

## МЕТОД ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОМЕННЫМ ПРОЦЕССОМ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

*Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, Х.М. Мохсен*

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Рассматривается метод повышения эффективности доменных процессов на основе кластерного анализа. Существующая методика технологического расчета доменного процесса дополнена реальными данными эксплуатации. Рассмотрена текущая реализация доменных процессов с целью выявления эффективных режимов и коррекции на их основе технологических расчетов. Показан пример эффективности данного метода. Приведены значения параметров теплового состояния печи на основе реальных данных применительно к расчету теоретической температуры горения, проведены исследования наблюдаемости и управляемости доменного процесса, оценены резервы повышения производительности и снижения потребления кокса.

*Ключевые слова: доменный процесс, теоретическая температура горения, кластерный анализ.*

### **Введение**

Основные трудности, препятствующие достижению высоких показателей технико-экономической эффективности доменных процессов, обусловлены неполной наблюдаемостью и управляемостью процессов, необходимостью стабилизации процессов в граничных условиях, неполнотой знания о текущих состояниях процессов вследствие их сложности.

Для преодоления указанных трудностей можно использовать кластерный анализ данных. Успех применения кластерного анализа, прежде всего, зависит от управляемости доменных процессов на основе существующих наборов измеряемых параметров и управляющих факторов. Неопределенность управления доменным процессом определяется ненаблюдаемыми факторами, которые обуславливают разброс значений выходных параметров процесса. Если влияние указанных факторов велико, то удержание процесса в эффективной области режимных параметров становится невозможным и для стабилизации выходных параметров необходимо вводить дополнительные факторы.

### **1. Типовой подход к анализу доменной плавки**

Типовой подход к анализу доменного процесса основан на детальном изучении отдельных его явлений (тепло- и массообмена, газо- и гидродинамики, механики движения и характера превращений шихтовых материалов и др.) с последующим использованием выявленных закономерностей для определения возможных и желаемых тенденций в развитии процессов и управления ими. Такой подход является плодотворным, однако, не вполне достаточным для системного понимания процесса с целью его совершенствования. Доказательством этого служит значительный реальный разброс параметров доменных процессов относительно их расчетных значений. Доменный процесс в целом является не простой совокупностью отдельных явлений, а сложной функцией их связей, природа которых сложнее самих явлений и включает свойства, не присущие отдельным явлениям. Указанные особенности доменных процессов позволяют характеризовать ее как большую систему в современном понимании [1].

### **2. Пример применения кластерного анализа к повышению эффективности доменного процесса**

Особенностью подхода, развиваемого в данной работе, к повышению эффективности состоит в дополнении существующих методик технологического расчета доменного процесса реальными данными эксплуатации. Результативность подобного анализа проиллюстрируем на простейшем примере. Предположим, что управляющие факторы доменного процесса выбираются на основе расчета теоретической температуры горения. Формула расчета теоретической температуры горения:

$$T_T = 2405 + 0,75(T_d - 1200) - 5,4 W + 43(O_2 - 21) - 52Q_{\text{пр}},$$

где  $T_d$  – температура дутья, °С;  $W$  – влажность дутья, г/м<sup>3</sup>;  $O_2$  – содержание кислорода в дутье, %;  $Q_{\text{пр}}$  – объёмный расход природного газа, %. Влажность дутья  $W$  определяется по формуле

$$W = \varphi_0 + \frac{1000G}{Q_d},$$

где  $\varphi_0$  – естественная сезонная влажность дутья, г/м<sup>3</sup>;  $G$  – расход массовый пара на увлажнение дутья, кг/мин;  $Q_d$  – объёмный расход дутья, м<sup>3</sup>/мин.

Реальные расчеты показали на статистике в течение 374 суток за период наблюдения 7.04.2014 г. – 18.10.2015 г. средняя расчетная теоретическая температура горения составила 2154 °С. При этом среднеквадратическое отклонение теоретической температуры горения составляла 122 °С. Для иллюстративного примера примем в качестве номинала расчетной теоретической температуры горения  $T_{\text{тн}}$  среднее значение – 2150 °С. Допуск на погрешность расчета теоретической температуры горения принимаем 110 °С, что составляет 5 %. Данная величина точности является высокой для инженерных расчетов. При данных условиях на рис. 1 представлены реальные статистические данные значений режимных параметров доменного процесса (ДП).

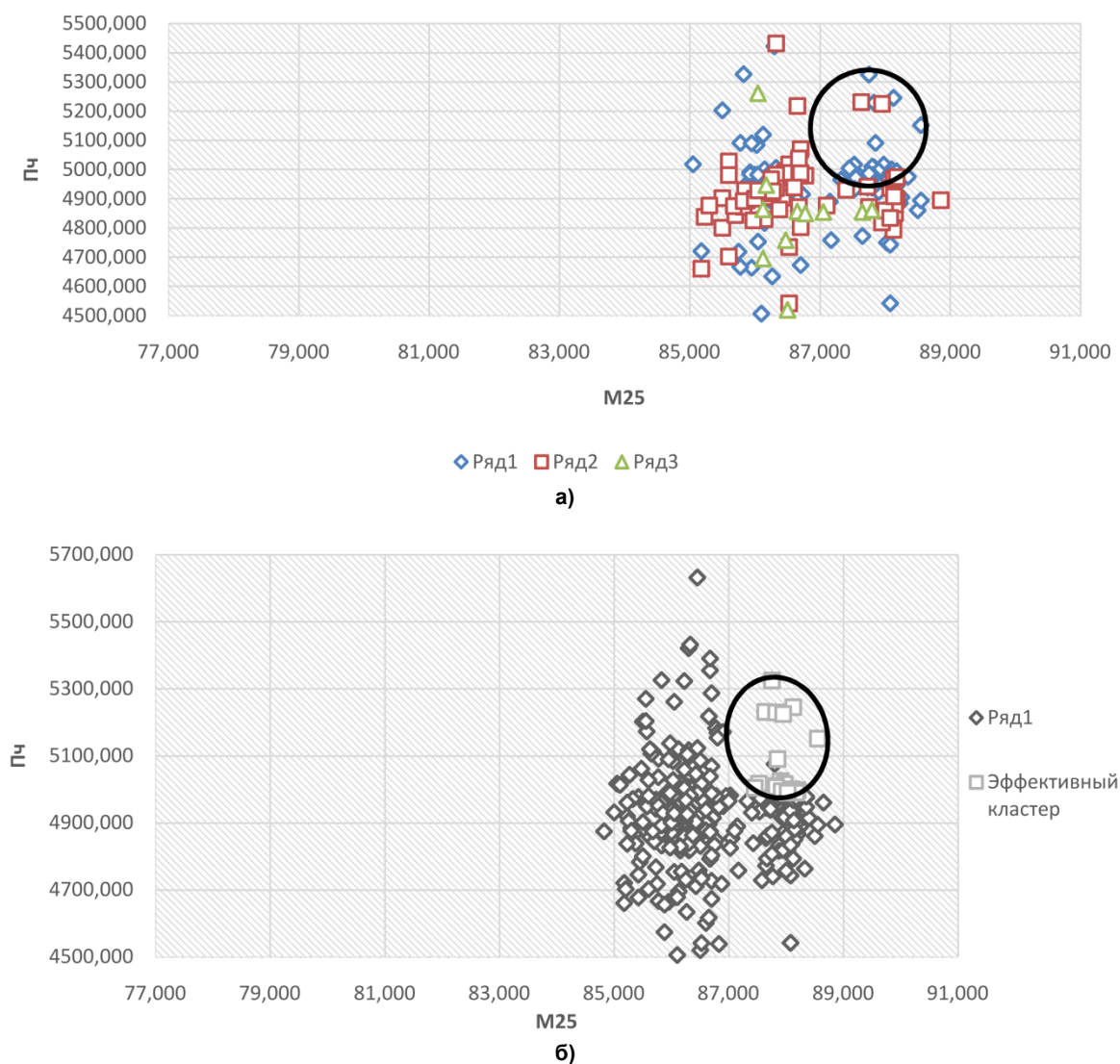


Рис. 1. Статистические данные значений режимных параметров доменного процесса

На рис. 1, а реализации доменного процесса, для которых расчетная теоретическая температура горения превышает допустимый уровень, представлены квадратными точками, теоретиче-

## Краткие сообщения

ская температура горения ниже допустимого уровня – треугольными точками, теоретическая температура горения находится в допустимой области представлены ромбом. Здесь эффективный кластер режимов выделен эллипсом. Режимы доменного процесса, принадлежащие эффективно-му эллипсу, обеспечивают повышение производительности доменного процесса при снижении расхода кокса и допустимых значений показателей качества плавки.

Аналогично на рис. 1, б реализации доменного процесса, для которых производительность доменной печи превышает пороговый 4990 т/сут и загрузка кокса ниже 460 кг/т считаются эффективными и выделены эллипсом.

Сравнение парных диаграмм (рис. 1, а, б) позволяет сделать следующие выводы.

1. Для эффективного ведения доменного процесса необходимо основываться не только на расчетной теоретической температуре горения, но и дополнительно знать область реализации эффективных режимов.

2. Выход расчетной теоретической температуры горения за пределы допустимой области влечет за собой снижение эффективности доменного процесса. Это справедливо как для повышения расчетной теоретической температуры горения, так и снижения.

3. В зависимости от параметров доменной плавки могут существовать несколько областей эффективных реализаций.

Рассмотренный пример показывает, что для эффективного ведения доменного процесса необходимо использовать не только теоретические расчеты параметров, основанные на теории доменных процессов, но и дополнительно учитывать текущие реализации доменных процессов с целью выявления эффективных режимов и коррекции на их основе технологических расчетов.

### 3. Оценка полноты измеряемых параметров с точки зрения детерминированности производительности ДП

При решении задачи повышения производительности ДП важное значение имеет учет влияния неизменяемых и ненаблюдаемых факторов на производительность. При этом будем считать, что множество измеряемых параметров ДП является полным, если производительность ДП является детерминированной функцией на данном множестве значений измеряемых параметров. На практике, безусловно, присутствует влияние неизменяемых факторов, однако, для детерминированных функций будем полагать, что это влияние достаточно мало для искажения оценок производительности. С этой целью проводился анализ данных ДП № 10 на множестве 73 факторов. Статистика значений факторов составляла 447 наблюдений без учета простоев.

Были выполнены следующие задачи анализа.

1. Анализ детерминированности средних значений статистики при 20 % отклонении от максимального диапазона разброса параметров от средних значений. В результате проведенных расчетов отклонение производительности, как функции измеряемых параметров, от среднего значения составила 8,67 % на всей статистике и для средних значений составила 2,97 %.

График на рис. 2 показывает, что значения принятого множества параметров ДП с достаточной точностью детерминируют значения производительности, а, следовательно, и ее состояние.

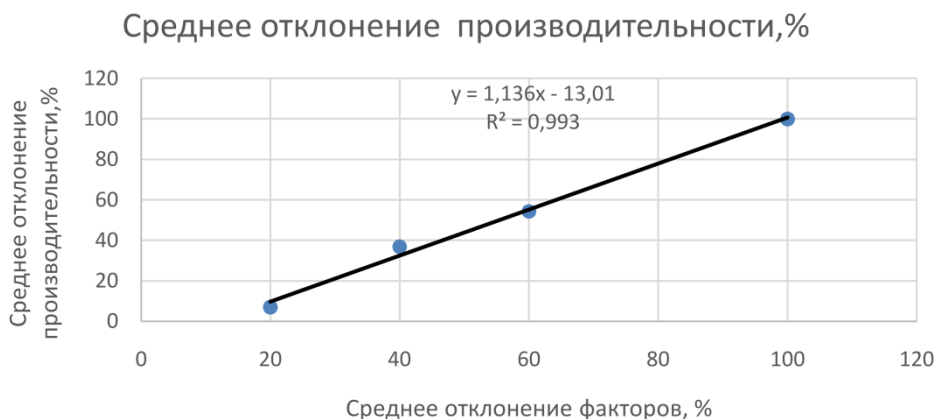


Рис. 2. Среднее отклонение производительности

2. Определение минимального подмножества параметров, которые детерминируют значения ее производительности (см. таблицу).

Управляемые параметры

№	Факторы
1.6	Основность агломерата
2.2	Истираемость (M10)
2.3	Дробимость (M25)
2.10	Горячая прочность (CSR)
5.1	Доля соколовских окатышей в шихте
5.2	Доля михайловских окатышей в шихте
5.3	Доля агломерата рудной шихты

При рассмотрении отклонений производительности при отклонениях управляемых параметров рассмотрены отклонения от текущих значений. На рис. 3 представлена зависимость отклонения производительности от отклонений факторов, полученных на 24.09.2015.

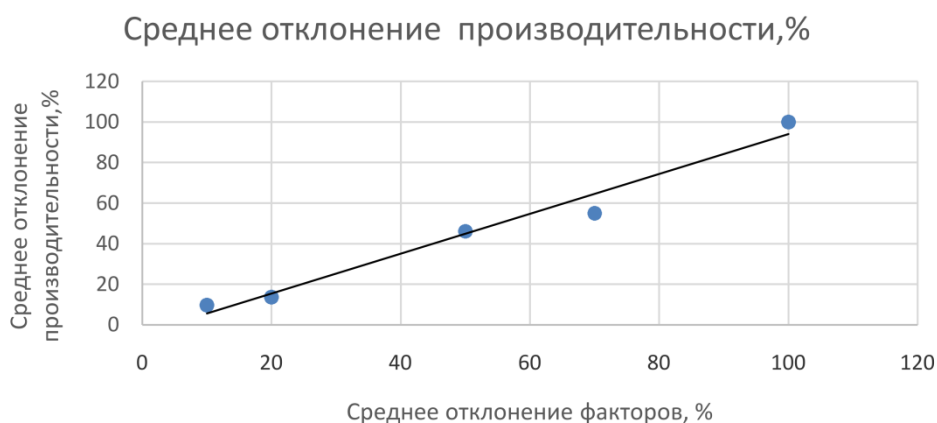


Рис. 3. Среднее отклонение производительности на множестве управляемых параметров (расчет на 24.09.2015)

Исследование степени детерминированности производительности доменного процесса, как выходного эффекта при детерминированном задании входных факторов, соответствующих набору измеряемых параметров доменного процесса, показали, что влияние неизменяемых факторов является достаточно малым. Следовательно, на рассмотренном наборе рассмотренных параметров система является детерминированной по выходу показателя производительности при заданных значениях управляемых параметров.

### Заключение

Анализ управляемости доменных процессов, проведенный в данной работе на основе существующей статистики доменных плавов, показывает, что задания конкретных значений управляющих факторов с определенной точностью детерминируют производительность доменной печи. Этот факт служит обоснованием предлагаемой в данной работе методики управления. Он основан на реальных данных применительно к расчету теоретической температуры горения. Исследование управляемости доменного процесса показало, что для повышения производительности процесса и снижения потребления кокса в число определяющих параметров должны входить параметры теплого состояния печи, таких как: диапазоны рабочих изменений Si в чугуне, температура чугуна  $T_{ч}$ , показатель теплого состояния печи Si/S, титановый модуль  $TiO_2ш/Ti$ , степень использования колошникового газа  $CO_2/(CO+CO_2)$ , теоретическая температура горения  $T_{тг}$ . Для повышения полноты расчетов при решении задач управления необходимо дополнительно учитывать текущие данные управляемых процессов. В работе предложена методика учета текущих данных управляемых процессов на основе концепции эффективных кластеров.

### Литература

1. Товаровский, И.Г. Доменная плавка: моногр. / И.Г. Товаровский. – 2-е изд., уточнен., Днепропетровск: ПОРОГИ, 2009. – 674 с.
2. Товаровский, И.Г. Совершенствование и оптимизация параметров доменного процесса / И.Г. Товаровский. – М.: Металлургия, 1987. – 192 с.
3. Готлиб, А.Д. О «принципе М.А. Павлова» / А.Д. Готлиб // Исследование доменного процесса: сб. тр. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – С. 24–32.
4. Рамм, А.Н. О влиянии интенсивности плавки на производительность доменных печей и относительный расход кокса / А.Н. Рамм // Исследование доменного процесса: сб. науч. тр. / АН СССР. – М.: Изд-во АН СССР. – 1957. – С. 85–87.
5. Повышение эффективности доменной плавки за счет технологического насыщения АСУ ТП / В.М. Паршаков, А.В. Чевычелов, А.А. Полинов и др. // Инженерные решения. Черная металлургия. – 2012, № 2. – С. 16–20.
6. Паршаков, В.М. Автоматизированная система оптимизации доменной плавки / В.М. Паршаков // Сталь. – 2004. – № 3. – С. 7–13.

**Казаринов Лев Сергеевич**, профессор д-р техн. наук, заведующий кафедрой автоматизации и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; ps-dec@susu.ac.ru.

**Барбасова Татьяна Александровна**, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; tatyana\_barbasova@mail.ru.

**Мохсен Хаитхм Мохаммед Али**, аспирант кафедры автоматизации и управления, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; tomy\_07@mail.ru.

*Поступила в редакцию 18 декабря 2015 г.*

---

DOI: 10.14529/ctcr160220

## AN EFFICIENT CONTROL METHOD FOR FURNACE PROCESS BASED ON CLUSTER ANALYSIS

**L.S. Kazarinov**, ps-dec@susu.ac.ru,

**T.A. Barbasova**, tatyana\_barbasova@mail.ru,

**H.M. Mohsen**, tomy\_07@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

A method for increasing furnace process efficiency based on cluster analysis is considered. The existing method to calculate the technological blast furnace processes are based on real data and they are added to it. The current realization of blast furnace processes to identifying efficient modes and correcting technological calculations on their basis are considered. Effectiveness example of this method is shown. Parameters of furnace thermal state based on real data for theoretical combustion temperature calculation for achievement of furnace process high quality are given. Observability and controllability research of furnace processes are investigated. The reserves of increasing productivity and reducing the consumption of coke are evaluated.

*Keywords: blast furnace process, theoretical temperature of burning, cluster analysis.*

### References

1. Tovarovskiy I.G. *Domennaya plavka: monografiya* [Blast Furnace: Monograph]. Dnipropetrovsk, "POROGI" Publ., 2009. 674 p.
2. Tovarovskiy I.G. *Sovershenstvovanie i optimizatsiya parametrov domennogo protsesssa* [Im-

provement and Optimization Parameters of Blast Furnace Process]. Moscow, Metallurgy Publ., 1987. 192 p.

3. Gotlib A.D. [Research Blast Furnace Process]. *Collection of Works*. Moscow, Ac. of Sc. of USSR Publ., 1957, pp. 24–32. (in Russ.)

4. Ramm A.N. [The Influence of Intensity Melting Productivity Blast Furnaces and Relative Coke Consumption]. *Research Blast Furnace Process. Collection of Works*. Moscow, Ac. of Sc. of USSR Publ., 1957, pp. 85–87. (in Russ.)

5. Parshakov V.M., Chevychelov A.V., Polinov A.A. et al. [Improving of the Efficiency of Blast Furnace by the Technological Saturation of ACS]. *Engineering decisions. Ferrous metallurgy*, 2012, no. 2, pp. 16–20. (in Russ.)

6. Parshakov V.M. [The Automated System Optimization Blast Furnace]. *Steel*, 2004, no. 3, pp. 7–13. (in Russ.)

*Received 18 December 2015*

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Казаринов, Л.С. Метод эффективного управления доменным процессом на основе кластерного анализа / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, Х.М. Мохсен // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 164–169. DOI: 10.14529/ctcr160220

#### FOR CITATION

Kazarinov L.S., Barbasova T.A., Mohsen H.M. An Efficient Control Method for Furnace Process Based on Cluster Analysis. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 164–169. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr160220

---