



УДК 669.184.244.66.012.1

## ДИНАМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ПАРАМЕТРІВ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОЇ ПЛАВКИ

С.В. Жук<sup>1</sup>

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, асистент кафедри фізико-хімічних основ технології металів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, e-mail: [juk\\_2006@ukr.net](mailto:juk_2006@ukr.net)

**Анотація.** В роботі наведені результати розробки динамічного алгоритму управління 160-тонним конвертером.

*Ключові слова:* алгоритм, конвертер, модель, керування.

## THE BOF DYNAMIC CALCULATION PARAMETERS

S. Zhuk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., assistant Department of Physical and Chemical Fundamentals of Metals Technology, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: [juk\\_2006@ukr.net](mailto:juk_2006@ukr.net)

**Abstract.** This paper presents the results of the development of dynamic control algorithm 160-ton converter.

*Keywords:* algorithm, converter, model, control.

**Вступ.** Головним напрямком розвитку киснево-конвертерного процесу є підвищення якості металу, який виплавляється і збільшення продуктивності агрегату. Вирішення цієї задачі пов'язано з підвищенням ефективності управління киснево-конвертерним процесом, з метою отримання заданих значень хімічного складу, температури рідкого розплаву, запобігання втрат металу з викидами і виносом, зменшення витрат шлакоутворюючих матеріалів на плавку. Киснево-конвертерний процес в реальних виробничих умовах характеризується, з однієї сторони високим рівнем випадкових збурень, і надто швидкою і нерегульованою зміною ряду визначених діянь, а з іншої – досить жорсткими вимогами до кінцевих результатів.

Динамічні алгоритми управління киснево-конвертерним процесом будуються на основі фізичних і фізико-хімічних закономірностей процесів, які протікають в киснево-конвертерній ванні, і тому в їх основі лежить детермінований підхід. Так як скласти чисто детермінований алгоритм при існуючому рівні знань про сталеплавильні процеси неможливо, то частина коефіцієнтів моделі визначається статистичним шляхом при ідентифікації моделі за результатами промислових плавок [1, 2]. Тому динамічні алго-





ритми управління киснево-конвертерним процесом відносяться до комбінованого детерміновано-статистичного типу.

Аналіз відомих математичних моделей і алгоритмів [3 - 5] показує, що створення автоматизованої системи управління конвертерною плавкою пов'язане з вирішенням наступних задач:

- динамічна стабілізація, яка полягає у виборі методів і засобів для забезпечення постійного ходу протікання процесу; виключенні або різкому зниженню рівня пульсацій параметрів і покращення відтворення процесу по основним параметрам від плавки до плавки;

- управління середньотраєкторною змінною параметрів стабілізаційного процесу в залежності від початкових, поточних і кінцевих умов продувки і вибору моменту її зупинки в стані готовності плавки, включаючи статичний розрахунок шихти з розподіленням сипких добавок, контроль динамічних параметрів, управління продувкою в замкненому режимі;

- аналіз виробництва і управління ним з метою забезпечення оптимальних техніко-економічних показників процесу.

**Мета роботи.** Створення та реалізації динамічного алгоритму управління киснево-конвертерною плавкою, головною задачею якого є отримання заданих значень вихідних діянь до моменту закінчення продувки із забезпеченням необхідних їм траєкторій по ходу продувки; покращення основних техніко-економічних показників процесу, які впливають на собівартість сталі.

**Матеріал і результати дослідження.** Динамічний алгоритм контролю конвертерної плавки складається із моделі динамічного розрахунку прогнозованої маси рідкої сталі, швидкості зневуглецювання і вмісту вуглецю ванни конвертора при продувці, моделі прогнозування температури ванни в процесі продувки, динамічної моделі додувки і моделі визначення необхідності й моменту проміжного скочування шлаку.

Розрахунок прогнозованої маси рідкої сталі на випуску плавки  $m_{ст}^p$  проводиться безперервно під час продувки за формулою:

$$m_{ст}^p = (1 - \gamma_1 \cdot \frac{\tau_{пп}}{\tau_{пп}^p}) \left[ m_ч + m_б (1 - e^{-\gamma_2 \cdot \varphi(\mu, m_б) \cdot \frac{\tau_{пп}}{\tau_{пп}^p}}) \right], \quad (1)$$

де  $\gamma_1, \gamma_2$  – умовно – постійні коефіцієнти;  $\varphi(\mu, m_б)$  – функція, яка залежить від насипної щільності брухту  $\mu$  і маси брухту  $m_б$ . Для важковагового брухту  $\varphi(\mu, m_б) = 0,7 m_б / m_{ср}$ , для брухту середньої насипної щільності

–  $\varphi(\mu, m_б) = 1,0 m_б / m_{ср}$ , для легковагового –  $\varphi(\mu, m_б) = 1,5 m_б / m_{ср}$ . При



відсутності інформації про насипну щільність брухту  $\varphi(\mu, m_6) = 1,0 \cdot m_6 / m_{cp} \cdot m_{cp}$  – умовно – постійна величина.

Швидкість зневуглецювання металу  $\vartheta_c$ , %/хв., яка визначається за хімічним складом газів, що відходять, дорівнює:

$$\vartheta_c = \frac{0,536(CO+CO_2)}{(1+\alpha \cdot t_r) \cdot m_{ct}^p \cdot 10^3} \cdot \nu_r, \quad (2)$$

де  $CO, CO_2$  – відповідно вміст оксиду і двооксиду вуглецю у газах, які відходять, %;  $\nu_r$  – витрати газів, які відходять,  $m^3/\text{хв.}$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт об'ємного розширення газів, які відходять, рівний  $1/273 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;  $t_r$  – температура газів, які відходять,  $^\circ\text{C}$ .

При відсутності вимірів, витрати газів, що відходять  $\nu_r$  визначається за формулою:

$$\nu_r = \frac{Ar_B N_{2d} - Ar_d N_{2B}}{Ar_B N_{2r} - Ar_r N_{2B}} \nu, \quad (3)$$

де  $Ar_B, Ar_d, Ar_r$  – відповідно вміст аргону в повітрі, дутті і газах, які відходять, %;  $N_{2B}, N_{2d}, N_{2r}$  – відповідно вміст азоту в повітрі, дутті і газах, які відходять, %;  $\nu$  – витрати кисню,  $m^3/\text{хв.}$

При відсутності інформації про температуру газів, що відходять швидкість окиснення вуглецю  $V_c$ , %/хв, розраховують за формулою:

$$\vartheta_c = 0,536\beta_0(CO + CO_2) \cdot \nu_r / m_{ct}^p \cdot 10^3, \quad (4)$$

де  $\beta_0$  – умовно – постійна величина.

Прогнозований вміст вуглецю в металі по ходу продувки визначається за формулою:

$$C_r^p = \frac{C_q m_q + C_6 m_6 + C_B m_B^p}{m_{ct}^p} - \int_0^{\tau_{пр}} \vartheta_c d\tau, \quad (5)$$

де  $C_6, C_B$  – відповідно вміст вуглецю в брухті і вапні, %. Вміст вуглецю в чавуні визначається за хімічним складом чавуна і його температурою за формулою:

$$C_q = k_3 + k_4 Si_q + k_5 Mn_q + k_6 P_q + k_7 S_q + k_8 t_q, \quad (6)$$

де  $k_3 \dots k_8$  – умовно – постійні коефіцієнти.

В практиці деяких конверторних цехів, зокрема ПАТ «АрселорМіттал, Кривий Ріг» застосовують проміжне скочування шлаку після  $0,5\tau_{тр}$ . Вважають, що це запобігає викидам металу і шлаку. Відомо, що основна причина викидів – наведення переокисненого шлаку, а скочування шлакової фази – не достатня кількість оксидів заліза у розплаві. Викиди супроводжуються високою швидкістю зневуглецювання, що визвано надмірним накопиченням кисню у ванні. Як правило, це має місце у другому періоді плавки, коли в металі низька доля силіцію та мангану. Результати хімічного аналізу газів, що відходять на  $CO, CO_2, N_2$  і  $O_2$  дозволяють прогнозувати процес зневуглецювання у ванні. Основним недоліком такого методу визначення



моменту скочування шлаку є відсутність вимірювання рівня газо-шлаково-металевої емульсії й консистенції шлаку, що призводить як до можливості викидів металу до моменту скочування, так і до скочування шлаку у випадках, коли викиди неможливі. Тому нами запропоновано додатково контролювати акустичну характеристику продувки (аналог рівня газо-шлакової емульсії) і час запізнення температурного сигналу, що сприймається водою на охолоджені фурми (аналог консистенції шлаку). Це дозволить визначити комплексний параметр стану шлаку, який розраховується за формулою:

$$M = \alpha_8 \Delta V_c + \alpha_9 \Delta A + \alpha_{10} \Delta \tau_3, \quad (7)$$

де  $\alpha_8 \dots \alpha_{10}$  – коефіцієнти впливу окремих параметрів на стан шлаку, які визначаються методом експертних оцінок;  $\Delta V_c$  – змінна швидкості зневуглецювання, за час, що відповідає сталій часу об'єкта (t);  $\Delta A$  – змінна акустичної характеристики, за час, що відповідає сталій часу об'єкта (t) %;  $\Delta \tau_3$  – змінна часу запізнення тепловіддачі процесу на кесон, за час, що відповідає сталій часу об'єкта (t) с;

При досягненні  $M$  значення 1, шлак скочують. Цей алгоритм враховує параметри, які дозволяють точно визначити момент скочування шлаку.

**Висновок.** Динамічні розрахунки для управління киснево-конвертерною плавкою розроблені для умов кисневого конвертера ПАТ «АрселорМіттал, Кривий Ріг». Промислова апробація динамічного алгоритму управління показала задовільні результати по веденню процесом. Подальші дослідження будуть направлені на розробку системи замкненого керування на основі статичних і динамічних алгоритмів управління процесом.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Аналіз можливостей використання відомих принципів розробки моделі для управління конверторною плавкою / В.С. Богушевський, С.Ю. Сухенко, К.О. Сергеева, С.В. Жук // Тези доповідей МНТ конференції "Автоматика -2010". Харків 26 - 29.09.2010. – С.188 – 190.
2. Богушевський В.С., Принципы разработки модели управления конверторной плавкой / В.С. Богушевський, С.В. Жук // Автоматизация: проблемы, идеи, решения. Материали міжнародної науково – технічної конференції. Севастополь, 05 – 09 вересня 2011. - С. 33 – 34.
3. Богушевський В.С., Автоматизована система керування конверторною плавкою / В.С. Богушевський, К.О. Сергеева, С.В. Жук // Вісник НТУУ «КПІ». - К.: НТУУ «КПІ», 2011.-61 Т2. - С. 147 – 151 – (Серія Машинобудування).
4. Богушевський В. Динамічна модель контролю температурного режиму конверторної ванни / В. Богушевський, С.Жук // Наукові вісті НТУУ "КПІ". - 2011. - №1. - С. 90 - 96;
5. Богушевський В.С., Динамическая модель управления температурным режимом конверторной ванны / В.С. Богушевський, К.О. Сергеева, С.В. Жук // «Металл и литье Украины» . - 2011. - №5. - С. 24 – 28.