

ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Разработана автоматическая система управления (АСУ) измерителем-регулятором с ПИД-регулированием. Приведены результаты моделирования АСУ.

Ключевые слова: АСУ, ПИД-регулятор, отклонения регулируемой величины, структурная схема, колебательный процесс, лабораторное оборудование.

R. T. Yemelyanov, E.S. Spirin,
K.V. Kirilov, A.V. Tsygankova

THE STUDY OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM WITH THE PROPORTIONAL-INTEGRAL-DIFFERENTIAL CONTROL

The automatic control system (ACS) of meter-controller with PID control is developed. The simulation results of ACS are given.

Key words: ACS, PID-controller, controlled value deviations, structural scheme, oscillation process, laboratory equipment.

В системах автоматического регулирования поддержание заданного значения регулируемого параметра или изменение его по определенному закону обеспечивается аппаратными средствами, автоматическими регуляторами. Применяемые пропорциональный (П) и пропорционально-интегральные (ПИ) регуляторы не могут упреждать ожидаемое отклонение регулируемой величины и реагируют только на уже имеющееся отклонение [1–3]. Дополнительное регулирующее воздействие, пропорциональное скорости отклонения регулируемой величины от заданного значения, обеспечивает пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор. На выходе регулятора вырабатывается выходной (управляющий) сигнал Y , действие которого направлено на уменьшение рассогласования текущего значения контролируемой величины от заданного

$$Y_i = \frac{1}{X_p} (E_i + \tau_D \frac{E_i}{\Delta t_{изм}} + \frac{1}{\tau_u} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{изм}) 100\%, \quad (1)$$

где X_p – полоса пропорциональности; E_i – разность между заданным $T_{уст}$ и текущим T_i значением измеряемой величины, или рассогласование; τ_D – постоянная времени дифференцирования; $\Delta t_{изм}$ – время между двумя соседними измерениями T_i и T_{i-1} ; τ_u – постоянная времени интегрирования.

Для эффективной работы ПИД-регулятора требуется установить правильные коэффициенты X_p , τ_D , τ_u . Для импульсного управления выходной сигнал преобразуется в последовательность управляющих импульсов с длительностью

$$D = Y_i \frac{T_{сл}}{100\%},$$

где $T_{сл}$ – период следования импульсов.

На рисунке 1 приведено лабораторное оборудование АСУ нагревательной печи.

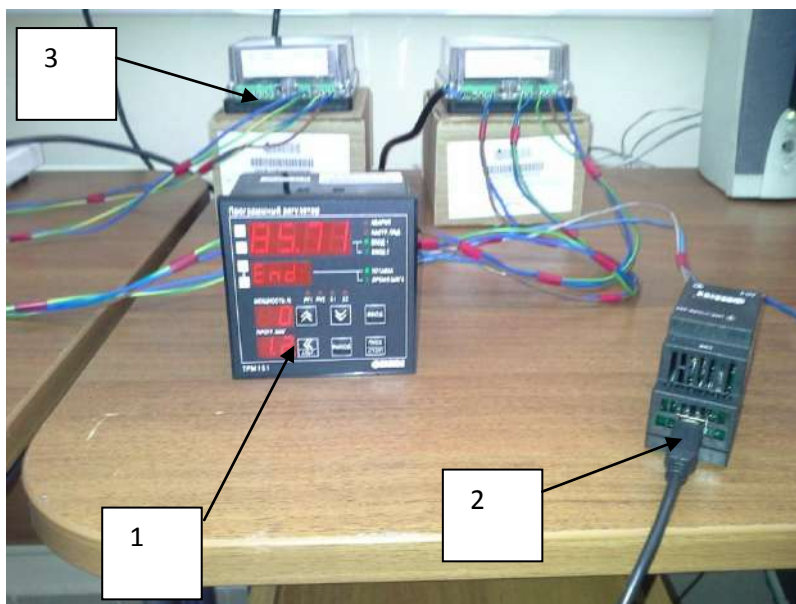


Рис. 1. Общий вид лабораторного оборудования: 1 – универсальный программный ПИД-регулятор; 2 – преобразователь интерфейсов; 3 – нагревательная печь

Температура в печи определится уравнением (1)

$$\tau_{abc} = \frac{Q_{abc}}{k_{abc} \cdot F_{abc}} \left[1 - \exp \frac{-t \cdot k_{abc} \cdot F_{abc}}{m_{abc} \cdot c_{abc}} \right] + \tau_0, \quad (2)$$

где Q_{abc} – количество теплоты, выделяемое печью за время $d\tau$; c_i – средняя удельная теплоемкость печи; K_{abc} – коэффициент теплопередачи; F_{abc} – площадь внешней поверхности элементов печи; m_{abc} – масса элементов печи; τ_0 – текущая температура в печи.

Структурная схема температурного состояния печи представлена на рисунке 2. Для моделирования поведения динамических систем, к которым относится и система теплового состояния печи, используются ЭВМ. Существует большое количество алгоритмических языков, на которых может быть выполнено решение задачи. Выбор того или иного языка программирования зависит от многих условий. Часто решающую роль оказывает удобство программирования, наличие проверенных математических методов, легкость представления результатов моделирования. Такими особенностями обладает пакет MATLAB, содержащий в своем составе инструмент визуального моделирования SIMULINK.

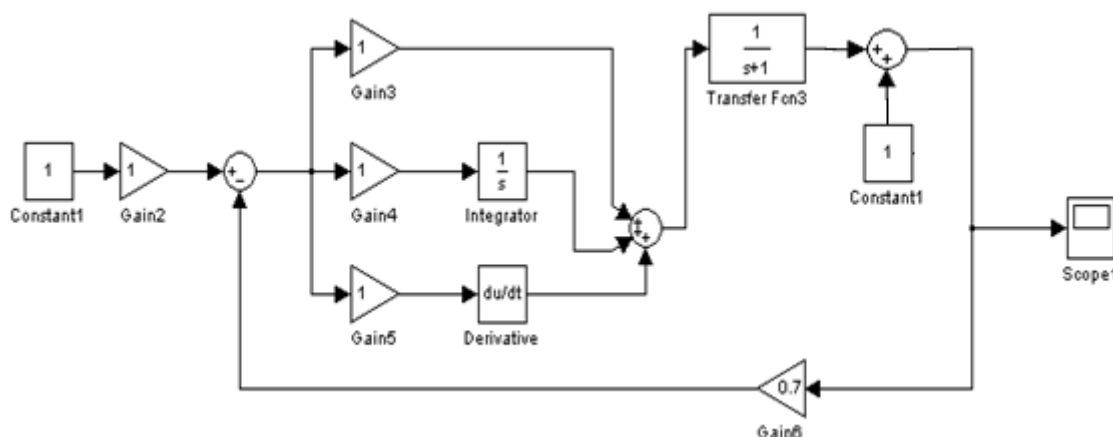


Рис. 2. Структурная схема АСУ печи с ПИД-регулированием

Модель, описывающая зависимость (2) в среде «Matlab+ Simulink», приведена на рисунке 3.

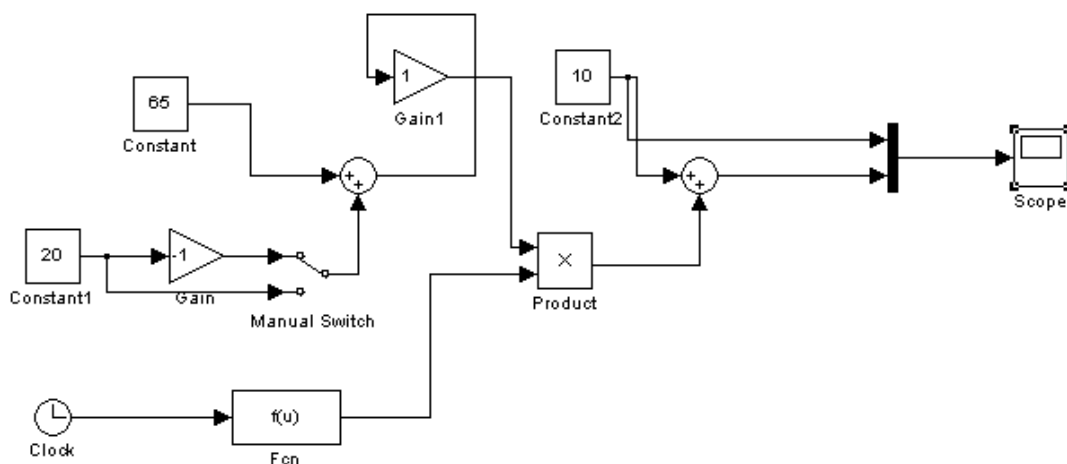


Рис. 3. Модель, описывающая зависимость (2) в среде «Matlab+ Simulink»

Здесь пропорциональная, интегральная и дифференциальная составляющие ПИД-регулятора через сумматор поступают на передаточную функцию печи. При этом введена обратная связь выходного сигнала печи с входным сигналом от температуры в печи. Результаты моделирования АСУ с ПИД-регулятором приведены на рисунке 4. С изменением коэффициентов составляющих ПИД-регулятора колебательный процесс переходит в затухающий.

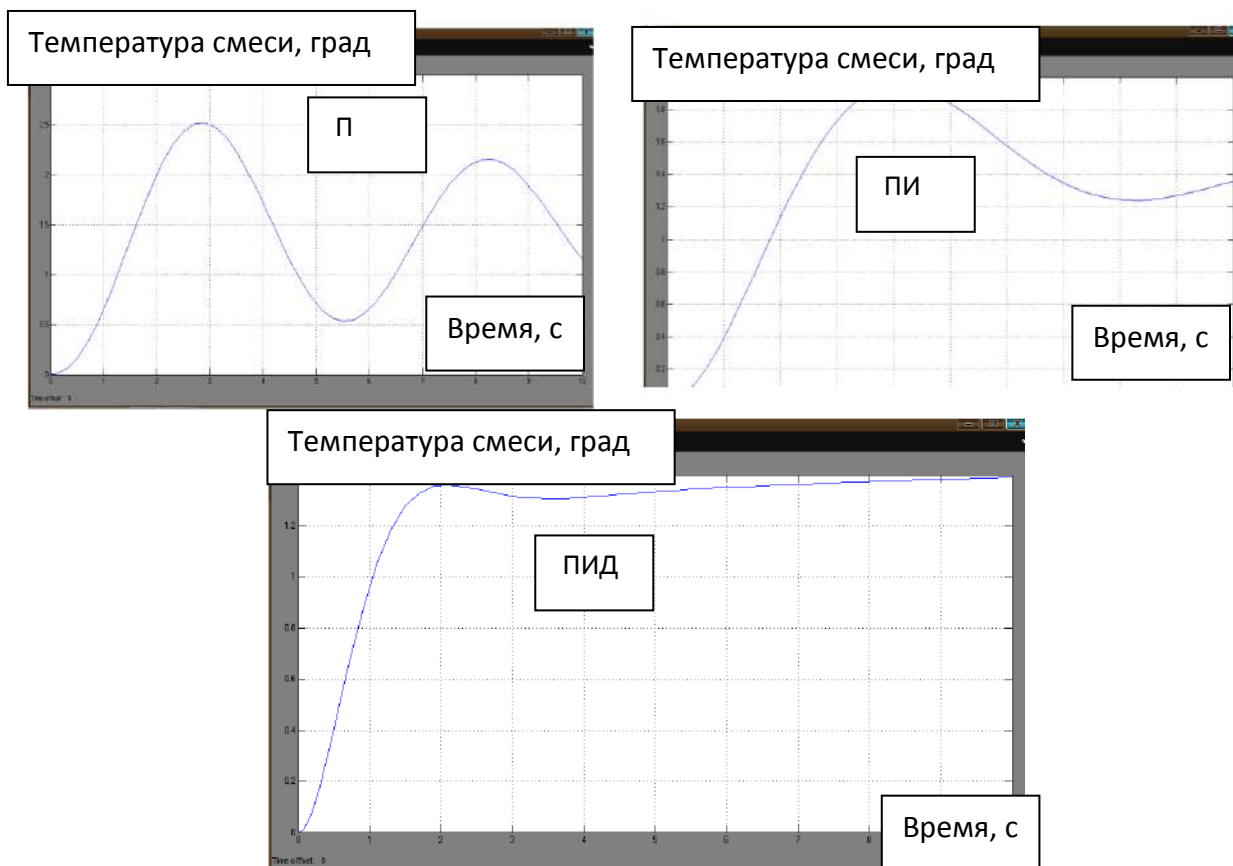


Рис. 4. Результаты моделирования гидропривода с ПИД-регулятором

Исследования АСУ с ПИД-регулятором ТРМ12 проводились в лабораторных условиях для процесса регулирования температурного режима нагревательной печи. Функциональная схема процесса измерений приведена на рисунке 5.

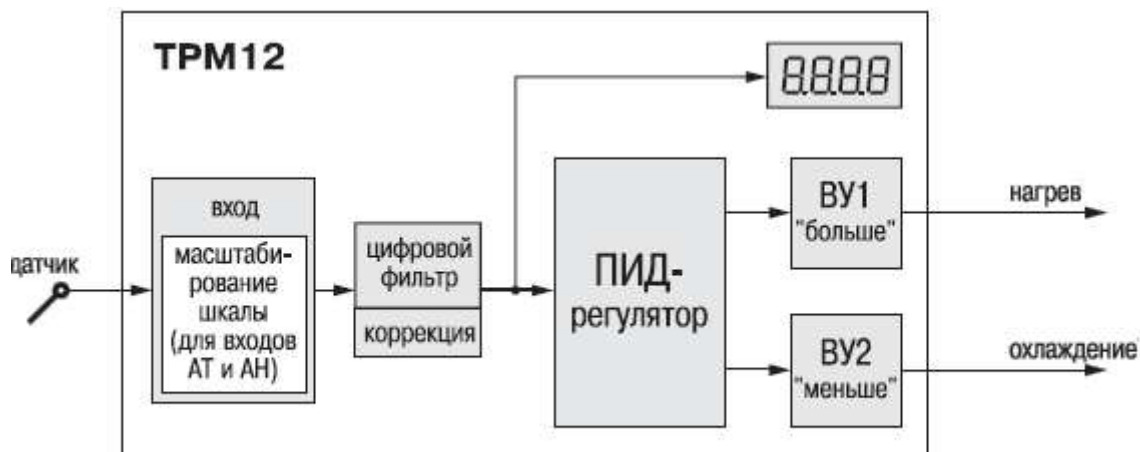


Рис. 5. Схема процесса измерений

Процесс управления температурным режимом печи измерителем-регулятором ТРМ12 приведен на рисунке 6.



Рис. 6. Процесс измерения температурного режима

Выводы. При скачкообразном изменении регулируемой величины ПИД-регулятор в начальный момент времени оказывает мгновенное бесконечно большое воздействие на объект регулирования, затем величина воздействия резко падает до значения, определяемого пропорциональной составляющей, после чего постепенно начинает оказывать влияние интегральная составляющая регулятора.

Литература

1. Емельянов Р.Т. Управление динамическими свойствами систем безопасности грузоподъемного оборудования. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002. – 149 с.
2. Боровин Г.К., Костюк А.В. Математическое моделирование систем управления шагающих машин // Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика: тез. докл. науч.-техн. конф. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999.
3. Федосов Б.Т., Клиначев Н.В. О построении области устойчивости линейной системы по некоторому параметру стандартными средствами программ математического моделирования. – URL: http://vissim.nm.ru/d_region.html.



УДК 676.495.8

Р.Т. Емельянов, Э.Г. Сурнин, И.В. Калинин

ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ ВОДЯНОЙ ОБДУВКИ НА КОТЛАХ БКЗ-420, БКЗ-500 И П-67

Представлены результаты исследований систем водяной обдувки на котлах БКЗ-420, БКЗ-500 и П-67. Выявлена эффективность очистки топочных экранов водяными обдувочными аппаратами.

Ключевые слова: термопары, теплопроводность, сеточная модель, температурные поля, топочные экраны, обдувочные аппараты, тепловой поток.

R.T. Emelyanov, E.G. Surnin, I.V. Kalinich

THE STUDY OF WATER BLOW-OFF SYSTEMS ON BKZ-420, BKZ-500 AND P-67 CAULDRONS

The research results of the water blow-off systems on BKZ-420, BKZ-500 and P-67 cauldrons are presented. The efficiency of furnace screen cleaning by water blow-off devices is revealed.

Key words: thermocouples, heat conductivity, net model, temperature fields, furnace screens, blow-off devices, thermal stream.

При очистке топочных экранов котлов с помощью водяной обдувки имеет место интенсивное термическое воздействие струи на экранные трубы. Для анализа термического воздействия струи: интенсивности теплообмена и времени контакта струи с обдуваемой поверхностью – обычно используются вводимые в топку зонды с установленными в них поверхностными термопарами [1]. Интенсивность теплообмена оценивается при этом по среднему за время охлаждения (контакта) коэффициенту теплоотдачи струи к наружной поверхности зонда. Коэффициент теплоотдачи находится из решения обратной задачи теплопроводности по экспериментально измеренной температуре и времени контакта.

Анализ указанных погрешностей, применительно к наиболее распространенной конструкции узла заделки термопар, был проведен на основе расчетов нестационарных температурных полей. Для проведения расчетов использовалась программа численного решения двумерной нелинейной задачи нестационарной теплопроводности методом тепловых балансов с конечно-элементной дискретизацией модели. В расчетной модели измерительный элемент был принят в виде пластины толщиной 5,0 мм и шириной 19,6 мм. Спай термопары помещен в центр пластины (по её ширине) и имеет идеальный контакт с металлом пластины. Ширина его (диаметр спая) $D = 1,0 - 2,6$ мм. Нижний край спая термопары расположен на расстоянии $\delta = 0,25 - 1,25$ мм от наружной поверхности. Толщина термоэлектродов $d = 0,2 - 1,0$ мм.

В качестве материала пластины принималась сталь марки 20 и 12Х1МФ, термопар – хромель-алюмель (ХА), хромель-копель (ХК). На наружной поверхности элемента (пластины) задавались условия третьего рода: коэффициент теплоотдачи $\alpha = 20$ и 65 кВт/(м²К), температура струи 40 °С. На боковых и внутренней поверхностях – идеальная теплоизоляция. Начальная температура пластины – 500 °С.

Внутренние полости узла заделки термопары (промежутки между телом пластины и термоэлектродами, а также между самими термоэлектродами) считались как воздушные прослойки с передачей тепла толь-