

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА

Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова

В работе рассмотрен метод идентификации производственных характеристик по статистическим данным эксплуатации для математического описания доменных процессов. При автоматизации управления доменным процессом наряду с задачами контроля и стабилизации режимных параметров рекомендуется решать оперативную задачу оптимизации режимов на основе алгоритма идентификации производственных характеристик по статистическим данным эксплуатации.

Ключевые слова: доменная печь, идентификация производственной характеристики.

Введение

При построении автоматизированных систем управления режимами доменного процесса возникает ряд трудностей, связанный с тем, что многомерные технологические объекты, в частности доменная печь, в металлургическом производстве характеризуются наличием большого количества взаимосвязанных переменных. Кроме того, в доменном производстве одновременно протекает большое число разнообразных физических и химических процессов, параметры, определяющие протекание процессов, трудноизмеримы, а набор управляющих воздействий, позволяющих проводить эксперименты на объекте, ограничен. Анализ процессов доменной плавки на основе как математического, физического моделирования, так и экспериментальных исследований выполнен в работах [1–13].

1. Общий вид экстремальных характеристик газо-дутьевого режима доменной печи

Снижение удельного расхода дорогостоящего и дефицитного кокса и повышении производительности доменных печей являются наиболее приоритетными проблемами при управлении технологическим процессом доменной плавки.

В настоящее время основным видом альтернативной замены кокса, как источника тепловой энергии в доменном процессе, является природный газ, вдуваемый в доменную печь. Эффективность применения природного газа определяется величиной коэффициента замены кокса и приростом производительности печи за счет оптимального ведения доменного процесса в реальном времени.

Проведенные исследования на доменной печи показали, что при всех равных условиях зависимости удельного количества кокса и производительности доменной печи от величины удельного количества природного газа имеют экстремальный вид. Положение экстремумов этих зависимостей определяется соотношением удельных количеств природного газа и технологического кислорода, используемого для обогащения дутья [10].

На рис. 1 приведен общий вид экстремальных характеристик доменной печи. Характеристики представляют собой зависимости производительности доменной печи от величины отношения удельных количеств природного газа $V_{ПГ}$ и технологического кислорода в дутье $V_{ТК}$. На рисунке 2 приведена экспериментальная экстремальная характеристика потребления кокса доменной печью.

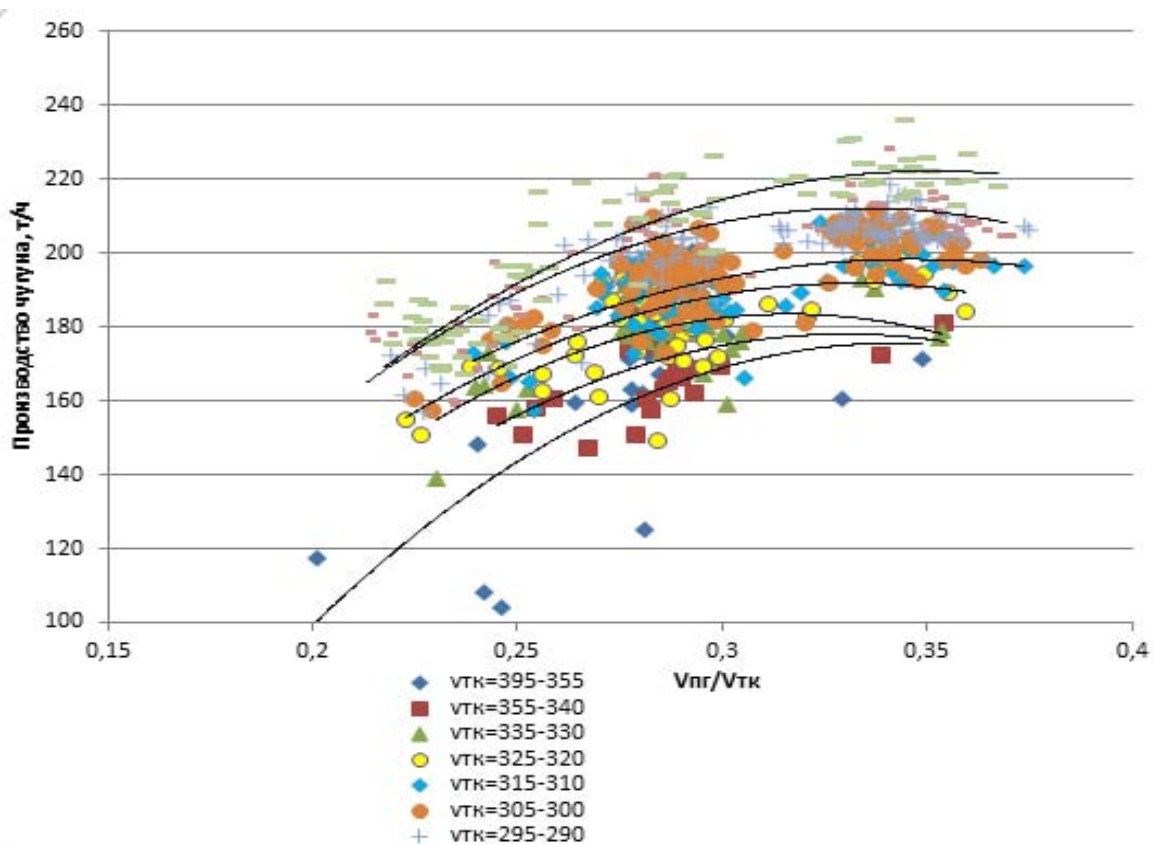


Рис. 1. Экспериментальная характеристика производительности доменной печи

Экономия кокса при вдувании природного газа достигается за счет увеличения непрямого и уменьшения прямого восстановления, замены части углерода кокса на углерод природного газа и уменьшения прихода серы в печь и выхода шлака вследствие уменьшения расхода кокса.

Экспериментальные зависимости удельного расхода кокса от величины отношения удельных количеств природного газа $V_{ПГ}$ и технологического кислорода $V_{ТК}$ представлены на рисунке 2.

Зависимость удельного расхода кокса от удельного расхода природного газа имеет также экстремальный характер.

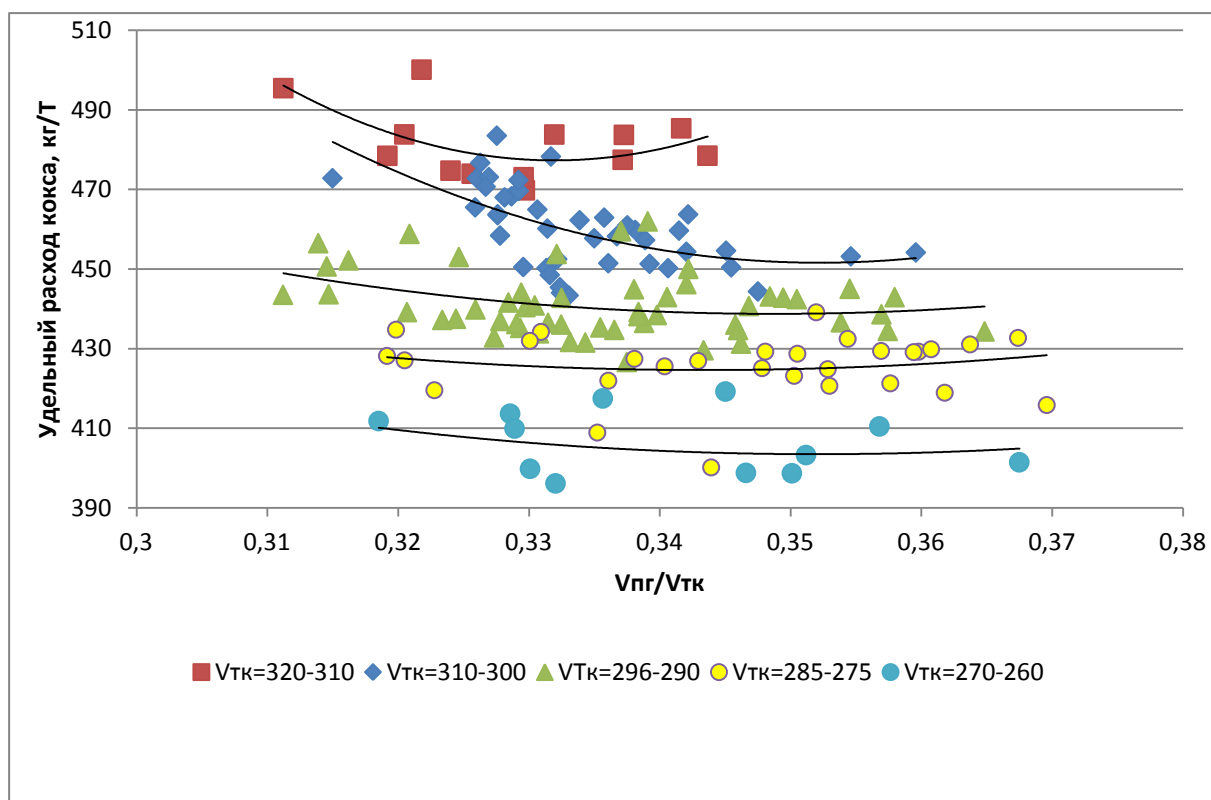


Рис. 2. Экспериментальная характеристика удельного расхода кокса

Минимальный расход удельного кокса не только от удельного расхода природного газа, но и от удельного расхода кислорода в дутье.

2. Идентификация экстремальных характеристик

Аналитическая форма записи зависимости производительности доменной печи от удельного объема технического кислорода в дутье и удельного потребления природного газа, представленной на рис. 1, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 W_o &= W_m - H(V_{ng} - V_m), \\
 W_m &= a_0 + a_1O + a_2O^2, \\
 V_m &= a_3 + a_4O + a_5O^2, \\
 H_m &= a_6 + a_7O + a_8O^2,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где a_i , ($i \in [0, 8]$) – искомые структурные параметры зависимости.

Для нахождения параметров a_i можно применить метод Ньютона решения нелинейных уравнений, который заключается в следующем. Предположим, что известно начальное приближение вектора параметров $\mathbf{a} = \mathbf{a}_0$. Тогда в окрестности точки \mathbf{a}_0 соотношение (1) можно разложить в линейный ряд:

$$y = \mathbf{W}_o[\mathbf{a}](\mathbf{x}) \approx \mathbf{W}_o[\mathbf{a}_0](\mathbf{x}) + \sum_{i=0}^8 \Delta a_i g_i(\mathbf{x}), \quad (2)$$

где $\mathbf{x} = (O, V_{to})$ - вектор переменных; \mathbf{a} - вектор структурных параметров нелинейного уравнения (1); $\Delta a_i = a_i - a_{i0}$ - искомые коэффициенты зависимости (2); g_i - частные производные по параметрам a_i .

Частные производные определяются по формулам:

$$g_0 = \frac{\partial W_o}{\partial a_0} = 1; \quad (3)$$

$$g_1 = \frac{\partial W_o}{\partial a_1} = O; \quad (4)$$

$$g_2 = \frac{\partial W_o}{\partial a_2} = O^2; \quad (5)$$

$$g_3 = \frac{\partial W_o}{\partial a_3} = H; \quad (6)$$

$$g_4 = \frac{\partial W_o}{\partial a_4} = H \cdot O; \quad (7)$$

$$g_5 = \frac{\partial W_o}{\partial a_5} = H \cdot O^2; \quad (8)$$

$$g_6 = \frac{\partial W_o}{\partial a_6} = -(V_{to} - V_m); \quad (9)$$

$$g_7 = \frac{\partial W_o}{\partial a_7} = -O(V_{to} - V_m); \quad (10)$$

$$g_8 = \frac{\partial W_o}{\partial a_8} = -O^2(V_{to} - V_m). \quad (11)$$

Значения коэффициентов Δa_i линейной зависимости (2) на совокупности статистических данных эксплуатации можно определить, например, методом наименьших квадратов. Зная значения Δa_i , можно уточнить искомые значения структурных параметров зависимости (1):

$$a_{i,1} = a_{i,0} + \Delta a_i, \quad i \in [0, 4]. \quad (8)$$

Далее, рассматривая вектор параметров \mathbf{a}_1 как начальное приближение для следующего шага решения, процедура решения задачи повторяется. В результате будет получено следующее приближение решения \mathbf{a}_2 . Рекуррентно повторяя указанную процедуру решения, получим последовательность решений:

$$\mathbf{a}_0, \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots \quad (9)$$

Если последовательность (9) сходится:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \|\mathbf{a}_k - \mathbf{a}_{k-1}\| = 0, \quad (10)$$

то она сходится к искомому решению.

Таким образом, можно построить экстремальные характеристики доменного процесса на множестве экспериментальных данных по выработке чугуна, объему дутья и расходу природного газа.

На рисунке 3 приведены полученные в результате моделирования зависимости, соответствующие различным газо-дутьевым режимам работы доменной печи. Каждая характеристика построена при различных значениях содержания кислорода в дутье. Для каждого режима работы доменной печи на основании полученной математической модели можно находить оптимальные значения производительности.

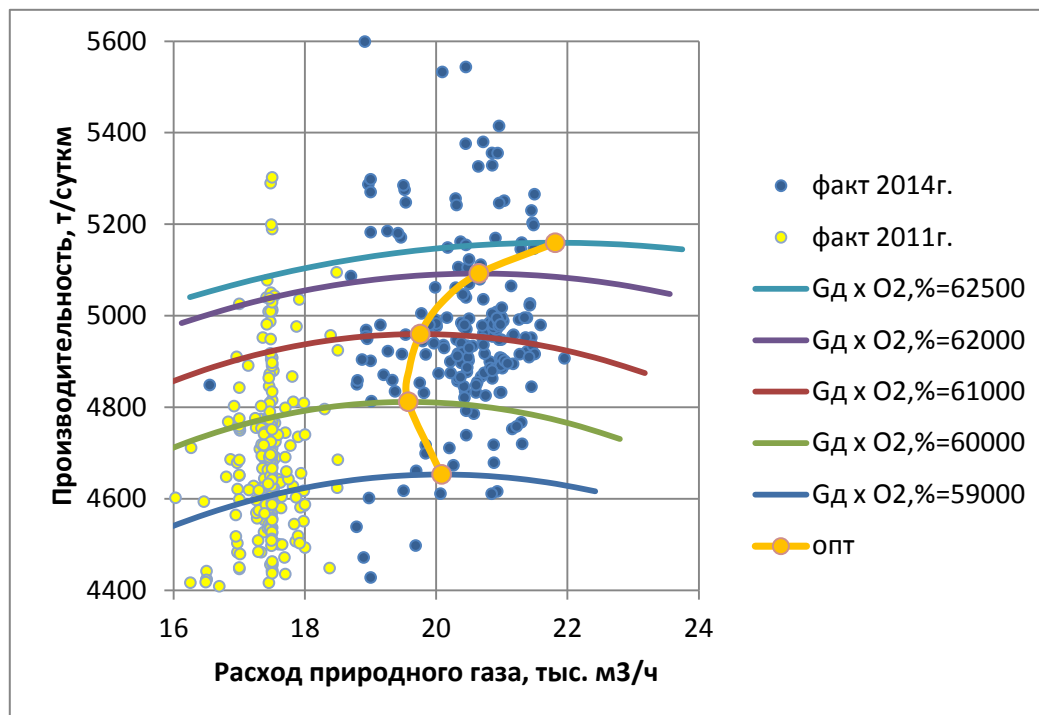


Рис. 3. Зависимость производительности доменной печи от расхода природного газа при различном объеме технического кислорода в дутье

Заключение

Для достоверной оценки этих параметров и математического описания доменных процессов необходимо дополнительно использовать в реальном времени метод идентификации указанных характеристик по статистическим данным эксплуатации. При автоматизации управления доменным процессом наряду с задачами контроля и стабилизации режимных параметров целесообразно решать оперативную задачу оптимизации режимов.

Рассмотрен алгоритм идентификации указанных характеристик по статистическим данным эксплуатации. Использование полученной модели для решения задач оптимизации позволит достичь максимальной производительности доменной печи при минимизации потребления кокса.

Библиографический список

1. Онорин, О.П. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирина, В.Л. Терентьев, Л.Ю. Гилева, В.Ю. Рыболовлев и др.; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2005. – 301 с
2. Жеребин, Б.Н. Практика ведения доменной печи / Б.Н. Жеребин. – М.: Металлургия, 1980. – 248 с.
3. Товаровский, И.Г. Совершенствование и оптимизация параметров доменного процесса / И.Г. Товаровский. – М.: Металлургия, 1987. – 192 с.
4. Товаровский, И.Г. Применение математических методов и ЭВМ для анализа и управления доменным процессом / И.Г. Товаровский, Е.И. Райх, К.К. Шкодин и др. – М.: Металлургия, 1978. – 204 с.
5. Авдеев, В.П. Идентификация промышленных объектов с учетом нестационарностей и обратных связей / В.П. Авдеев, Т.М. Даниелян, П.Г. Белоусов. – Новокузнецк: СибМИ, 1984. – 88 с.
6. Товаровский, И.Г. Совершенствование и оптимизация параметров доменных процессов / И.Г. Товаровский. – М.: Металлургия., 1987. – 192 с.
7. Рамм, А.Н. Современный доменный процесс / А.Н. Рамм. – М.: Металлургия. 1980. – 304 с.
8. Сучков, А.В. Совершенствование управления многомерными технологическим объектом на примере доменной печи: монография / А.В. Сучков, В.Г. Лищенко, В.А. Сучков. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – 126 с.
9. Основы теории и технологии доменной плавки / А.Н. Дмитриев, Н.С. Шумаков, Л.И. Леонтьев, О.П. Онорин. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 545 с.
10. Парсункин, Б.Н. Повышение производительности доменной печи при оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье / Б.Н. Парсункин, Б.К. Сеничкин, С.М. Андреев, М.Ю. Рябчиков // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2011. – № 4. – С. 73–77.
11. N. Kwakernaak, P. Tijssen, R.C.W. Strijbos Optimal operation of blast furnace stoves Automatica, Volume 6, Issue 1, January 1970, Pp. 33–40.
12. C.P. Jeffreson Feedforward control of blast furnace stoves Automatica, Volume 15, Issue 2, March 1979, Pp. 149–159.
13. Garry A. Labossiere, Peter L. Lee Model-based control of a blast furnace stove rig Journal of Process Control, Volume 1, Issue 4, August 1991, Pp. 217–227.

[К содержанию](#)