

Такое звено при конечном значении  $i$  может быть физически реализовано и, таким образом, условие инвариантности может быть достигнуто.

#### Список источников

1. Букреев С.С. Силовые электронные устройства. – М.: Радио и связь, 1982. – 256 с.
2. Стеклов В.К., Андреев А.И. Системы автоматического керування регульованими джерелами живлення підсиловачів. – К.: Техніка, 2001. – 232 с.
3. Афонин М.В. Новое поколение ИБП // Сети и системы связи. – 1998. – №8(30). – с. 128-133.
4. Андреев А.И. Повышение точности силовых электронных устройств с цифровым управлением // Технічна електродинаміка. – 2002. – ч. 8. – с. 30-33.
5. Гостев В.И., Стеклов В.К. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами. – К.: Радиоаматор, 1998. – 704 с.
6. Стеклов В.К. Проектування системи автоматического керування. – К.: Вища шк., 1995. – 231 с.
7. Кунцевич В.М. Импульсные самонастраивающиеся и экстремальные системы автоматического регулирования. – К.: Техніка, 1966. – 282 с.

## ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО ТЕМПЕРАТУРУ В ДОМЕННІЙ ПЕЧІ В АСУ ТП

Довгальок Б.П.

Дніпродзержинський державний технічний університет

Багаторічний аналіз ефективності використання автоматизованих систем прогнозування та керування процесами доменної плавки показує, що досягнути бажаних результатів по стабілізації якості чавуну не вдалося. Наші дослідження розкривають деякі особливості взаємозв'язку теплового стану процесу з температурою в печі. На їх основі розроблено новий спосіб та алгоритм використання інформації про температуру для прогнозування теплового стану доменної печі, що значно поліпшить точність прогнозу та керування.

Інформацією про тепловий стан доменної печі заводу “Кобе” (Японія, фірма “Kobe – Steel”) є периферійна температура в шахті, яка вимірюється за допомогою 28 термопарних датчиків, установлених у 380 точках. Статистичні дослідження виявили

жорсткий кореляційний зв'язок між значеннями периферійної температури та температурою чавуну під час його випуску із печі [1, 2]. На основі цих взаємозв'язків впроваджено прогнозування теплового стану печі, що дозволило понизити вміст кремнію в чавуні до 0,28...0,3 %, зменшити витрату коксу з 386 до 382 кг/т чавуну.

Збільшення периферійної температури в шахті супроводжувалося через 6 годин зниженням температури чавуну. Виявлено також вплив на температуру чавуну інтенсивності газифікації вуглецю коксу двооксидом вуглецю та вмісту азоту в колошниковому газі [3].

По температурі, яка вимірюється термопарою біля передньої частини фурми, прогнозують вміст кремнію в чавуні. Вважається, що ця температура більш чутлива до теплового стану печі ніж теоретична температура горіння [4]. Температура фурменого газу є основною інформацією також в алгоритмах функціонування АСУ ТП доменної печі [5].

Нами також проведено дослідження залежності між температурою в шахті і тепловим станом процесу. Температуру в шахті вимірювали на п'яти горизонтах за допомогою спеціального зонду, який вводили в піч через отвори механічного рівнеміра рівня засипання [6]. Графіки взаємно – кореляційних функцій залежності складу чавуну від температури мають два екстремуми: перший в області прогнозу складу чавуну за 40 – 120 хвилин до випуску із зворотною залежністю теплового стану печі від температури в шахті; другий екстремум в області прогнозу складу чавуну за 400 – 560 хвилин із прямою залежністю теплового стану горна печі від температури в шахті.

Така залежність пояснюється тим, що через окиснювальну зону фурмених вогнищ опускається основна маса рідких продуктів плавки. При цьому значна частина елементів чавуну окиснюється, а потім відновлюється твердим вуглецем нижче фурм. Якщо горн поділити на дві зони – верхню та нижню по відношенню до горизонту повітряних фурм, то отримаємо наступне пояснення. Окиснення елементів чавуну на фурмах супроводжується виділенням значно більшої кількості тепла ніж при окисненні вуглецю коксу, яке виноситься газами у верхню частину печі, підвищуючи температуру в

шахті. Тільки частина цього тепла засвоюється створеними оксидами елементів чавуну та рідкими продуктами плавки, які стікають у нижню частину горну. Вторинне пряме відновлення цих оксидів нижче фурм супроводжується похолоданням нижньої частини горну через 40 – 120 хвилин. Підвищення температури в шахті дозволяє ретельніше підготувати шихтові матеріали до плавки в міру їх опускання в горн (прискорюється нагрівання, непряме відновлення), що в підсумку підвищує прихід тепла в нижню частину печі через 400 – 560 хвилин.

При зниженні міри окиснення елементів чавуну на фурмах температура в шахті печі зменшиться, а нижче горизонту фурм збільшиться, оскільки зменшаться витрати тепла на вторинне пряме відновлення елементів чавуну.

Зміну процесу вторинного окиснення елементів чавуну на фурмах та їх прямого відновлення нижче горизонту фурм можна додатково контролювати за інформацією про склад колошникового газу. Збільшення окиснення елементів чавуну спочатку повинно супроводжуватися зменшенням концентрації суми  $\text{CO} + \text{CO}_2$  в колошниковому газі, а потім через 10-20 хвилин, коли почнеться їх пряме відновлення, збільшенням цієї суми. І навпаки, зменшення окиснення елементів чавуну на фурмах спочатку викликає збільшення концентрації  $\text{CO} + \text{CO}_2$  в колошниковому газі, а через 10-20 хвилин – зменшення.

Якщо ж окиснення елементів чавуну на фурмах не змінюється, то вплив коливання температури горіння на температуру в шахті та в нижній частині горну буде однаковим.

Отже, для об'єктивної та більш повної оцінки ходу технологічних процесів доменної плавки доцільно контролювати: температуру в шахті на декількох горизонтах за допомогою спеціальних зондів; периферійну температуру шахти печі за допомогою термопар, які встановлюють у вогнетривкій кладці на декількох горизонтах; температуру фурмених вогнищ; теоретичну температуру горіння; склад колошникового газу та ступінь використання відновного газу.

Метод оцінки стану технологічних процесів доменної плавки з використанням інформації про температуру в печі полягає в наступному.

Установлюють датчики температури (рис.1):

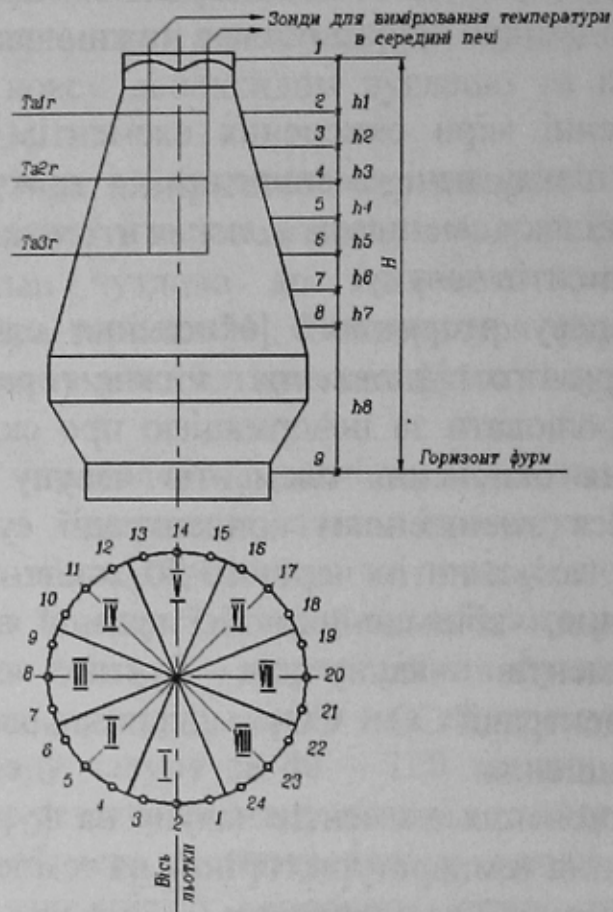


Рисунок 1 - Схема розташування датчиків температури

-по периферії шахти на восьми горизонтах, з поділом кожного горизонту на 8 секторів . У кожному секторі контролюють по три точки. Номери секторів рахують за стрілкою годинника, починаючи від осі чавунної льотки, а номери горизонтів-зверху вниз. Перший горизонт – це рівень засипання матеріалів на колошнику, восьмий горизонт – це границя між шахтою та розпаром. Температура точки в  $m$  – ному секторі на  $n$  – ному горизонті позначається  $T_{mc,ng,i}$ . Наприклад, температура третьої точки 2 – го сектору 5 – го

горизонту позначається  $T_{2с,5г,3}$ . середня температура  $m$  – го сектору на  $n$  – ому горизонті позначається  $\bar{T}_{mc,ng}$ , а середня температура  $n$  – го горизонту -  $\bar{T}_{ng}$ ;

-на кожній фурмі, або біля кожної фурми. Кількість фурм ділять на 8 секторів і визначають кількість фурм у секторі. Температуру  $i$  – тої точки в  $m$  – ному секторі позначають  $T_{mc,fg,i}$ , середню температуру сектору -  $\bar{T}_{mc,fg}$ , середню температуру фурменого (дев'ятого) горизонту -  $\bar{T}_{fg}$ ;

-в середині печі по висоті шахти на трьох горизонтах за допомогою двох спеціальних зондів. Нижній горизонт на відстані 10 м від горизонту повітряних фурм, верхній – на відстані 2 м від рівня засипання матеріалів. Позначається  $T_{3,ng,1}$  та  $T_{3,ng,2}$ , середнє значення -  $\bar{T}_{3,ng}$ ;

Контролюють хімічний склад колошникового газу та параметри дуттьового режиму: витрати дуття, паливної добавки, технологічного кисню та пари на зволоження дуття, температуру та вологість дуття, концентрацію кисню у дутті;

Всі датчики температури опитуються один раз за 30 сек., потім цю інформацію усереднюють за 10, 30 і 60 хвилин.

З усередненої інформації за 10 хвилин вираховують: середнє значення температури кожного сектору на кожному горизонті

$$\bar{T}_{mc,ng} = \sum_{i=1}^3 \bar{T}_{mc,ng,i} / 3 \quad (1)$$

середнє значення температури на кожному горизонті

$$\bar{T}_{ng} = \sum_{m=1}^8 \bar{T}_{mc,ng} / 8 \quad (2)$$

середнє значення температури сектору на дев'ятому, фурменому горизонті

$$\bar{T}_{mc, \phi r} = \sum_{i=1}^{n_1} T_{mc, \phi r, i} / n_1, \quad (3)$$

де  $n_1$  – кількість фурм у секторі;  
середню температуру фурменого горизонту

$$\bar{T}_{\phi r} = \sum_{m=1}^8 \bar{T}_{mc, \phi r} / 8; \quad (4)$$

середню температуру на кожному горизонті в середині шахти

$$\bar{T}_{z, nr} = (T_{z, nr, 1} + T_{z, nr, 2}) / 2 \quad (5).$$

Вираховують відхилення температури кожного  $m$  – го сектора від середньої температури  $n$  – го горизонту

$$dT_{mc, nr} = \bar{T}_{mc, nr} - \bar{T}_{nr} \quad (6)$$

$$dT_{mc, \phi r} = \bar{T}_{mc, \phi r} - \bar{T}_{\phi r} \quad (7)$$

З усередненої інформації про дуттьовий режим за 10 хвилин вираховують теоретичну температуру горіння  $t_r$  [6], ступінь використання водню та оксиду вуглецю ( $\eta_{H_2}$ ,  $\eta_{CO}$ ).

Визначають зміну параметрів між двома періодами усереднення

$$\begin{aligned} \Delta T_{mc, nr, i} &= T_{mc, nr, i}(t) - T_{mc, nr, i}(t-1), \\ \Delta T_{mc, nr} &= \bar{T}_{mc, nr}(t) - \bar{T}_{mc, nr}(t-1), \\ \Delta T_{nr} &= \bar{T}_{nr}(t) - \bar{T}_{nr}(t-1), \\ \Delta T_{mc, \phi r} &= \bar{T}_{mc, \phi r}(t) - \bar{T}_{mc, \phi r}(t-1), \\ \Delta T_{\phi r} &= \bar{T}_{\phi r}(t) - \bar{T}_{\phi r}(t-1), \\ \Delta t_m &= t_m(t) - t_m(t-1), \\ \Delta(CO + CO_2) &= (CO + CO_2)(t) - (CO + CO_2)(t-1) \\ \Delta \eta_{CO} &= \eta_{CO}(t) - \eta_{CO}(t-1); \Delta \eta_{H_2} = \eta_{H_2}(t) - \eta_{H_2}(t-1) \end{aligned} \quad (8)$$

Аналізують відхилення температури кожного сектору від температури відповідних горизонтів. Якщо на всіх горизонтах  $dT_{mc} > 0$  і  $dT_{mc,фг} > 0$ , то це значить, що в секторі  $m$  по всій висоті печі підвищена газопроникність. Якщо ж на всіх горизонтах  $dT_{mc} < 0$  і  $dT_{mc,фг} < 0$ , то вважають, що по всій висоті печі в секторі  $m$  занижено газопроникність. Якщо  $dT_{mc,(1-5)г} >$  чи  $< 0$ , то підвищено, або понижено газопроникність в секторі  $m$  тільки на верхніх горизонтах печі. Відповідно, якщо  $\Delta T_{mc,(6-8)г} > 0$ , то вважають, що підвищено газопроникність в секторі  $m$  у нижній частині печі, а якщо  $\Delta T_{mc,(1-8)г} < 0$ , - понижено газопроникність в секторі  $m$  у нижній частині печі.

Аналізують приріст (чи зниження) температури кожної  $\Delta T_{mc,пг.i}$  точки, сектору  $\Delta T_{mc,пг}$ , горизонту  $\Delta T_{пг}$ , та температури зондів  $\Delta T_{3,пг}$ . Якщо температура підвищується тільки в одному секторі або в одній точці, то вважають це наслідком зменшення шару гарнісажу у цих областях. Якщо підвищується середня температура на всіх горизонтах ( $\Delta T_{(1-9)г} > 0 > Z$ ) і одночасно підвищується температура в середині шахти ( $\Delta T_{3,пг} > 0 > Z$ ), то вважають, що збільшилася інтенсивність окиснення елементів чавуну на фурмах. Внаслідок цього очікується через 40 – 120 хвилин похолодання, а через 400 – 560 хвилин розігрівання горну печі. Якщо ж  $\Delta T_{(1-9)г} < 0 < Z$  і  $\Delta T_{3,пг} < 0 < Z$ , то вважають, що зменшилася інтенсивність окиснення елементів чавуну на фурмах і очікується через 40 – 120 хвилин розігрівання, а через 400 – 560 хвилин похолодання горну печі. Тут і далі  $Z$  – задане допустиме значення зміни температури.

Якщо  $\Delta T_{(1-9)г} > 0 > Z$ , а  $\Delta T_{3,пг}$  не збільшилося, то вважають це наслідком розвитку периферійного ходу печі. Це повинно підтверджуватися зменшенням ступеня використання оксиду вуглецю та водню. Якщо  $\Delta T_{(1-9)г} < 0 < Z$ , а  $\Delta T_{3,пг}$  не зменшилося, то вважають, що периферія перевантажена рудною частиною шихти, що повинно підтверджуватися збільшенням ступеня використання водню та оксиду вуглецю.

Остаточне рішення про зміну процесу окиснення елементів чавуну на фурмах приймається після аналізу інформації, усередненої за 30 та 60 хвилин. Якщо середня температура фурменого горизонту вища ніж теоретична температура горіння і  $\Delta T_{фг} > 0$ ,  $\Delta t_{т} \geq 0$ ,  $\Delta T_{фг} > \Delta t_{т}$ ,  $\Delta T_{3,пг} > 0$ ,  $\Delta T_{(1-8)г} > 0$ ,  $\Delta (CO + CO_2) > 0$ , то остаточно

вважають, що збільшено окиснення елементів чавуну на фурмах і очікується через 40 – 120 хв похолодання, а через 400 – 560 хвилин розігрівання горну печі. Якщо ж  $\bar{T}_{\text{фг}} < t_{\text{г}}$ ,  $\Delta T_{\text{фг}} < 0$ ,  $\Delta t_{\text{г}} \leq 0$ ,  $|\Delta T_{\text{ог}}| > |\Delta t_{\text{г}}|$ ,  $\Delta T_{\text{з, нг}} < 0$  і  $\Delta T_{(1-8)\text{г}} < 0$ ,  $\Delta (\text{CO} + \text{CO}_2) < 0$  то вважають що зменшилося окиснення елементів чавуну на фурмах і очікується через 40 – 120 хв розігрівання, а через 400 – 560 хвилин похолодання горну печі.

Інформація про зміну температури в печі і її вплив на технологічні процеси пересилається в алгоритми контролю та керування ходом доменної печі і тепловим станом плавки чавуну.

Формують ковзні масиви інформації, усередненої за 10, 30, 60 хвилин, та за період часу між випусками чавуну. З цієї інформації визначають взаємно – кореляційні функції, та ковзні рівняння регресії залежностей: хімічного складу чавуну та його температури від показників температури в печі; перепадів тиску від температури в печі; продуктивності печі від температури в печі; формують банк даних і банк знань для експертно-аналітичної системи.

#### Список джерел

1. Kadoguchi Koreshito. //Тэцу то хаганэ, J. Iron and Steel Inst. Jap.-1987.-73, №4.-P.90.
2. Metsuda Kouichi. //Тэцу то хаганэ, J. Iron and Steel Inst. Jap.-1987.-73, №4.-P.89.
3. Nagal Nobuyuki, Arai Akio, Matsuda Kouichi, Kadoguchi Korehito, Tamada Shinishi, Kitano Shinji// Кобэ сэйко гихо = Kobe Steel Eng. Repts. 1990.-40, № 1.- с. 101- 104.
4. Development of the sakai Works no.2 blast furnace computer control system and its application to practical operation / Kase Masashi , Hayashi Yooichi, Tamura Kenji...// Nippon Steel Rept Cverseas.-1977. -№10.-с. 66-67.
5. Long-term high –efficiency operation of Sakai No 2 blast furnace ( third campaign )/ Shibaike Hideharu, sasaki Shin // Nippon Steel Techn. Rept. – 1998.-№ 43. С.41-5.
6. Довгалюк Б.П. АСУ ТП доменної печі. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 1998.- 170с.