



МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОБЖИГА КЕРАМИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

Аъзамов Темур Нарзуллаевич

Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммеда Ал-Хоразмий

Аннотация

Рассмотрена линейная система с произвольным количеством входов, выходов и наличием управления, причём получено закономерность формирования управления для оптимизации выходных сигналов, а также приведены результаты использованы в модели управления туннельной печи.

Ключевые слова: черный ящик, математическая модель, система автоматического управления, туннельная печь.

BURNING PROCESS MODEL OF CERAMIC BUILDING MATERIAL IN TUNNEL FURNACE

Azamov Temur Narzullayevich

Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al-Khorazmiy

Abstract

The article considers a controlled linear system with random amount of inputs and outputs. The author has laid down a law of control formation for output signal optimization. The subsequent results can be applied for tunnel kiln control.

Key words: black-box, mathematical model, automatics control system, tunnel kiln.

Введение

Обжиг керамического кирпича производится в туннельной печи обжига, вдоль стен которой установлены нагревательные элементы. Сырье подается с одной стороны туннельной печи и постепенно движется к другой [1,2].

Создать точную математическую модель для описания реальных систем, затем решить её точными математическими методами является весьма сложной задачей. Неточность описания модели ведет к ошибкам, которые могут принципиально изменить характеристики описываемой системы. В связи с этим такую модель целесообразно описывать как черный ящик, используя статистические методы решения.

Черный ящик имеет входные сигналы в виде мощности горелок, влияния окружающей среды и влияния, оказываемого партиями сырья, и выходной сигнал - тем-

пература с датчиков. Имея статистическую информацию по всем входным и выходным сигналам, можно рассчитать требуемую мощность горелок на очередной момент времени.

I. Математическая модель

Процесс обжига можно представить матричным уравнением вида

$$Y(t)=AX(t)+Q_0q(t)+R_0r(t), \quad (1)$$

где Y - матрица-столбец данных с температурных датчиков; A - матрица параметров печи; X - матрица-столбец сигналов управления горелками; R_0 и Q_0 - матрицы-столбцы размерности t с единичной нормой; они задают коэффициенты воздействия сигналов $r(t)$ и $q(t)$, характеризующих влияние окружающей среды и подачи партий сырья соответственно. Размерность t столбца Y характеризует количество датчиков температуры.

Предположим, что на вход рассматриваемой системы подается нагрузка $q(t)$ в виде очередной партии сырья, при этом воздействие входного сигнала на выходные параметры печи зададим столбцом $Q(t) = Q_0 q(t)$, где Q_0 - орт воздействия нагрузки на температурные параметры печи. Пусть t_k ($k = 1, 2, 3, \dots$) - моменты времени, в которые контролируются управляющие и выходные сигналы. Обозначим $Q_k = Q(t_k)$, $X_k = X(t_k)$, $Y_k = Y(t_k)$. Поскольку $r(t)$ мало изменяется во времени, приближенно можно считать, что $R = R_{opt}(t)$ и является константой. Тогда в момент времени $t = t_k$ работа печи в режиме нагрузки описывается уравнением

$$Y_k = AX_k + Q_k + R, \quad k=1,2,3, \quad (2)$$

Предлагается в каждый момент времени t_k ($k = 1, 2, 3, \dots$) управление процессом осуществлять по результатам контроля параметров в два момента времени: t_k и t_{k-1} . Аналогично (2) величину выходного сигнала в момент времени t_{k-1} определим по формуле

$$Y_{k-1} = AX_{k-1} + Q_{k-1} + R. \quad (3)$$

Вычтем (3) из (2), получим

$$Y_k - Y_{k-1} = A(X_k - X_{k-1}) + (Q_k - Q_{k-1}) \quad (4)$$

Матрица - столбец $\Delta Q_k = Q_k - Q_{k-1}$ определяет величину изменения влияния нагрузки (сырья) на температурные параметры печи и вычисляется из формулы (4):

$$\Delta Q_k = (Y_k - Y_{k-1}) - A(X_k - X_{k-1}). \quad (5)$$

В следующий момент времени t_{k+1} управление X_{k+1} нужно подобрать так, чтобы выходной сигнал соответствовал бы норме $Y = Y_{opt}$. Тогда на основании формулы (2) будем иметь уравнение для определения X_{k+1} :

$$Y_{opt} = AX_{k+1} + Q_{k+1} + R. \quad (6)$$

Вычитая из (6) уравнение (2), получим равносильное уравнение:

$$Y_{opt} - Y_k = A(X_{k+1} - X_k) + (Q_{k+1} - Q_k). \quad (7)$$

При малом изменении времени $\Delta t_{k+1} = t_{k+1} - t_k$ можно считать, что внешнее воздействие изменилось мало. Заменяя в уравнении (7) величину ΔQ_{k+1} по формуле (5), преобразуем уравнение (7) к виду

$$Y_{opt} - Y_k = A(X_{k+1} - X_k) + Y_k - Y_{k-1} - A(X_k - X_{k-1}),$$

из которого следует

$$A(X_{k+1} - 2X_k + X_{k-1}) = Y_{opt} - 2Y_k + Y_{k-1}$$

Найдем квази-решение этой системы [3]. В результате получим

$$X_{k+1} - 2X_k + X_{k-1} = (A^T A)^{-1} A^T (Y_{opt} - 2Y_k + Y_{k-1})$$

Отсюда найдем величину управляющего сигнала для момента времени t_{k+1} :

$$X_{k+1} = 2X_k - X_{k-1} + B(Y_{opt} - 2Y_k + Y_{k-1}), \quad (8)$$

где $k = 1, 2, 3, \dots$; $B = (A^T A)^{-1} A^T$.

После этого найдем величину ошибки на выходе системы при воздействии управляющего сигнала X_{k+1} . С учетом выражения (8) имеем

$$AX_{k+1} = A(2X_k - X_{k-1}) + \bar{A}(Y_{opt} - 2Y_k + Y_{k-1}),$$

где $\bar{A} = AB = A(A^T A)^{-1} A^T$.

Эту формулу преобразуем к виду

$$AX_{k+1} = 2AX_k - AX_{k-1} + Y_{opt} - 2Y_k + Y_{k+1} + (\bar{A} - E)(Y_{opt} - 2Y_k + Y_{k-1})$$

В полученное выражение подставим из (2) и (3) выражения

$$AX_k = Y_k - Q_k - R, \quad AX_{k-1} = Y_{k-1} - Q_{k-1} - R.$$

В результате выполненных преобразований формула примет следующий вид:

$$AX_{k+1} = 2(Y_k - Q_k - R) - (Y_{k-1} - Q_{k-1} - R) + Y_{opt} - 2Y_k + Y_{k+1} + (\bar{A} - E)(Y_{opt} - 2Y_k + Y_{k-1}).$$

Упростив, получим

$$AX_{k+1} = Y_{opt} - 2Q_k - Q_{k-1} - R + (\bar{A} - E)(Y_{opt} - 2Y_k - Y_{k-1}). \quad (9)$$

Теперь с учетом формулы (2) в момент времени $t = t_k$ получаем

$$Y_{k+1} - Y_{opt} = AX_{k+1} + Q_{k+1} + R - Y_{opt}$$

Член AX_{k+1} преобразуем по формуле (9):

$$Y_{k+1} - Y_{opt} = Q_{k+1} - 2Q_k + Q_{k-1} - R + (\bar{A} - E)(Y_{opt} - 2Y_k - Y_{k-1}) + Q_{k+1} + R - Y_{opt}$$

В итоге получим

$$Y_{k+1} - Y_{opt} = Q_{k+1} - 2Q_k + Q_{k-1} + (\bar{A} - E)(Y_{opt} - 2Y_k - Y_{k-1}). \quad (10)$$

Поскольку ошибка системы управления характеризуется величиной $\|Y_{k+1} - Y_{opt}\|$, то из формулы (10) следует

$$\|Y_{k+1} - Y_{opt}\| \leq \|Q_{k+1} - 2Q_k + Q_{k-1}\| + \nu_A \|Y_{opt} - 2Y_k - Y_{k-1}\| \quad (11)$$

Первое слагаемое в правой части оценки (11) обусловлено скоростью изменения влияния нагрузки (сырья) на технологический процесс. В алгоритме управления заложено допущение, что скорость влияния нагрузки с течением времени не меняется: $\Delta Q_{k+1} = \Delta Q_k$. В таком случае $Q_{k+1} - 2Q_k + Q_{k-1} = \Delta Q_{k+1} - \Delta Q_k = 0$, и первое слагаемое в правой части (11) отсутствует. Поэтому для минимизации влияния первого слагаемого справа в оценке (11) можно уменьшить промежуток Δt_k , либо уточнить процесс управления путем использования, кроме Y_k , Y_{k-1} , также столбцов Y_{k-2} , Y_{k-3} , Y_{k-4} , ... Но это усложняет и как следствие, замедляет процесс управления. Согласно [3]

$$\nu_A = \left\| A(A^T A)^{-1} A^T - E \right\|$$

и характеризует степень отклонения левой единичной матрицы A от обычной единичной.

Второе слагаемое в правой части оценки (11) обусловлено неточностью самой модели, либо пороками конструкции печи.

В результате, вычислив A согласно [3], получаем возможность вычислить значения для силы горелок на следующей итерации управления по формуле (8) и оценить расчетную и фактическую ошибку управления по формуле (11).

II. Результаты применения модели

Приведем пример расчета, выполненного в системе MathCAD, для случая двух горелок и трех датчиков температуры.

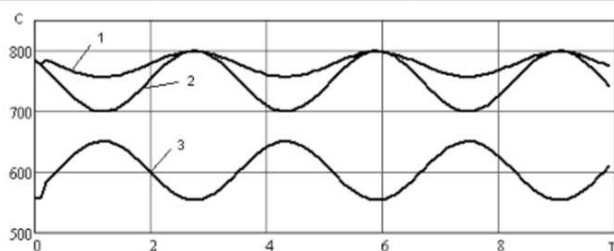
Зададим матрицы мощности горелок X и данных с температурных датчиков Y , исходя из данных, собранных на этапе набора статистик [4]:

$$X = \begin{pmatrix} 10 & 0 & 7 & 3 \\ 0 & 10 & 3 & 7 \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} 705 & 895 & 755 & 835 \\ 600 & 995 & 715 & 880 \\ 895 & 705 & 835 & 765 \end{pmatrix},$$

где 0 - минимальная мощность горелки, 10 - максимальная. Температура с датчиков согласно [2] должна быть равна 800 ± 50 °С.

Вычислим передаточную матрицу печи A и на основании ее получим управляющий сигнал по формуле (8). Построим график зависимости температуры в печи, которая подвергается внешнему периодическому воздействию Q (рис. 1).

Известия высших учебных заведений. Поволжский регион



**Рис. 1. График зависимости температур и силы горелки в печи от времени:
1 температура со второго датчика с включенной системой регулирования;**

- 2 температура со второго датчика с выключенной системой регулирования;
3 - нормированная мощность второй горелки**

Заключение

Как следует из результатов моделирования, система снижает колебания температуры, вызванные периодическим загоном сырья в печь. Предложенная математическая модель позволяет в процессе работы пересчитывать передаточную матрицу печи A , адаптируя систему под изменчивые параметры окружающей среды или изменения в работе самой печи.

Список литературы

1. ТУ 5764-002-25310144-99. Кирпич пеноднатомитовый теплоизоляционный (КПД-400-И).
2. Духовный, М. Л. Сушка строительной керамики /М. Л. Духовный, Г. Н. Коен и др. - М., 1967. - 164 с.
3. Ключников, А. С. Модель управления технологическими процессами с множеством входных и выходных сигналов ! А. С. Ключников // Вузовская наука в современных условиях : труды 42 научно-технической конференции. - Ульяновск : Изд-во УлГТУ, 2008.
4. Азамов Т.Н., М.С.Якубов Особенности многостадийного процесса обжига керамического кирпича в туннельной печи // Международный научный журнал «Молодой учёный» №10(144)/2017 стр. 111-113