

ПОЛУЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПЕЧИ НАГРЕВА

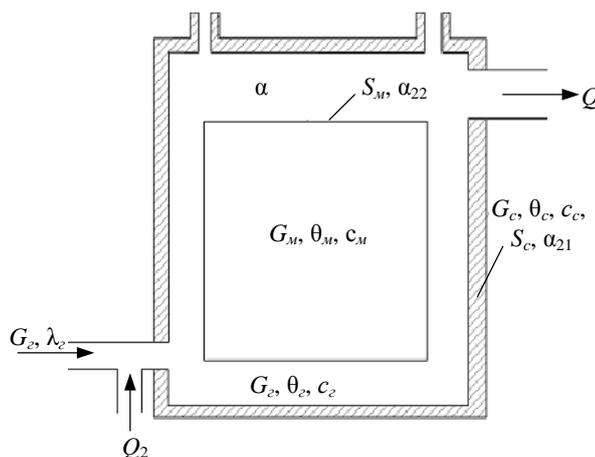
Ульянов Н.И.

Могилевский государственный университет продовольствия
г. Могилев, Беларусь

При сушке, выпаривании, обжиге и других процессах в качестве теплоносителя часто используют топочные газы, получаемые в топках в результате сжигания топлива в печах нагрева.

Нагревательные печи бывают двух типов: непрерывные (материал, подлежащий нагреву, непрерывно поступает в пространство печи и за время прохождения этого пространства нагревается) и периодические (материал загружается в печь и после нагрева целиком извлекается, освобождая место для новой порции).

Принципиальная схема печи последнего типа показана на рисунке 1 /1/.



S_c – площадь поверхности свода печи, S_m – площадь загружаемого материала, G_c – вес свода печи, G_m – вес материала, c_c – удельная теплоемкость свода, c_m – удельная теплоемкость материала, α – коэффициент теплоотдачи от свода к материалу, α_{21} – коэффициент теплоотдачи от газа к своду, α_{22} – коэффициент теплоотдачи от газа к материалу, θ_m – температура материала, θ_c – температура свода, θ_2 – температура продукта сгорания

Рисунок 1 – Принципиальная схема печи нагрева

Запишем уравнение печи /2/

$$G_m c_m d\theta_m = S_m \alpha_{22} (\theta_2^4 - \theta_m^4) dt + S_m \alpha (\theta_c^4 - \theta_m^4) dt. \quad (1)$$

Уравнение показывает, что тепло, получаемое материалом от газа и в результате лучеиспускания от стенок печи, расходуется на повышение его температуры

$$G_c c_c d\theta_c = S_c \alpha_{21} (\theta_2^4 - \theta_c^4) dt - S_c \alpha (\theta_c^4 - \theta_m^4) dt. \quad (2)$$

Уравнение показывает, что тепло, получаемое стенками печи от газа, расходуется на изменение температуры кладки печи, часть его теряется в результате теплоотдачи на материал.

Запишем уравнения (1), (2) в приращениях в операторной форме

$$(T_c p + 1) \Delta \theta_c(p) = K_1 \Delta \theta_2 p + K_2 \Delta \theta_m(p), \quad (3)$$

$$(T_m p + 1) \Delta \theta_m(p) = K_3 \Delta \theta_c(p) + K_4 \Delta \theta_c(p), \quad (4)$$

где $T_c = \frac{G_c c_c}{4\theta_c^3 S_c (\alpha_{21} + \alpha)}$ – постоянная времени кладки печи нагрева, с,

$T_m = \frac{G_m c_m}{4\theta_c^3 S_c (\alpha_{22} + \alpha)}$ – постоянная времени материала, с,

$$K_1 = \frac{\alpha_{22}}{\alpha_{22} + \alpha} \left(\frac{\theta_c}{\theta_m} \right)^3, \quad K_2 = \frac{\alpha}{\alpha_{22} + \alpha} \left(\frac{\theta_c}{\theta_m} \right)^3, \quad K_3 = \frac{\alpha_{21}}{\alpha_{21} + \alpha} \left(\frac{\theta_c}{\theta_c} \right)^3, \quad K_4 = \frac{\alpha}{\alpha_{21} + \alpha} \left(\frac{\theta_c}{\theta_c} \right)^3.$$

Примем за входную величину температуру газа $\Delta \theta_c$, а за выходную – температуру материала. Для этого случая из уравнений (3) и (4) следует исключить $\Delta \theta_c$. После чего получим

$$[(T_c p + 1)(T_m p + 1) - K_2 K_4] \Delta \theta_m(p) = [(T_c p + 1)K_3 + K_1 K_4] \Delta \theta_c(p)$$

или

$$(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1) \Delta \theta_m(p) = (T_3 p + 1) K \Delta \theta_c(p),$$

где $T_1^2 = \frac{T_c T_m}{1 - K_2 K_4}$, $T_2 = \frac{T_m + T_c}{1 - K_2 K_4}$, $T_3 = \frac{T_c K_3}{K_3 + K_1 K_4}$, $K = \frac{K_3 + K_1 K_4}{1 - K_2 K_4}$.

Передаточная функция

$$K_1(p) = \frac{K(T_3 p + 1)}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}.$$

Такую же структуру будет иметь передаточная функция, если за выходную величину принять температуру $\Delta \theta_c$

$$K_2(p) = \frac{K'(T_3' p + 1)}{T_1'^2 p^2 + T_2' p + 1}.$$

Из уравнений видно, что на температуру материала влияет как приращение количества тепла, так и изменение температуры стенок.

Получены передаточные функции, которые имеют существенные отличия от известных функций. Это отличие заключается в том, что теперь наравне с самим управляющим воздействием на вход системы поступает и его производная. Появление производных во входных сигналах объясняется взаимодействием между материалом и стенками печи через лучеиспускание.

Несмотря на относительную простоту передаточных функций, определение их коэффициентов представляет проблему, которая не решена до сих пор. Определение коэффициентов экспериментально затруднительно, так как объект, как правило, включен в технологический процесс и экспериментировать с ним трудно, а подчас и невозможно. Аналитически коэффициенты можно определить лишь для самых простых и идеальных случаев.

Кроме этого, параметры могут значительно меняться за счет изменения коэффициентов теплопередачи, на которые существенно влияет состояние поверхности теплообмена и ее конфигурация.

Положение облегчается тем, что в процессе статического расчета аппаратов приближенно определяются коэффициенты теплопередачи. Эти коэффициенты можно принять и для расчета динамических режимов.

Литература

1 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А.Г. Касаткин. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

2 Осипов В.В. Моделирование динамических процессов методом точечных представлений / В.В. Осипов. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. – 304 с.