

УДК 669.184.244.66.012.1

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КЕРУВАННЯ КИСНЕВО-КОНВЕРТЕРНОЮ ПЛАВКОЮ

**С.В. Жук**, 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)

**К.П. Грабівський**, студент кафедри фізико-хімічних основ технології металів

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, e-mail: [grabovskij.k@gmail.com](mailto:grabovskij.k@gmail.com)

**Анотація.** В роботі наведені результати розробки математичної моделі управління 160-тонним конвертером та їх вплив на техніко-економічні показники процесу.

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

## THE MATHEMATICAL MODEL OF BOF CONTROL

**S. Zhuk**, Candidate of Science, 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)

**K. Grabovskij**, student Department of Physical and Chemical Fundamentals of Metals Technology

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine, e-mail: [grabovskij.k@gmail.com](mailto:grabovskij.k@gmail.com)

**Abstract.** In this paper presents the results of development of the mathematical model for managing 160 - tons of converter and their influence on the technical and economic parameters of the process.

*Keywords:* converter, model, control, purging

**Вступ.** Математична модель керування киснево-конвертерною плавкою призначена для функціонування в інформаційно-порадчому режимі, при якому технічні засоби [1], які реалізують модель, виробляють і видають оперативному персоналу інформацію, в тому числі про управляючі параметри процесу [2, 3]. Модель забезпечує можливості: шляхом видачі уставок в систему контролю і управління положенням фурми впливати на приводи кисневих фурм; шляхом видачі уставок в АСУ ТП формувати завдання для дозування сипких і феросплавів. Модель передбачає можли-

вість, шляхом видачі уставок в локальну систему регулювання витрат кисню, впливати на клапани витрат дуття. Модель передбачає можливості управління продувкою плавки на останніх хвилинах продувки з використанням інформації про температуру і вміст вуглецю розплаву [4, 5] або тільки по температурі після проміжної повалки конвертера шляхом видачі уставок в систему контролю і керування положенням фурми, витрат кисню і АСУ ТП дозування.

Модель забезпечує: розрахунок шихтовки плавки (витрати чавуну і брухту) [6], рекомендованої основності шлаку і кількості вапна на плавку; розрахунок необхідної кількості кисню на плавку і часу продувки, кількості вапняку та інших охолоджувачів, які вносять додаткове тепло у ванну, прогнозування маси рідкої сталі після закінчення продувки; розрахунок необхідної кількості феросплавів і легуючих.

**Мета роботи.** Підвищення показників критерію якості управління: виробництво сталі заданої якості при мінімізації матеріальних, трудових і енергетичних затрат.

**Матеріал і результати дослідження.** Основною задачею створення моделі є ефективне керування киснево-конвертерним процесом по ходу продувки, а саме дуттьовим, температурним та шлаковим режимами. Модель управління синтезує керування по відхиленню вихідних параметрів із забезпеченням відтворення протікання реакції зневуглецювання, процесу нагріву ванни та прискорення процесу шлакоутворення. Швидке розчинення попередньо непрогрітого брухту викликає уповільнення шлакоутворення і десульфурзації, а також, через низьку температуру металу, переокиснення ванни. Погіршення процесу шлакоутворення, особливо на початку продувки призводить до збільшення виносів і викидів металу із конвертера, заметалювання фурми і горловини конвертера. Тому модель повинна забезпечити параметри для оптимального керування процесом.

До статичної складової моделі відносяться всі моделі розрахунків, які виконуються до початку продувки (розрахунок металевої частини шихти, сипких матеріалів на плавку, кисню на звичайну плавку, розкиснювачів), до динамічної – моделі зневуглецювання, контролю температури, динамічного розрахунку прогнозованої маси сталі, модель додувки, модель шлакоутворення, модель динамічного розрахунку швидкості зневуглецювання і вмісту вуглецю при продувці і додувці.

Математична модель розрахунку металевої частини шихти є основною складовою статистичної частини: розрахунок виконується за інформацією про вміст силіцію в чавуні й його температурі, а також заданій температурі сталі. Це пов'язано з тим, що брухт готується на декілька плавок, марки сталі в яких можуть бути різні.

Розрахункова маса брухту визначається за формулою:

$$m_6^p = \alpha_1(Si_4 - 0,6) - \alpha_2(t_c^3 - 1600) + \alpha_3(t_4 - 1250) + \alpha_4 + \Delta m_6^p, \quad (1)$$

де  $m_6^p$  – розрахункова маса брухту, т;  $\Delta m_6^p$  – поправка до розрахунку за досвідом попередніх плавок, т; „р” та „з” – індекси відповідно розрахункового та заданого значення параметрів.

Тут  $\Delta m_6^p$  визначається за формулою:

$$\Delta m_6^p = \frac{\sum_{n=2}^n (m_6^\phi - m_6^p) + 2 \sum_{n=2}^n (m_{вп}^\phi - m_{вп}^z) + 0,1 \sum_{n=2}^n (t_c^\phi - t_c^z) + 5,1 \sum_{n=2}^n (m_y^\phi - m_y^z)}{3}, \quad (2)$$

де  $m_y$  – маса вугілля марки АС, введеного в конвертер, т;  $n$  – порядковий номер плавки; „ $\phi$ ” – індекс фактичного значення параметра.

Розрахункова маса брухту зменшується на 2 тонни при  $N_\phi \leq 15$ , а також при  $\tau_n > 240$  хв.

При зміні маси садки проводиться перерахунок маси брухту за формулою:

$$m_6^{пр} = (1/160) \cdot m_6^p \cdot m_{сд}, \quad (3)$$

де  $m_{сд}$  – маса садки конвертора, т.

При наявності в металевій частині твердого чавуну кількість брухту визначається за формулою:

$$m_6^{пр} = m_6^p + 0,05 \cdot m_{тч}, \quad (4)$$

де  $m_{тч}$  – маса твердого чавуну, т.

Якщо для охолодження плавки використовуються металізовані окатиші, то кількість брухту визначається за формулою:

$$m_6^{пр} = m_6^p - 2,5 \cdot m_{ок}, \quad (5)$$

де  $m_{ок}$  – маса металізованих окатишів на плавку, т.

Маса чавуну визначається за формулою:

$$m_4^p = m_{сд} - m_6, \quad (6)$$

де  $m_6 \in m_6^{пр}, m_6^p$ , т.

Математична модель динамічного контролю продувки заснована на врахуванні розподілення кисню, який вдувається між металом, шлаком і конвертерним газом. Модель представляє собою систему диференціальних рівнянь, які характеризують матеріальний і тепловий баланс в конвертері і перехідному газозоді охолоджувача конвертерних газів (ОКГ).

При створенні динамічної моделі процесу нехтуємо градієнтами керуючих параметрів, вважаючи, що просторова неоднорідність у ванні як по хімічному складу, так і по температурі внаслідок інтенсивного перемішування, відсутня. Це дозволяє виключити з математичного опису геометричні координати.

Основний вклад в масообмін і енергетику процесу вносять термохімічні реакції окиснення вуглецю і заліза ванни. Вважаємо, що конверторний

газ як продукт зневуглецювання ванни складається з CO та CO<sub>2</sub>. Газоутворення проходить в реторті і газоході. В робочому просторі конвертера оксид вуглецю частково догоряє в диоксид. Ця реакція, як і реакція горіння заліза, приводить до зменшення коефіцієнта засвоєння кисню вуглецем ванни, і тим самим знижує швидкість вигорання самого вуглецю.

З урахуванням цих поправок представимо швидкість зневуглецювання через об'ємні витрати кисневого дуття:

$$v_C = 10^{-3} \frac{2 \cdot 12}{22,4} \left[ v \gamma_{\text{чд}} (1 - \gamma_{\text{вд}}) - 10^3 (1 - \gamma_{\text{CO}}) v_C \times \frac{22,4}{2 \cdot 12} - 10^3 v_{\text{Fe}} \cdot \frac{22,4}{2 \cdot 56} \right], \quad (7)$$

де  $v_C$  – масова швидкість зневуглецювання ванни, т/хв.;  $\gamma_{\text{чд}}$  – коефіцієнт, який характеризує чистоту дуття;  $\gamma_{\text{вд}} = 0,01$  – коефіцієнт, який враховує втрати дуття;  $\gamma_{\text{CO}}$  – масова частка вуглецю ванни, яка окиснилася до CO в порожнині конвертера за рахунок кисню дуття, яка чисельно співпадає із значенням об'ємної частки;  $v_{\text{Fe}}$  – масова швидкість окиснення заліза ванни, т/хв.

Змінну температури ванни в динаміці по ходу продувки можна виразити рівнянням:

$$v_t = Q_{\text{CO}} v_C + (Q_{\text{CO}_2} - Q_{\text{CO}}) (1 - \gamma_{\text{CO}}) v_C \gamma_{\text{вт}} + Q_{\text{Fe}} v_{\text{Fe}} - \frac{60}{10^3} [q_6(\psi) + q_{\text{аш}}] / c m_c \quad (8)$$

де  $v_t$  – швидкість зміни температури ванни, К;  $Q_{\text{CO}}$ ,  $Q_{\text{CO}_2}$ ,  $Q_{\text{Fe}}$  – питомі нестандартні теплові ефекти хімічних реакцій утворення відповідних оксидів вуглецю та заліза в робочому просторі печі, кДж/кг;  $\gamma_{\text{вт}}$  – коефіцієнт, який характеризує використання ванною теплоти від догорання CO в CO<sub>2</sub> в порожнині конвертера, рівний 0,7;  $v_{\text{Fe}}$  – швидкість вигорання заліза, т/хв.;  $q_6(\psi)$  – потужність витрачена на розплавлення брухту певного виду по ходу продувки, кВт;  $q_{\text{аш}}$  – тепловий потік зумовлений втратою на нагрів активного шару футерівки конвертера по ходу продувки, кВт;  $c$  – середня питома теплоємність рідкого металу при середній за продувку температурі, рівна 0,88 кДж/(кг·К);  $m_c$  – маса садки, що чисельно дорівнює масі чавуну і брухту на плавку, т.

Експериментальна перевірка динамічної моделі для умов 160-тонного конвертера показала задовільне відображення системою процесів, які протікають у ванні конвертера. Модель дозволяє безперервно по ходу продувки контролювати швидкість зневуглецювання, зміну температури і окиснення заліза.

Результати моделювання представлені на рисунку 1.

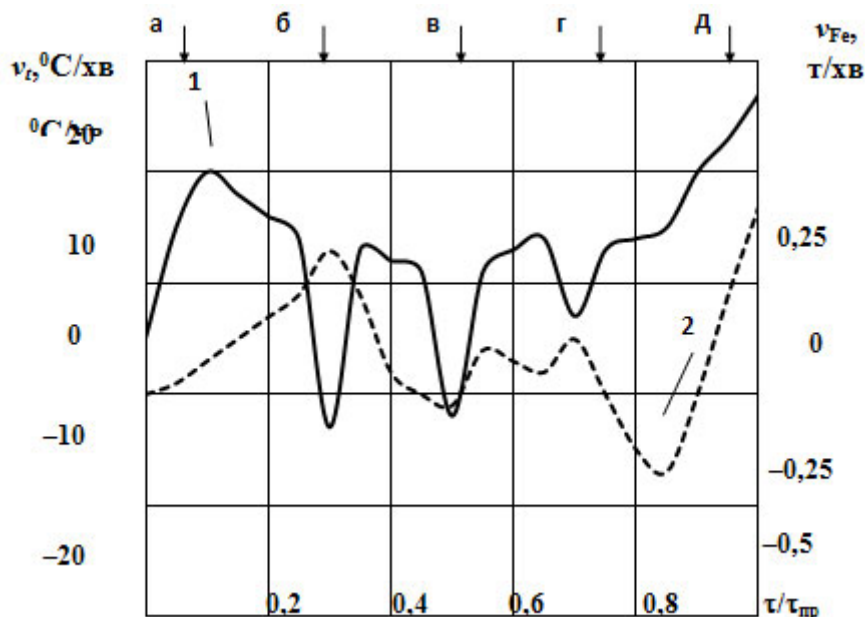


Рисунок 1 – Зміна швидкості температури (1) і вигорання заліза (2) ванни протягом продувки: стрілки – моменти введення сипких: а – вапна 4т; б – вапна 2т; в – вапна 1,5т; г – вапняку 0,75т; д – вапняку 0,75т.

Економічну ефективність запропонованих розробок оцінювали за результатами роботи 160 – тонного конвертера на основі аналізу масиву плавок. Слід відмітити, що за період роботи конвертера із запропонованими моделями весь метал відвантажувался за призначенням.

Важливим показником роботи конвертера є стійкість футерівки, яка збільшилася на 3 % за рік роботи конвертера. Це можна пояснити вдосконаленням складових конвертерної плавки, які впливають на стійкість футерівки, а саме – температурного режиму ванни і режиму шлакоутворення.

Реалізація динамічної моделі продувки дозволила зменшити в середньому цикл плавки на 1 хвилину та збільшити кількість плавок в рік з 5740 до 5852; зменшити вигар заліза на 0,1 %, знизити брак до 0,1 %;

**Висновок.** Порівняння результатів математичного моделювання і промислових випробувань запропонованих моделей показали задовільні результати відображення процесів, які протікають у ванні конвертера. Експлуатація моделей дозволяє суттєво підвищити якість управління і техніко-економічні показники процесу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Богушевський В.С. Технічні засоби замкненої моделі управління киснево-конвертерного процесу [Текст] / В.С. Богушевський, С.В. Жук, К.М. Зубова // Матеріали конференції з автоматичного управління "Автоматика -2012". Київ 26 - 28.09.2012. – К.: НУХТ, 2012. С. 156.

2. Богушевський В.С., Компьютерная система управления конвертерной плавкой [Текст] / В.С. Богушевський, К.О. Сергеева, С.В. Жук // Матеріали міжнародної наукової конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» Том1.- Херсон: ХНТУ, 2011. - С. 165 -167.

3. Модель керування конвертерним процесом у системі прийняття рішень / Богушевський В.С., Жук С.В., Сергеева К.О., Горбачова М.В. // «Системні дослідження та інформаційні технології» Київ, №4 2012 р. С. 35 – 44.

4. Богушевський В.С. Динамічна модель контролю температурного режиму конвертерної ванни [Текст] / В.С. Богушевський, С. В. Жук // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. - 2011. - № 1. - С. 90 –96.

5. Богушевський В.С., Динамическая модель управления температурным режимом конвертерной ванны [Текст] / В.С. Богушевський, К.О. Сергеева, С.В. Жук // «Металл и литье Украины» . - 2011. - № 5. - С. 24 – 28.

6. Розрахунок металевої частини шихти киснево-конвертерної плавки [Текст] / В.С. Богушевський, В.Ю. Сухенко, К.О. Сергеева, С.В. Жук // «Металлургическая горнорудная промышленность». - 2010. - № 7. - С. 266 – 268.

УДК 681.51

## МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ ПАНЕЛІ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ У НАПРЯМКУ СОНЦЯ

**В.І. Іщенко**, кандидат технічних наук, професор кафедри автоматизованих систем управління

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова Державного університету телекомунікацій, м. Житомир, Україна, e-mail: [ishenko.kaf37@gmail.com](mailto:ishenko.kaf37@gmail.com)

**О.В. Базелюк**, асистент кафедри автоматизованих систем управління

Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова Державного університету телекомунікацій, м. Житомир, Україна, e-mail: [bazel-baz@mail.ru](mailto:bazel-baz@mail.ru)

**Анотація.** В роботі розглянуто будову мікропроцесорної слідкувальної двокоординатної системи панелі сонячних батарей в напрямку сонця підвищеної точності управління.

*Ключові слова:* сонце, панель сонячної батареї, алгоритм PSA, датчик сонячного положення, мікроконтролер, двигун постійного струму.

## MICROPROCESSOR'S SYSTEM OF ORIENTATION SOLAR PANEL TOWARDS TO THE SUN

**V.I. Ischenko**, Candidate of Technical Sciences, Professor of Automated Control Systems Department

Zhytomyr Military Institute S. P. Korolev State University of Telecommunications, Zhitomir, Ukraine, e-mail: [ishenko.kaf37@gmail.com](mailto:ishenko.kaf37@gmail.com)