

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ДОМЕННОЙ ШИХТЫ

Лавров В.В.* , Спирин Н.А.* , Бурыкин А.А.* ,
Рыболовлев В.Ю.** , Краснобаев А.В.** , Карпова Е.В.*

* ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург, Россия

** ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»,
г. Магнитогорск, Россия

В современных условиях доменной плавки в состав рудной части шихты входит, как правило, несколько составляющих. При определении оптимального состава доменной шихты, подбора рациональных дутьевых параметров неизбежно решение оптимизационных задач, так как приходится при выборе оптимальных управляющих воздействий учитывать комплекс ограничивающих и лимитирующих параметров [1–4].

Оптимизационная модель задачи выбора оптимального состава доменной шихты включает в себя два основных компонента: целевая функция и технологические ограничения на доменную печь.

1. *Целевая функция.* Предусмотрены следующие варианты целевых функций:

- заданная основность конечного шлака:

$$Z = B \rightarrow B_{3Д} , \quad X_{i,ш} \in G_{x_{ш}} \quad (1)$$

где i – индекс вида шихтовых материалов; $X_{i,ш}$ – вектор, характеризующий виды, расходы и химический состав i -х материалов доменной шихты; $X_{i,ш} \in G_{x_{ш}}$ – ограничения на параметры шихты заполнения, т. е. виды, химические составы, физические свойства загружаемых шихтовых материалов; $G_{x_{ш}}$ – область допустимых решений параметров шихты;

- минимум содержания серы в чугуне:

$$Z = [S] \rightarrow \min_{X_{i,ш} \in G_{x_{ш}}} ; \quad (2)$$

- минимум удельного расхода кокса:

$$Z = K \rightarrow \min_{X_{i,ш} \in G_{x_{ш}}} ; \quad (3)$$

- максимум производительности:

$$Z = P \rightarrow \max_{X_{i,ш} \in G_{x_{ш}}} . \quad (4)$$

2. *Технологические ограничения.* Особенность решения сложных оптимизационных задач математического программирования связана с тем, что в процессе решения могут возникнуть такие случаи, когда ограничения, наложенные на режимы работы печи, противоречивы, т. е. отсутствует область допустимых решений. В связи с этим в алгоритме решения предусмотрен этап анализа решения задачи. В случае отсутствия допустимой области решения задачи и противоречивости условий используется этап коррекции, т. е. оценить корректность использования шихтовых материалов, ограничений, надёжность исходной информации и т. д.

В связи с этим важным этапом решения задачи выбора оптимального состава шихты является формирование технологических ограничений, предусматривающих учёт и математическое описание ограничений на тепловой, газодинамический и шлаковый режимы плавки. В общем случае ограничения сводятся к следующему:

- реализация рационального газодинамического режима;
- обеспечение нормального шлакового режима;
- получение чугуна с допустимым содержанием в нем серы.

2.1. *Тепловой режим.* При выборе ограничивающих факторов, характеризующих тепловой режим, расход кокса в проектный период определялся с использованием корректировочных коэффициентов, что обеспечивает баланс тепла в целом по печи (или в лимитирующей нижней зоне печи). В связи с этим в качестве дополнительного параметра выбрана теоретическая температура горения на фурмах

$$T^{\min} \leq T(X_d) \leq T^{\max}, \quad X_d \in G_{x_d} \quad (5)$$

где X_d – вектор, характеризующий вид, расход и состав дутьевых параметров (влажность дутья, расход природного газа, технологического кислорода); G_{x_d} – области допустимых значений параметров дутья; T^{\min} , T^{\max} – минимально и максимально допустимые значения теоретической температуры горения, °С.

2.2. *Газодинамический режим.* При выборе дутьевых параметров (вектора X_d), состава и свойств шихтовых материалов (вектора $X_{i,ш}$) следует учитывать то обстоятельство, что не должен нарушаться газодинамический режим доменной плавки. Математически это означает, что степень уравнивания шихты газовым потоком $SU(X_{i,ш}, X_d)$ не должна превышать максимально допустимого значения $SU_{кр}$:

$$SU(X_{i,ш}, X_d) \leq SU_{кр}. \quad (6)$$

Как показывает практика работы доменных печей ОАО «ММК», ОАО «НЛМК» и др. [1; 2], изменение в сходе шихтовых материалов наступает при достижении значения $SU_{кр} = 45\text{--}50\%$. Этот параметр является настройкой модели.

2.3. *Шлаковый режим:*

- 1) значение вязкости конечного шлака при температуре 1400 °С, η_{1400} , находится в интервале:

$$\eta_{1400}^{\min} \leq \eta_{1400}(X_{i,ш}, X_d(\tau)) \leq \eta_{1400}^{\max}, \quad (7)$$

где η_{1400}^{\min} , η_{1400}^{\max} – постоянные величины, минимально и максимально допустимые вязкости при температуре 1400 °С (при 1400 °С обеспечивается движение шлака через коксовую насадку);

- 2) значение вязкости конечного шлака при температуре 1500 °С, η_{1500} , находится в интервале:

$$\eta_{1500}^{\min} \leq \eta_{1500}(X_{i,ш}, X_d(\tau)) \leq \eta_{1500}^{\max}, \quad (8)$$

где η_{1500}^{\min} , η_{1500}^{\max} – постоянные величины, минимально и максимально допустимые вязкости при температуре 1500 °С (ограничение обусловлено тем, что температуру 1500 °С имеет выпускаемый из печи конечный шлак);

- 3) градиенты вязкости не превышают допустимых значений:

$$\Delta\eta_7^{25} \leq (\Delta\eta_7^{25})^{\max}, \quad (9)$$

$$\Delta\eta_{1400}^{1500} \leq (\Delta\eta_{1400}^{1500})^{\max}, \quad (10)$$

где $\Delta\eta_7^{25} = \frac{25-7}{t_{шл}^7 - t_{шл}^{25}}$ – градиент-1 вязкости шлака, численно равный уменьшению вязкости шлака при увеличении температуры шлака на 1 °С в диапазоне вязкости шлака от 25 до 7 пу-

аз, пуаз / °С; $\Delta\eta_{1400}^{1500} = \frac{\eta_{1400} - \eta_{1500}}{1500 - 1400}$ – градиент-2 вязкости шлака, численно равный изменению вязкости шлака при изменении температуры шлака на 1 °С в пределах от 1400 °С до 1500 °С, пуаз / °С; $(\Delta\eta_7^{25})^{\max}$, $(\Delta\eta_{1400}^{1500})^{\max}$ – постоянные величины, максимально допустимые величины соответственно градиента-1 и градиента-2 вязкости шлака, пуаз / °С.

2.4. *Качество выплавленного чугуна.* Оценивается по содержанию серы в чугуне $[Si](X_{i,ш}, X_d)$. Оно не должно превышать допустимого предела $[Si]_{зд}$

$$[Si](X_{i,ш}, X_d) \leq [Si]_{зд}. \quad (11)$$

2.5 *Условие шихтовки.* Сумма весовых долей компонентов G_i^* железорудной части шихты равна единице, т. е.

$$\sum_{i=1}^n G_i^* = 1. \quad (12)$$

В математическом плане решение задачи оптимизации состава доменной шихты (1) – (12) не вызывает затруднений, поскольку в настоящее время имеется большой выбор компьютерных инструментальных средств для решения подобных задач (системы Microsoft Office Excel, MatLab, Visual Fortran, MathCAD, Maple, Mathematica и другие) [5–7].

Реализованное в доменном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК») на основе описанной выше модели программное обеспечение предназначено для решения задачи выбора оптимального состава доменной шихты с учётом ограничений на шлаковый режим доменной плавки. Предусмотрено решение следующих технологических задач:

- 1) подбор оптимального соотношения долей агломерата ОАО «ММК» и одного из видов привозных окатышей (из выпадающего списка выбирается материал, с помощью которого должна производиться корректировка шихты для получения заданной основности шлака);
- 2) подбор расхода одного из видов флюсующих материалов (из выпадающего списка выбирается вид флюса, с помощью которого должна производиться корректировка шихты для получения заданной основности шлака);
- 3) подбор химии (основности) агломерата в проектном периоде при заданных расходах или долях железорудных материалов и флюсах.

Общая последовательность решения задачи выбора оптимального состава доменной шихты заключается в следующем:

1) на листе «Соотношение расходов ЖРМ» пользователь, задавая основность конечного шлака и выбрав при этом управляющее воздействие, т. е. вид окатышей, с помощью которого должна производиться корректировка шихты для получения заданной основности шлака, производит расчёт нового соотношения материалов путем нажатия на кнопку «Расчёт соотношения ЖРМ». При этом автоматически пересчитывается состав шлака и производится диагностика его свойств;

2) если изменением соотношения материалов добиться требуемых свойств шлака не получается или требования к соотношению достаточно «жёсткие», существует возможность рассчитать необходимый расход флюса на листе «Расход флюса»;

3) в случае, если расход флюсов окажется большим, можно подобрать требуемую основность агломерата на листе «Основность агломерата», чтобы сократить расход флюса.

При этом автоматически пересчитываются все зависимые от вносимых изменений показатели (производительность, удельный расход кокса, содержание серы, титана в чугуне и др.).

Разработанная математическая модель и реализованное на её основе программное обеспечение информационно-моделирующей системы позволяет инженерно-технологическому персоналу доменного цеха производить расчёт оптимального состава доменной шихты с учётом технологических ограничений на шлаковый режим доменной плавки. Промышленная эксплуатация информационно-моделирующей системы в доменном цехе

ОАО «ММК» позволила сократить трудозатраты на решение технологических задач и повысить эффективность принятия управленческих решений инженерно-технологическим персоналом цеха.

Список использованных источников

1. Модельные системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев [и др.]; под ред. Н.А. Спиринова. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 462 с.
2. Компьютерные методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спиринов, В.Л. Терентьев [и др.]; под ред. Н.А. Спиринова. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. 301 с.
3. Информационные системы в металлургии / Н.А. Спиринов, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов [и др.]; под ред. Н.А. Спиринова. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. 617 с.
4. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии / Н.А. Спиринов, В.В. Лавров, С.И. Паршаков [и др.]; под ред. Н.А. Спиринова. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. 307 с.
5. Леоненков А.В. Решение задач оптимизации в среде MS Excel. СПб.: БХВ–Петербург, 2005. 704 с.
6. Брауде Э. Технология разработки программного обеспечения / пер. с англ. СПб.: Питер, 2004. 655 с.
7. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер–класс / пер. с англ. СПб.: Питер, 2007. 896 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ОБРАТНЫХ ПРИОРИТЕТОВ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИТ-СЕРВИСОВ

Левченко С.П., Зимин В.В., Кулаков С.М.

*ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,
г. Новокузнецк, Россия*

Публикация подготовлена в рамках научного исследования, выполненного при поддержке государства в лице Минобрнауки России, грант 14.В37.21.0391.

Важной задачей теории и практики ИТ-менеджмента является задача распределения ресурсов между менеджерами, ответственными за управление версиями ИТ-сервисов, находящихся на одной стадии жизненного цикла [1].

Одним из способов распределения ресурсов является применение принципа обратных приоритетов, рассмотренного, в частности в [2; 3]. В этих работах исследованы пропорциональные механизмы стимулирования. Авторы считают более предпочтительным решение задачи распределения ресурсов на основе применения принципа обратных приоритетов.

Об оценке эффективности систем управления сервисами на стадиях их жизненного цикла. В ИТЛ–3 выделяется пять стадий жизненного цикла сервиса [4]: стратегия сервиса, проектирование сервиса, ввод сервиса в эксплуатацию, эксплуатации сервиса, непрерывное улучшение сервиса. Для реализации процедуры централизованного распределения ресурсов необходимо иметь оценки эффективности функционирования систем управления сервисами, находящимися на одной стадии жизненного цикла. Обобщённые оценки могут быть получены на основе применения к совокупностям ключевых показателей эффективности (KPI) функционирования систем управления каждой стадией, предложенных одним из авторов ИТЛ–3, механизма комплексного оценивания [5; 6].