

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ГАЗОВ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Л.С. Казаринов, Л.А. Копцев, И.А. Япрынцева

Потребление топливных газов на металлургических предприятиях составляет существенную долю себестоимости производимой продукции, поэтому на предприятиях большое внимание уделяется снижению объема потребления топливных газов. Среди топливных газов особо следует выделить природный газ, так как он представляет собой покупной строго лимитированный ресурс. Вследствие этого для металлургического производства наряду с задачей снижения объемов потребления природного газа, является актуальной задача мониторинга и прогнозирования объемов потребляемого газа. Ошибки в прогнозе потребления природного газа приводят к недостоверным заявкам предприятия на объемы поставок газа и, как следствие, к большим штрафам за невыполнение лимитов, определенных в договорах на поставку. Повысить достоверность оценок, как текущего потребления природного газа, так и его прогноза можно на основе автоматизированных систем мониторинга и прогнозирования потребления газа.

В силу коммерческой важности рассматриваемой задачи в настоящее время на металлургических предприятиях разрабатываются специализированные АСУ, осуществляющие мониторинг и управление потреблением топливных газов (АСУ ГАЗ). При этом задача мониторинга в настоящее время достаточно разработана и по данному вопросу имеются многочисленные публикации. Однако задача прогнозирования и управления потреблением топливных газов особенно в системном плане в масштабе металлургического производства еще решена недостаточно.

Научный подход большинства работ основан на статистическом анализе данных с использованием тех или иных модификаций метода наименьших квадратов при построении прогностических моделей. Однако задача прогнозирования потребления газа имеет ярко выраженный системный технико-экономический характер. Эффективное решение задачи возможно лишь при системном рассмотрении металлургического производства как единого технологического целого. При этом конечной целью является минимизация потребления объемов топливных газов, а также штрафов предприятия за нарушения лимитов потребления природного газа.

1. Методика построения оптимальной модели прогнозирования
Общий вид прогнозной модели:

$$y = f[\mathbf{a}](\mathbf{x}), \quad (1)$$

где y – объем потребления газа; \mathbf{x} – вектор технологических факторов; \mathbf{a} – вектор структурных параметров прогнозирующих моделей.

Ошибка прогнозирования:

$$e_u = y_u - f[\mathbf{a}](\mathbf{x}), \quad u \in U, \quad (2)$$

где u – индекс статистического наблюдения, принимающий значение из индексного множества U .

На рис. 1 представлена зависимость штрафа налагаемого на предприятие в зависимости от цены ошибки прогнозирования потребления газа.

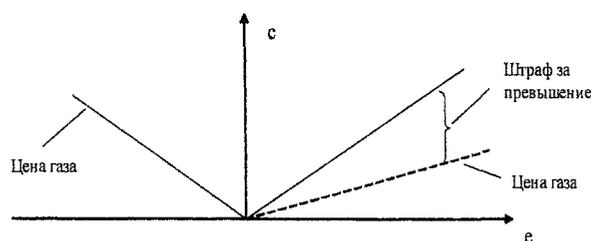


Рис. 1. Цена ошибки

Суммарный штраф за неточный прогноз:

$$C = \sum_u S_r^2 |e_u^-|^2 + \sum_u S_{ш}^2 |e_u^+|^2; \quad (3)$$

где e_u^+ , e_u^- – отрицательные и положительные значения ошибки соответственно:

$$e_u = y_u - \sum_{j=0}^n a_j x_{ju}. \quad (4)$$

Условие минимума суммарного штрафа:

$$\frac{\partial C}{\partial a_i} = -2S_r^2 \sum_u 1(|e_u^-|) \left(y_u - \sum_{j=0}^n a_j x_{ju} \right) x_{ju} - 2S_{ш}^2 \sum_u 1(|e_u^+|) \left(y_u - \sum_{j=0}^n a_j x_{ju} \right) x_{iu} = 0, \quad (5)$$

где $1(|e_u^-|)$, $1(|e_u^+|)$ – единичные функции. Решение линейного алгебраического уравнения:

$$\sum_{j=0}^n g_{ij} a_j = d_i, \quad i = 0 \dots n; \quad (6)$$

$$g_{ij} = S_r^2 \sum_u 1(|e_u^-|) x_{iu} x_{ju} + S_{ш}^2 \sum_u 1(|e_u^+|) x_{iu} x_{ju};$$

$$d_i = S_r^2 \sum_u 1(|e_u^-|) y_u x_{iu} + S_{ш}^2 \sum_u 1(|e_u^+|) y_u x_{iu}.$$

Окончательное решение нелинейной задачи осуществляется итерационно на основе последовательных решений системы линейных алгебраических уравнений (6), определяющих минимизацию целевой функции (5) методом наискорейшего спуска.

2. Процедура построения моделей прогнозирования потребления многокомпонентных газовых смесей на основе метода группового учета аргументов

Применение классического метода регрессионного анализа для построения моделей потребления многокомпонентных газовых смесей для сложных технологических процессов в общем случае встречает большие затруднения, так как для сложных систем задача построения точной модели становится некорректной по своей постановке вследствие практической невозможности учета взаимного влияния множества факторов. Для преодоления

• построение комплексной модели, включающей как агрегированные объемы газовых смесей, так и частные факторы по отдельным газовым компонентам.

С использованием указанных выше подходов разработана система моделей прогнозирования потребления топливных газов в технологических процессах металлургического производства ОАО «ММК». Примеры построенных моделей для ПВЭС (Рис. 2, 3):

$$V_{\text{топл}} = 0,1534 \cdot \text{Выработка пара} + 1,32 \times \text{Часы работы котлов среднего давления} - 7029;$$



Рис. 2. Динамика потребления природного газа ЛПЦ-5



Рис. 3. Динамика потребления природного газа ЛПЦ-10

указанной сложности предлагается использовать модификацию метода группового учета аргументов (МГУА), применительно к задаче, решаемой в работе. Процедура использования метода группового учета аргументов состоит из следующих этапов:

- построение агрегированной модели с представлением объемов многокомпонентных газовых смесей в тоннах условного топлива;
- построение частных моделей по отдельным компонентам с представлением объемов газовых компонент в натуральных показателях;

$$V_{\text{дг}} = 36,78 \cdot \text{Кв.д} + 971,9 \cdot T - 13,83 \cdot \text{Кср.д} + 0,1732 \cdot \text{Выход ДГ} - 183800;$$

$$V_{\text{кг зима}} = 1,634 \cdot V_{\text{топл}} + 0,1782 \cdot \text{Выход КГ} - 0,06511 \cdot \text{Вых ДГ} + 0,0289 \cdot \text{Шэ.э} - 0,3698 \cdot \text{Пар} + 0,07717 \cdot \text{Дутье} - 0,1626 \cdot \text{Кс.д} + 2,477 \cdot \text{Кв.д} + 0,07103 \cdot \text{ДГ} + 51720;$$

$$V_{\text{пг зима}} = 0,1193 \cdot \text{Пар} + 0,03697 \cdot \text{Дутье} + 2,179 \cdot \text{Кв.д} + 0,04463 \cdot \text{Выход ДГ} - 0,01645 \times \text{Выход КГ} + 0,01795 \cdot \text{Шэ.э} - 0,08995 \cdot \text{Кср.д} - 146,6 \cdot T - 0,2175 \cdot \text{КГ} - 0,1676 \cdot V_{\text{дг}} + 35860,$$

где «Выработка пара» – выработка пара на паровоздуховной электростанции, Гкал; «Часы работы котлов среднего давления» – часы фактической работы котлов среднего давления за месяц, ч; $V_{\text{топл}}$ – потребление топлива ПВЭС (природного, коксового и доменного газов), тонн удельного топлива; Кв.д – часы фактической работы котлов высокого давления, ч; T – температура наружного атмосферного воздуха, К; Кср.д – часы фактической работы котлов среднего давления, ч; «Выход ДГ» – выход доменного газа при производстве чугуна доменным цехом, т·м³; $V_{\text{дг}}$ – объем потребления доменного газа станцией; «Выход КГ» – выход коксового газа при производстве кокса, т·м³; $W_{\text{э.э}}$ – выработка электроэнергии станцией, МВт·ч; Пар – выработка пара станцией, Гкал; Дутье – выработка дутья ПВЭС, т·м³; Кср.д – часы фактической работы котлов среднего давления, ч; ДГ – потребление доменного газа станцией, т·м³.

Динамика расчетных и фактических значений расхода газа по цехам ОАО «ММК» приведена на рис. 2, 3. Графики показывают, что рассчитанные модели с высокой точностью воспроизводят фак-

тические показатели и хорошо отслеживают резкие колебания расхода топлива.

Применение предложенной системы моделей прогнозирования потребления топливных газов для металлургического производства ОАО «ММК» позволило получить предприятию годовой экономический эффект более 60 млн. рублей.

Заключение

1. Построена система моделей прогноза потребления топливных газов оптимальная по технико-экономическим критериям, базовым является величина штрафа, налагаемого на предприятие за недостоверное определение лимитов потребления природного газа в прогнозируемый период.

2. Математическая постановка задачи оптимального прогноза потребления газа по технико-экономическим критериям приводит к специализированной задаче математического программирования, имеющей в общем случае нелинейный характер.

3. Для построения моделей прогнозирования многокомпонентных газовых смесей предложена модификация МГУА.