

Визначення допустимих похибок інформації про технологічні параметри доменного процесу

Б.П. ДОВГАЛЮК

Дніпродзержинський державний технічний університет

Використовуючи математичну модель колошникового газу, дослідили вплив кожного параметру процесу на склад колошникового газу і визначили допустимі похибки їх контролю

Используя математическую модель колошникового газа, исследовали влияние каждого параметра процесса на состав колошникового газа и определили допустимые погрешности их контроля

Using mathematical model top gas, investigated influence of everyone to parameter of process on structure top gas and have defined allowable errors of their control

Ефективна та надійна експлуатація автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) доменної плавки обумовлюється, в першу чергу, достовірністю інформації про технологічні параметри процесу. Саме відсутність такої інформації спричиняє низьку ефективність використання таких систем та викликає песимістичні настрої у значній кількості фахівців щодо доцільності продовження робіт по їх створенню.

Нами вперше було доведено, що для реалізації АСК ТП доменної плавки необхідна висока точність інформації про хімічний склад колошникового газу, витрату та склад комбінованого дуття тощо [1]. Для контролю достовірності інформації в темпі реального часу функціонування АСК ТП створена математична модель колошникового газу [2]. Удосконалений варіант моделі полягає в наступному.

З інформації про витрату дуття (V_D) і технологічного кисню (V_O), концентрації кисню у технологічному кисні (ω), вологість дуття (λ), витрату природного газу ($V_{пр}$) визначають вміст кисню у дутті (ω), кількість комбінованого дуття ($V_{кд}$), та вміст у ньому відновного (природного) газу (δ), кількість кисню в m^3 комбінованого дуття (O_D), кількість оксиду вуглецю у горновому газі (CO_2), кількість азоту, який поступає в піч з m^3 комбінованого дуття (N_D), кількість водню, що поступає у горн доменної печі (H_D), об'ємне відношення дуття до азоту у дутті (α) та кисню дуття до азоту у дутті (β) [1]. З інформації про кількість та хімічний склад шихтових матеріалів, винос колошникового пилу і коксу, вміст заліза в чавуні визначають:

Продуктивність доменної печі, кг/хв

$$P_{ми} = \frac{n(A_2 \cdot Fe + P \cdot Fe_p + D \cdot Fe_D + K \cdot Ж \cdot Fe_{ж} - П \cdot Fe_n)}{\sum_{i=1}^n t_{n,i} \cdot Fe_i}$$

де A_2 - маса агломерату у подачі, кг; P - маса руди у подачі, кг; D - маса добавки металобрухту у подачі, кг; $Ж$ - вміст золи у коксі, частка одиниці маси; $П$ - винос колошникового пилу, кг/подачу; Fe , Fe_p , Fe_D , $Fe_{ж}$, Fe_n , Fe_i - відповідно, вміст заліза вагломераті, руді, металобрухті, золі коксу, колошниковому пилу, чавуні, частка одиниці маси; t_{ni} - час сходу шихти i -ої подачі, хв; n - кількість завантажених подач шихти за календарну годину.

Кількість газифікованого кисню від відновлення заліза

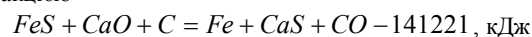
$$O_{и}^{Fe} = 0,2P_m \cdot Fe_i \cdot \left(1,5 - 0,389 \cdot \frac{FeO_{\Sigma}}{Fe_{\Sigma}} \right), m^3/xv$$

де Fe_{Σ} , FeO_{Σ} - відповідно, усереднений вміст у шихтових матеріалах заліза та його оксиду, частка одиниці маси.

Кількість газифікованого кисню від відновлення заліза із FeO

$$O_{и}^{FeO} = 0,2P_m \cdot Fe_i, m^3/xv$$

Кількість сірки, яка відновлюється із металу за реакцією



$$\Delta S = 0,15 \cdot K \cdot S_k \cdot n / \sum_{i=1}^n t_{n,i} - [S] \cdot P_m, \text{ кг/хв}$$

де S_k - вміст сірки у коксі, частка одиниці маси; $[S]$ - вміст сірки в чавуні, частка одиниці маси.

Кількість газифікованого кисню від відновлення кремнію, марганцю, фосфору та ошлакування сірки, m^3/xv

$$O_{и}^E = P_m \left(0,008 [Si] + 0,0020366 [Mn] + \right) + 0,35 \Delta S,$$

де $[Si]$, $[Mn]$, $[P]$ - вміст в чавуні кремнію, марганцю та фосфору, частка одиниці маси.

Кількість газифікованого кисню від прямого відновлення елементів чавуну

$$\Gamma = [0,5(CO + CO_2) - \beta \cdot N_2] V_{скз} / 100, m^3/xv$$

де $V_{скз}$ - вихід сухого колошникового газу, вимірюють приладом або вираховують [1].

Кількість газифікованого кисню від прямого відновлення заліза із FeO

$$O_d^{Fe} = \Gamma - O_{и}^E, m^3/xv.$$

Кількість газифікованого кисню від непрямого відновлення заліза

$$O_i^{Fe} = O_{и}^{Fe} - O_d^{Fe}, m^3/xv$$

Приріст кількості оксиду вуглецю в доменному газі від прямого відновлення елементів чавуну та від розкладання вапняку (И)

$$\Delta CO_{д.з.} = 2\Gamma + 0,214 \cdot И \cdot n / \sum_{i=1}^n t_{n,i}, m^3/xv.$$

Кількість $CO + CO_2$ в сухому колошниковому газі

$$\Sigma(CO + CO_2) = CO_2 + \Delta CO_{d.z.} / V_{kd}, \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ к.д.}$$

Кількість водню, який поступає у доменну піч

$$\Sigma H_2 = H_0 \times V_{kd}, \text{ м}^3/\text{хв}$$

Кількість водню, який виходить із печі з сухим колошниковим газом

$$H'_2 = H_2 \times V_{скз} / 100, \text{ м}^3/\text{хв}$$

де H_2 - вміст водню в колошниковому газі, який визначають газоаналізатором, в % об'єму. Кількість H_2O , що утворюється в результаті непрямого відновлення заліза воднем

$$H_2O^e = \Sigma H_2 - H'_2, \text{ м}^3/\text{хв}$$

Ступінь використання водню

$$\eta_{H_2} = \frac{H_2O^e}{\Sigma H_2}, \text{ частка одиниці.}$$

Кількість водню в колошниковому газі

$$H_{2,k} = H_0 \times (1 - \eta_{H_2}), \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ к.д.}$$

Кількість сухого колошникового газу

$$V'_{скз} = \Sigma(CO + CO_2) + N_0 + H_{2,k}, \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ к.д.} \quad (16)$$

Склад колошникового газу по моделі в % об'єму

$$(CO + CO_2)_m = \Sigma(CO + CO_2) \times 100 / V'_{скз},$$

$$H_{2,m} = H_{2,k} \times 100 / V'_{скз},$$

$$N_{2,m} = N_0 \times 100 / V'_{скз}.$$

Кількість CO_2 в колошниковому газі

$$CO'_2 = \left(2O_i^{re} - H_2O^e + 0,214 H \cdot n / \sum_{i=1}^n t_{n,i} \right) / V_{kd},$$

м³/м³ к.д.

Вміст CO_2 в сухому колошниковому газі

$$CO_{2,m} = 100 CO'_2 / V'_{скз}, \%$$

Вміст CO в сухому колошниковому газі

$$CO_m = (CO + CO_2)_m - CO_{2,m}, \%$$

Використовуючи цю модель, розрахували вплив зміни кожного технологічного параметра на склад колошникового газу (таблиця). Допустимі похибки параметрів можна визначали як ті їх зміни, що відповідають граничним припущенням складових колошникового газу на $\pm 0,05\%$.

Аналіз результатів розрахунків показує, що зміна технологічних параметрів дуттьового режиму та шихтових матеріалів впливає лише на вміст в колошниковому газі CO і CO_2 , тільки зміна маси вапняку в подачі суттєво впливає на концентрацію всіх складових газу. Припущення витрати дуття на $25 \text{ м}^3/\text{хв}$ викликає збільшення CO на $0,156\%$ та зменшення CO_2 на таку ж величину. Звідси випливає, що допустима похибка інформації про витрату дуття не повинна перевищувати $\pm 10 \text{ м}^3/\text{хв}$. Припущення витрати технологічного кисню на $50 \text{ м}^3/\text{годину}$ ($0,833 \text{ м}^3/\text{хв}$) спричинило зменшення вмісту CO та збільшення CO_2 на $0,0346\%$. Отже допустима

похибка вимірювання витрати технологічного кисню не може бути вищою $\pm 50 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Значний вплив на вміст CO та CO_2 має зміна концентрації кисню в технологічному кисні: зменшення її на 4% спричиняє збільшення CO та зменшення CO_2 на $0,226\%$. Це значить, що допустима похибка вимірювання цього параметру не повинна перевищувати $0,88\%$. Високі вимоги пред'являються до точності вимірювання вологості дуття: збільшення вологості на $2 \text{ г}/\text{м}^3$ дуття викликає зменшення CO та збільшення CO_2 на $0,059\%$. Отже допустима похибка контролю вологості не повинна перевищувати $\pm 1,5 \text{ г}/\text{м}^3$.

Збільшення маси рудної частини шихти (агломерату) в подачі на 100 кг супроводжується зниженням вмісту CO та підвищенням вмісту CO_2 в колошниковому газі на $0,1027\%$, що свідчить про допустиму похибку цієї інформації $\pm 50 \text{ кг}/\text{подачу}$. Підвищення маси вапняку в подачі на 150 кг викликає зменшення вмісту CO на $0,4118\%$ та суми $(CO + CO_2)$ на $0,0659\%$ і збільшення CO_2 на $0,3478\%$, N_2 на $0,05904\%$ і H_2 на $0,0065\%$. Допустима похибка зважування вапняку, що відповідає граничному значенню $\Delta CO = \pm 0,05\%$, дорівнює $\pm 18 \text{ кг}/\text{подачу}$.

Збільшення виносу колошникового пилу на $100 \text{ кг}/\text{подачу}$ спричиняє підвищення вмісту CO та зниження CO_2 в газі на $0,0791$. Отже допустиму похибку цієї інформації можна вважати $\pm 50 \text{ кг}/\text{подачу}$.

Підвищення концентрації заліза в рудній частині шихти на 3% викликає зменшення CO та збільшення CO_2 на $1,462\%$. Отже, допустима похибка цієї інформації не повинна перевищувати $0,1\%$.

При збільшенні вмісту золи в коксі на 2% значення CO зменшується, а CO_2 збільшується на $0,0949\%$. Це значить, що допустима похибка інформації про кількість золи в коксі не повинна перевищувати 1% .

Дуже важлива інформація про кількість завантажених подач за годину та час сходу n подач за годину: збільшення n на одну подачу викликає зменшення CO та збільшення CO_2 на $2,37\%$; зменшення часу сходу n подач на 1 хв . супроводжується зниженням вмісту CO та підвищенням вмісту CO_2 на $0,42\%$. Отже ця інформація повинна контролюватися з дуже великою точністю: час сходу n подач - $\pm 12 \text{ сек.}$; кількість завантажених подач за годину - $\pm 0,02$ подачі

На точність визначення повного складу колошникового газу за моделлю найсуттєвіше впливає достовірність інформації про склад колошникового газу, що контролюється газоаналізаторами: так завищення інформації про CO або CO_2 на $0,3\%$ викликає збільшення CO на $0,875\%$ та зменшення CO_2 на $0,574\%$, зменшення N_2 на $0,3\%$, збільшення $(CO + CO_2)$ на $0,3\%$. Для забезпечення точності визначення CO за моделлю $\pm 0,05\%$ склад колошникового газу, що контролюється газоаналізаторами, повинен мати похибку не вище $\pm 0,017\%$. Отже, для реалізації даної моделі необхідні високо точні засоби автоматичного контролю складу колошникового газу. При цьому повинна бути впевненість в достовірності інформації про склад колошникового газу, оскільки в протилежному випадку контролювати цю інформацію за моделлю не має сенсу.

Для визначення складу колошникового газу за моделлю з точністю $\pm 0,05\%$ абс. допустимі похибки інформації про основні технологічні параметри повинні вміщатися в наступних границях:

Таблиця. Результати розрахунків прирощення складових колошникового газу при зміні параметрів процесу

Зміна параметрів процесу	ΔCO	ΔCO_2	ΔH_2	ΔN_2	$\Delta(\text{CO} + \text{CO}_2)$
Витрата дуття м ³ /хв: +25 +50	+0,156688 + 0,3068	- 0,1561 - 0,3056	0 0	0 0	0 0
Витрата технологічного кисню, м ³ /г: + 50 + 150	-0,0346 - 0,104	+ 0,0346 + 0,104	0 0	0 0	0 0
Вміст кисню у технологічному кисні, %: - 4 - 12	+ 0,226 + 0,678	0,226 0,678	0 0	0 0	0 0
Вологість дуття, г/м ³ : + 3 + 15	- 0,059 - 0,2995	+ 0,059 + 0,2995	0 0	0 0	0 0
Кількість водню в 1 м ³ природного газу (показник μ), м ³ : - 0,01 - 0,03	- 0,0273 - 0,0819	+ 0,273 + 0,0819	0 0	0 0	0 0
Кількість вуглецю в 1 м ³ природного газу (показник γ), м ³ : - 0,03	+ 0,0033	- 0,0033	0	0	0
Об'ємне відношення газифікованого вуглецю до водню у коксі (показник ψ) м ³ /м ³ : + 1 + 3	- 0,044 - 0,1229	+ 0,044 + 0,1229	0 0	0 0	0 0
Маса агломерату (руди) в подачі, кг: +100 + 300	- 0,1027 - 0,3082	+ 0,1027 + 0,3082	0 0	0 0	0 0
Маса коксу в подачі, кг: + 100 + 300	- 0,0106 - 0,0318	+ 0,0106 + 0,0318	0 0	0 0	0 0
Маса вапняку в подачі, кг: +150 + 350	- 0,4118 - 0,9622	+ 0,3478 + 0,8082	+0,0065 + 0,0154	+0,05904 + 0,1387	- 0,659 - 0,154
Винос колошникового пилу, кг/подачу: +100 + 300	+ 0,0791 + 0,2371	- 0,0791 - 0,2371	0 0	0 0	0 0
Кількість подач за годину: + 1 + 2	- 2,379 - 4,758	+ 2,372 + 4,744	0 0	0 0	0 0
Час сходу n подач шихти за годину $\sum t_{\text{ш}}$: - 1 хв - 3 хв	- 0,4171 - 1,296	+ 0,4555 + 1,2912	0 0	0 0	0 0
Вміст заліза в шихті, %: + 3 + 15	- 1,462 - 6,204	+ 1,462 + 6,204	0 0	0 0	0 0
Вміст заліза в руді, %: + 3 + 15	- 0,1186 - 0,5927	+ 0,1186 + 0,5927	0 0	0 0	0 0
Вміст золи в коксі, %: +2	- 0,0949	+ 0,0949	0	0	0
Вміст заліза в золі коксу, %: + 3 + 7	- 0,0445 - 0,1038	+ 0,0445 + 0,1038	0 0	0 0	0 0
Вміст заліза в чавуні, % - 3	- 0,02	+ 0,02	0	0	0
Вміст CO в СКГ, %: + 0,3 + 1,5	+ 0,8753 + 4,3762	- 0,5743 - 2,8716	0 0	- 0,3009 - 1,5046	+ 0,3009 + 1,5046
Вміст CO ₂ в СКГ, %: + 0,3 + 1,5	+ 0,8753 + 4,3762	- 0,5743 - 2,8716		- 0,3009 - 1,5046	+ 0,3009 + 1,5046

