УДК 681.518(076)

А.А. Гайдин, Д.В. Скляревский

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГНОЗИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ

Одним из важных направлений в области теории алгоритмов является автоматическое регулирование с прогнозирующей моделью в контуре управления (Model Predictive Control – MPC). Общий принцип работы регулятора с прогнозирующей моделью представлен упрощенной схемой (рис. 1).

В работе рассматривается вариант реализации метода MPC в установке, предназначенной для поддержания заданного значения температуры объекта регулирования. Схема установки представлена на рис. 2.

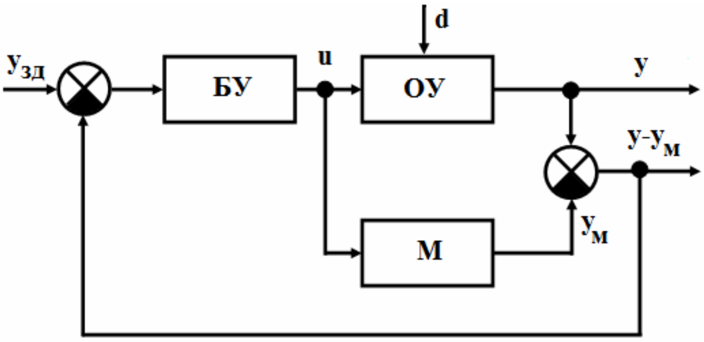

Рис. 1. Упрощенная схема установки:
ОУ – объект управления; М – модель объекта; БУ – блок управления

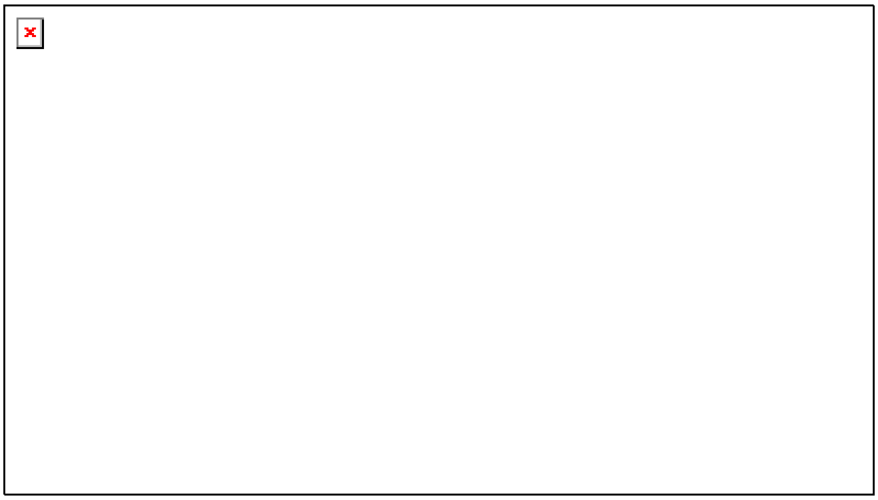

Рис. 2. Схема установки:
1 – резервуар с рабочим веществом (жидкостью);
2 – электронагревательный элемент; ТЕ – первичный преобразователь (цифровой датчик температуры DS18B20); ТС – регулятор температуры на базе микроконтроллера U4 Atmel Mega32, (шаг дискретизации по времени 1 с);
ПК – персональный компьютер с интерфейсом RS-232

Рассматриваемый объект регулирования относится к объектам с распределенными параметрами (значение температуры в разных точках в текущий момент времени имеет разные значения). Известно, что для таких объектов характерно так называемое переходное запаздывание, которое усложняет задачу регулирования. Поэтому в качестве математической модели процесса рассматривается уравнение теплопроводности, учитывающее изменение температуры по одному направлению пространственной системы координат

$$u_t(x,t) = a^2 u_{xx}(x,t) \qquad (1)$$

при заданном начальном значении температуры

$$u(x,0) = u_0(x) \qquad (2)$$

и граничных условиях:

а) на границе $x = 0$ будем считать заданной величину теплового потока от нагревательного элемента

$$u_x(0,t) = -U(t)/k, \quad U(t) = \alpha(t) U_{\max}; \qquad (3)$$

б) на границе $x = l$ происходит теплообмен с окружающей средой по закону Ньютона-Рихмана

$$u_x(l,t) = -\lambda\left(u(l,t) - \theta(t)\right), \qquad (4)$$

$\theta(t)$ – значение температуры окружающей среды.

Решение задачи будем искать в виде теплового потенциала простого слоя:

$$u(x,t) = a^2 \int_0^t G(x,t;\,0,\tau)\nu(\tau)\,d\tau + a^2 \int_0^t G(x,t;\,l,\tau)\mu(\tau)\,d\tau + u_0, \qquad (5)$$

где $G(x,t;\,\xi,\tau)$ – функция температурного влияния источник тепла.

Подстановка в граничные условия (3), (4) выражения (5) приводит к системе интегральных уравнений типа Вольтера относительно функций $\nu(t)$, $\mu(t)$, которая в силу общей теории этих уравнений всегда имеет решение.

Идентификация объекта управления предполагает определение значений параметров a, λ и $U_{\max}$, которые будем определять путем минимизации функционала невязки между измеренными $u_i^{\text{изм}}$ и рассчитанными $u_i^{\text{расч}}$ значениями температуры в одном из режимов работы установки:

$$f(a,\,\lambda,\,U_{\max}) = \sum_{i=1}^{K} \left(u_i^{\text{изм}} - u_i^{\text{расч}}\right)^2. \qquad (6)$$

Целью оптимизации программного управления служит приближение регулируемых переменных $u(t_i) = u(U_i)$ прогнозирующей модели к соответствующим задающим сигналам $u_{\text{зад}}(t_i)$ на горизонте прогноза. Оптимизацию будем осуществлять путем минимизации функционала

$$F(U_i) = \sum_{i=1}^{p} \left(u(U_i) - u_{\text{зад}}(t_i)\right)^2 \qquad (7)$$

с учетом ограничений на управляющие параметры U_i.

Воронежская государственная технологическая академия