УДК 519.6:669

Л.Т. Бойко[*], Д.М. Тогобицька[**], А.І. Белькова[**], В.М. Промишлянська[*]
[*]Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара
[**]Інститут чорної металургії імені З.І. Некрасова НАН України

ПРОГРАМНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ЗАДАЧІ ВИБОРУ СКЛАДУ ДОМЕННОЇ ШИХТИ, ЯКИЙ ЗАБЕЗПЕЧУЄ РАЦІОНАЛЬНИЙ ШЛАКОВИЙ РЕЖИМ

Досліджено процес виплавки чавуну у доменній печі. Для побудованої математичної моделі досліджуваного процесу вибрано метод розв'язання та розроблено алгоритм чисельної реалізації методу. Розроблена програма допомагає технологам визначити оптимальний склад доменної шихти при встановлених обмеженнях на параметри шихти, чавуну та шлаку.

Исследован процесс выплавки чугуна в доменной печи. Для построенной математической модели исследуемого процесса выбран метод решения и разработан алгоритм численной реализации метода. Разработанная программа помогает технологам определить оптимальный состав доменной шихты при установленных ограничениях на параметры шихты, чугуна и шлака.

The process of smelting cast iron in a blast furnace is being explored. The mathematical model of this process was built, the method of the solution was chosen and the algorithm for the numerical realization of the method was developed. Designed program helps technologists to determine the optimal composition of domain charge under specified restrictions for certain parameters of charge, cast iron and slag.

Ключові слова: доменна шихта, чавун, шлак, математичне моделювання, комп'ютерна програма.

Вступ. Для виплавки чавуну потрібної якості в доменній печі дуже важливо так підготувати склад шихти, щоб забезпечити раціональний шлаковий режим, тобто забезпечити потрібні фізико-хімічні властивості шлакового розплаву. Однак, за останні десятиріччя дуже змінилась (як якісно, так і компонентно) сировинна база України. У доменному процесі використовується більше вторинних ресурсів, у рудах і коксі збільшився вміст деяких негативних (для доменного процесу) елементів. Це приводить до суттєвих коливань хімічного складу чавуну та шлаку. Тому задача контролю та вибору такого складу доменної шихти, який би забезпечував якісний шлаковий режим, стає особливо актуальною [1; 3].

© Л.Т. Бойко, Д.М. Тогобицька, А.І. Белькова, В.М. Промишлянська, 2014

Використання математичних методів разом із можливостями сучасних комп'ютерних технологій дозволяє створювати більш комфортні умови для швидкого прийняття рішень у різних виробничих ситуаціях.

Виробнича постановка задачі. Потрібно знайти таку комбінацію вхідних параметрів (маси шихтових матеріалів), які б забезпечували потрібні інтегральні характеристики шлаку та виплавку кондиційного по відношенню до сірки та кремнію чавуну.

Дослідження, проведені в ІЧМ, дозволили встановити параметри, які характеризують зв'язок між складом шихти та властивостями шлаку. До таких параметрів відносяться: Δe – фізико-хімічний еквівалент шлаку, ρ – показник стехіометрії шлаку та інші [1; 3].

Аналізуючи залежність параметрів Δe та ρ від складу шихти, бажано забезпечити потрібні властивості шлаку.

Математична постановка. Для математичного формулювання задачі впровадимо такі позначення:

m – кількість матеріалів шихти;

x_i – маса *i*-го матеріалу шихти (в тоннах), $i = \overline{1,m}$;

n – кількість хімічних компонентів шихти, важливих для плавки;

c_{ij} – масова частка *j*-го хімічного компонента у одній тонні *i*-го матеріалу шихти, $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,n}$;

$p_j = \sum_{i=1}^{m} c_{ij} x_i$ – загальна маса *j*-го хімічного компонента в шихті, $j = \overline{1,n}$;

I – множина тих номерів матеріалів шихти, масу яких можна змінювати (в заданих межах);

r – кількість параметрів шлаку та чавуну, на які встановлюються обмеження;

$s_k = f_k(p_1, p_2, \ldots, p_n)$ – параметри шлаку або чавуну, на які встановлено обмеження, $k = \overline{1,r}$; функції f_k відомі алгоритмічно.

Обмеженнями є такі умови:

$$0 \le a_i \le x_i \le b_i, \ i = \overline{1,m}. \tag{1}$$

$$c_k \le s_k \le d_k, \ k = \overline{1,r}. \tag{2}$$

Тут a_i, b_i, c_k, d_k – задані числа.

Потрібно так вибрати змінні x_i, $i \in I$ з проміжків (1), щоб обчислені через них параметри s_k, $k = \overline{1,r}$ попали у відповідні проміжки, тобто, щоб виконувалися умови (2).

Оскільки p_j, $j = \overline{1,n}$ залежать від x_i, $i = \overline{1,m}$, то в подальшому параметри s_k, $k = \overline{1,r}$ зразу розглядаємо як деякі функції від x_i, $i = \overline{1,m}$, тобто

$$s_k = g_k(x_1, x_2, \ldots, x_m), \quad k = \overline{1,r}, \tag{3}$$

причому функції g_k задаються алгоритмічно.

Метод розв'язування передбачає розглядати пряму та обернену задачі. Алгоритм розв'язування прямої задачі дозволяє по заданих x_i, $i = \overline{1,m}$ обчислювати значення s_k, $k = \overline{1,r}$. Алгоритм розв'язування оберненої задачі дозволяє навпаки, по заданих значеннях s_k, $k = \overline{1,r}$ обчислювати відповідні значення x_i, $i = \overline{1,m}$.

Алгоритм розв'язування прямої задачі.

1. За відомими масами кожного з матеріалів шихти та їхнім хімічним складом розраховується хімічний склад загальної маси шихти.
2. За певними алгоритмами виконуються розрахунки: прогнозної загальної маси та хімічного складу чавуну і шлаку; витрати коксу на одну тонну чавуну; параметри s_k, $k = \overline{1,r}$.

Обернену задачу розв'язуємо у такий спосіб. Алгоритмічно задані залежності (3) наближуємо аналітичними залежностями. Для цього вибираємо потрібну кількість різних варіантів аргументів x_i, $i \in I$, що задовольняють умови (1). Для кожного варіанта аргументів розв'язуємо пряму задачу і отримуємо значення s_k, $k = \overline{1,r}$. За отриманою таблицею значень будуємо найкраще середньоквадратичне наближення залежностей (3) у вигляді лінійних функцій

$$s_k = \gamma_{k0} + \sum_{i=1}^{m} \gamma_{ki} x_i, \quad k = \overline{1,r}. \tag{4}$$

Отже, в залежностях (4) коефіцієнти $\left\{\gamma_{ki},\ k=\overline{1,r},\ i=\overline{0,m}\right\}$ стають відомими. Якщо тепер зафіксувати $s_k,\ k=\overline{1,r}$ з умов (2), то система рівнянь (4) перетворюється в СЛАР у некоректній постановці відносно x_i, $i \in I$. Ця СЛАР розв'язувалась методом регуляризації [4].

Програма та аналіз результатів. Комп'ютерна програма складається з таких модулів: «Прогноз», «Діагностика» та «Оптимізація».

Програмний модуль «Прогноз» розв'язує пряму задачу, тобто дозволяє спрогнозувати масу і хімічний склад чавуну та шлаку за поданими параметрами шихти.

Програмний модуль «Діагностика» аналізує сукупність розрахованих параметрів; подає інформацію про ключові властивості чавуну та шлаку у зручній візуальній формі; формує оцінку ситуації, що склалася на доменній печі, та надає рекомендації щодо необхідних заходів впливу.

Якщо потрібно, то технолог може скористатися програмним модулем «Оптимізація», який розв'язує обернену задачу, тобто уточнює параметри шихти таким чином, щоб забезпечити необхідну якість продуктів плавки.

Всі програмні модулі поєднуються у зручному інтуїтивно зрозумілому інтерфейсі, що дозволяє користувачеві швидко переміщуватися між програмними модулями. Програма написана мовою програмування Visual C# з використанням програмного середовища Microsoft Visual Studio 2012. Вхідні дані передаються в програму у вигляді файлів MS Excel.

Програма тестувалася на реальному прикладі. В якості вхідних даних, що наведені в табл. 1, використано завантаження доменної печі № 9 металургійного комбінату «Криворіжсталь».

Таблиця 1

Маса та хімічний склад матеріалів шихти

Наименование	Вес	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	MnO	S	Fe	FeO	Femet	Z	Влага	Вынос
Кокс	27	0	0	0	0	0	1.4	0	0	0	11.7	2.2	0.5
ZКокс	11.7	44.96	24	3.89	1.82	0.7	0	13.17	0	0	0	0	0
Агломерат	93	9.02	1.23	10.8	1.21	0.15	0.037	55.08	10.58	0	0	0	3
Окатыши	17	8.66	0.4	3.15	0.88	0.05	0.049	61.06	0	0	0	0	3
Антрацит	4.3	4.2	1.87	0.25	0.14	0.1	1.44	0.41	0	0	0	4.2	2.5
Известняк	0.45	1.41	0.6	53.73	0.8	0	0.03	2	0	0	0	2.4	0
Скрап	2	12	2.08	12	2.19	0.06	0.075	60	0.56	0	0	0	0.5
Шлак об. Сигма	5	17.5	2	27	4.5	3.9	0.068	38.5	12.5	8	0	4.6	0

Для даного прикладу m = 7, n = 9. За вибраними масами всіх параметрів шихти виконується прогноз маси та хімічного складу чавуну і шлаку (програмний модуль «Прогноз»). Отримані результати аналізуються за допомогою програмного модуля «Діагностика» (рис.1).

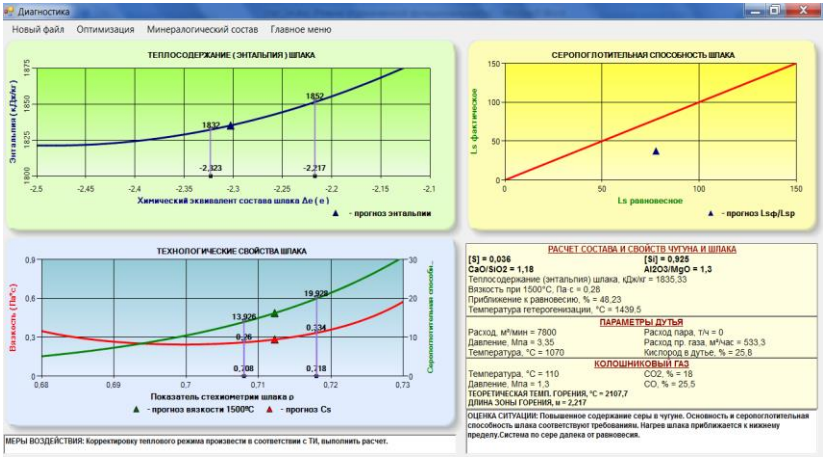


Рис. 1. Результати роботи програмного модуля «Діагностика»

Якщо в результаті аналізу зроблено висновок, що такий склад шихти не приводить до виплавки чавуну необхідної якості, то доцільно скористатися модулем «Оптимізація». Дані для використання цього модуля задаються користувачем (оператором доменної печі) у режимі діалогу з програмою, а саме: у вікні, зображеному на рис. 2, відмічаються ті параметри шихти, масу яких можна змінювати, а також задаються допустимі межі цих змін. Також користувач вказує, на які саме вихідні параметри чавуну та шлаку накладаються обмеження і якими є ці обмеження.

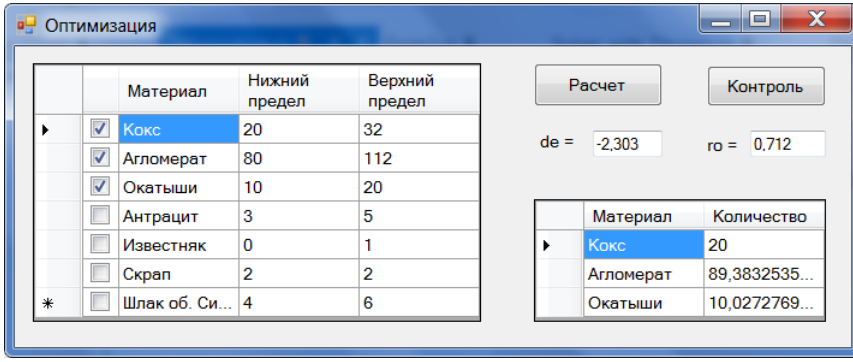


Рис. 2. Програмний модуль «Оптимізація»

У даному прикладі обрано параметри Δe та ρ з такими обмеженнями: $-2.323 < \Delta e < -2.217$; $0.708 < \rho < 0.718$. Після виконання розрахунків програма видає результат, показаний на рис. 2.

Бачимо, що відмічені параметри шихти потрапили у задані відрізки. Змінимо склад шихти за рекомендацією програми, і знову скористаємося модулями «Прогноз» та «Діагностика» для оцінки прогнозованих результатів плавки. Результат роботи програмних модулів зображено на рис. 1.

Висновки. Розроблена програмна система може виступати в якості радника технологу, який за рекомендаціями цієї програми зможе прийняти необхідні практичні рішення щодо зміни в процесі виплавки чавуну.

Відмітимо, що ця задача розглядалася в роботі [2], але була розв'язана за іншим алгоритмом.

Бібліографічні посилання

1. Алгоритмические и программные средства системы контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки / Д. Н. Тогобицкая, А. И. Белькова, А. Ю. Гринько, Д. А. Степаненко // Системные технологии. Региональный сб. науч. тр. – Д., 2013. – Вып. 3(86). – С. 9–14.
2. **Альошин В. А**. Комп'ютерна система вибору оптимального складу доменної шихти та параметрів технології доменної плавки / В.А. Альошин, Д. М. Тогобицька, Л. Т. Бойко // Питання прикладної математики і математичного моделювання : зб. наук. пр. – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2006. – С. 3–14.
3. Опыт создания и внедрения системы контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки в шихтовых и технологических условиях заводов Украины / Д. Н. Тогобицкая, А. И. Белькова, А. Ф. Хамхотько и др. // Сб. науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – Д., 2009. – Вып. 19. – С. 100–112.
4. **Тихонов А. Н.** Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В. Я. Арсенин. – М. : Наука, 1979. – 288 с.

Надійшла до редколегії 02.06.2014