ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: ENERGETYKA z. 54 Nr kol. 462

Andrzej ZIĘBIK
Instytut Techniki Cieplnej

RÓWNANIA EMPIRYCZNE UJMUJĄCE WPŁYW DODATKU OLEJU OPAŁOWEGO I PODGRZANIA DMUCHU NA WYKORZYSTANIE CO I H_2 W WIELKIM PIECU ORAZ NA TEMPERATURĘ GAZU WIELKOPIECOWEGO

Streszczenie. Na podstawie wyników pomiarów kilkunastu wielkich pieców opracowano uogólnione równania empiryczne ujmujące wpływ dodatku oleju opałowego i temperatury dmuchu na stosunek $\varphi = CO/CO_2$ w gazie wielkopiecowym oraz na temperaturę t_g gazu wielkopiecowego. Równania te przedstawiają jednoparametrowe rodziny powierzchni. Parametr uwzględnia specyfikę danego wielkiego pieca i jest wyznaczany podług jednorazowego pomiaru cieplnego. Stopień wykorzystania H_2 ujęto za pomocą funkcji ψ, która stanowi stosunek wodoru w gazie wielkopiecowym do wodoru wprowadzonego do strefy dysz. Na podstawie cytowanych w literaturze zależności empirycznych $\psi(\varphi)$ podano uogólnioną jednoparametrową zależność uśrednioną.

Oznaczenia

CO, CO_2, H_2 - udziały molowe w suchym gazie wielkopiecowym,

D - wskaźnik zużycia dmuchu, m_n^3 d.s./t sur.,

G - wskaźnik produkcji gazu wielkopiecowego, m_n^3 g.s./t sur.,

h_k, h_p - udziały gramowe wodoru w koksie i oleju opałowym,

i - numer pomiaru,

j - numer serii pomiarowej,

K - wskaźnik zużycia koksu, kg/t sur.,

l - numer równania empirycznego zależności $\psi(\varphi)$,

m - liczba serii pomiarowych,

n_j - liczba punktów pomiarowych w j-tej serii,

P - wskaźnik zużycia oleju opałowego, kg/t sur.,

t_d, t_g - temperatura dmuchu i gazu wielkopiecowego, ^oC,

w_j - waga statystyczna dla punktów pomiarowych j-tej serii,

X_d - zawilżenie dmuchu, $m_n^3 H_2O/m_n^3$ d.s.

1. Wprowadzenie

Wykorzystanie tlenku węgla jako czynnika redukcyjnego w wielkim piecu ocenia się bądź za pomocą stosunku CO/CO_2 (lub CO_2/CO) w gazie wielkopiecowym, bądź też przy użyciu pojęcia stopnia wykorzystania tlenku węgla η_{CO}. Wielkości te są miarą poprawnego przebiegu redukcji pośredniej.

W niniejszej pracy przyjęto posługiwać się stosunkiem CO/CO_2. Badany stosunek nazwano funkcją φ

$$\varphi = \frac{CO}{CO_2}. \tag{1}$$

Pomiędzy funkcją φ a η_{CO} obowiązuje zależność:

$$\eta_{CO} = \frac{1}{1+\varphi}. \tag{2}$$

Wodór jest także składnikiem redukcyjnym wchodzącym w skład fazy gazowej w wielkim piecu. Do oceny wykorzystania H_2 jako reduktora przyjęto w tej pracy funkcję ψ zdefiniowaną następująco:

$$\psi = \frac{G\,H_2}{11{,}21\,(K\,h_k + P\,h_p) + D\,X_d}. \tag{3}$$

Wykorzystanie wodoru w wielkim piecu ocenia się również za pomocą stopnia wykorzystania wodoru η_{H_2}. Pomiędzy funkcją ψ a η_{H_2} zachodzi relacja:

$$\eta_{H_2} = 1 - \psi \tag{4}$$

Znajomość zależności ujmujących wpływ dodatku paliwa zastępczego i temperatury dmuchu na funkcje φ, ψ oraz na temperaturę t_g gazu wielkopiecowego warunkuje możliwości praktycznego zastosowania metody bilansowej obliczania wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego [15, 20]. Zależności tych nie da się określić na drodze teoretycznej ze względu na złożony charakter przepływu ciepła i substancji w wielkim piecu. Pozostaje więc jedynie droga empiryczna. Równania empiryczne opisujące funkcje φ, ψ i t_g powinny mieć charakter ogólny i dać się zastosować w każdym badanym przypadku wielkiego pieca. W tym celu każdą z wymienionych zależności empirycznych należy ująć jako jednoparametrową rodzinę powierzchni. Nieznany a priori parametr w równaniu empirycznym będzie wyznaczany podług wyników jednorazowego pomiaru cieplnego. W ten sposób zostanie uwzględniona specyfika badanego wielkiego pieca. Rozważania prowadzone w tej pracy dotyczą oleju opałowego zastosowanego jako paliwo zastępcze w wielkim piecu.

Materiał doświadczalny do wyznaczenia zależności empirycznych zebrano w przeważającej większości w literaturze zagranicznej. Uzupełniono go trzema seriami pomiarowymi z wielkich pieców dwóch polskich hut. Wybrano te serie pomiarowe, w których zmiennymi było zużycie oleju opałowego i temperatura dmuchu, bądź jedna z tych wielkości, przy możliwie stałych innych parametrach procesu wielkopiecowego.

2. Równanie empiryczne opisujące funkcję $\varphi(P, t_d)$

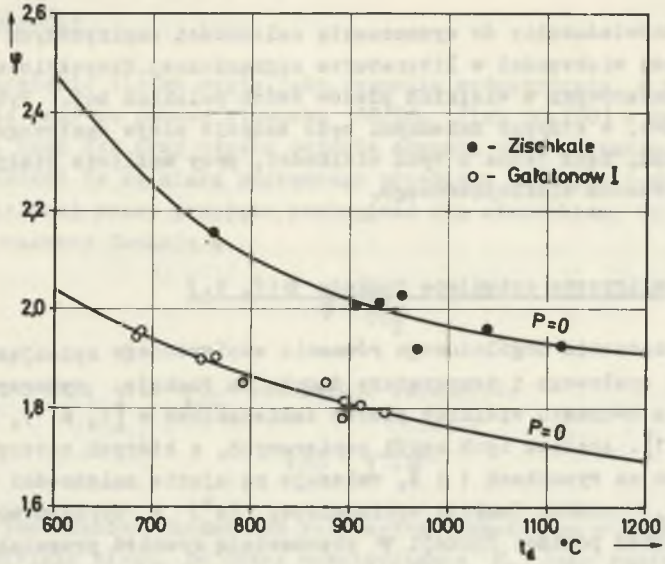
W celu wyznaczenia uogólnionego równania empirycznego opisującego wpływ dodatku oleju opałowego i temperatury dmuchu na funkcję wykorzystano dane pomiarowe z dwunastu wielkich pieców zamieszczone w [1, 6, 7, 8, 12, 13, 16, 17, 19, 21]. Analiza tych serii pomiarowych, z których cztery pokazano przykładowo na rysunkach 1 i 2, wskazuje na ujęcie zależności empirycznej $\varphi = \varphi(P, t_d)$ podług funkcji wykładniczej (e^x) z wyrazem wolnym. Za przyjęciem takiej postaci funkcji φ przemawiają również przesłanki teoretyczne. Stała równowagi chemicznej dla redukcji pośredniej, stanowiąca odwrotność funkcji φ, zależy tylko od temperatury i zależność ta jest wykładnicza. Dodatek oleju i zmiana temperatury dmuchu mają zaś wpływ na rozkład temperatur w wielkim piecu. W warunkach rzeczywistych stosunek CO/CO_2 jest znacznie większy niż to wynika ze stałej równowagi chemicznej. Odstępstwo to uwzględnia więc wyraz wolny w zastosowanej postaci funkcji φ.

W skład CO_2 występującego w funkcji φ wchodzi również dwutlenek węgla pochodzący z rozkładu węglanów. Wsad wielkich pieców, z których wyniki pomiarów wzięto do rozważań, zawierał różne ilości topników. Nie stwarza to jednak konieczności uwzględnienia w analizie tego parametru, ponieważ na podstawie licznych doświadczeń prowadzonych ze zmienną ilością topników we wsadzie stwierdzono, że stosunek CO/CO_2 nie ulegał zmianie [4]

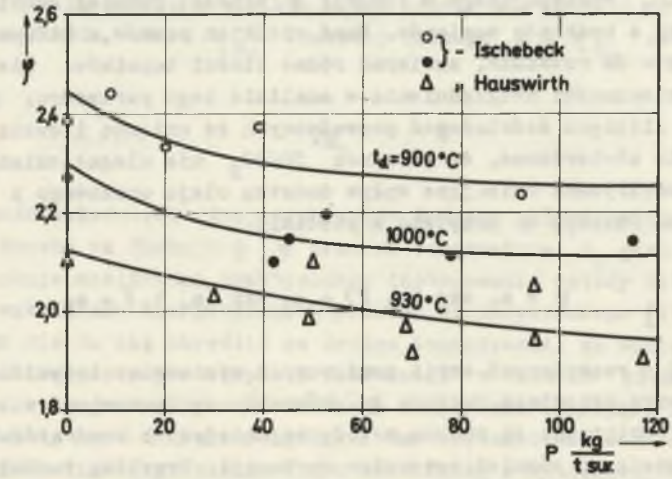
Równanie empiryczne opisujące wpływ dodatku oleju opałowego i temperatury dmuchu na funkcję φ przyjęto w postaci:

$$\varphi = a_1 \exp(a_2 P) + a_3 \exp(a_4 t_d) + a_5 \qquad (5)$$

Dla każdej z rozważanych serii pomiarowych wyznaczono indywidualne równanie empiryczne opisujące funkcję φ. Równania te zestawiono w tablicy 1. Współczynniki obliczono za pomocą metody najmniejszych kwadratów. Dla każdej serii wyznaczono również estymator wariancji. Przebieg funkcji φ malejący ze wzrostem dodatku oleju i temperatury dmuchu, posiada swoje uzasadnienie z punktu widzenia przebiegu procesu redukcji pośredniej w wielkim piecu. Ze wzrostem dodatku oleju wzrasta udział H_2 w fazie gazowej, co wpływa na poprawę wykorzystania CO (rozszerza się zakres redukcji pośredniej) [3]. Wzrost temperatury dmuchu z kolei, poprzez zmniejszenie



Rys. 1. Zależność empiryczna $\varphi = \varphi(t_d)$ przy P = 0 podług serii pomiarowych 8 i 10



Rys. 2. Zależność empiryczna $\varphi = \varphi(P)$ przy t_d = idem podług serii pomiarowych 1 i 2

Tablica 1

Zestawienie indywidualnych równań empirycznych opisujących funkcję φ

Numer serii pomiarowej j	Nazwa serii i pozycja literatury	Indywidualne równanie empiryczne	Estymator wariancji σ_j^2	Waga $w_j = \frac{10^{-3}}{\sigma_j^2}$
1	Ischebeck [8]	$\varphi_1 = 2100 \exp(-0{,}01015\, t_d) + 0{,}817 \exp(-0{,}0372\, P) + 2{,}030$	0,005425	0,1843
2	Hauswirth [7]	$\varphi_2 = 1{,}054 \exp(-0{,}001565\, P) + 1{,}050$	0,004733	0,2123
3	Waxweiler [17]	$\varphi_3 = 1{,}404 \exp(-0{,}000654\, P) + 1{,}024$	0,009552	0,1047
4	Sakayi [12]	$\varphi_4 = 385 \exp(-0{,}088\, P) + 1{,}199$	0,007239	0,1381
5	Huta Pokój [16]	$\varphi_5 = 1{,}021 \exp(-0{,}001936\, P) + 1{,}013$	0,007152	0,1398
6	Schumacher [13]	$\varphi_6 = 2275 \exp(-0{,}01275\, t_d) + 1{,}643$	0,002705	0,3703
7	Babarykin [1]	$\varphi_7 = 6{,}09 \exp(-0{,}004485\, t_d) + 1{,}652$	0,000757	1,3217
8	Gałatonow I [6]	$\varphi_8 = 1{,}84 \exp(-0{,}002350\, t_d) + 1{,}586$	0,000383	2,6119
9	Gałatonow II [6]	$\varphi_9 = 470 \exp(-0{,}0123\, t_d) + 1{,}755$	0,002082	0,4804
10	Zischkale [21]	$\varphi_{10} = 10{,}8 \exp(-0{,}00478\, t_d) + 1{,}872$	0,001644	0,6084
11	Huta im. Lenina I [19]	$\varphi_{11} = 27{,}0 \exp(-0{,}00678\, t_d) + 2{,}401$	0,050094	0,0200
12	Huta im. Lenina II [19]	$\varphi_{12} = 60{,}7 \exp(-0{,}00696\, t_d) + 2{,}000$	0,030071	0,0333

ilości gazu, przesuwa stan równowagi chemicznej w kierunku wzrostu udziału CO_2. Uzyskany przebieg funkcji φ znajduje również potwierdzenie w badaniach doświadczalnych wielu innych autorów, nie przytoczonych w spisie literatury. Wyników ich badań nie wykorzystano do wyznaczenia zależności empirycznej φ bądź ze względu na niewielką liczbę punktów pomiarowych, bądź też z uwagi na wąski zakres badanych zużyć oleju i temperatury dmuchu.

Na podstawie analizy indywidualnych równań zdecydowano się poszukiwać jednoparametrowej rodziny powierzchni φ w postaci równania (5), przyjmując wyraz wolny jako parametr. Materiał doświadczalny stanowiło 12 serii pomiarowych przytoczonych w tablicy 1. Ze względu na różne warunki pomiarowe każdej serii przypisano wagę statystyczną, odwrotnie proporcjonalną do estymatora wariancji. W rozpatrywanym przypadku metoda najmniejszych kwadratów sprowadza się do minimalizacji następującej funkcji:

$$\sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n_j} w_j \left[\varphi_{ji} - a_1 \exp(a_2 P_{ji}) - a_3 \exp(a_4 t_{dji}) - a_{5j}\right]^2 = \min. \tag{6}$$

Z warunku (6) otrzymuje się układ $(m+4)$ równań nieliniowych, z których wyznacza się uogólnione współczynniki a_1, a_2, a_3, a_4 oraz m współczynników a_{5j} indywidualnych dla każdej serii. W wyniku obliczeń otrzymano równanie jednoparametrowej rodziny powierzchni

$$\varphi = 0{,}288 \exp(-0{,}0111\, P) + 7{,}22 \exp(-0{,}0049\, t_d) + \varphi_o, \tag{7}$$

gdzie parametr φ_o jest wyznaczany podług wyników jednorazowego pomiaru składu gazu, wskaźnika zużycia oleju i temperatury dmuchu.

Parametr φ_o uwzględnia specyfikę badanego wielkiego pieca, w szczególności zaś ewidentną zależność funkcji φ od ciężaru wsadu [3, 4].

3. Zależność empiryczna między funkcjami φ i ψ

Z dostępnych w literaturze informacji [2, 3, 4, 5, 14, 18] wynika, że istnieje korelacja pomiędzy funkcjami φ i ψ. Współzależność ta wynika z przesłanek teoretycznych przy założeniu stanu równowagi chemicznej dla reakcji gazu wodnego. W literaturze przytoczone są wyniki pomiarów świadczące o tym, że w temperaturze odpowiadającej strefie rezerwy cieplnej w wielkim piecu udziały CO, CO_2, H_2 i H_2O są bardzo bliskie równowagowym. Na wylocie z wielkiego pieca skład gazu odbiega oczywiście wyraźnie od składu równowagowego, lecz związek między funkcjami φ i ψ nadal istnieje [5].

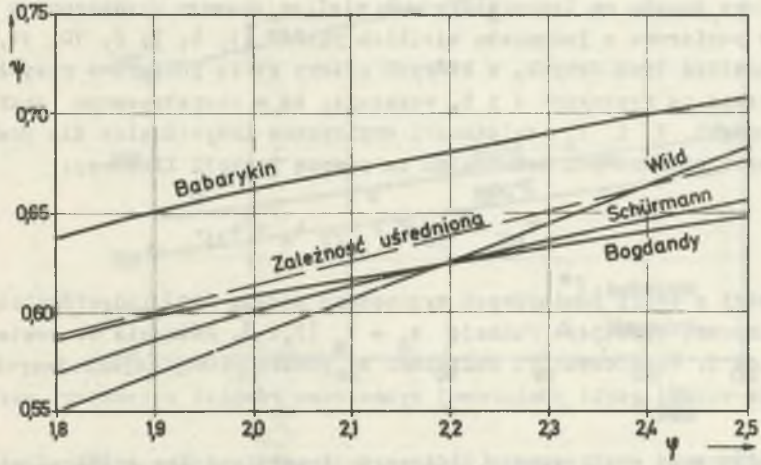
Tablica 2

Zestawienie zależności $\psi(\varphi)$ podług różnych autorów

Numer równania l	Autor i pozycja literatury	Równanie empiryczne
1	Babarykin [2]	$\psi_1 = \frac{\varphi - 0,015}{\varphi + 1}$
2	Bogdandy [4]	$\psi_2 = 0,9 - \frac{0,88}{1 + \varphi}$
3	Schürmann [14]	$\psi_3 = \frac{\varphi - 0,2}{\varphi + 1}$
4	Wild [18]	$\psi_4 = 0,211 + 0,189\varphi$

W tablicy 2 zamieszczono równania ujmujące zależności empiryczne między funkcjami φ i ψ podług czterech z cytowanych autorów. Równania te uzyskano podług zależności empirycznych lub wykresów zamieszczonych przez wymienionych autorów z uwzględnieniem wzorów (2) i (4). Autorzy ci bowiem posługują się najczęściej wskaźnikami η_{CO} i η_{H_2}. W przypadku Babarykina [2] z podanego zakresu zmian η_{H_2}/η_{CO} = 1,01-1,02 przyjęto wartość średnią 1,015.

Na rysunku 3 pokazano przebieg podanych w tablicy 2 zależności empirycznych w interesującym przedziale zmian funkcji φ.



Rys. 3. Zależność empiryczna $\psi(\varphi)$ podług różnych autorów

Na podstawie przytoczonych zależności empirycznych określono za pomocą metody najmniejszych kwadratów uśrednioną zależność liniową. W tym przypadku minimalizowana funkcja ma postać:

$$\int_{1,8}^{2,5} \left[\sum_{l=1}^{4} (\psi_l - b_1 - b_2\varphi)^2 \right] d\varphi = \min. \tag{8}$$

W wyniku obliczeń uzyskano:

$$b_1 = 0,362,$$
$$b_2 = 0,126.$$

Do dalszych rozważań wzięto pod uwagę uśredniony współczynnik b_2 i zależność $\psi(\varphi)$ wyrażona w postaci:

$$\psi = 0,126\,\varphi + \psi_o, \tag{9}$$

gdzie parametr ψ_o wyznacza się podług jednorazowego pomiaru składu gazu wielkopiecowego, wskaźnika zużycia oleju i temperatury dmuchu.

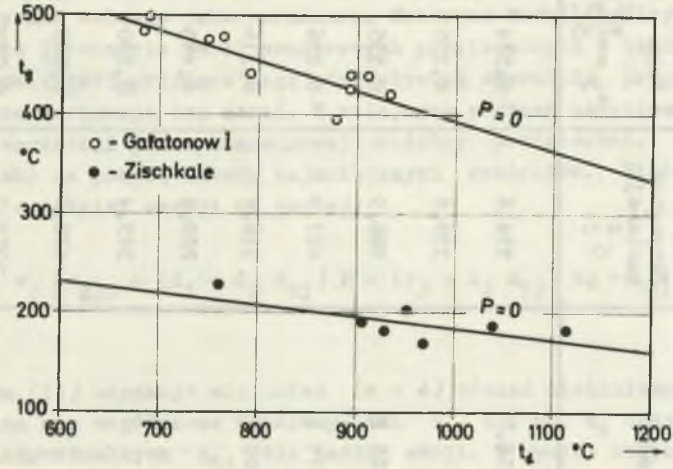
4. Równanie empiryczne ujmujące wpływ dodatku oleju i temperatury dmuchu na temperaturę gazu wielkopiecowego

Uogólnione równanie empiryczne opisujące wpływ dodatku oleju opałowego i temperatury dmuchu na temperaturę gazu wielkopiecowego wyznaczono w oparciu o dane pomiarowe z jedenastu wielkich pieców [1, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 19, 21]. Analiza tych danych, z których cztery serie pomiarowe przykładowo przytoczono na rysunkach 4 i 5, wskazuje, że w rozpatrywanym zakresie zmian zmiennych P i t_d zależności empiryczne indywidualne dla poszczególnych serii pomiarowych można ująć za pomocą funkcji liniowej:

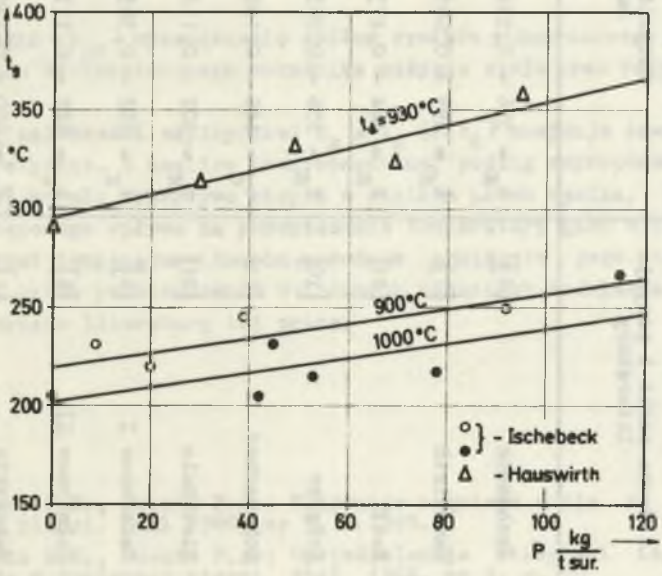
$$t_{gj} = c_{1j}\,P + c_{2j}\,t_d + c_{3j}. \tag{10}$$

Dla każdej z serii pomiarowych wyznaczono podług (10) indywidualne równanie empiryczne opisujące funkcję $t_g = t_g(P, t_d)$. Równania te zestawiono w tablicy 3. Współczynniki obliczono za pomocą metody najmniejszych kwadratów. Dla każdej serii pomiarowej wyznaczono również estymator wariancji.

Postać równania empirycznego jednoparametrowej rodziny powierzchni $t_g = t_g(P, t_d)$ dobrano metodą prób. W pierwszej wersji założono taką samą postać jak równanie indywidualne, przyjmując wyraz wolny jako parametr. W drugiej próbie przyjęto dodatkowo, że współczynniki przy zmiennych P i t_d



Rys. 4. Zależność empiryczna $t_g = t_g(t_d)$ przy P = 0 podług serii pomiarowych 6 i 7



Rys. 5. Zależność empiryczna $t_g = t_g(P)$ przy t_d = idem podług serii pomiarowych 1 i 2

Tablica 3

Zestawienie indywidualnych równań empirycznych opisujących funkcje t_g

Numer serii pomiarowej j	Nazwa serii i pozycja literatury	Indywidualne równanie empiryczne	Estymator wariancji σ_j^2	Waga $w_j = \frac{10^2}{\sigma_j^2}$
1	Ischebeck [8]	$t_g = 356 - 0{,}1520\ t_d + 0{,}376\ P$	194,6	0,514
2	Hauswirth [7]	$t_g = 295 + 0{,}605\ P$	339,5	0,295
3	Noel [11]	$t_g = 444 - 0{,}4733\ t_d + 0{,}865\ P$	186,9	0,535
4	Knepper [10]	$t_g = 556 - 0{,}2834\ t_d + 0{,}679\ P$	423,8	0,236
5	Schumacher [13]	$t_g = 448 - 0{,}1984\ t_d + 1{,}007\ P$	316,9	0,316
6	Zischkale [21]	$t_g = 302 - 0{,}1161\ t_d$	220,9	0,453
7	Gałatonow I [6]	$t_g = 702 - 0{,}3095\ t_d$	345,4	0,290
8	Gałatonow II [6]	$t_g = 522 - 0{,}1178\ t_d$	478,0	0,209
9	Babarykin [1]	$t_g = 580 - 0{,}1970\ t_d$	1073,0	0,093
10	Huta im. Lenina I [19]	$t_g = 459 - 0{,}0697\ t_d$	401,9	0,249
11	Huta im. Lenina II [19]	$t_g = 340 - 0{,}0632\ t_d$	893,4	0,112

są wprost proporcjonalne do wyrazu wolnego, który pozostał parametrem. Ostatecznie przyjęto, że współczynniki przy zmiennych P i t_d są funkcjami liniowymi wyrazu wolnego jako parametru. Materiał doświadczalny w analizie stanowiło jedenaście serii pomiarowych przytoczonych w tablicy 3. Każdej serii pomiarowej przydano wagę statystyczną odwrotnie proporcjonalną do estymatora wariancji tej serii. W kolejnych próbach uzyskiwano poprawę estymatora wariancji jednoparametrowej rodziny powierzchni. Obliczenia przeprowadzano za pomocą metody najmniejszych kwadratów. Minimalizowana funkcja dla ostatniej wersji ma postać:

$$\sum_{j=1}^{m} \sum_{i=1}^{n_j} w_j \left[t_{gji} - (d_1 + d_2\, d_{5j})\, P - (d_3 + d_4\, d_{5j})\, t_d - d_{5j}\right]^2 = \min. \tag{11}$$

Z warunku (11) uzyskuje się układ (m + 4) równań nieliniowych, z których wyznacza się uogólnione współczynniki d_1, d_2, d_3, d_4 oraz m współczynników indywidualnych d_{5j} dla każdej serii. W wyniku obliczeń uzyskano równanie jednoparametrowej rodziny powierzchni t_g:

$$t_g = (0{,}0028\, t_{go} - 0{,}410)\, P - (0{,}0001\, t_{go} + 0{,}115)\, t_d + t_{ho}, \tag{12}$$

gdzie parametr t_{go} wyznacza się podług wyników jednorazowego pomiaru temperatury gazu wielkopiecowego wskaźnika zużycia oleju oraz temperatury dmuchu.

Przebieg zależności empirycznej $t_g = t_g\,(P, t_d)$ znajduje również potwierdzenie teoretyczne. Z analizy przeprowadzonej podług zaproponowanego przez Kitajewa [9] modelu przepływu ciepła w wielkim piecu wynika, że dodatek paliwa zastępczego wpływa na podwyższenie temperatury gazu wielkopiecowego, zaś wzrost temperatury dmuchu powoduje obniżenie jego temperatury. Znajduje to także potwierdzenie w licznych badaniach doświadczalnych nie ujętych w spisie literatury tej pracy.

LITERATURA

[1] Babarykin N.N., Juszin F.A.: Wlijanije nagriewa dutja na rabotu domiennoj pieczi. Stal 1960, nr 5, s. 391.

[2] Babarykin N.N., Juszin F.A.: Opriedielenije stiepieni ispolzowanija wodoroda w domiennoj pieczi. Stal 1966, nr 1, s. 10.

[3] Benesch R., Janowski J., Mazanek E.: Proces wielkopiecowy. Wyd. Śląsk, Katowice 1972.

[4] Bogdandy L., Engell H.: Die Reduktion der Eisenerze. Verlag Stahleisen mbH/Düsseldorf Springer-Verlag Berlin/Heidelberg/New York, 1967.

[5] Goldsztejn N.L.: Wodorod w domiennom prociessie. Izd. Mietałłurgia, Moskwa 1971.

[6] Gałatonow A.Ł.: Wlijanije tiempieratury dutja na tiechniko-ekonomiczeskije i tiechnołogiczeskije pokazatieli domiennoj pławki. Stal 1963 nr 10, s. 869.

[7] Hauswirth G., Mayer H.: Ein Jahr Betrieb eines Hochofens der Vöest mit Schweröl und Sauerstoff. Berg- und Hüttenmänische Monatschefte 1963, nr 11, s. 380.

[8] Ischebeck P., Heynert G., Beer H.: Einblasen von Schweröl bei hohen Windtemperaturen und voll vorbereitetem Möller. Stahl und Eisen 1962 nr 22, s. 1476.

[9] Kitajew B.I., Jaroszienko Ju.G., Łazariew B.Ł.: Tiepłoobmien w domiennoj pieczi. Izd. Mietałłurgia. Moskwa 1966.

[10] Knepper W.A., Woolf P.L., Sanders H.R.: Operation of the Bureau of Mines experimental blast furnace with fuel oil injection. Blast Furnace and Steel Plant 1961, nr 12.

[11] Noel T., Molderez J., Poos A.: Recent fuel oil injection tests on a blast furnace in Belgium. Iron and Steel 1963, nr 1, s. 22.

[12] Sakayi Chiyoji: On recent operation of No 1 blast furnace. Blast Furnace and Steel Plant 1964, nr 3, s. 244.

[13] Schumacher H.: Erfarungen beim Betrieb eines Hochofens mit hohen Temperaturen. Stahl und Eisen 1966, nr 6, s. 309.

[14] Schürmann E., Bülter D.: Vorausberechnung des Koksverbrauches im Hochofen auf Grund einer zweistufingen Wärme-Stoff- und Reduktionsbilanz. Archiv für das Eisenhüttenwesen 1964, nr 8, s. 67.

[15] Szargut J., Ziębik A.: Zastosowanie bilansów substancji i energii do określenia wpływu temperatury dmuchu na wskaźniki cieplne procesu wielkopiecowego. Archiwum Hutnictwa 1974, Zeszyt 4, s. 395.

[16] Szargut J., Ziębik A., Kurpisz K.: Badanie wpływu użycia paliw zastępczych w wielkim piecu na skład, ilość i temperaturę gazu wielkopiecowego. Praca zlecona ITC Pol.Śl. dla huty Pokój. Gliwice 1971-72.

[17] Waxweiler P., Lorang J. i inni: Injection de fuel-oil extra-lourd par les tuyeres d'un haut fourneau de l'ARBED. Jurnées Internationales de Siderurgie, Luxemburg 1962, s. 417.

[18] Wild R.: Simple method of calculating the change in furnace peformance when fuel or steam injection is practised. Iron and Coal 1961, No 4869, s. 1007.

[19] Ziębik A.: Wpływ temperatury dmuchu na skład i temperaturę gazu wielkopiecowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 1967, Energetyka z. 26, s. 25.

[20] Ziębik A.: Wpływ dodatku paliw zastępczych w wielkim piecu na gospodarkę energetyczną huty żelaza. Materiały Konferencji "Postęp w energetyce hutniczej", SITPH, Kraków 1974, s. 99.

[21] Zischkale W., Heynert G., Beer H.: Auswirkung der Heisswindtemperaturen auf die Betriebsergebnisse des Hochofens. Stahl und Eisen 1963, nr 18, s. 1117.

ЭМПИРИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЮЩЕ ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ МАЗУТА И ПОДОГРЕВА ДУТЬЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CO И H_2 В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ, А ТАКЖЕ НА ТЕМПЕРАТУРУ КОЛОШНИКОВОГО ГАЗА

Р е з ю м е

На основании результатов измерений нескольких доменных печей разработаны обобщенные эмпирические уравнения, определяющие влияние добавки мазута и температуры дутья на отношение $\varphi = CO/CO_2$ в колошниковом газе, а также на температуру t_g колошникового газа. Эти уравнения представляют однопараметровые семейства поверхностей. Параметр учитывает специфические свойства исследованной доменной печи. Параметр вычисляется на основе результатов единичного теплового измерения доменной печи. Степень использования H_2 определяет функция ψ. Функция ψ это отношение H_2 в колошниковом газе к количеству H_2, подаваемого в фурменную зону. На основании приведенных в литературе эмпирических уравнений $\psi(\varphi)$ разработано однопараметровое обобщенное уравнение.

EMPIRICAL EQUATIONS DESCRIBING THE INFLUENCE OF INJECTION OF FUEL-OIL AND HEATING UP OF THE BLAST UPON THE UTILIZATION OF CO AND H_2 IN A BLAST-FURNACE AS WELL AS ON THE TEMPERATURE OF THE TOP GAS

S u m m a r y

Basing on results of measurements from a score or so of blast-furnaces generalized empirical equations have been derived which describe the influence of the injection of fuel-oil and of the blast temperature upon the relation $\varphi = CO/CO_2$ in the top gas as well as on the temperature t_g of the top gas. These equations present one parameter family of surfaces. The parameter makes allowance for the particularity of the given blast-furnace and is determined by only one heat measurement. The degree of the utilization of H_2 has been expressed by the function ψ, expressing the proportion of the hydrogen contained in the top gas to the hydrogen that is being introduced into the combustion zone. Basing on the empirical realtions $\varphi(\varphi)$ to be found in literature, a generalized one-parameter dependence has been presented.