ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1991

Seria: HUTNICTWO z.36 Nr kol.1063

Marian KRZAKLEWSKI
Janusz WĘGRZYN

Instytut Metalurgii
Politechniki Śląskiej

ALGORYTM WSPOMAGANIA W IDENTYFIKACJI STREFY KOHEZYJNEJ W WIELKIM PIECU

Streszczenie. W artykule przedstawiono zbiór algorytmów wspomagania w identyfikacji strefy kohezyjnej w wielkim piecu. Wykorzystano przemysłowe pomiary ciśnienia gazu w szybie i tzw. dane ruchowe z wielkiego pieca. Przedstawiono koncepcję komputerowego systemu wspomagania mistrza procesu w identyfikacji strefy kohezyjnej i ocenie biegu pieca na tle stanu tej strefy.

1. Wstęp

Intensywny rozwój oprzyrządowania i techniki pomiarowej w procesie wielkopiecowym powinien prowadzić do obniżenia zużycia energii przy możliwie wysokiej wydajności procesu i jakości produkcji. W tym kontekście możliwość określenia położenia i kształtu strefy kohezyjnej w wielkim piecu odgrywa szczególną rolę ze względu na bezpośredni wpływ tej strefy na rozkład przepływu gazu i cieczy, a tym samym na ekonomikę i stabilny bieg procesu.

W artykule przedstawiono zbiór algorytmów identyfikacji parametrów strefy kohezyjnej (wraz z przykładem ich realizacji komputerowej), w których wykorzystano pomiary ciśnienia gazu wzdłuż ściany wielkiego pieca oraz bieżące dane z przebiegu procesu.

2. Metoda identyfikacji strefy kohezyjnej

Zadanie identyfikacji strefy kohezyjnej i oceny biegu wielkiego pieca na tle stanu tej strefy rozwiązano opracowując następujące algorytmy częściowe:

- algorytmu oceny usytowania miejsc charakterystcznych strefy kohezyjnej na podstawie pomiarów ciśnienia wzdłuż ścian wielkiego pieca,
- algorytmu przewidywania górnego profilu strefy kohezyjnej i wielkości jej powierzchni przy takim profilu,
- algorytmu obliczania wskaźnika efektywnej powierzchni strefy topienia,

- algorytmu przetwarzania danych procesowych dla potrzeb przedstawienia parametrów i wskaźników strefy kohezyjnej na tle parametrów procesu wielkopiecowego.

Praktyczną realizację wyżej wymienionych funkcji podjęto dla warunków wielkiego pieca nr 3 Kombinatu Metalurgicznego "Huta Katowice" w ramach pracy badawczej wykonywanej w Instytucie Metalurgii Politechniki Śląskiej [1].

2.1 Algorytm oceny usytuowania miejsc charakterystycznych strefy kohezyjnej

W pierwszych z wymienionych algorytmów bezwzględne wartości mierzonych ciśnień wzdłuż wysokości pieca, po obu jego stronach, są przeliczane na wartości ciśnień bezwymiarowych, zgodnie z równaniem

$$p_i^* = \frac{p_i - p_G}{p_D - p_G} \tag{1}$$

co zapewnia uniezależnienie od zmian ciśnienia w gardzieli pieca.
W algorytmie wykorzystano określony w pracach [2], [3], [4], związek, który charakteryzuje umiejscowienie podstawy i wierzchołka strefy kohezyjnej w wielkim piecu w odniesieniu do tych wartości współrzędnej osiowej pieca, dla których pochodna ciśnienia osiąga maksimum lokalne.
Dyskretny przebieg wartości ciśnienia $p_i^* = f(h)$ jest różniczkowany numerycznie zgodnie ze zmodyfikowaną dla potrzeb algorytmu procedurą przedstawioną w [5].
Na podstawie uzyskanego zbioru wartości $\frac{dp^*}{dh} = f(h)$ określane są numeryczne przewidywane wartości współrzędnych podstawy - (h_1, r_1) i wierzchołka - $(h_2, 0)$ strefy kohezyjnej.

2.2 Algorytm przewidywania górnego profilu i wielkości powierzchni strefy kohezyjnej

W kolejnym z wymienionych algorytmów, dla oszacowanych wartości h_1 i h_2 są obliczane współczynniki funkcji aproksymującej przewidywany profil strefy kohezyjnej. W pracy [6] stwierdzono, że najlepszą aproksymacją profilu strefy kohezyjnej uzyskano stosując dwie sklejone funkcje pierwiastkowe w postaci ogólnej $h = a\sqrt{r}$. W celu zastosowania takiej aproksymacji w omawianym algorytmie zaproponowano następującą postać równań sklejanych funkcji pierwiastkowych:

$$r = r_1 - a_2 \sqrt{h - h_1} \tag{2}$$

$$r = a_1\sqrt{h_2 - h} \tag{3}$$

Warunek sklejenia funkcji (2) i (3) wynika z zerowania się wyróżnika układu równań (2), (3) rozwiązywano ze względu na niewiadome r, h. Po obliczeniu tego wyróżnika, przyrównaniu do zera i uporządkowaniu otrzymano zależność stanowiącą postać ogólną warunku sklejania funkcji (2) i (3)

$$a_1^2 + a_2^2 = \frac{r_1^2}{h_2 - h_1} \tag{4}$$

który określa relację pomiędzy współczynnikami a1, a2 w równianiach (2), (3) i parametrami h_1, h_2 i r.
W przypadku ogólnym współrzędne punktu sklejenia krzywych (2), (3) wyznaczone z układu równań (2) - (3) i warunku (4) są następujące:

$$r_s = r_1 \frac{a_1^2}{a_1^2 + a_2^2} \tag{5}$$

$$h_s = h_2 - \frac{r_1^2 + a_1^2}{(a_1^2 + a_2^2)^2} \tag{6}$$

Mając określone współczynniki równań (2) i (3) oraz parametry r i h, można obliczyć przewidywaną wielkość zewnętrzenj górnej powierzchni strefy kohezyjnej. W tym celu równania (2) i (3) przekształcono do postaci

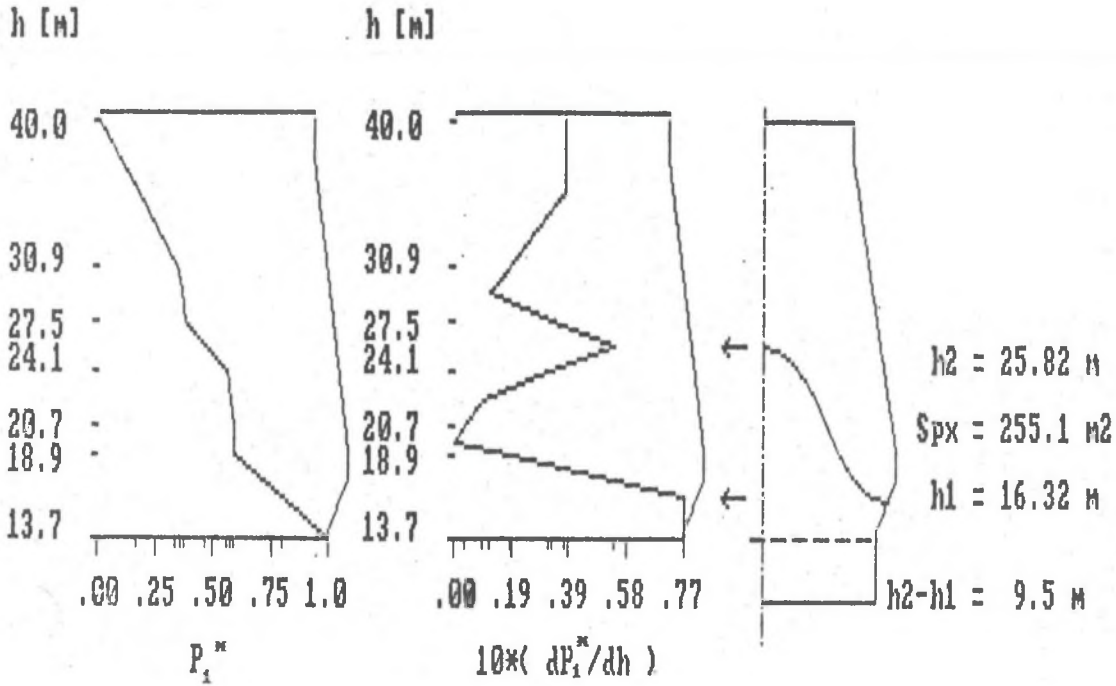
$$h = \frac{(r - r_1)^2}{a_2^2} + h_1 \tag{7}$$

$$h = -\frac{r^2}{a_1^2} + h_2 \tag{8}$$

Szukana górna powierzchnia strefy Spx jest sumą dwóch powierzchni S_1 i S_2, które powstają w wyniku obrotu krzywych (7) i (8) wokół osi h. Wartości tych powierzchni obliczano numerycznie na podstawie zależności

$$S_1 = 2\pi \int_{r_s}^{r_1} \frac{r}{a_2^2} \sqrt{a_2^4 + 4(r - r_1)^2}\, dr \tag{9}$$

$$S_2 = 2\pi \int_{r_s}^{0} \frac{r}{a_1^2} \sqrt{a_1^4 + 4r^2}\, dr \tag{10}$$



Rys.1 Przykład wyników realizacji programowej algorytmu identyfikacji strefy kohezyjnej w trybie grafiki komputerowej dane z WP nr3 Huty Katowice .

Rezultaty obliczeń dwóch pierwszych spośród wymienionych algorytmów częściowych gromadzone są w lokalnych zbiorach danych, a ich wizualizacja udostępniona jest nadzorującemu przebieg procesu w trybie grafiki komputerowej - rys.1.

2.3 Algorytm obliczania wskaźnika efektywnej powierzchni strefy topienia.

Trzeci z algorytmów częściowych ma za zadnnie dostarczyć informacji o strefie kohezyjnej (niezależnych od pomiarów ciśnienia) na podstawie tzw. danych ruchowych z procesu oraz analiz tworzyw i produktów. Wykorzystując wybrane zależności przedstawione w modelu matematycznym opracowanym do przewidywania położenia linii topienia w wielkim piecu [7], wynikające z równań wymiany ciepła pomiędzy gazem garowym i wsadem można przedstawić następującą zależność definiujcą wskaźnik efektywnej powierzchni topienia:

$$Aeff = \frac{Q_s \cdot t_L^* \cdot 2}{24\left[C_{str}\left\{\left(\frac{T_{str}+273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{sch}+273}{100}\right)^4\right\} + h_c\left(T_{gaz} - T_{sch}\right)\right]} \qquad (11)$$

gdzie $h_c = 0{,}62\,(\lambda_G / D_{HO})\,(D_{HO}\,G/\ \ _G)^{0.7}(\eta C_p\,\eta_G/\lambda_G\ \ \rho_G)^{0.33}$

$$t_L^* = t_{RE} + 1{,}77 t_S$$

Ze względu na silną zależność Aeff od wartości temperatury płomienia T_f (a tym samym sposobu obliczenia tej temperatury) i zastosowanie w obliczeniach empirycznych zależności na T_{str} i T_{gaz} ustalonych dla warunków pieców japońskich, obliczona wartość Aeff (traktowana jako dolna powierzchnia strefy kohezyjnej) w odniesieniu do warunków wielkiego pieca nr 3 w Hucie Katowice posiada charkter wskaźnika wielkości tej powierzchni. Praktyczne wykorzystanie wzoru (11) wymaga obliczenia wartości współczynnika h_c i parametrów t_{RE}, t_S, T_f. W tym celu wykorzystano wcześniej opracowany algorytm namiarowania wsadu i stabilizacji procesu wielkopiecowego przy pracy na kombinowanym dmuchu [8], [9], [10], w którym między innymi realizowane są obliczenia bilansowe wielkiego pieca w odniesieniu do materiałów i gazów.
Wyniki obliczeń przeprowadzonych w ramach tego algorytmu przedstawiono w postaci wydruku raportu (tab.1).

Tablica 1

Przykład raportu z danego okresu pomiarowego wielkiego pieca

RAPORT ZA OKRES OD 87 - 7 - 23 GODZ 14 do 87 - 7 - 26 GODZ 14

SUROWCE	t/nab	kg/tsur	ANALIZY CHEMICZNE Fe	CaO	SiO2	Pop.	Cz.1	H2O	WSKAŹNIKI PROCESU	
KOKS	21,5	472,0				9,35	1,00	4,0	ECO	42,0 %
SPIEK	68,5	1503,8	51,64	12,22	10,34				EH2	43,7 %
GRUDKI	12,0	263,4	60,12	0,89	11,97				RI	70,3 %
TOPNIK	1,1	24,1		53,77	0,93				RD1	41,6 %
DODATEK	0,8	17,6	0,69	35,89	30,98				RD2	30,0 %

BILANS GAZÓW	m^3/gbdz	m^3/tsur	O2	N2	H2O	CH4	CO	CO2	H2		
										R/K	3,74
										KIPO	0,46
DMUCH	304000	1058,3	26,00	71,37	2,53					Aeff	878,6m2
G.ZIEM.	30000	104,4		27,00		70,00					
TLEN	19398	67,5	100,0							OPTYM.	WSP.
G.GARD.	479753	1670,2	0,0	42,72	12,78	0,0	25,80	18,70	7,20	ZAM.	GAZ/KOKS
GAZ G.	445827	1552,1		55,39			33,47		11,14	1,12	kg/Nm^3

PRODUKTY	t/nab	kg/tsur	Fe FeO	Si SiO2	Mn	P	S	C	CaO	ZAS	PROGNOZA WYDAJNOŚCI
SURÓWKA	45,6	1000,0	93,23	0,90	0,78	0,07	0,01	5,00			287 t/godz
ŻUŻEL	21,8	477,6	0,70	41,28			0,58		45,44	1,10	2298 t/zm
PYŁ	0,0	0,0	0,00					0,0			6894 t/doba
											LF = 1,25

3. Koncepcja komputerowego systemu wspomagania mistrza procesu wielkopiecowego w identyfikacji strefy kohezyjnej i ocenie biegu pieca na tle stanu tej strefy

Przedstawione algorytmy i ich programowa realizacja mogą stanowić podstawę do realizacji komputerowego systemu wspomagania mistrza procesu wielkopiecowego w identyfikacji i ocenie stanu strefy kohezyjnej. Koncepcja ta sprowadza się do realizacji przez ten system następujących podstawowych funkcji:

- obliczania i wizualizacji na monitorze operatorskim (w trybie graficznym) rozkładów ciśnienia i jego pochodnej wzdłuż wysokości wielkiego pieca z zaznaczeniem aktualnego położenia podstawy i wierzchołka oraz górnego profilu strefy kohezyjnej,
- obliczania: bilansu materiałów i gazów, parametrów komory spalania i wskaźnika powierzchni topienia Aeff na podstawie danych procesowych (tzw. ruchowych),

- raportowanie na ekranie monitora operatorskiego ważniejszych wartości danych pomiarowych, parametrów i wskaźników procesu,
- efektywnego przetwarzania i zarządzania obliczonymi zbiorami danych dotyczących strefy kohezyjnej wraz z wizualizacją graficzną na monitorze operatorskim historii ich zmian, dla zadanego przedziału czasu pracy pieca, na tle odpowiednio dobranych parametrów i wskaźników procesu,
- bieżącej oceny optymalnych (ze względu na parametry ekonomiczno-ruchowe) przedziałów wartości parametrów i wskaźników strefy kohezyjnej.

Przemysłowa realizacja systemu wspomagania powinna zapewniać możliwość dialogu mistrza procesu z komputerem. Ponadto należy opracować programy zarządzania i przetwarzania zbiorów danych w systemie dla potrzeb algorytmów opisanych w rozdziale 2, jak również programu wsadowego zapewniającego komunikację pomiędzy procedurami realizującymi te algorytmy.

Spis oznaczeń

a_1, a_2 - współczynniki w równianach aproksymujących profil strefy kohezyjnej,

Aeff - wskaźnik efektywnej powierzchni strefy topienia, [m] ,

C_{str} - stała emisji = 2,91 [kJ/h m^2 K^4],

C_p - ciepło właściwe gazu, [kJ/Nm^3 K] ,

D - średnica garu, [m],

G - gęstość strumienia masy gazu, [kg/m^2 h],

h - współrzędna osiowa, [m] ,

h_1 - współrzędna osiowa górnej podstawy strefy kohezyjnej, [m],

h_2 - współrzędna osiowa górnego wierzchołka strefy kohezyjnej, [m],

h_s - współrzędna osiowa punktu sklejenia krzywych wg równań (2),(3), [m] ,

h_C - współczynnik przenoszenia ciepła dla konwekcji, [kJ/m^2 h°C] ,

P_D - ciśnienie gazu na poziomie dysz wielkiego pieca, [kPa] ,

P_G - ciśnienie gazu na poziomie gardzieli wielkiego pieca, [kPa],

P_i - ciśnienie gazu w i-tym punkcie pomiarowym, [kPa] ,

P_i^* - bezwymiarowa wartość ciśnienia w i-tym punkcie pomiarowym, [kPa]

Q_S - = $21,3 * 10^3$, zapotrzebowanie ciepła na topienie, [kJ/t]

r - współrzędna promieniowa, [m] ,

r_s - współrzędna promieniowa punktu sklejenia krzywych wg równań (2), (3), [m]

r_1 - współrzędna promieniowa punktu podstawy strefy kohezyjnej, [m]

S_1, S_2 - powierzchnie powstałe po obrocie krzywych wg równań (7),(8) wokół osi h; [m^2]

Spx - $S_1 + S_2$, górna powierzchnia strefy kohezyjnej, [m^2]

t_L^* - całkowita wydajność topienia, [t/24h]

t_{RE} - wydajność topienia surówki żelaza, [t/24h] ,

t_S - wydajność topienia żużla, [t/24h] ,
Tgaz - 1.09 Tstr ; temperatura gazu, [°C] ,
T_f - temperatura płomienia, [°C] ,
Tsch - temperatura topienia spieku [°C] ,
Tstr - 0,81 Tf ; temperatura promieniowania, [°C]
η_G - dynamiczna lepkość gazu, [kg/m h] ,
λ_G - współczynnik przewodzenie ciepła, [kJ/m h°C] ,
ρ_G - gęstość gazu [kg/m^3]

LITERATURA

[1] Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej NB - 251/RM1/BE/29/88: "Badanie strefy kohezyjnej w wielkim piecu". Instytut Metalurgii Politechniki Śląskiej, Katowice 1988 (praca nie publikowana).

[2] Gudenau H.W., Kreibich K., Nomiya Y. Stahl u. Eisen, 100 (1980), s. 1526 - 1534.

[3] Gudenau H.W., Kreibich K., Stahl u. Eisen, 101 (1981), s. 39 -44

[4] Schurman E., Gudenau H.W., Peters K.H. Stahl u. Eisen, 102 (1982), s. 261 - 266.

[5] Hildebrand F.B., Introduction to Numerical Analysis, McGraw-Hill, New York /Toronto/ London 1956, s. 64 - 68.

[6] Kase M., Sugata M., Trans. ISIJ 22 (1982), nr 4, s. 277 - 286.

[7] Kreibich K., Ohno Y., Fukushima I., Gudenau H.W., Archiv. Eisenhuttenwessen, 53 (1982), nr 1, s. 21 - 28.

[8] Sprawozdanie z pracy naukowo-badawczej NB - 248/RM/BE/30/88: "Opracowanie technologii pracy wielkich pieców z minimalnym udziałem gazu ziemnego jako paliwa zastępczego, Instytut Metalurgii Politechniki Śląskiej, Katowice 1988, (praca nie publikowana).

[9] Krzaklewski M., Mrózek A., Winiarczyk R., Szafranek A.: "NAMIAR-program komputerowego wspomagania mistrzów wielkiego pieca nr 2 Huty Katowice", Sprawozdania z Prac Rady Naukowo-Technicznej Kombinatu Metalurgicznego Huta Katowice, Dąbrowa Górnicza 1980.

[10] Krzaklewski M., Mrózek A., Winarczyk R., Olek T., Hutnik, 1983, nr 7-8, s.266.

ANISTING ALGORITHM IN IDENTIFICATION
OF COHESION AREA IN BLAST FURNACE

Summary

Collection of assistance algorithms in identifying the cohesion zone of an iron blast furnace has been presented in this paper. The industrial gas pressure measurements in the furnace shaft and operation data from the iron blast furnace have been used. The concept of computer assistance system for the process master in identification of cohezion zone has been presented in this paper as well as evaluation of furnace at work.

АЛГОРИТМ ВСПОМОЖЕНИЯ В ИДЕНТИФИКАЦИИ КОГЕЗИОННОЙ ЗОНЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Резюме

В статье представлено множество алгоритмов вспоможения в идентификации когезионной зоны доменной печи. Были использованы промышленные измерения давления газа в шахте печи и данные движения в доменной печи. В статье представлены концепции вычислительной системы помогающей мастеру процесса в идентификации когезинной зоны и оценке хода печи на фоне состояния этой зоны.