

# УПРАВЛІННЯ КОНВЕРТЕРНОЮ ПЛАВКОЮ В РЕЖИМІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ



В.С. Богушевський, докт. техн. наук,  
К.М. Зубова

## Вступ

Киснево-конвертерний процес – основний спосіб виробництва сталі в Україні й світі. Істотним недоліком процесу є обмежені можливості переробки брухту, що пов'язано з використанням у плавці тільки внутрішніх джерел тепла. Для виробництва сталі металевий брухт порівняно з чавуном є менш енергоємною (майже на два порядки) і дешевшою (більш ніж удвічі) сировиною. За умов теплового балансу його витрати на плавку без ужиття спеціальних заходів не перевищують 25–27 % маси металеві шихти. Тому нині у світовій металургії спостерігається тенденція до розроблення технологій конвертерних процесів із використанням підвищеної частки брухту. Серед цих технологій можна виділити такі: попереднє нагрівання брухту, введення палива в конвертер під час продувки, попереднє нагрівання чавуну.

Враховуючи, що гази, які відходять з конвертера, складаються приблизно з 90 % CO і 10 % CO<sub>2</sub>, а тепловий ефект допалювання CO становить близько 21 тис. кДж/кг вуглецю, великі резерви в збільшенні частки брухту криються в підвищенні ступеня допалювання CO в порожнині конвертера [1].

Ступінь допалювання монооксиду вуглецю в порожнині конвертера визначають параметри режиму дуття, зокрема відстань фурми від рівня спокійної ванни [2]. Регулюючи відстань, можна забезпечити оптимальну

кількість тепла, що виділяється в конвертері від допалювання CO у CO<sub>2</sub> (енергозберігаюча технологія – ЕЗТ) [3]. Реалізація режиму ЕЗТ викладена нами в [4].

Робота виконується в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» за темою «Модель і система керування конвертерною плавкою по енергозберігаючій технології», Державний реєстраційний номер 0112U003476.

**Постановка задачі.** Метою роботи є організація киснево-конвертерного процесу в режимі ЕЗТ, підтримання оптимальної кількості CO<sub>2</sub> в газах, що відходять з конвертера.

**Результати досліджень.** Технологічні особливості процесу. Збільшуючи відстань фурми над рівнем спокійної ванни, можна підвищити ступінь допалювання CO в порожнині конвертера [5], але при цьому зменшується глибина реакційної ванни, що призводить до збільшення кількості заліза, яке окиснюється і переходить у шлак. Останнє знижує вихід придатного, зменшуючи ефективність процесу. За надмірної кількості FeO в шлаці взагалі втрачається технологічний режим продувки. Негативно впливає на процес і мала кількість оксидів заліза в шлаці, що призводить до поганих умов шлакоутворення та, як наслідок, до неможливості видалення шкідливих домішок (сірки, фосфору) під час переробки чавуну в сталь. Тому разом із здійсненням контролю ступеня допалювання CO у ванні конвертера

потрібно контролювати окисненість шлаку. Тобто існує оптимальне значення відстані фурми, при якому підвищення показників ефективності процесу за рахунок додаткового виділення тепла не призводить до суттєвих втрат процесу. Знайдене оптимальне значення, дрейфує разом із дрейфом об'єкта (зношення футерівки конвертера й фурми, хімічний склад і температура чавуну тощо).

Дослідження показали, що ступінь допалювання CO до CO<sub>2</sub> в порожнині конвертера протягом продувки, при якій відстань фурми над рівнем спокійної ванни знаходилась на одному рівні, також змінюється (рис. 1) [6].

На початку продувки масова частка CO<sub>2</sub> різко збільшується, а потім одразу ж починає знижуватись, що пов'язано з інтенсивним окисненням мангану, силіцію, сірки й фосфору, а в другому кінетичному періоді – вуглецю. Приблизно через 7 хв. масова частка CO<sub>2</sub> починає збільшуватись.

Виходячи з цього, управління режимом ЕЗТ є найбільш ефективним у разі використання регулятора з нечіткою логікою.

Для роботи регулятора необхідно безперервно під час продувки отримувати інформацію про положення фурми, ступінь допалювання CO і вміст FeO в шлаці. Методи

контролю цих параметрів викладені нами відповідно у [7].

### Модель нечіткого управління конвертерним процесом у середовищі MATLAB

Для побудови моделі на основі нечіткої логіки використано алгоритм Мамдані [8; 9]. Формальний алгоритм може бути визначений таким чином:

- формування бази правил систем нечіткого виводу;
- фазифікація вхідних змінних;
- агрегування підумов у нечітких правилах продукції;
- активізація підумов у нечітких правилах продукції;
- акумуляція висновків нечітких правил продукції;
- дефазифікація вихідних змінних.

### Формування бази правил систем нечіткого виводу

Емпіричні знання проблеми, яка розглядається, надані у формі 225 евристичних правил; У роботі описані п'ять правил:

*Якщо фурма над рівнем розплаву розташована:*

- низько, а значення масової частки CO<sub>2</sub> – набагато нижче заданого, швидкість зміни частки CO<sub>2</sub> – від'ємна, прискорення додатне,

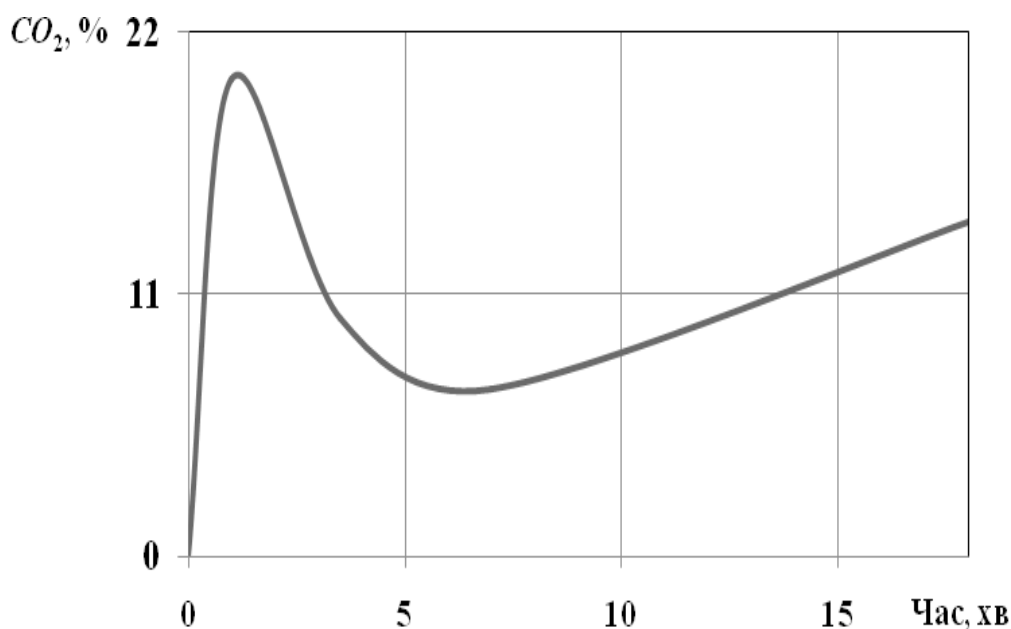


Рис. 1. Зміна масової частки CO<sub>2</sub> в газах під час продувки

а значення масової частки FeO – менше заданого, то фурму потрібно підняти до високого рівня;

- нижче середнього, а значення масової частки CO<sub>2</sub> – нижче заданого, швидкість зміни частки CO<sub>2</sub> – нульова, прискорення від’ємне, а значення масової частки FeO – більше заданого, то фурму потрібно опустити до низького рівня;

- на середині, а значення масової частки CO<sub>2</sub> – не набагато нижче заданого, швидкість зміни частки CO<sub>2</sub> – від’ємна, прискорення додатне, а значення масової частки FeO – задане, то фурму потрібно підняти до рівня вище середнього;

- вище середнього, а значення масової частки CO<sub>2</sub> – задане, швидкість зміни частки CO<sub>2</sub> і прискорення додатні, а значення масової частки FeO – більше заданого, то фурму потрібно опустити до рівня нижче середнього;

- високо, а значення масової частки CO<sub>2</sub> – вище заданого, швидкість зміни частки CO<sub>2</sub> і прискорення додатні, а значення масової частки FeO – більше заданого, то фурму потрібно опустити до середнього рівня.

Ці правила можна зобразити в символічному вигляді:

якщо  $H_1 = A, \gamma = K, f = S, S = N, a = P,$   
то  $H_2 = F;$

якщо  $H_1 = B, \gamma = M, f = B, S = Z, a = N,$   
то  $H_2 = A;$

якщо  $H_1 = C, \gamma = L, f = Z, S = N, a = P,$   
то  $H_2 = D;$

якщо  $H_1 = D, \gamma = Z, f = B, S = P, a = P,$   
то  $H_2 = B;$

якщо  $H_1 = F, \gamma = B, f = B, S = P, a = P,$   
то  $H_2 = C,$

де  $H_1, H_2$  – поточне і наступне значення відстані фурми над рівнем розплаву ( $A$  – низька;  $B$  – нижче середнього;  $C$  – на середині;  $D$  – вище середнього;  $F$  – висока);

$\gamma$  – поточне значення ступеня окиснення газу до CO<sub>2</sub> в порожнині конвертера ( $K$  – набагато нижче заданого,  $L$  – не набагато нижче заданого,  $M$  – нижче заданого,  $Z$  – задане,

$B$  – вище заданого);

$f$  – поточне значення масової частки оксиду заліза ( $S$  – менше заданого,  $Z$  – задане,  $B$  – більше заданого);

$S$  – швидкість зміни ступеня окиснення CO ( $N$  – від’ємна швидкість,  $Z$  – нульова швидкість,  $P$  – додатна швидкість);

$a$  – прискорення, за яким відбувається окиснення CO, яке визначається як різниця між двома послідовними вимірами швидкості ( $N$  – від’ємне прискорення,  $P$  – додатне прискорення).

Регулювання відстані фурми над рівнем розплаву відбувається таким чином: якщо значення масової частки оксиду заліза більше заданого, то фурму потрібно опустити; якщо значення масової частки оксиду заліза і діоксиду вуглецю – задані, то рівень фурми не регулюється; якщо значення масової частки оксиду заліза – менше заданого, то фурму потрібно підняти.

Процес аналізу і дослідження побудованої нечіткої моделі включає в себе виконання нечітких висновків для різних значень входних змінних і оцінки отриманих результатів з метою встановлення адекватності моделі і внесення в неї необхідних змін у випадку неузгодженості окремих результатів (рис. 2).

Перевірка моделі підтверджує її адекватність.

Керування режимом дуття відбувається таким чином: АРМ оператора конвертера виконано на основі ПЕОМ (рис. 3). Монітор і безпроводний трекбол встановлено на пульті конвертера, а системний блок – у приміщенні обчислювальної техніки. З’єднання із системним блоком виконано через підсилювачі сигналу АТЕН СЕ-250. Обмін інформацією між контролером керування положення фурми (QUANTUM із відповідним ПЗО) і контролером керування витрати кисню (промисловий контролер ROC-809) відбувається по Ethernet. Для надійності інформація про витрати кисню на продувку дублюється аналоговим сигналом. Вибір потужного контролера для

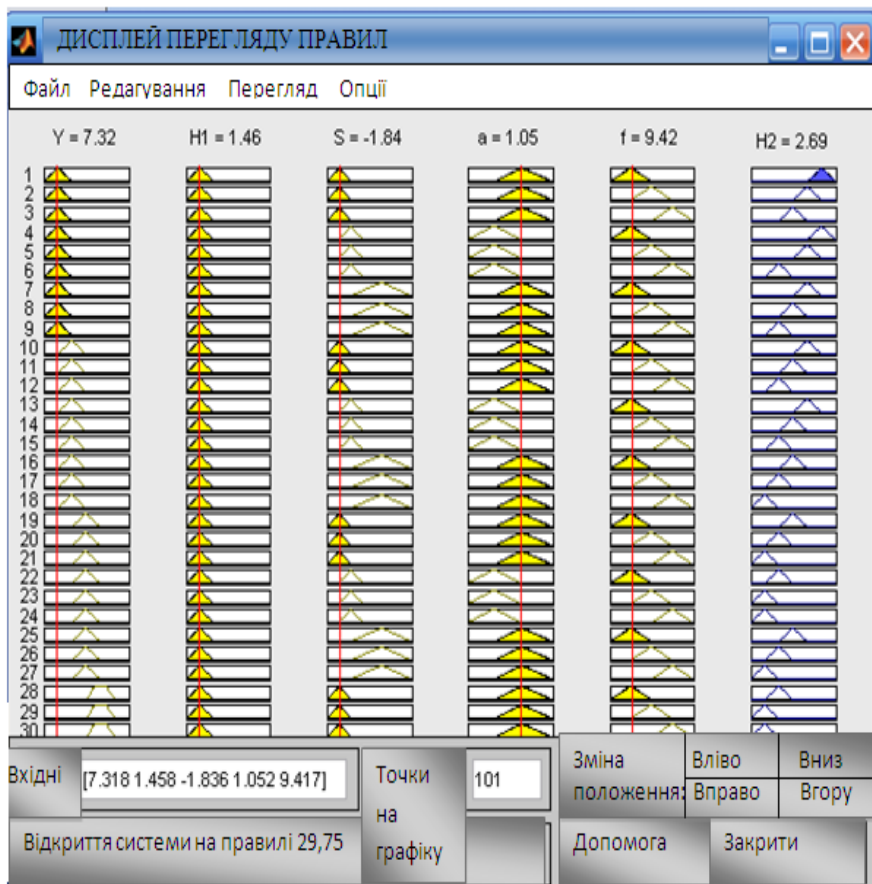


Рис. 2. Графічний інтерфейс перегляду правил після процедури нечіткого виводу:  
 $\gamma$  – масова частка  $\text{CO}_2$ ;  $H_1$  – поточний рівень фурми над розплавом;  
 $S$  – швидкість реакції допалювання  $\text{CO}$  до  $\text{CO}_2$ ;  
 $a$  – прискорення реакції допалювання  $\text{CO}$  до  $\text{CO}_2$ ;  $f$  – масова частка  $\text{FeO}$ ;  
 $H_2$  – регулюючий рівень фурми

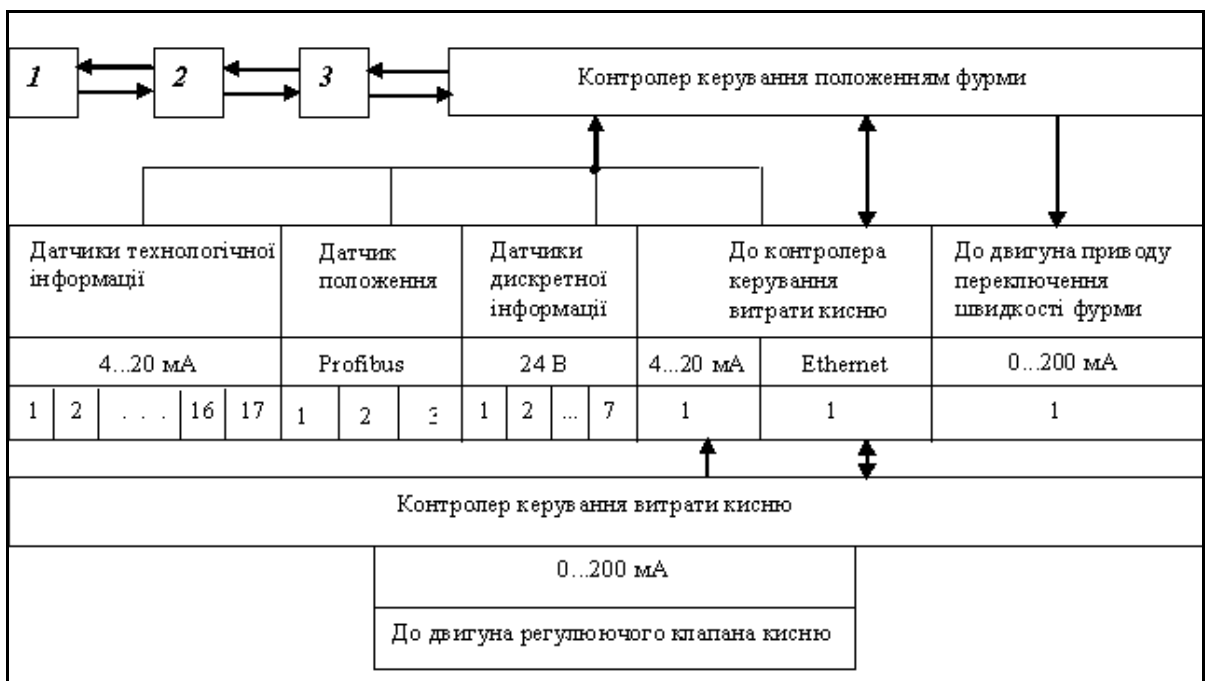


Рис. 3. Структурна схема засобів керування режимом дуття конвертерної плавки:  
 1 – АРМ фурми; 2, 3 – підсилювачі сигналу ATEN CE-250

керування положення фурми обумовлений тим, що *QUANTUM* одночасно з керуванням положення фурми вимірює технологічні параметри і визначає необхідність блокувань процесу в разі виникнення аварійних ситуацій.

### Висновки

Обґрунтовано процес керування киснево-конвертерною плавкою за ЕЗТ. Регулювання управління процесом організоване із застосуванням нечіткої логіки. Моделювання процесу показало, що частка  $CO_2$  в газах, які відходять, збільшується на 3–5%, завдяки чому суттєво підвищуються техніко-економічні показники процесу.

Подальші дослідження будуть проведені на промислових 160-тонних конвертерах.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: підруч. – Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2004. – 454 с.
2. Богушевський В.С., Оробцев Ю.В., Рюмишин Н.А., Со-

рокин Н.А. Математическая модель АСУ конвертерной плавкой. – К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1996. – 212 с.

3. Пат. 48101 Україна, МПК (2009) C21C 5/46. Спосіб регулювання процесу допалення монооксиду вуглецю / Богушевський В.С., Сергеева К.О.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «КПІ». – № u200908717; заявл. 19.08.2009; опубл. 10.03.10, Бюл. № 5, 2010.

4. Пат. Україна, МПК (2011)C21C5/46. Спосіб керування режиму дуття у кисневому конвертері / В.С. Богушевський, К.М. Зубова, В.Ю. Сухенко; заявник і патентовласник НТУУ «КПІ». – № u201113267; заявл. 10.11.2011; опубл. 10.07.12, Бюл. №13, 2012.

5. Богушевський В.С., Рюмишин Н.А., Сорокин Н.А. Основы математического описания технологических процессов конвертерного производства стали. – К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1996. – 167 с

6. Чернега Д.Ф., Богушевський В.С., Готвянський Ю.Я. Основы металлургийного виробництва металів і сплавів: підруч. – К.: Вища школа, 2006. –503 с.

7. Богушевський В.С., Литвинов Л.Ф., Рюмишин Н.А., Сорокин В.В. Математические модели и системы управления конвертерной плавкой. – К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1998. – 304 с

8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. –736с.

9. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системе автоматического управления. – К.: «Радиоаматор», 2008. –972 с.

## До уваги авторів!

**З 1 квітня 2008 р. введено в дію національний стандарт України ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 «Бібліографічний запис, бібліографічний опис». Просимо в статтях, що надаються для публікації, перелік використаних джерел оформляти згідно з новими вимогами.**