

Дніпродзержинський державний технічний університет

ПРОБЛЕМИ КЕРУВАННЯ ХОДОМ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ

Вступ. Проблеми керування ходом доменної печі остаточно не розв'язані, оскільки існуючі системи, методи та алгоритми охоплюють тільки окремі задачі. Керування ходом повинно комплексно забезпечити оптимальний розподіл шихтових матеріалів і газового потоку в печі, оптимізацію витрати дуття, паливної добавки, пари на зволоження дуття та теоретичної температури горіння.

Постановка задачі. Проаналізувати існуючі методи та алгоритми і розробити комплексний алгоритм керування ходом доменної печі.

Результати роботи. Одна із перших автоматизованих систем керування ходом доменної печі була розроблена в НМетАУ [1]. Основними показниками газодинамічного стану використовувались перепади статичного тиску газу в печі. Ці показники базуються на тому, що сила, яка спричиняє опускання шихти в доменній печі, – це її активна вага P_a . Вона визначається за формулою [2]

$$P_a = P_{ш} - P_c - P_k - P_z, \quad (1)$$

де $P_{ш}$ – вага шихти, що знаходиться в печі, m ; P_c – сила тертя шихти по стінках печі, m ; P_k – сила тертя коксу, що зсипається у зону горіння по менш рухливому коксу в центрі печі, m ; P_z – підйомна сила газів, m .

Із (1) випливає, що опускання шихти зупиниться тоді, коли $P_a \rightarrow 0$, тобто за умови

$$P_z = P_{ш} - (P_c + P_k). \quad (2)$$

Враховуючи, що

$$P_{ш} = H\gamma_{ш}F_{cp}, \quad aP_z = \Delta P \cdot F_{cp},$$

формулу (2) представили [1]

$$\Delta P \cdot F_{cp} = H\gamma_{ш}F_{cp} - (P_c + P_k),$$

де H – висота стовпа шихти, m ; $\gamma_{ш}$ – насипна вага шихти, $кг/м^3$; ΔP – опір шару шихти, $кг/м^2$; F_{cp} – середній переріз шару шихти, $м^2$.

Поділивши на F_{cp} , отримали

$$\Delta P = H\gamma_{ш} - (P_c + P_k) / F_{cp} \quad (3)$$

і потім, поділивши на $H\gamma_{ш}$, отримали [1]

$$\frac{\Delta P}{H\gamma_{ш}} = (1 - \beta), \quad (4)$$

де $\frac{P_c + P_k}{F_{cp} H\gamma_{ш}} = \beta$.

П.Н.Греков та інші [3], досліджуючи на моделі зміну сил тертя у шарі кускових матеріалів, виявили, що в момент переходу шару шихти у підвісний стан сили тертя стають рівними нулю ($\beta \rightarrow 0$). Тоді

$$\frac{\Delta P}{H\gamma_{ш}} = 1. \quad (5)$$

В.К.Дурнов [4] довів, що критерій газодинамічної сталості шару шихти P_y визначається як

$$P_y = \frac{\Delta P}{H\gamma_{ш}}. \quad (6)$$

Фізична сутність цього критерію полягає в тому, що при досягненні рівності підірних сил газового потоку і сил тяжіння, коли $P_y = 1$, шар сипучих твердих матеріалів переходить в режим псевдозрідження.

Критерій газодинамічної сталості шару шихти P_y можна використати для розрахунку межі форсування ходу доменних печей. За результатами досліджень [4] для доменних печей величина P_y коливається в границях

$$0,4 \leq P_y \leq 0,6. \quad (7)$$

За результатами підвисянь шихти на доменній печі № 7 «Криворіжсталі» визначили значення P_y для кожного випадку порушення сходу шихти. Проаналізовано 21 випадок підвисянь, які відбулися на протязі 8 місяців. Результати розрахунків наведено у табл.1 [1].

Таблиця 1 – Визначення критерію P_y ДП 7, КМЗ (за даними [5])

Дата	P_y	Дата	P_y	Дата	P_y
04.02.66	0,5184	20.03.66	0,5113	12.07.66	0,5286
09.02.66	0,5286	20.03.66	0,4979	17.07.66	0,5286
13.02.66	0,5013	21.03.66	0,4979	26.07.66	0,5286
12.03.66	0,5013	06.07.66	0,5013	27.07.66	0,5354
17.03.66	0,4979	08.07.66	0,5047	05.09.66	0,5320
19.03.66	0,5013	11.07.66	0,5115	10.09.66	0,5456
19.03.66	0,5252	11.07.66	0,5286	14.09.66	0,5286

Аналіз цих результатів показує, що значення P_y мало змінюються і погоджуються з даними Дурнова В.К., а середнє його значення близьке до 0,5 [1]. Отже, якщо з урахуванням імовірної похибки окреме визначення значення P_y не менше 0,5, то в першому наближенні можна за формулою (6) розрахувати граничне значення перепаду статичного тиску:

$$\Delta P_{гран} = 0,5H_{ш}\gamma_{ш}. \quad (8)$$

Граничне значення загального перепаду статичного тиску, що характеризує стан зависання шихтових матеріалів в доменній печі, визначається для конкретних сировинних умов.

Приклади [1].

Похідні дані ДП-1: $H_{ш} = 24,15 \text{ м}$; $\gamma_a = 1,828 \text{ т/м}^3$ – насипна вага агломерату; $\gamma_{конв.шл.} = 1,7 \text{ т/м}^3$ – насипна вага конвертерного шлаку; $\gamma_k = 0,475 \text{ т/м}^3$ – насипна вага коксу. В розрахунку на 1т коксу шихта включала: агломерату – 3,6939 т; конвертерного шлаку – 0,014т.

Похідні дані ДП-8: $H_{ш} = 26,3 \text{ м}$; $\gamma_{анкгок} = 1,721 \text{ т/м}^3$ – насипна вага агломерату (нкгок); $\gamma_{ок.} = 2,0 \text{ т/м}^3$ – насипна вага окотишів; $\gamma_k = 0,475 \text{ т/м}^3$ – насипна вага коксу. В розрахунку на 1т коксу шихта включала: агломерату – 2,2222 т; окотишів – 1,1111т.

Розраховуємо $\gamma_{ш}$ та $\Delta P_{гран}$:

$$\gamma_{ш,дп1} = (3,6939 + 0,014 + 1,0) / (3,6939 / 1,828 + 0,014 / 1,7 + 1,0 / 0,475) = 1,1389 \text{ т/м}^3;$$

$$\gamma_{u, \text{дн8}} = (2,2222 + 1,1111 + 1,0) / (2,2222/1,721 + 1,1111/2 + 1,0/0,475) = 1,0965 \text{ м/м}^3;$$

$$\Delta P_{\text{гран,дн1}} = 0,5 \cdot H_{\text{ш}} \cdot \gamma_{\text{ш}} = 0,5 \cdot 24,15 \cdot 1,1389 = 13,75 \text{ м/м}^2 = 1,375 \text{ ат};$$

$$\Delta P_{\text{гран,дн8}} = 0,5 \cdot 26,31 \cdot 1,0965 = 14,42 \text{ м/м}^2 = 1,442 \text{ ат}.$$

Результати розрахунку показують, що на цих печах є резерви форсування ходу, оскільки значення загального перепаду не перевищує 1,25-1,35 ат [1].

Отже, суть керування газодинамічним режимом за методикою НМетАУ, в основному, полягає в тому, що підвищують витрату дуття до тих пір, поки перепад тиску газу в печі не приблизиться до його граничного значення $\Delta P_{\text{гран}}$.

Недоліком цього методу є те, що під час пошуку оптимального режиму не враховуються зміни продуктивності печі, ефективності використання паливної добавки, зволоження дуття тощо. Граничне значення загального перепаду статичного тиску характеризує лише можливість зависання шихтових матеріалів в доменній печі, але це ще не свідчення того, що при такому значенні перепаду технологічний процес буде проходити за оптимального режиму. Вірогідно, що під час наближення перепаду тиску до граничного значення будуть змінюватися показники технологічного процесу. Тому алгоритм керування повинен контролювати і враховувати ці зміни.

Насипну вагу шихти краще визначати за формулою, що не вимагає розрахунку витрати компонентів шихти на тону коксу, а саме

$$\gamma_{\text{ш}} = (K + A + O_{\text{к}} + I + D) / (K/\gamma_{\text{к}} + A/\gamma_{\text{а}} + O_{\text{к}}/\gamma_{\text{ок}} + I/\gamma_{\text{и}} + D/\gamma_{\text{д}}), \quad (9)$$

де K – маса коксу в подачі, m ; A – маса агломерату в подачі, m ; $O_{\text{к}}$ – маса окатишів в подачі, m ; I – маса вапняку в подачі, m ; D – маса іншої добавки в подачі, m ; $\gamma_{\text{к}}$, $\gamma_{\text{а}}$, $\gamma_{\text{ок}}$, $\gamma_{\text{и}}$, $\gamma_{\text{д}}$ – відповідно насипна вага коксу, агломерату, окатишів, вапняку, добавки, m/m^3 .

За методом ІЧМ оцінка газодинамічного режиму здійснюється по виходу колошникового газу на $1m^2$ перерізу колошника при установленому тиску колошникового газу [6]. Метод реалізовано на ДП №9 „Криворіжсталі” і може бути реалізований на доменних печах в складі діючих АСК ТП, оснащених системами вимірювання профілю поверхні засипання шихти на колошнику.

Для конкретної доменної печі за параметрами газодинамічного режиму і профілю поверхні засипання шихти на колошнику визначають норму виходу колошникового газу на $1m^2$ перерізу колошника, при якій досягається найбільш стабільний схід шихти. Верхня межа діапазону зміни норми виходу колошникового газу характеризує межу регулювання ходу печі „знизу” витратою дуття. Для збереження коефіцієнта нестабільності і раціональної величини виходу колошникового газу можна змінювати програми завантаження.

Основним недоліком цього методу є те, що визначають норму виходу колошникового газу на $1m^2$ перерізу колошника, при якій досягається найбільш стабільний схід шихти. Але ця норма може змінюватися при коливанні гранулометричного складу шихти, розподілу шихтових матеріалів та газового потоку в печі. Це по суті мало відрізняється від визначення допустимого значення перепаду статичного тиску газу в печі $\Delta P_{\text{гран}}$. До того ж, під час досягнення норми виходу колошникового газу не враховуються можливі коливання параметрів технологічного процесу. Тому реалізація цього методу не забезпечить оптимізацію газодинамічного режиму доменної плавки, оскільки стабільний схід шихти ще не показник оптимального використання паливної добавки і зволоження дуття, максимально можливої продуктивності печі.

Для досягнення раціонального газодинамічного режиму пропонується підтримувати на оптимальному рівні комплексні показники дуттьового режиму: повну енергію дуття ($E_{\text{пмкд}}$) і горнового газу ($E_{\text{пмгг}}$) та термодинамічну роботу розширення газового потоку (L) [7].

Ці показники можна підтримувати на оптимальному рівні зміною витрати дуття, його температури та теоретичної температури горіння. Але такі оптимальні рівні не відповідають оптимальному ходу печі – максимально можливій продуктивності печі, ефективності використання паливної добавки та зволоження дуття. Краще теоретичну температуру горіння і витрату дуття підтримувати на оптимальних рівнях, а температуру дуття – на максимально можливому.

Можливий варіант використання цих показників – досягають їх оптимального значення, а потім визначають оптимальну витрату дуття, що відповідає максимально можливій продуктивності печі, паливної добавки, пари на зволоження дуття та оптимальну теоретичну температуру горіння.

Пропонується об'єднання системи керування розподілом дуття і природного газу по фурмах з системою керування розподілом газового потоку по перерізу печі і створення АСК ходом печі [8]. В алгоритмі керування ходом використовується показник А.Н.Похвіснева q з урахуванням зволоження дуття та вдування природного газу. Його значення підтримується на оптимальному рівні зміною горизонтального та вертикального розподілу матеріалів і газу, але не передбачено оптимізації витрати дуття, паливної добавки, пари на зволоження дуття, теоретичної температури горіння.

Пропонується також об'єднання АСК ходом печі з АСК тепловим станом та шихтовкою плавки і створення комплексної АСК ТП. Найбільш слабкою ланкою в комплексній АСК ТП є недостатня надійність алгоритмів керування розподілом газу по колу і радіусу печі [8].

Отже, розглянуті методи не розв'язують в комплексі проблему керування ходом доменної печі, що повинно забезпечувати максимально можливу продуктивність печі, ефективність використання паливної добавки і зволоження дуття, оптимальну теоретичну температуру горіння.

Комплексний алгоритм функціонування автоматизованої системи керування ходом доменної печі повинен включати виконання наступних функцій: контроль та керування завантаженням шихтових матеріалів з оптимальним їх розподілом по перерізу печі; оптимізацію витрати дуття на рівні максимально можливої продуктивності печі; оптимізацію витрати паливних добавок та пари на зволоження дуття; стабілізацію теоретичної температури горіння; контроль достовірності інформації про параметри технологічного процесу. Отже алгоритм керування ходом доменної полягає в наступному [9].

1. Контролюють і забезпечують оптимальний розподіл шихти на колошнику печі під час її завантаження та розподіл газового потоку і матеріалів в печі [10-12].

2. За інформацією про кількість і склад шихтові матеріали, що завантажуються у піч, витрату та склад дуття, перепад тиску газу в печі ΔP визначають граничне значення загального перепаду статичного тиску $\Delta P_{\Sigma \text{гран}}$.

3. Визначають різницю $\chi = \Delta P_{\Sigma \text{гран}} - \Delta P$. Якщо $\chi > 0$, то починається пошук оптимального рівня витрати дуття [13].

4. При оптимальному рівні витрати дуття забезпечують оптимізацію витрати паливної добавки [9].

5. При оптимальному рівні витрати паливної добавки забезпечують оптимізацію витрати пари на зволоження дуття [9].

6. При оптимальному рівні витрати дуття, паливної добавки і пари на зволоження дуття забезпечують стабілізацію теоретичної температури горіння.

7. Контролюють достовірність інформації про параметри технологічного процесу [14]. При недостовірній інформації операції 1-6 не виконуються.

Висновки. Проблеми керування ходом доменної печі існуючими системами, методами та алгоритмами остаточно не розв'язані, оскільки вони охоплюють розв'язання тільки окремих задач.

Розроблено комплексний алгоритм функціонування АСК ходом доменної печі, що включає: керування розподілом шихти на колошнику під час її завантаження; контроль та регулювання розподілу газового потоку і матеріалів в печі; оптимізацію витрати дуття на рівні максимально можливої продуктивності печі; контроль ефективності паливної добавки та оптимізацію її витрати; контроль ефективності зволоження дуття та оптимізацію витрати пари на зволоження; стабілізацію теоретичної температури горіння; контроль достовірності інформації про параметри технологічного процесу.

На основі цих алгоритмів планується створення АСК ходом доменної печі для ДМК та інших заводів України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Разработка, испытание и внедрение автоматизированной системы управления ходом доменной печи № 8 КМЗ с последующим внедрением результатов на доменной печи 5000м³: Отчет о НИР (заключительный) / Днепропетр. металлург. ин-т. – Инв. № Б 615075. – М.: ВНИИЦ.
2. Леонидов Р.К. Сооружения и оборудование доменных цехов / Леонидов Р.К. – М.: Металлургиздат, 1955. – 320с.
3. Греков П.Н. Изменение сил трения в слое кусковых материалов в зависимости от скорости движущегося через него газа / П.Н.Греков, В.К.Грузинов, Н.Г.Маханек // Известия вузов. Черная металлургия. – 1963. – № 6. – С.32-34.
4. Дурнов В.К. Изучение газодинамики и механики движения сыпучего материала применительно к условиям доменного процесса.(Сообщение 1) Тепло- и массообмен в слое и каналах / В.К.Дурнов // Теплотехника доменных и теплообменных аппаратов: сборник научных трудов ВНИИМТ. – М.: Металлургия. – 1970. – № 20. – С.23-40.
5. Федоровский Н.В. Спутник металлурга / Федоровский Н.В., Рутковский Г.Я., Астахов А.Г. – К.: Техніка, 1969. – 228с.
6. Муравьева И.Г. Развитие научных основ совершенствования технологии доменной плавки с использованием стационарных систем контроля поверхности засыпи шихты: автореф. дисс. на соискание уч. степени доктора техн. наук / И.Г.Муравьева. – Днепропетровск, 2010. – 39с.
7. Тараканов А.К. Выбор на доменных печах рациональных значений параметров дутья на основе расчетного контроля обобщающих показателей дутьевого режима плавки / А.К.Тараканов, В.П.Лялюк, Д.А.Касим // Новини науки Придніпров'я: зб. наук. доп. наук.-практ. конф., присвяченої 100-річчю відомого вченого Г.А.Воловіка, травень 2010. – Дніпропетровськ, 2010. – С.57-65.
8. Комплексная автоматизация управления доменной плавкой / В.П.Тарасов, С.В.Кривенко, П.В.Тарасов, Л.В.Быков // Сталь. – 2010. – № 7. – С.14-17.
9. Довгалюк Б.П. Автоматизована система керування ходом доменної печі // Збірник наукових праць ДДТУ (технічні науки). – Дніпродзержинськ. – 2012. – Вип. №2(17). – С.6-12.
10. Тараканов А.К. Исследование приоритетов в развитии автоматизированных систем управления доменным процессом / А.К.Тараканов, В.П.Иващенко, В.П.Лялюк // Новини науки Придніпров'я: зб. наук. доп. наук.-практ. конф., присвяченої 100-річчю відомого вченого Г.А.Воловіка, травень 2010. – Дніпропетровськ, 2010. – С.15-22.