

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУНА НА АЛЧЕВСКОМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ**

Металлургическое предприятие представляет комплекс энергетически емких производств. Наиболее крупным потребителем материальных и топливно-энергетических ресурсов является доменное производство. При выплавке чугуна затрачивается примерно половина топлива, расходуемого на производство проката. Выбор эффективных путей снижения затрат энергии в доменных цехах является центральным звеном решения задачи рационального использования ресурсов на металлургическом предприятии.

Технология доменной плавки отличается значительным числом и многообразием параметров, определяющих течение процессов, большим количеством внутренних связей между параметрами, их взаимным влиянием. Отмеченная сложность усиливается с возникновением множественных петель обратных связей между параметрами, а также конкурирующих направлений процесса, изменяющих его ход [1].

Одним из методов познания таких процессов является математическое моделирование, позволяющее выделить в потоке информации отдельные ограниченные в нужном направлении стороны явлений рассматриваемого процесса [2]. При отсутствии достаточно точных детерминированных моделей процесса получения чугуна, имеет смысл использовать количественно более точные полиномиальные характеристики, коэффициенты которых по своей природе характеризуют степень тесноты связи между параметрами.

Цель выполненных статистических исследований – получение достоверных моделей расхода кокса и выхода доменного газа, необходимых для оптимизации топливно-энергетического баланса предприятия.

Исходным массивом для построения математических моделей являются данные о работе печей № 3,4, и 5 за период с 1998 по 2003 год. Массив содержит сведения о 28 параметрах работы печей, усредненных в разрезе месяца.

Статистические исследования проводились по следующему плану:

- Анализ наличия статистических связей и отбор значимых факторов при различном допустимом уровне значимости связей.
- Оценка временной однородности массива исходных данных.
- Построение математической модели и отбор приемлемой её формы.

В качестве рабочих инструментальных методов использовались средства, которыми располагает табличный редактор «EXCEL».

Как указывалось ранее, работа доменной печи зависит от большого числа различных факторов как внешних, так и внутренних. Выявление системы значимых связей позволяет ограничиться изучением относительно небольшого числа переменных и тем самым существенно снизить размерность модели. В качестве инструмента для выявления существенных связей использован ковариационный анализ [3].

Составлены нормированные ковариационные таблицы факторов для доменных печей № 3,4 и 5, на основе которых проведен отбор существенных параметров при уровнях значимости 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 и 0,9. Отмечено, что по мере увеличения допустимого уровня происходит уменьшение числа существенных факторов. Факторы, которые

не относятся в пределах данного массива к существенным, могут быть исключены из рассмотрения.

Установлено, что при уровне значимости 0,8 для построения моделей расхода кокса по всем печам достаточно использовать следующие факторы: производство чугуна, температура дутья, расход кислорода в печь, расход природного газа в печь.

Выход колошникового газа как существенный фактор проявляется при уровне значимости 0,6 и не превышает уровня 0,7. При этих уровнях качество математической модели следует ожидать невысоким.

Проведена оценка временной однородности массива исходных данных.

В течение пяти лет исследуемого периода на комбинате происходили процессы, существенно влияющие на работу доменного цеха. Изучение статистических характеристик массива возможно лишь в случае, когда учитываются факторы стабильности временного ряда [3]. Для оценки стабильности показателей построены и проанализированы графики изменения основных факторов: производства чугуна, расхода кокса и выхода колошникового газа в исследуемом периоде. Выявлены и устранены эксцессы в массиве исходных данных.

Установлено, что производства чугуна печью № 5 можно характеризовать как устойчивое. Третья и четвертая печи отличаются нестабильностью, причем третья печь в большей степени.

Временной ряд, представляющий расход кокса наиболее стабилен для печи № 3, и наименее стабилен на доменной печи № 5. Можно предположить, что качество моделей, описывающих расход кокса, будут располагаться в таком порядке в сторону понижения: ДП№3, ДП№4, ДП№5.

Временной ряд выхода колошникового газа на всех печах примерно одинаково стабилен, поэтому качество моделей для всех доменных печей близко.

Методологическую основу анализа использования топлива доменными печами составляют расходные характеристики, представляющие зависимость расхода топлива от доминирующих факторов его определяющих. Основное требование к характеристикам – их адекватность и точность, поэтому общая схема получения расходных характеристик для печей комбината выглядит следующим образом:

- Выбирается тип модели (линейная, квадратичная, квадратичная с произведениями факторов);
- Определяются коэффициенты модели, обеспечивающие минимум дисперсии погрешности модели. Погрешность определяется путем расчета разницы между соответствующим параметром из исходного массива и величиной этого параметра, рассчитанного по модели.

В результате проведенных исследований установлено, что для всех печей комбината расходные характеристики рационально представить квадратичной моделью. При этом значение множественного коэффициента корреляции не ниже 0,88 и стандартная ошибка предсказания минимальна. Конкретное содержание расходных характеристик имеет вид:

Доменная печь № 3

$$V_{\text{кокс}} = - 59300 + 0,408 \cdot G - 0,555 \cdot V_{O_2} + 140,5 \cdot t_d + 1,57 \cdot V_{\text{пр}} + 5,06 \cdot 10^{-7} \cdot G^2 + 6,27 \cdot 10^{-5} \cdot V_{O_2}^2 - 0,078 \cdot t_d^2 - 1,28 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\text{пр}}^2$$

Доменная печь № 4

$$V_{\text{кокс}} = - 137400 + 0,399 \cdot G + 0,087 \cdot V_{O_2} + 274,1 \cdot t_d + 2,49 \cdot V_{\text{пр}} + 2,43 \cdot 10^{-7} \cdot G^2 + 1,18 \cdot 10^{-5} \cdot V_{O_2}^2 - 0,136 \cdot t_d^2 - 2,25 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\text{пр}}^2$$

Доменная печь № 5

$$V_{\text{кокс}} = -653600 + 1,298 \cdot G - 2,22 \cdot V_{\text{O}_2} + 1217,0 \cdot t_{\text{д}} + 0,127 \cdot V_{\text{пг}} - \\ - 4,49 \cdot 10^{-6} \cdot G^2 + 1,4 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\text{O}_2}^2 - 0,585 t_{\text{д}}^2 - 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\text{пг}}^2$$

По аналогичной схеме получены зависимости выхода доменного газа от основных факторов, его определяющих. Оценка показателей точности этих зависимостей свидетельствует о хорошей сходимости показателей рассчитанных по квадратичной модели и действительных параметров процесса (среднеквадратичное отклонение не ниже 0,74 при удовлетворительной стандартной ошибке).

Доменная печь № 3

$$V_{\text{дг}} = - 151500 + 0,265 \cdot G + 4,074 V_{\text{кокс}} - 1,93 \cdot V_{\text{O}_2} + 288,4 \cdot t_{\text{д}} - \\ - 9,79 \cdot V_{\text{пг}} - 2,36 \cdot 10^{-6} G^2 - 9,13 \cdot 10^{-6} \cdot V_{\text{кокс}}^2 - 1,71 \cdot 10^{-5} V_{\text{O}_2}^2 - \\ - 0,13 \cdot t_{\text{д}}^2 + 8,72 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\text{пг}}^2$$

Доменная печь № 4

$$V_{\text{дг}} = - 424500 - 2,79 \cdot G + 7,98 V_{\text{кокс}} + 3,24 \cdot V_{\text{O}_2} + 772,0 \cdot t_{\text{д}} + \\ + 11,83 \cdot V_{\text{пг}} + 3,168 \cdot 10^{-5} G^2 - 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\text{кокс}}^2 - 5,24 \cdot 10^{-4} V_{\text{O}_2}^2 - \\ - 0,377 \cdot t_{\text{д}}^2 - 1,07 \cdot 10^{-3} \cdot V_{\text{пг}}^2$$

Доменная печь № 5

$$V_{\text{дг}} = - 85300 + 1,07 \cdot G - 1,6 V_{\text{кокс}} + 4,033 \cdot V_{\text{O}_2} + 1813 \cdot t_{\text{д}} + \\ + 5,46 \cdot V_{\text{пг}} - 1,21 \cdot 10^{-6} G^2 + 2,164 \cdot 10^{-5} \cdot V_{\text{кокс}}^2 - 1,54 \cdot 10^{-4} V_{\text{O}_2}^2 - \\ - 0,926 \cdot t_{\text{д}}^2 - 2,53 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\text{пг}}^2$$

Приведенные зависимости предназначены для месячного планирования оптимального распределения сырьевых и энергетических ресурсов между доменными печами и получены относительно следующих размерностей переменных:  $V_{\text{кокс}}$  – расход кокса, т/мес.;  $G$  – производство чугуна, т/мес.;  $V_{\text{O}_2}$  – расход кислорода в печь, тыс. м<sup>3</sup>/мес.;  $V_{\text{пг}}$  – расход природного газа в печь, тыс. м<sup>3</sup>/мес.;  $V_{\text{дг}}$  – выход доменного газа, тыс. м<sup>3</sup>/мес.;  $t_{\text{д}}$  – среднемесячная температура дутья, °С.

В заключение следует отметить, что в условиях рыночной экономики управление использованием топлива, оставаясь технической задачей, требует включения стоимостного фактора. На уровне предприятия, когда имеется возможность составления финансового баланса, задача использования топлива в первую очередь экономическая, а во вторую – техническая. Однако на уровне производств, где финансовый учет имеет ограниченную форму, когда нет возможности в качестве критерия оптимальности использовать такой обобщающий показатель как прибыль, приходится использовать другие, в частности, энергетические показатели, скорректированные на экономические факторы. При этом задачи становятся не чисто техническими, а технико-стоимостными или энерго-стоимостными.

#### Литература

1. Товаровский И.Г., Севернюк В.В., Лялюк В.П. Анализ показателей и процессов доменной плавки. – Днепропетровск: Пороги, 2000.–420 с.
2. Лепило Н.Н., Шур А.Б. Развитие методики расчета технико-экономических показателей доменной плавки. Сталь, 2001, №4, – С. 10-13.
3. Айвазян С.А. Статистическое исследование зависимостей. – М.: Металлургия, 1992.–234 с.