

УДК 004.89:65.011.56

А.Е. ГОЛОСКОКОВ, профессор НТУ «ХПИ»,
А.В. РУДНИЦКИЙ, аспирант НТУ «ХПИ»

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕЧИ ПРОКАТНОГО СТАНА В
ЗАДАЧЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРОЙ ПЕЧИ**

Авторами статті сформована математична модель печі прокатного стану в задачі інтелектуального управління температурою. Математическая модель построена в виде дифференциальных уравнений, затем по полученным уравнениям построены передаточные функции. Реализация модели осуществлена в математическом пакете MATLAB.

Авторами статті сформирована математическая модель печи прокатного стану в задаче интеллектуального управления температурой. Математична модель наведена у вигляді диференціальних рівнянь, наступним кроком на основі цих рівнянь побудовані передатні функції. Модель реалізована у математичному пакеті MATLAB.

Mathematical model of rolling mill kiln in task of temperature intelligent control has been built by article authors. Mathematical model purposed as differential equations, next step was transfer functions development based on differential equations. Model was implemented in mathematical package MATLAB.

Введение. В предыдущих статях авторов [1-3] установлена необходимость построения аналитической модели печи прокатного стану. В

статье описана математическая модель печи прокатного стана в задаче интеллектуального управления температурой печи.

Математическая модель. Электропечь сопротивления представляет собой сложную многозвенную структуру (см. рис. 1), звенья которой: нагревательные элементы, стенки теплоизоляции, изделие и т.д. – связаны между собой законами теплообмена. Динамическая характеристика электропечи сопротивления зависит от динамических характеристик звеньев, образующих ее структуру.

В ходе исследования авторами сформирована функциональная схема системы автоматического регулирования температуры в печи прокатного стана, представленная на рисунке 1. На указанном рисунке, элемент 1 – задающее устройство для автоматического ввода заданного значения регулируемой температуры; 2 – орган сравнения действительного и заданного значений температуры, предназначенный для определения отклонения; 3 – регулирующее устройство, формирующее регулирующее воздействие в зависимости от его знака отклонения. Регулирующее устройство придает системе необходимые статические и динамические свойства, так как именно в нем формируется закон регулирования, т.е. зависимость между отклонением и регулирующим воздействием; элемент 4 – исполнительное устройство, которое является выходным силовым органом регулятора и непосредственно воздействует на объект регулирования 5; элемент 6 – датчик, осуществляющий измерение температуры.

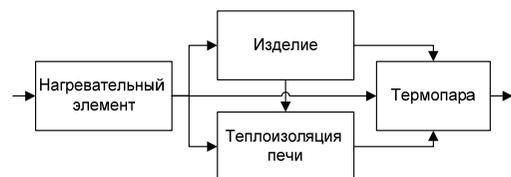


Рис. 1. – Структурная схема печи прокатного стана

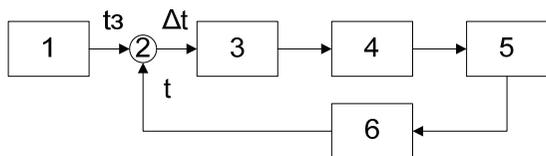


Рис. 2. - Функциональная схема системы автоматического регулирования температуры в печи

В ходе технологического процесса печь прокатного стана функционирует в следующих температурных режимах:

- 1) нагрев печи,
- 2) нагрев заготовки.

Первым этапом происходит нагрев печи до заданного значения температуры в печи. На этом этапе предъявляются высокие требования к соответствию заданной температуре, а также соответствие закону нагрева, в силу особенностей нагревательного элемента.

Затем в печь загружается пакет металлических пластин, предназначенный для прокатки. В этом режиме печь опять нагревается до заданной температуры. В данном режиме необходимо соблюдать соответствие заданной температуре, т.к. при превышении температуры пакет металлических пластин преобразуется в бракованный материал.

Нагревательный элемент и изделие в большинстве случаев можно считать теплотехническими тонкими телами. Приведем ниже дифференциальное уравнение, описывающее поведение нагревательного элемента:

$$T_1 \frac{dy_1}{dt} + y_1 = U_1,$$

где y_1 - выход, изменение температуры в печи, и U_1 - вход, мощность нагрева. Формула определения коэффициента T_1 приведена ниже.

Теплоизоляция печи прокатного стана рассматривается как элемент, описываемый дифференциальным уравнением:

$$T_2 \frac{dy_2}{dt} + y_2 = U_2,$$

где y_2 - выход, измененная температура, и U_2 - вход, температура в печи.

В приведенной выше формуле: $T_2 = \lambda c_2 \gamma / \alpha_2^2$ - постоянная времени футеровки, с.

Как указано выше, изделие может быть рассмотрено как теплотехническое тонкое тело, следовательно, может быть описано следующим дифференциальным уравнением:

$$T_3 \frac{dy_3}{dt} + y_3 = U_3,$$

где y_3 - выход, измененная температура, и U_3 - вход, температура в печи.

В приведенных формулах для нагревательного элемента и изделия: $T_n = c_n g_n / \alpha_n F_n$ - постоянная времени n -го звена, с, в которой c_n - удельная теплоемкость, Дж/(кг*К); g_n - масса, кг; F_n - поверхность звена, $\alpha_n = 4C_{npn} T_{0n}^3 10^{-8}$ - коэффициент теплоотдачи, Дж/(м²*с*К), C_{npn} - приведенная излучательная способность n -го звена, Дж(м²*с*К⁴); T_{0n} - температура n -го звена в установившемся режиме, К.

Термопара как объект описывается дифференциальным уравнением:

$$T_4 \frac{dy_4}{dt} + y_4 = U_4,$$

где y_4 - выход, термо-э.д.с. (Вольт), и U_4 - входная величина, измеряемая температура.

Приведенные выше дифференциальные уравнения представим в виде передаточных функций. Так для нагревательного элемента получим передаточную функцию:

$$W_1(s) = \frac{1}{T_1 s + 1}.$$

Для теплоизоляции печи прокатного стана:

$$W_2(s) = \frac{1}{T_2 s + 1}.$$

В ходе преобразования получаем передаточную функцию изделия:

$$W_3(s) = \frac{1}{T_3 s + 1}.$$

Для термопары сформирована следующая передаточная функция:

$$W_4(s) = \frac{1}{T_4 s + 1}.$$

Анализ взаимосвязи звеньев печи лучше всего производить по ее структурной схеме, которую можно рассматривать как аналог дифференциальных уравнений.

Для электропечи сопротивления, состоящей из трех звеньев (нагревателя, стенки и изделия) и термопары, осуществляющей контроль температуры и установленной в произвольной точке рабочего пространства печи, математическая модель, построенная в пакете MATLAB, изображена на рис. 3.

Изменение подводимой мощности m , т. е. управляющее воздействие, поступает на вход нагревателя $W_1(s)$, что приводит к его отклонению на величину Δv_1 . В результате воздействия нагревателя на стенку, описываемую с помощью передаточной функции $W_2(s)$, происходит отклонение температуры на величину Δv_2 . Аналогично для изделия, описываемого с помощью

передаточной функции $W_3(s)$, происходит отклонение температуры на величину Δv_3 .

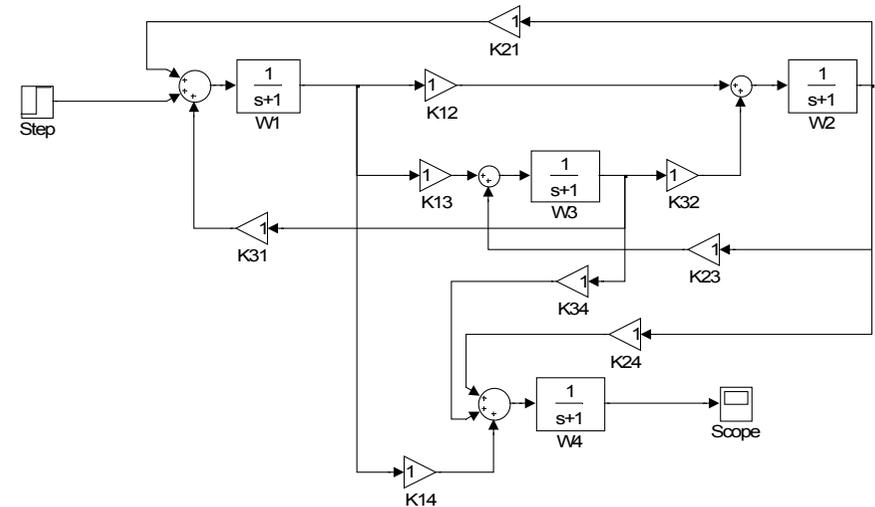


Рис. 3. – Математическая модель печи прокатного стана, построенная в пакете MATLAB

Из схемы следует, что каждое из звеньев охвачено положительными обратными связями. Это означает, что отклонения температуры в печи и их характер определяется взаимным влиянием звеньев.

Зависимость отклонений температуры всех звеньев печи от ее параметров и управляющего воздействия – подводимой мощности – описана системой уравнений в операторной форме:

$$\begin{cases} \Delta \bar{v}_1(s) = [\bar{m}(s)f + K_{12}\bar{v}_2(s) + K_{31}\bar{v}_3(s)]W_1(s); \\ \Delta \bar{v}_2(s) = [k_{21}\bar{v}_1(s) + K_{32}\bar{v}_3(s)]W_2(s); \\ \Delta \bar{v}_3(s) = [K_{13}\bar{v}_1(s) + K_{23}\bar{v}_2(s)]W_3(s); \end{cases}$$

где $\Delta \bar{v}_n(s) = \Delta T_n(s)/T_{0n}$ - изображение по Лапласу относительно отклонения температуры n -го звена под влиянием входного воздействия; T_{0n} - температура звена в установившемся режиме; $\bar{m}(s) = \Delta P(s)/P_0$ - изображение по Лапласу относительного изменения входного воздействия (мощности); P_0 - мощность, необходимая для поддержания в печи стационарного режима на заданном температурном уровне и приходящаяся на 1 м^2 поверхности

футеровки Дж/с; K_{ij} - коэффициент, отражающий влияние i -го звена на j -е и зависящий от взаимного расположения, излучательной способности и соотношения уровней температур звеньев печи;

$f = P_0 / \alpha_1 F_1 T_{01}$ - коэффициент передачи печи по температуре нагревателя; α_1 - коэффициент теплоотдачи нагревателя; F_1 - поверхность нагревателя.

Температура в произвольной точке рабочего пространства печи, в которой может находиться термопара термоэлектрического термометра, определяется влиянием на нее всех звеньев печи:

$$\Delta \bar{v}_4(s) = K_{14} \bar{v}_1(s) + K_{24} \bar{v}_2(s) + K_{34} \bar{v}_3(s).$$

Отклонение температуры термопары определяется:

$$\Delta \bar{v}_{m.n.}(s) = \bar{v}_4(s) W_4(s),$$

где W_4 - передаточная функция термопары.

Следующим этапом авторы предполагают нахождения коэффициентов K_{ij} и f путем использования технических характеристик печи прокатного стана.

Полученная таким образом математическая модель печи прокатного стана будет использована для изучения в рамках управления температурой с помощью ПИД - регулятора.

Выводы. В работе приведена математическая модель печи прокатного стана в задаче интеллектуального управления температурой, которая построена в математическом пакете MATLAB. Полученная авторами модель будет использована для исследования особенностей управления температурой печи с помощью ПИД – регулятора, а также для построения интеллектуальной системы управления температурой в печи.

Список литературы: 1. Голоскоков А.Е., Рудницкий А.В. Разработка математического и программного обеспечения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2005. – №59 – С. 37-42. 2. Голоскоков А.Е., Рудницкий А.В., Борц Б.В. Разработка математического и программного обеспечения интеллектуальной системы управления технологическим процессом горячей прокатки пакетов металлических пластин // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2006. – №19 – С. 17-24. 3. Голоскоков А.Е., Рудницкий А.В. Задачи процесса интеллектуального управления температурой и вакуумом печи прокатного стана пластин // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ» – 2007. – №72 – С. 57-62. 4. Альтгаузен А.П., Бершинский М.Д., Смелянский М.Я. и др. Электрооборудование и автоматика электротермических установок: (Справочник) – М.: Энергия, 1978 – 304 С.

Поступила в редколлегию 25.03.09