенд состоит из двух шкафов (рис. 2). Первый имитирует объект управления - трехзонную печь. В нем смонтированы эмуляторы печи, твердотельные реле и вентилятор. Второй шкаф является шкафом управления. В нем смонтированы блок питания, реле, переключатели, кнопки и регулятор скорости вращения вентилятора. Структурная схема стенда представлена на рис. 3.



Рис. 2. Внешний вид стенда «Трехзонная печь» на базе приборов фирмы «ОВЕН»

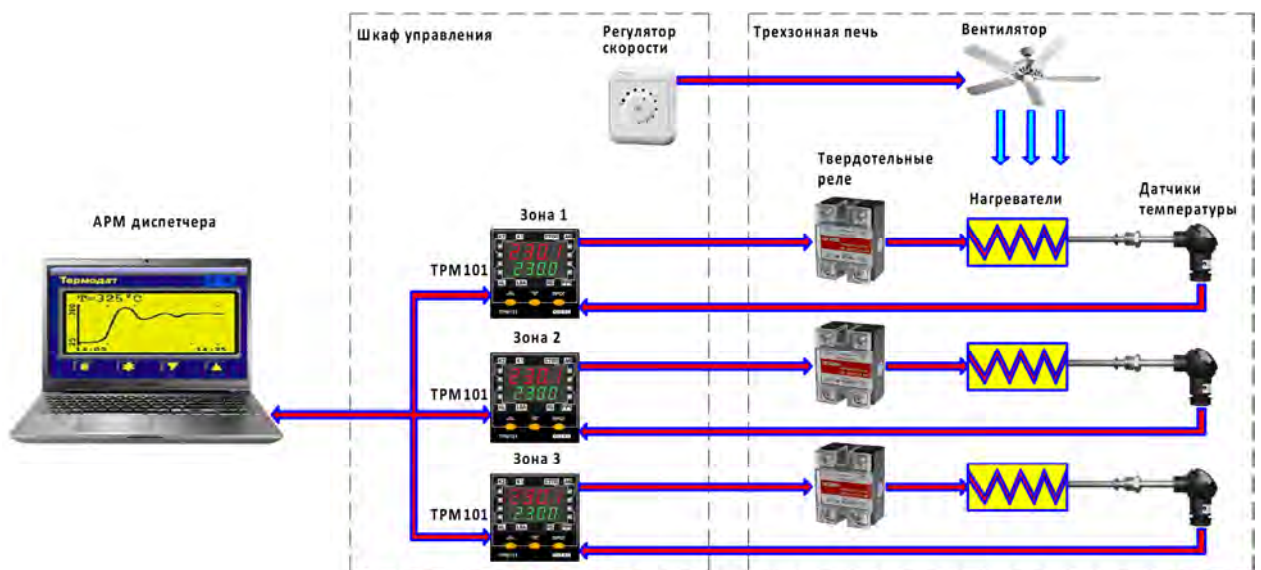


Рис. 3. Структурная схема стенда «Трехзонная печь»

Основой стенда является микропроцессорный измеритель-регулятор модели ТРМ101 фирмы «ОВЕН», который благодаря своим особенностям и функциональным возможностям нашел широкое применение в системах контроля и регулирования производственных технологических процессов в различных областях промышленности, сельском и коммунальном хозяйстве. Он предназначен для измерения и автоматического регулирования температуры (при использовании в качестве первичных преобразователей термометров сопротивления или термоэлектрических преобразователей), а также других физических параметров, значение которых первичными преобразователями (датчиками) может быть преобразовано в напряжение постоянного тока или унифицированный электрический сигнал постоянного тока. Информация о любом из измеренных физических параметров может отображаться в цифровом виде на встроенном индикаторе.

Прибор может выполнять следующие функции:

- измерение температуры или другой физической величины;
- регулирование измеряемой величины по ПИД-закону путем импульсного или аналогового управления или по двухпозиционному закону;
- автонастройка ПИД-регулятора на установленном объекте;
- ручное управление выходной мощностью ПИД-регулятора;
- определение аварийной ситуации при выходе измеряемого параметра за заданные границы и при обрыве в контуре регулирования;
- обнаружение ошибок работы и определение причины неисправности;
- работа в сети, организованной по стандарту RS-485, что позволяет задавать необходимые режимы работы прибора и осуществлять контроль;
- дистанционное управление запуском и остановкой регулирования.

Структурная схема измерителя-регулятора представлена на рис. 4.

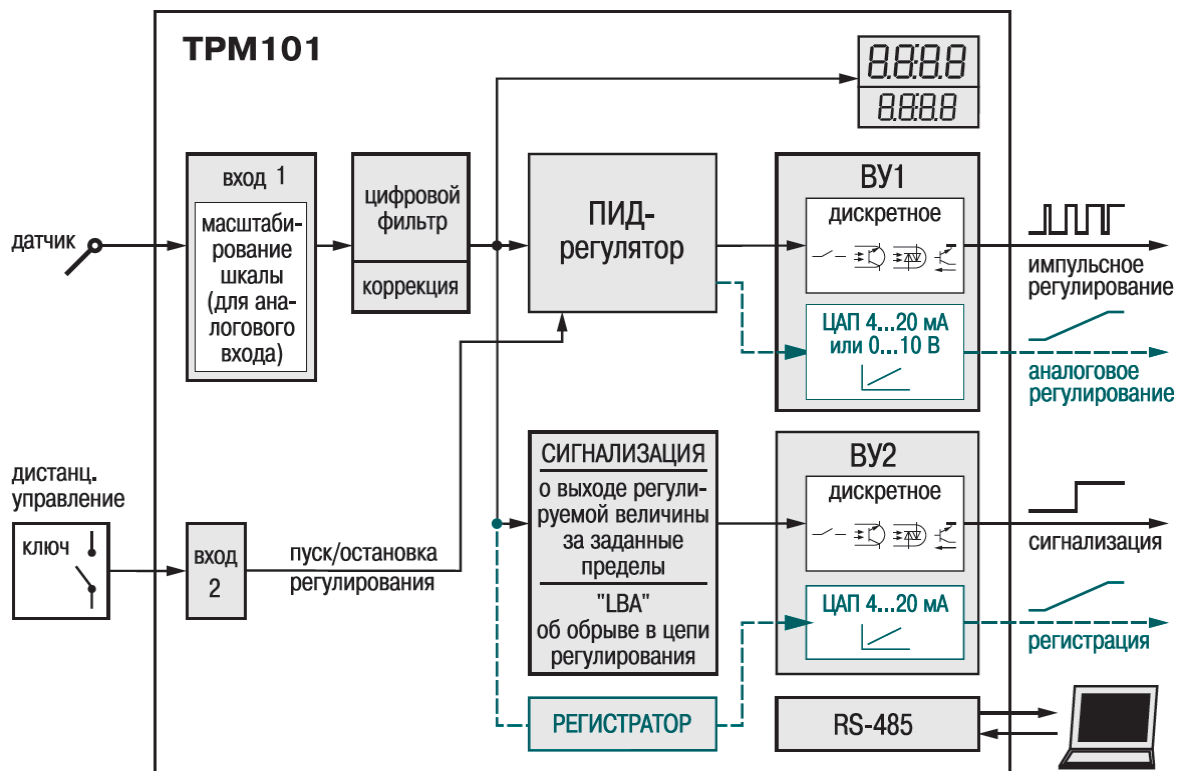


Рис. 4. Структурная схема ТРМ101: ВУ1 - выходное устройство 1; ВУ2 - выходное устройство 2



Рис. 5. Внешний вид измерителя-регулятора модели TPM101

ни автонастройки; гаснет при удачном завершении автонастройки; мигает, если автонастройка закончена неудачно;

- РУЧ – светится в режиме ручного управления выходным сигналом ПИД-регулятора.

В процессе работы прибор выполняет опрос входных датчиков, вычисляя по полученным данным текущие значения измеряемых величин, отображает их на цифровом индикаторе и выдает соответствующие сигналы на ВУ.

К измерительному входу можно подключать любые из следующих датчиков: термометры сопротивления (ГОСТ Р 8.625), термоэлектрические преобразователи (ГОСТ Р 8.585-2001), а также - для измерения других физических параметров - датчики с унифицированными сигналами постоянного тока и напряжения от 4 до 20 мА, от 0 до 20 мА, от 0 до 5 мА (ГОСТ 26.011-80) и сигналами постоянного напряжения -50...+50мВ.

К дополнительному входу подсоединяют ключ, позволяющий изменять режимы работы прибора (рис. 4). Ключом осуществляется запуск и остановка процесса регулирования. Запуск регулятора можно программно задавать как на замыкание, так и на размыкание ключа. Логическое состояние ключа соответствует его электрическому сопротивлению: «замкнуто» – от 0 до 1 кОм; «разомкнуто» – более 100 кОм.

Выходные устройства могут быть дискретного или аналогового типа. Аналоговый выход реализует ШИМ-регулирование с управляемой частотой следования импульсов. Для защиты от помех имеется программный фильтр низких частот, устраняющий как сильные единичные помехи, так и шумовые составляющие сигнала. Предусмотрена коррекция номинальной статической характеристики датчиков для поддержания необходимой точности измерений.

Для корректной работы прибор необходимо защищать от различных внешних воздействий и электромагнитных помех. Для этой цели рекомендуется использовать помехоподавляющий фильтр в цепи питания прибора, а в цепи управления параллельно выходным коммутирующим контактам установить искрогасящие элементы, например RC-цепочку. Кроме аппаратной защиты существует возможность использовать программный цифровой фильтр низких частот, подавляющий помехи двух видов [2].

1. Фильтр устраняет сильные единичные помехи. Если измеренное значение T_i отличается от предыдущего T_{i-1} на величину, большую чем значение параметра F_v (заданная полоса фильтра), то прибор присваивает ему значение, равное $T_{i-1} + F_v$. Таким образом характеристика сглаживается. Малая ширина полосы фильтра приводит к замедлению ре-

Внешний вид измерителя-регулятора представлен на рис. 5.

Возможны различные варианты индикации светодиодами на внешней панели:

- K1 – включено ВУ 1;
- K2 – включено ВУ 2;
- АЛ – мигает при выходе регулируемой величины за заданные пределы;
- LBA – мигает, если обнаружен обрыв в цепи регулирования;
- СТОП – постоянное свечение, если регулятор остановлен; мигает, если остановка регулятора произошла из-за аварии LBA или аппаратной ошибки;
- RS – засвечивается на 1 с в момент передачи данных компьютеру;
- АН – постоянное свечение при выполнении автонастройки; гаснет при удачном завершении автонастройки; мигает, если автонастройка закончена неудачно;

акции прибора на быстрое изменение входной величины. Поэтому при низком уровне помех или работе с быстроменяющимися процессами рекомендуется увеличить значение полосы фильтра или отключить действие этого параметра. При работе в условиях сильных помех для устранения их влияния на работу прибора необходимо уменьшить значение полосы фильтра.

2. Фильтр устраняет шумовые составляющие сигнала, осуществляя его экспоненциальное сглаживание. Основной характеристикой экспоненциального фильтра является постоянная времени τ_f – интервал, в течение которого сигнал достигает 0,63 от значения каждого измерения T_i . При больших значениях τ_f фильтр вносит значительное запаздывание, но шумы заметно подавлены. При τ_f , близких к нулю, фильтр довольно точно отслеживает изменения входного сигнала, но уровень шума практически не уменьшается. При установке оптимальных значений параметров фильтра задержка сигнала, вносимая фильтром, не будет оказывать отрицательного влияния на процесс регулирования, при этом сохранится эффективность подавления помех.

С целью устранения начальной погрешности преобразования входных сигналов и погрешностей, вносимых соединительными проводами, измеренное прибором значение может быть откорректировано. В приборе есть два типа коррекции, позволяющие осуществлять сдвиг или наклон характеристики на заданную величину. Для компенсации погрешностей $\Delta R = R_0 - R_{0.TCM}$ вносимых сопротивлением подводящих проводов R_{TCM} (при использовании двухпроводной схемы подключения ТС), к каждому измеренному значению параметра $T_{изм}$ прибавляется заданное пользователем значение δ (сдвиг характеристики датчика). На рис. 6 приведен пример сдвига характеристики для датчика Cu 50 ($\alpha=0,00426 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Для компенсации погрешностей датчиков при отклонении значения α от номинального каждое измеренное значение параметра $T_{изм}$ умножается на заданный пользователем поправочный коэффициент β (наклон характеристики датчика). Коэффициент задается в пределах от 0,5 до 2,0. На рис. 7 приведен пример изменения наклона характеристики для датчика Cu 50 ($\alpha=0,00426 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

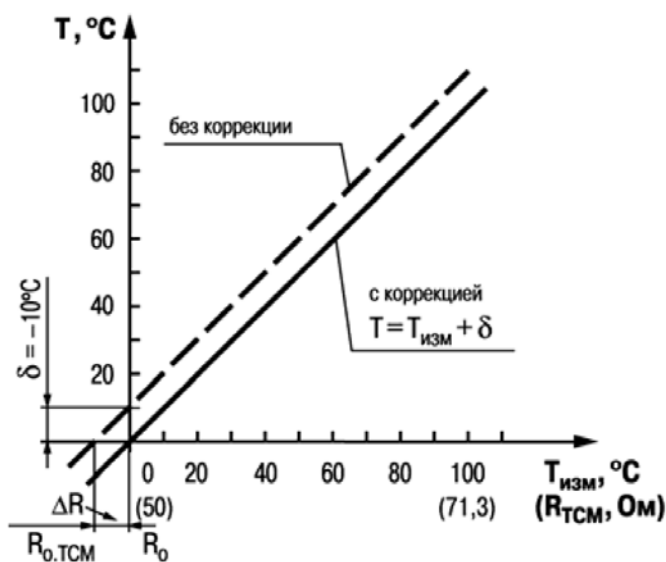


Рис. 6. Сдвиг характеристики для датчика Cu 50 ($\alpha=0,00426 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

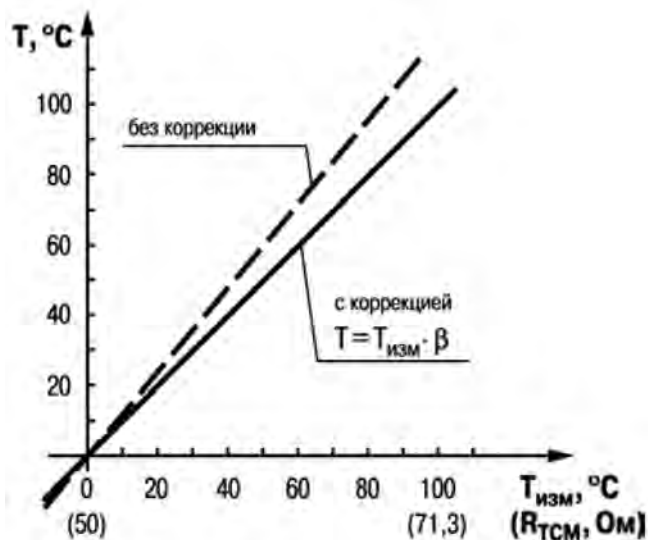


Рис. 7. Изменение наклона характеристики для датчика Cu 50 ($\alpha=0,00426 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

Для более эффективного контроля за процессами регулирования в приборе есть логическое устройство, работающее по принципу компаратора, а также устройство определения обрыва контура ЛВА. Оба устройства управляют различными сигнализирующими

устройствами: сиренами, лампами, блокировочными выключателями, блоками принудительного (аварийного) охлаждения или нагревания и т.п. Сигналы аварийной сигнализации коммутируются через схему «ИЛИ» и могут управлять только ВУ ключевого типа. О срабатывании логического устройства свидетельствует соответствующий светодиод на лицевой панели (AL или LBA).

В контуре регулирования имеется сигнализация об обрыве. Её действие основано на том, что если значение регулируемого параметра не меняется в течение определенного времени при подаче максимального (минимального) управляющего воздействия, то в контуре регулирования произошел обрыв, тогда на соответствующий выход выдается сигнал. Работа сигнализации об обрыве контура определяется двумя параметрами: временем диагностики обрыва контура и шириной зоны диагностики обрыва контура. Устройство выдает сигнал тревоги, если по истечении времени диагностики обрыва контура измеренное значение не изменилось. При этом регулятор отключается.

Встроенные выходные устройства предназначены для передачи управляющего сигнала на исполнительные механизмы или передачи данных на регистрирующее устройство. Ключевое ВУ – электромагнитное реле, транзисторная оптопара, оптосимистор, выход для управления твердотельным реле – используется либо для управления исполнительным механизмом при регулировании, либо для управления сигнализирующим устройством. В режиме ПИД-регулирования осуществляется импульсное управление по принципу ШИМ с периодом следования импульсов $T_{сл}$ и длительностью каждого импульса $D_i = Y_i T_{сл}$, где Y_i – относительная мощность, %.

ВУ ключевого типа применяется для управления (включения/выключения) нагрузкой либо непосредственно, либо через более мощные управляющие элементы, такие как пускатели, твердотельные реле, тиристоры или симисторы. ВУ аналогового типа используется для осуществления аналогового управления при ПИД-регулировании или для выдачи сигналов на устройство, регистрирующее контролируемую величину в течение процесса регулирования.

ВУ аналогового типа в приборе – это цифро-аналоговый преобразователь, который формирует токовую петлю 4...20 мА или напряжение 0...10 В и, как правило, используется для управления электронными регуляторами мощности. При аналоговом управлении выходной сигнал (ток/напряжение) ЦАП пропорционален значению выходного сигнала регулятора. При работе в режиме регистратора прибор сравнивает величину на входе с заданными значениями и выдает на соответствующее ВУ аналоговый сигнал в виде тока от 4 до 20 мА либо напряжения от 0 до 10 В, который можно подавать на самописец или другое регистрирующее устройство.

В качестве объекта управления в данном стенде используется эмулятор печи фирмы «ОВЕН» ЭП10, представляющий собой миниатюрную печь и предназначенный для проведения экспериментов в процессе наладки с применением терморегуляторов [3]. Функциональная схема эмулятора представлена на рис. 8, схема подключения к терморегулятору - на рис. 9.

Технические характеристики ЭП10:

- напряжение питания переменного тока частотой 50 Гц - 220±10В;
- мощность встроенного нагревателя - 10 Вт;
- встроенный измеритель температуры - ТСМ 50М;
- максимальная допустимая рабочая температура - 125 °С;
- управление включением нагрева от выходного элемента терморегулятора (электромагнитного реле или симисторной оптопары);
- светодиодная индикация при включении нагрева;
- габаритные размеры - 145x105x65 мм;
- относительная влажность воздуха (при +25 °С) - не более 80%;

- степень защиты корпуса - IP20.

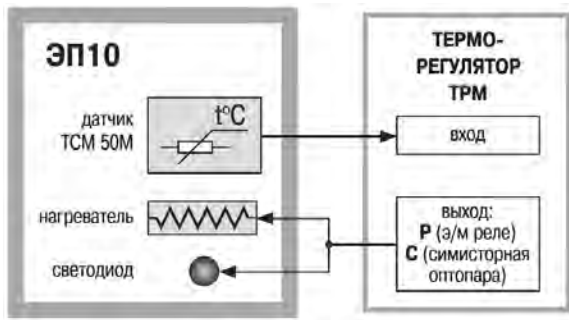


Рис. 8. Функциональная схема ЭП10

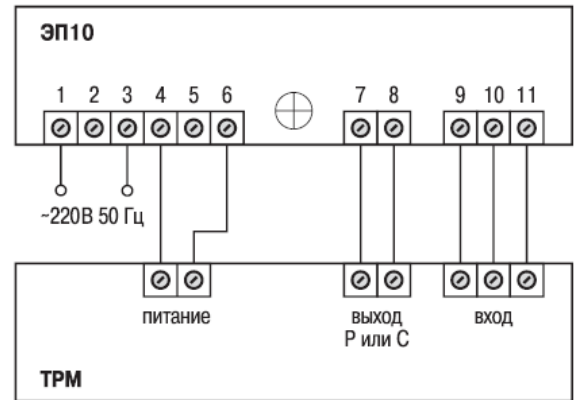


Рис. 9. Схема подключения ЭП10 к терморегулятору

Интерфейс связи предназначен для включения прибора в сеть, организованную по стандарту RS-485. Использование прибора в сети RS-485 позволяет осуществлять следующие функции:

- сбор данных об измеряемых величинах и протекании процессов регулирования в системе SCADA;
- установку параметров прибора с помощью программы-конфигуратора;
- дистанционное управление процессом регулирования и автонастройки с помощью программы-конфигуратора, работающей в среде Windows.

Цель создания стенда – это изучение современных микропроцессорных средств автоматизации и возможностей ПИД-регулирования в рамках дисциплин кафедры и курсов повышения квалификации для инженеров КИПиА. В частности, на стенде можно выполнять исследовательские работы по изучению настройки ПИД-регулятора с учетом внешнего возмущения, аппаратному обеспечению автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и программированию системы автоматического управления температурой в серийной термической камере. Разработанная система управления может быть установлена на серийно изготавливаемое термическое оборудование для автоматизированного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федонин, О.Н. Разработка автоматизированной системы управления влажностью в сушильной камере на базе приборов фирмы «ОВЕН»/О.Н. Федонин, В.А. Хандожко, В.П. Матлахов// Вестник Брянского государственного технического университета. - 2014. - №2(42). - С.80-85.
2. ТРМ101. Измеритель-регулятор микропроцессорный. Руководство по эксплуатации. – М.: ОВЕН, 2011. – 98 с.
3. Эмулятор печи ЭП10. Руководство по эксплуатации. - М.: ОВЕН, 2012. - 2 с.

Материал поступил в редколлегию 8.06.15.