

Marian MADEJA

Zakład Problemów Organizacji i Zarządzania
Polskiej Akademii NaukRÓWNANIA EMPIRYCZNE UJMUJĄCE WPŁYW WZBOGACENIA DMUCHU
WIELKOPIECOWEGO W TLEN; ZASTOSOWANIA PALIW ZASTĘPCZYCH
I PODGRZANIA DMUCHU NA SKŁAD I TEMPERATURĘ GAZU WIELKOPIECOWEGO

Streszczenie. Na podstawie wyników badań eksperymentalnych, pochodzących głównie z literatury zagranicznej, opracowano równania empiryczne ujmujące wpływ udziału tlenu w dmuchu, dodatku różnych paliw zastępczych (oleju opałowego, gazu ziemnego, gazu koksowniczego i węgla kamiennego) oraz temperatury dmuchu na stosunek CO/CO_2 w gazie wielkopieczowym i na temperaturę tego gazu. Opierając się na ośmiu indywidualnych równaniach empirycznych, podanych przez różnych autorów, wyznaczono uśrednioną zależność empiryczną między wielkościami opisującymi stopień wykorzystania H_2 i CO_2 w wielkim piecu. Poszczególne zależności empiryczne uogólniono na wszystkie wielkie piece, ujmując je jako jednoparametrowe redziny funkcji, w których parametr określa się z pomiaru cieplnego badanego procesu wielkopieczowego.

1. Wprowadzenie

Praktyczne zastosowanie metody bilansowej obliczania wskaźników energetycznych procesu wielkopieczowego [38, 39, 49] jest uwarunkowane znajomością dodatkowych zależności empirycznych ujmujących wpływ wzbogacenia dmuchu wielkopieczowego w tlen, zastosowania paliw zastępczych oraz podgrzania dmuchu na wykorzystanie CO i H_2 w wielkim piecu oraz na temperaturę gazu wielkopieczowego.

Do oceny wykorzystania CO i H_2 , jako czynników redukcyjnych w wielkim piecu, posłużono się odpowiednio wielkościami φ i ψ zdefiniowanymi następująco:

$$\varphi = \frac{CO}{CO_2}, \quad (1)$$

$$\psi = \frac{G H_2}{K \frac{h_K}{2} + P H_P + D X_D}, \quad (2)$$

gdzie:

- $\text{CO}, \text{CO}_2, \text{H}_2$ - udziały mowe tlenu węgla, dwutlenku węgla i wodoru w suchym gazie wielkopiecowym,
 G - jednostkowa produkcja suchego gazu wielkopiecowego, kmol/t sur.,
 D - jednostkowe zużycie suchego dmuchu wielkopiecowego, kmol/t sur.,
 K - jednostkowe zużycie koksu, kg/t sur.,
 h_K - udział gramowy wodoru w koksie,
 P - jednostkowe zużycie paliwa zastępczego, kg/t sur. lub kmol/t sur.,
 H_P - ilość wodoru w paliwie zastępczym, kmol/kg lub kmol/kmol,
 X_D - stopień zawilżenia dmuchu, kmol H_2O /kmol dmuchu suchego.

Zależności φ , ψ oraz temperatury gazu wielkopiecowego T_G od udziału tlenu w dmuchu O_{2D} , dodatku paliwa zastępczego P oraz temperatury dmuchu T_D nie da się określić na drodze teoretycznej ze względu na złożony i niedostatecznie jeszcze poznany przebieg zjawisk przepływu ciepła i substancji oraz procesów chemicznych zachodzących w wielkim piecu. Kenieczne jest więc ich wyznaczenie w sposób empiryczny. Analiza teoretyczna jest jednak pomocna przy ustaleniu postaci równań empirycznych.

Artykuł stanowi kontynuację pracy [48]. Zakres analizy rozszerzono o wpływ wzbogacenia dmuchu w tlen oraz uwzględniono wdmuchiwanie także innych, oprócz oleju opałowego, paliw zastępczych: gazu ziemnego, gazu kokosowego i pyłu węgla kamiennego. Wyznaczone również nowe równania empiryczne ujmujące wpływ temperatury dmuchu i dodatku oleju opałowego na φ oraz na temperaturę gazu wielkopiecowego, wykorzystując dane pomiarowe odpowiednio skorygowane w celu eliminacji wpływu niezamierzonych zmian temperatury dmuchu. W porównaniu z pracą [48], dla określenia uśrednionej zależności między wielkościami φ i ψ , wykorzystano dodatkowo cztery indywidualne równania empiryczne pochodzące z literatury zagranicznej.

Z obszernego materiału doświadczalnego poddane analizie wykorzystano, przy wyznaczaniu poszczególnych zależności empirycznych, tylko te serie pomiarowe, w których zmiennymi były O_{2D} , P , T_D , przy możliwie stałych warunkach wsadowych i innych parametrach procesu. Wybrano jedynie serie pomiarowe charakteryzujące się odpowiednio szerokim zakresem zmian badanego czynnika oraz dostateczną liczebnością próby.

Poszukiwane równania empiryczne powinny umożliwiać zastosowanie przedstawionych w [49] wzorów do dowolnego wielkiego pieca. Dlatego każdą z uogólnionych zależności empirycznych ujęto jako jednoparametrową rodzinę funkcji. Nieznany parametr wyznacza się na podstawie wyników jednorazowego pomiaru cieplnego, uwzględniając w ten sposób specyficzne warunki badanego procesu wielkopiecowego.

2. Równanie empiryczne ujmujące zależność $\varphi(O_{2D}, P, T_D)$

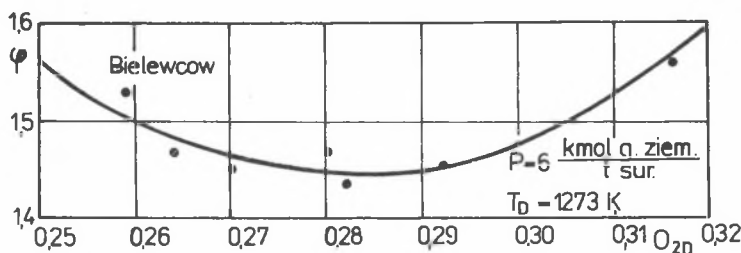
W celu wyznaczenia uogólnionego równania empirycznego opisującego wpływ udziału tlenu w dmuchu, dodatku różnych paliw zastępczych i temperatury dmuchu na wielkość φ wykorzystano dane doświadczalne zgrupowane w 21 seriach pomiarowych. W większości są to serie pomiarowe pochodzące z literatury zagranicznej. Uzupełnione je wynikami badań z kilku wielkich pieców polskich hut.

Analizowane serie pomiarowe ujmują zależności φ tylko od jednego z rozpatrywanych czynników O_{2D}, P, T_D . Stąd w pierwszej kolejności określone oddzielne cząstkowe zależności uogólnione: $\varphi(O_{2D}), \varphi(P)$ i $\varphi(T_D)$. Przy wyznaczeniu zależności $\varphi(O_{2D})$ dysponowano trzema seriami pomiarowymi [1, 4, 50]. Zależność $\varphi(P)$ wyznaczono w oparciu o cztery serie dla oleju opałowego [13, 16, 46], dwie serie dla gazu ziemnego [36, 47] oraz po trzy serie dla gazu koksowniczego [8, 10, 51] i węgla kamiennego [9, 17]. Zależność $\varphi(T_D)$ określono na podstawie sześciu serii pomiarowych [48].

Analiza serii przy zmiennym udziale tlenu w dmuchu, z których dwie pokazano przykładowe na rysunkach 1 i 2, wskazuje na ujęcie zależności empirycznej $\varphi(O_{2D})$ w postaci funkcji parabolicznej:

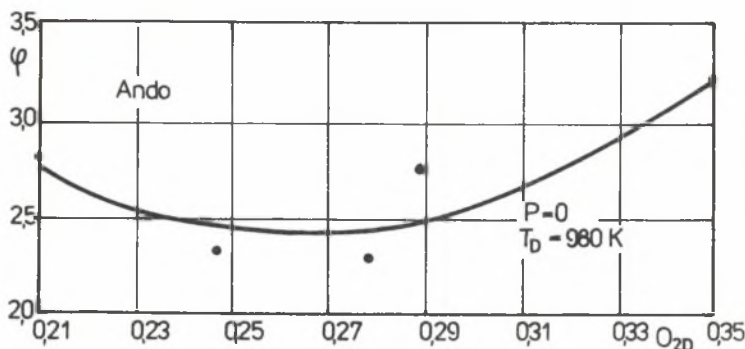
$$\varphi = a_1(O_{2D} - a_2)^2 + a_0, \quad (3)$$

przy $a_1 > 0$.

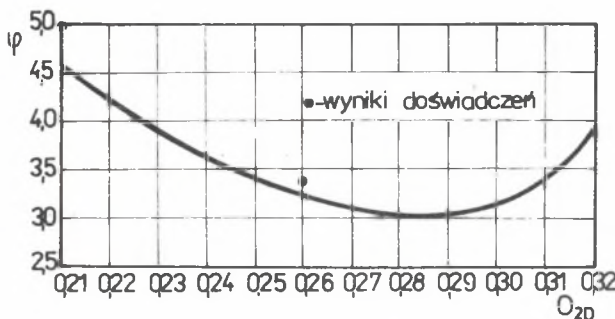


Rys. 1. Zależność empiryczna $\varphi(O_{2D})$ przy $P = 6$ kmol g. ziem./t sur. i $T_D = 1273$ K według serii pomiarowej nr 1

Obszerne rozważania Gumza [12], bazujące na założeniu istnienia stanu równowagi chemicznej przy końcu strefy rezerwy ciepłej wielkiego pieca, stanowią teoretyczne uzasadnienie przyjętej postaci równania. Wzbogacenie dmuchu wielkopiecowego w tlen powoduje zmniejszenie ilości azotu dostarczonego do pieca. Towarzyszy temu zwiększenie udziałów CO i CO₂ w gazie redukcyjnym. Wzrost ciśnienia składnikowego tlenków węgla przesuwają stany równowagi chemicznej na korzyść CO₂. Równocześnie jednak, jak wykazały



Rys. 2. Zależność empiryczna $\varphi(O_{2D})$ przy $P = 0$ i $T_D = 980 \text{ K}$ według serii pomiarowej nr 3



Rys. 3. Przebieg zmian $\varphi = \text{CO}/\text{CO}_2$ w zależności od udziału tlenu w dmuchu według Gumza [12]

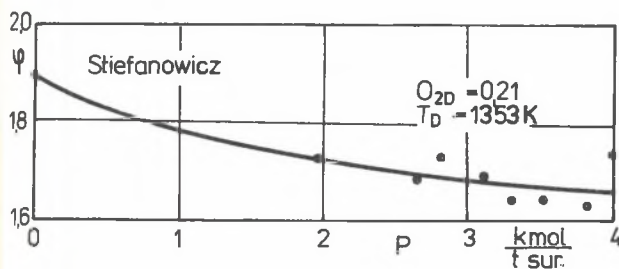
w tlen decydujące znaczenie posiada zwiększenie ciśnienia składnikowego tlenków węgla. Stąd początkowo malejący charakter funkcji φ . Poeważszy jednak od pewnej wartości udziału O_2 w dmuchu przeważający jest wpływ podwyższenia temperatury reakcji i funkcja φ zaczyna rosnąć.

W wyniku badań nad wzbogacaniem dmuchu w tlen, prowadzonych przy użyciu matematycznych modeli procesu wielkopiecowego [34, 44], otrzymano podobne przebiegi zależności φ od udziału tlenu w dmuchu. Przyjęta postać funkcji $\varphi(O_{2D})$ znajduje również potwierdzenie w innych badaniach doświadczalnych m.in. [7, 13, 14, 23, 24, 27]. Wyników tych badań nie wykorzystano do wyznaczenia zależności empirycznej ze względu na niespełnianie wyma-

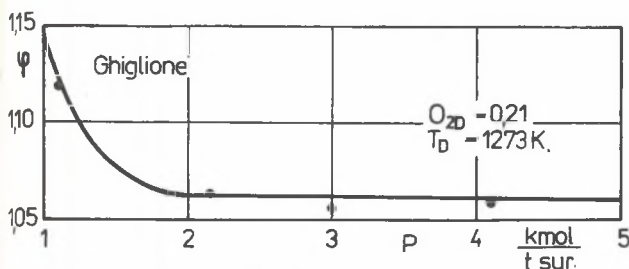
obliczenia potwierdzone badaniami doświadczalnymi [12], rosnącemu udziałowi tlenu w dmuchu towarzyszy podwyższenie temperatury reakcji, co z kolei przesuwaa stany równowagi w kierunku zwiększenia udziału CO. Te dwa przeciwstawne wpływy kształtują postać funkcji φ . Na rysunku 3 przedstawiono przebieg zmian z rosnącym udziałem tlenu (wyznaczony z modelu matematycznego i sprawdzony doświadczalnie) według Gumza [12]. Przy niewielkim wzbogaceniu dmuchu

gań odnośnie zakresu zmian udziału tlenu w dmuchu, liczebności serii pomiarowych, bądź stałości warunków wsadowych i innych parametrów procesu.

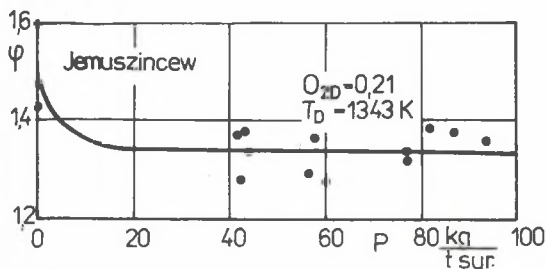
Warunki zbliżone do stanu równowagi chemicznej występują w wielkim piecu



Rys. 4. Zależność empiryczna $\varphi(P)$ dla gazu ziemnego przy $O_{2D} = 0,21$ i $T_D = 1353\text{ K}$ według serii pomiarowej nr 8



Rys. 5. Zależność empiryczna $\varphi(P)$ dla gazu koksowniczego przy $O_{2D} = 0,21$ i $T_D = 1273\text{ K}$ według serii pomiarowej nr 10



Rys. 6. Zależność empiryczna $\varphi(P)$ dla węgla kamiennego przy $O_{2D} = 0,21$ i $T_D = 1343\text{ K}$ według serii pomiarowej nr 14

cu jedynie przy końcu strefy rezerwy cieplnej. Przy wypływie z wielkiego pieca stosunek CO/CO_2 jest inny niż wynika to ze stałej równowagi chemicznej. W skład łącznej ilości CO_2 występującej w stosunku φ wchodzi również dwutlenek węgla pochodzący z rozkładu węglanów. Uwzględnia to wyraz wolny w przyjętej postaci równania empirycznego.

Na rysunkach 4, 5 i 6 pokazano przykładowo po jednej serii pomiarowej przedstawiającej zależność $\varphi(P)$ dla przypadków wdmuchiwnia gazu ziemnego, gazu koksowniczego oraz pyłu węgla kamiennego. Przykładowe serie ujmujące zależność $\varphi(T_D)$ oraz zależność $\varphi(P)$ dla oleju opałowego przedstawiono w pracy [48]. Analiza danych doświadczalnych, przy zmiennym dodatku paliwa zastępczego oraz zmiennej temperaturze dmuchu, wskazuje, że zależności empiryczne $\varphi(P)$ dla wszystkich przebadanych paliw zastępczych oraz zależność $\varphi(T_D)$ można aproksymować za pomocą funkcji wykładniczych [48]:

$$\varphi = a_3 \exp(a_4 P) + a_0, \quad (4)$$

$$\varphi = a_5 \exp(a_6 T_D) + a_0. \quad (5)$$

Doбору postaci funkcji opisującej ogólną zależność empiryczną $\varphi(0_{2D}, P, T_D)$ dokonano w oparciu o równania (3), (4) i (5). Na podstawie dodatkowej analizy serii pomiarowych [16, 24, 42, 45], określających zależność φ od pary zmiennych parametrów 0_{2D} i P , 0_{2D} i T_D lub P i T_D , nie stwierdzono istnienia współzależności wpływów poszczególnych czynników na wartość φ . Na brak współzależności wskazują również wyniki badania korelacji pomiędzy kolejnymi analizowanymi czynnikami, a współczynnikami równań ((3)-(5)) ujmujących wpływ pozostałych czynników (badania tzw. "zależności krzyżowych"). Można więc było pominąć w równaniu ogólnym człony ujmujące wzajemne współdziałania zmiennych [19]. Brak efektów synergieznych, stwierdzony na podstawie analizy materiału statystycznego, pozwolił na przyjęcie addytywnej postaci ogólnej zależności empirycznej:

$$\varphi = a_1 (0_{2D} - a_2)^2 + a_3 \exp(a_4 P) + a_5 \exp(a_6 T_D) + \varphi_0 \quad (6)$$

Występujący w równaniu parametr φ_0 uwzględnia specyfikę badanego procesu wielkopiecowego.

Dla każdej z rozważanych serii pomiarowych wyznaczone, za pomocą klasycznej metody najmniejszych kwadratów, indywidualne równanie empiryczne opisujące funkcje φ . Równania te zestawiono w tabeli 1. Dla poszczególnych serii wyznaczono również estymator wariancji oraz wagę statystyczną odwrotnie proporcjonalną do estymatora wariancji. W każdej serii pomiarowej tylko jeden z czynników 0_{2D} , P lub T_D zmieniany był w sposób zamierzony. Zmiany pozostałych dwóch były przypadkowe. Dlatego każde z indywidualnych równań empirycznych ujmuje wpływ tylko jednego z analizowanych czynników. Wpływ niezamierzonych zmian pozostałych czynników wyeliminowano korygując odpowiednio wartości φ otrzymane z pomiaru. Wszystkie serie pomiarowe przedstawiające zależność $\varphi(T_D)$ uzyskane zostały w warunkach nie stosowania paliwa zastępczego i dodatku tlenu do dmuchu. Podobnie serie dla wyznaczenia zależności $\varphi(P)$ dotyczą jedynie przypadku stosowania niewzbogaconego dmuchu wielkopiecowego. Pozwoliło to w pierwszej kolejności wyznaczyć współczynniki równania (5). Równanie to wykorzystano w pozostałych seriach do skorygowania wartości φ , sprowadzając je do średniej dla serii temperatury dmuchu. Następnie możliwe było wyznaczenie współczynników równania (4). Równaniem tym posłużono się, w niektórych seriach ujmujących zależność $\varphi(0_{2D})$, do kompensacji wpływów przypadkowych zmian ilości dodawanego paliwa zastępczego.

Współczynniki uogólnionego równania empirycznego (6), ujmującego wpływ udziału tlenu w dmuchu, dodatku paliwa zastępczego oraz temperatury dmuchu na wielkość φ , wyznaczono klasyczną metodą najmniejszych kwadratów. Materiał doświadczalny stanowiły serie pomiarowe ujęte w tabeli 1. Ze względu na różne warunki pomiarowe każdej serii przydano wagę statystyczną. W rozpatrywanym przypadku metoda najmniejszych kwadratów sprowadza się do minimalizacji następującej funkcji:

Tabela 1

Zestawienie indywidualnych równań empirycznych włączających zależność φ od udziału tlenku w dmuchu, dostatku paliwa zastępczego (sleju opalowego, gazu ziemnego, gazu koksowniczego, węgla kamiennego) i temperatury dmuchu

Zmienny parametr	Numer serii J	Nazwa serii pomiarowej	Indywidualne równanie empiryczne	Estymator wariancji	Waga serii w J
Udział tlenku w dmuchu	1	Bielewcew [4]	$\varphi = 110,88(0_{2D} - 0,2828)^2 + 1,444$	0,000334	0,7993
	2	Muta K. [50]	$\varphi = 129,22(0_{2D} - 0,2642)^2 + 1,253$	0,001360	0,1961
	3	Asde [1]	$\varphi = 110,44(0_{2D} - 0,2645)^2 + 2,410$	0,058469	0,0046
olej opałowy	4	Ischebeck I [16]	$\varphi = 0,09 \exp(-0,2151 P) + 2,134$	0,001902	0,4756
	5	Ischebeck II [16]	$\varphi = 0,305 \exp(-0,2872 P) + 2,036$	0,003962	0,2284
	6	Hauswirth [13]	$\varphi = 0,387 \exp(-0,00522 P) + 1,728$	0,004938	0,1832
	7	Vaxweiler [46]	$\varphi = 0,130 \exp(-0,07080 P) + 2,325$	0,008019	0,1128
	8	Stiefensvieler [36]	$\varphi = 0,258 \exp(-0,549 P) + 1,632$	0,001454	0,7606
	9	Wolzkow [47]	$\varphi = 0,225 \exp(-1,031 P) + 1,809$	0,004619	0,2394
gaz ziemny	10	Obigliene [10]	$\varphi = 7,985 \exp(-4,522 P) + 1,063$	0,000162	0,9508
	11	Zariebini [51]	$\varphi = 0,105 \exp(-0,235 P) + 1,724$	0,005424	0,0287
	12	Dubenfeld [8]	$\varphi = 0,129 \exp(-4,439 P) + 1,830$	0,014925	0,0105
	13	Dunajew I [9]	$\varphi = 0,097 \exp(-0,08045 P) + 1,352$	0,003044	0,4891
koksowniowy	14	Jemusziencow [17]	$\varphi = 0,162 \exp(-0,23665 P) + 1,337$	0,003045	0,4890
	15	Bunajew II [9]	$\varphi = 0,099 \exp(-0,00975 P) + 3,065$	0,068027	0,0219
	16	Gaźtatenow I [48]	$\varphi = 3,50 \exp(-0,00235 T_D) + 1,586$	0,000383	0,5146
węgiel kamienny	17	Babarykin	$\varphi = 26,73 \exp(-0,00449 T_D) + 1,652$	0,000757	0,2604
	18	Zisobkale	$\varphi = 39,85 \exp(-0,00478 T_D) + 1,872$	0,001644	0,1199
	19	Gaźtatenow II	$\varphi = 135,27 \exp(-0,0123 T_D) + 1,755$	0,002082	0,0946
	20	Muta L. II	$\varphi = 406,29 \exp(-0,00696 T_D) + 2,000$	0,030071	0,0066
	21	Muta L. I	$\varphi = 172,05 \exp(-0,00678 T_D) + 2,401$	0,050094	0,0039
Temperatura dmuchu					
[K]					

Dodatek paliwa zastępczego P

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{m_j} w_j \left[\varphi_{j1} - a_1 (O_{2Dj1} - a_2)^2 - a_3 \exp(a_4 P_{j1}) - a_5 \exp(a_6 T_{Dj1}) - a_{0j} \right]^2 = \min., \quad (7)$$

gdzie:

w_j - waga statystyczna j-tej serii pomiarowej,

j - numer serii pomiarowej,

n - liczba serii pomiarowych,

i - numer pomiaru,

m_j - liczba pomiarów w j-tej serii.

W przypadku, gdy poszczególne serie pomiarowe opisują zależność φ tylko od jednego z badanych czynników, równanie (7) jest równoważne układowi trzech równań ujmujących warunki metody najmniejszych kwadratów oddzielnie dla każdego z czynników:

$$\sum_{j=1}^{n_1} \sum_{i=1}^{m_j} w_j \left[\varphi_{j1} - a_1 (O_{2Dj1} - a_2)^2 - a_{0j} \right]^2 = \min., \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{n_2} \sum_{i=1}^{m_j} w_j \left[\varphi_{j1} - a_3 \exp(a_4 P_{j1}) - a_{0j} \right]^2 = \min., \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^{n_3} \sum_{i=1}^{m_j} w_j \left[\varphi_{j1} - a_5 \exp(a_6 T_{Dj1}) - a_{0j} \right]^2 = \min., \quad (10)$$

gdzie:

n_1, n_2, n_3 - liczba serii pomiarowych dotyczących odpowiednio: zmiennego udziału tlenu w dmuchu, zmiennego dodatku paliwa zastępczego oraz zmiennej temperatury dmuchu.

Zastąpienie warunku (7) układem równań (8) i (10) upraszcza obliczenia i umożliwia przeprowadzenie wspomnianej korekty zmierzonych wartości φ , w niektórych seriach pomiarowych.

Z warunków (8), (9) i (10) otrzymuje się układy $(n_1 + 2)$, $(n_2 + 2)$ i $(n_3 + 2)$ równań nieliniowych, z których wyznacza się współczynniki a_1 i a_6 uogólnionego równania (6) oraz $(n_1 + n_2 + n_3)$ współczynników indywidualnych a_{0j} dla poszczególnych serii.

Równanie (9) wykorzystano czterokrotnie wyznaczając dla każdego z badanych paliw zastępczych oddzielnie pary współczynników a_3 i a_4 równania empirycznego opisującego funkcję φ .

Przeprowadzone próby uzależnienia tych współczynników od parametrów charakteryzujących paliwo zastępcze (wartość opałowa, stosunek c/h w paliwie itp.) nie wykazały istnienia korelacji między badanymi wielkościami. Zrezygnowano więc z uogólnienia równania empirycznego (9) na wszystkie paliwa zastępcze i dla każdego z analizowanych paliw należy posługiwać się oddzielnymi współczynnikami indywidualnymi.

Wyznaczone współczynniki empiryczne równania (6) zamieszczone w tabeli 4. Parametr ψ_0 tego równania wyznacza się podług wyników jednorazowego pomiaru cieplnego badanego wielkiego pieca.

3. Zależność empiryczna pomiędzy φ i ψ

Liczne badania przytoczone w literaturze [3,5,11,12,25,29,40,48] wskazują, że istnieje korelacja pomiędzy stosunkami φ i ψ . Współzależność ta wynika z przesłanek teoretycznych przy założeniu stanu równowagi chemicznej dla reakcji gazu wodnego w strefie rezerwy cieplnej wielkiego pieca:

$$\psi = \frac{\varphi}{K_p + \varphi}, \quad (11)$$

gdzie:

K_p - oznacza stałą równowagi chemicznej dla reakcji gazu wodnego.

Istnienie takiej współzależności potwierdzają 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 bliskie równowagowym. U wylotu z pieca skład gazu odbiega oczywiście od składu równowagowego, lecz związek między φ i ψ nadal istnieje [11].

W tabeli 2 zamieszczono równania empiryczne ujmujące zależności między wielkościami φ i ψ według ośmiu autorów [3,5,25,29,40,48]. Równania uzyskano w oparciu o analitycznie lub wykreślnie podane związki (w przeważającej większości liniowe).

Na rys. 7 przedstawiono przebieg zebranych w tabeli 2 zależności empirycznych.

Na podstawie przytoczonych zależności wyznaczono za pomocą klasycznej metody najmniejszych kwadratów uśrednioną zależność liniową w spotykanym w praktyce przedziale zmian wartości φ (1,2 ÷ 2,8) przedstawioną równaniem ogólnym:

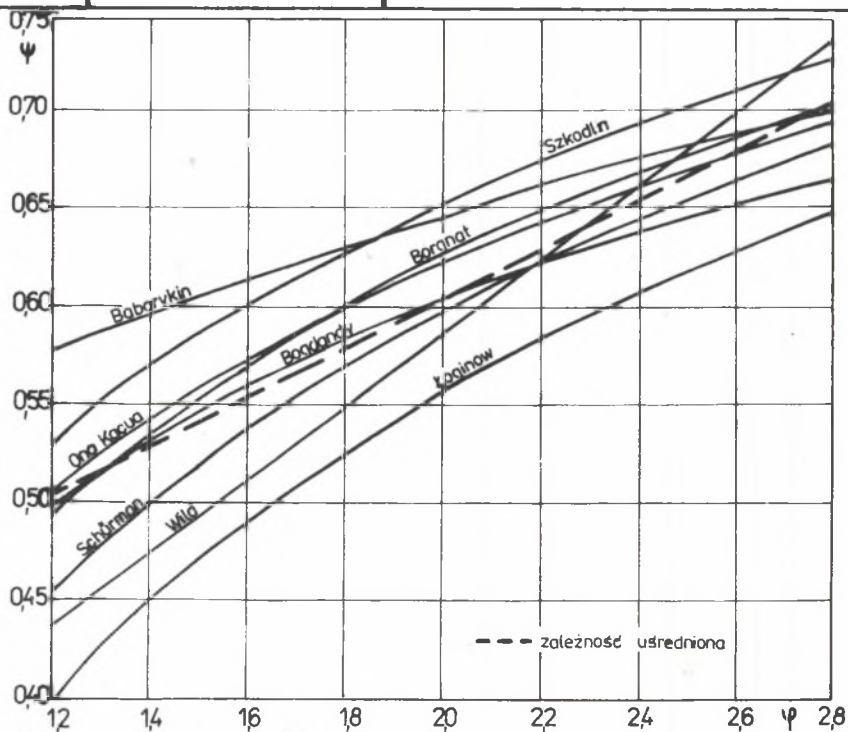
$$\psi = b\varphi + \psi_0, \quad (12)$$

w którym wyraz wolny przyjęto jako parametr uwzględniający specyfikę badanego wielkiego pieca.

Tabela 2

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

Numer równania 1	Autor	Zależność między φ i ψ
1	Babarykin [3]	$\psi = \frac{\varphi^2 + 0,59\varphi + 0,66}{(\varphi + 1)^2}$
2	Bogdandy [48]	$\psi = \frac{0,9\varphi + 0,02}{\varphi + 1}$
3	Borgnat [5]	$\psi = \frac{\varphi - 0,11}{\varphi + 1}$
4	Loginow [25]	$\psi = \frac{\varphi - 0,322}{\varphi + 1}$
5	Ono Kacua [29]	$\psi = \frac{0,96\varphi - 0,04}{\varphi + 1}$
6	Schurmann [48]	$\psi = \frac{\varphi - 0,2}{\varphi + 1}$
7	Szkodin [40]	$\psi = \frac{\varphi - 0,03}{\varphi + 1}$
8	Wild [48]	$\psi = 0,189\varphi + 0,211$

Rys. 7. Zależność empiryczna $\psi(\varphi)$ według różnych autorów

Przyjęcie zależności uśrednionej w postaci liniowej wynika z analizy przebiegu indywidualnych zależności $\psi(\varphi)$, które w badanym zakresie zmian niewiele odbiegają od zależności liniowej.

W tym przypadku metoda najmniejszych kwadratów sprowadza się do warunku:

$$\int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \left[\sum_{l=1}^p (\psi_l - b\varphi - b_0)^2 \right] d\varphi = \min., \quad (13)$$

gdzie:

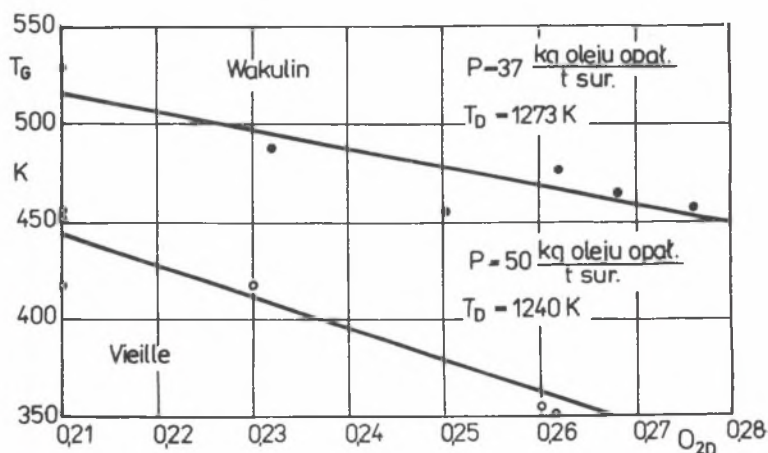
l - numer indywidualnego równania empirycznego,

p - liczba indywidualnych równań empirycznych.

Z warunku (13) wyznaczono współczynnik b uogólnionego równania (12), którego wartość zamieszczono w tabeli 4. Parametr ψ_0 tego równania jest wyznaczany na podstawie wyników jednorazowego pomiaru cieplnego badanego procesu wielkopiecowego.

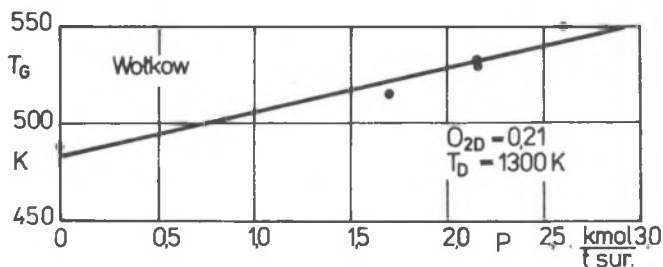
4. Równanie empiryczne ujmujące zależność $T_G(O_{2D}, P, T_D)$

Uogólnione równania empiryczne opisujące wpływ udziału tlenu w dmucho, dodatku różnych paliw zastępczych i temperatury dmucho na temperaturę gazu wielkopiecowego wyznaczono w oparciu o trzydzieści serii pomiarowych.

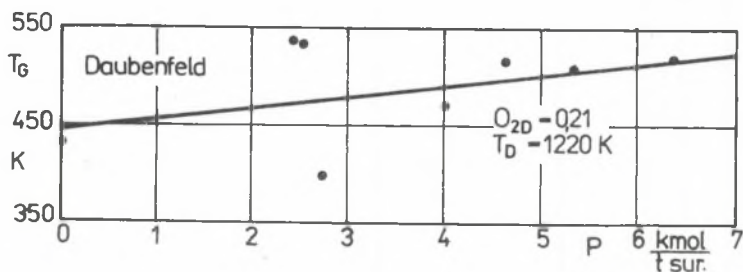


Rys. 8. Zależność empiryczna $T_G(O_{2D})$ przy $P = \text{idem}$ i $T_D = \text{idem}$ według serii pomiarowych nr 6 i 7

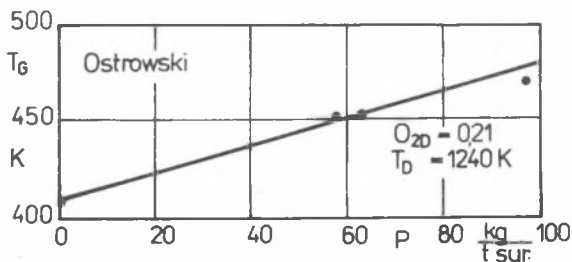
Jedenaście serii ujmuje zależność temperatury gazu od udziału tlenu w dmuchu [11,15,20,23,24,26,37,42,43,45]. Dwie z nich pokazano przykładowo na rys. 8. Analizę wpływu paliw zastępczych na T_G przeprowadzono w oparciu o siedem serii pomiarowych dla oleju opałowego [13,16,21,28,33], sześć serii dla gazu ziemnego [2,22,27,31,35,47], dwie serie dla gazu koksowniczego [8,10] oraz cztery serie dla węgla kamiennego [9,17,30]. Zależność temperatury gazu od temperatury dmuchu reprezentowana jest przez sześć serii pomiarowych [48].



Rys. 9. Zależność empiryczna $T_G(p)$ dla gazu ziemnego przy $O_{2D} = 0,21$ i $T_D = 1300$ K według serii pomiarowej nr 19



Rys. 10. Zależność empiryczna $T_G(p)$ dla gazu koksowniczego przy $O_{2D} = 0,21$ i $T_D = 1220$ K według serii pomiarowej nr 26



Rys. 11. Zależność empiryczna $T_G(p)$ dla węgla kamiennego przy $O_{2D} = 0,21$ i $T_D = 1240$ K według serii pomiarowej nr 27

Na rys. 9:11 pokazano przykładowo po jednej serii pomiarowej przedstawiającej zależność $T_G(P)$ dla przypadków wdmuchiwania gazu ziemnego, gazu koksowniczego oraz pyłu węgla kamiennego. Przykładowe serie ujmujące zależność $T_G(T_D)$ oraz $T_G(P)$ dla oleju opałowego przedstawiono w [48].

Sposób postępowania przy wyznaczaniu uogólnionej zależności empirycznej $T_G(O_{2D}, P, T_D)$ był analogiczny jak w przypadku określenia funkcji φ . Z tych samych co poprzednio powodów ogólne równanie empiryczne składa się z trzech wyznaczonych oddzielnie, wzajemnie niezależnych członów, z których każdy uwzględnia wpływ tylko jednego z rozpatrywanych czynników O_{2D} , P lub T_D na temperaturę gazu wielkopiecowego.

Na podstawie analizy danych doświadczalnych stwierdzono, że ostatekowe zależności empiryczne $T_G(O_{2D})$, $T_G(P)$ oraz $T_G(T_D)$ można ująć w postaci funkcji liniowych. Na liniowy przebieg zależności $T_G(O_{2D})$ wskazują m.in. również wyniki badań prowadzonych przez Henkela [15] przy użyciu modelu matematycznego wielkiego pieca. Liniową postać zależności $T_G(P)$ oraz $T_G(T_D)$ przyjęto także w [48].

Ogólne równanie empiryczne ma zatem postać:

$$T_G = c_1 O_{2D} + c_2 P + c_3 T_D + T_{GO}, \quad (14)$$

gdzie parametr T_{GO} uwzględnia specyficzne warunki badanego procesu wielkopiecowego.

Dla każdej z rozważanych serii pomiarowych wyznaczano, za pomocą klasycznej metody najmniejszych kwadratów, indywidualne równanie empiryczne opisujące funkcję T_G . Równania te zestawiono w tabeli 3. Dla poszczególnych serii wyznaczono również estymator wariancji oraz wagę statystyczną odwrotnie proporcjonalną do estymatora wariancji.

Współczynniki uogólnionego równania empirycznego (14) wyznaczono za pomocą klasycznej metody najmniejszych kwadratów. Materiał doświadczalny stanowiły serie pomiarowe przytoczone w tabeli 3. Każdej serii przydano wagę statystyczną. W tym przypadku minimalizowana funkcja ma postać:

$$\sum_{j=1}^{n_k} \sum_{i=1}^{m_j} w_j (T_{Gji} - c_1 O_{2Dji} - c_2 P_{ji} - c_3 T_{Dji} - c_{0j})^2 = \min. \quad (15)$$

Wyznaczone z warunku (15) współczynniki c_1, c_2, c_3 uogólnionego równania empirycznego $T_G(O_{2D}, P, T_D)$ zamieszczono w tabeli 4.

Wyraz wolny w równaniu (14), przyjęty jako parametr, wyznacza się z jednorazowego pomiaru cieplnego badanego wielkiego pieca.

Przebieg zależności empirycznej $T_G(O_{2D}, P, T_D)$ znajduje również potwierdzenie teoretyczne. Zmniejszenie strumienia gazów piecowych wskutek wzbogacenia dmuchu w tlen powoduje lepsze ich ochłodzenie w strefie podgrzewania wielkiego pieca i tym samym obniża temperaturę gazu wielkopieco-

Tabela 3

Zestawienie indywidualnych równań empirycznych ujmujących zależność T_G od udziału tlenu w dmuchu, dodatku paliwa zastępczego (oleju opałowego, gazu ziemnego, gazu koksowniczego, węgla kamiennego) i temperatury dmuchu

Zmienny parametr	Numer serii J	Nazwa serii pomiarowej	Indywidualne równanie empiryczne T_G [K]	Estymator wariancji	Waga serii w_j	
Udział tlenu w dmuchu O_{2D}	1	Niekrasow [26]	$T_G = -979 O_{2D} + 889$	3,2	0,8544	
	2	Sugawara [37]	$T_G = -653 O_{2D} + 539$	89,5	0,0305	
	3	Lewin I [23]	$T_G = -1994 O_{2D} + 1025$	117,8	0,0232	
	4	Goldasteja [11]	$T_G = -1322 O_{2D} + 877$	120,9	0,0226	
	5	Henkel [15]	$T_G = -636 O_{2D} + 705$	125,6	0,0218	
	6	Vakulin [45]	$T_G = -970 O_{2D} + 721$	241,2	0,0113	
	7	Vicille [42]	$T_G = -1626 O_{2D} + 786$	272,8	0,0100	
	8	Lewin II [23]	$T_G = -1286 O_{2D} + 896$	282,2	0,0097	
	9	Vroman [43]	$T_G = -980 O_{2D} + 623$	356,8	0,0077	
	10	Kitajew [20]	$T_G = -774 O_{2D} + 656$	383,7	0,0071	
	11	Lazariew [24]	$T_G = -637 O_{2D} + 822$	1644,7	0,0017	
Dodatek paliwa zastępczego P	Olej opałowy $\left[\frac{kg}{t \text{ sur.}} \right]$	12	Iachebeck III [16]	$T_G = 0,246 P + 464$	187,2	0,2094
		13	Noel [28]	$T_G = 0,328 P + 370$	199,1	0,1969
		14	Iachebeck I [16]	$T_G = 0,455 P + 487$	223,9	0,1751
		15	Iachebeck II [16]	$T_G = 0,471 P + 471$	274,0	0,1431
		16	Hauswirth [13]	$T_G = 0,550 P + 566$	324,6	0,1208
		17	Schumacher [33]	$T_G = 1,151 P + 512$	479,8	0,0817
	18	Knepper [21]	$T_G = 0,700 P + 519$	537,1	0,0730	
	gaz ziemny $\left[\frac{kmol}{t \text{ sur.}} \right]$	19	Wolkow [47]	$T_G = 22,42 P + 485$	476,4	0,3110
		20	Sagajdkak [31]	$T_G = 22,57 P + 485$	706,7	0,2097
		21	Lewin [22]	$T_G = 22,33 P + 450$	734,8	0,2016
		22	Antonow [2]	$T_G = 32,33 P + 545$	749,5	0,1977
		23	Niekrasow [27]	$T_G = 4,59 P + 687$	3484,3	0,0425
		24	Starszinow [35]	$T_G = 7,95 P + 588$	3952,6	0,0375
	gaz koksowniczy $\left[\frac{kmol}{t \text{ sur.}} \right]$	25	Ghiglione [10]	$T_G = 2,90 P + 417$	224,0	0,9203
		26	Daubenfeld [8]	$T_G = 11,51 P + 444$	2587,3	0,0797
	węgiel kamienny $\left[\frac{kg}{t \text{ sur.}} \right]$	27	Ostrowski [30]	$T_G = 0,687 P + 411$	23,7	0,7482
		28	Dunajew I [9]	$T_G = 0,201 P + 487$	131,9	0,1342
		29	Jamuzincow [17]	$T_G = 0,227 P + 484$	171,2	0,1034
30		Dunajew II [9]	$T_G = 0,328 P + 570$	1250	0,0142	
Temperatura dmuchu T_D [K]	31	Zischkale [48]	$T_G = -0,1161 T_D + 607$	220,9	0,3221	
	32	Galatenow I	$T_G = -0,3095 T_D + 1059$	354,4	0,2059	
	33	Huta L. I	$T_G = -0,0697 T_D + 751$	401,9	0,1771	
	34	Galatenow II	$T_G = -0,1178 T_D + 827$	478,0	0,1489	
	35	Huta L. II	$T_G = -0,0632 T_D + 630$	893,4	0,0797	
	36	Babarykin	$T_G = -0,1979 T_D + 907$	1073,0	0,0663	

Tabela 4

Współczynniki uogólnionych równań empirycznych

Zmiany parametr	Udział tlenu w dmuchu O_2D			Dodatek paliwa zastępczego P												Temperatura dmuchu T_D [K]							
	a_1	a_2	a_1	olej opałowy [kg/t sur.]			gaz ziemny [kmol/t sur.]			gaz koksowniczy [kmol/t. sur.]			węgiel kamienny [kg/t sur.]			a_5	a_6	a_3	a_2	a_1			
Współczynnik empiryczny				a_3	a_4	a_2	a_3	a_4	a_2	a_3	a_4	a_2	a_3	a_4	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_3	a_2	a_1	
Jednostka	-	-	K	-	$\frac{t \text{ sur.}}{kg}$	$\frac{K t \text{ sur.}}{kmol}$	-	$\frac{t \text{ sur.}}{kg}$	$\frac{K t \text{ sur.}}{kmol}$	$\frac{K t \text{ sur.}}{kmol}$	-	$\frac{t \text{ sur.}}{kg}$	$\frac{K t \text{ sur.}}{kmol}$	$\frac{K t \text{ sur.}}{kmol}$	-	$\frac{t \text{ sur.}}{kg}$	$\frac{K t \text{ sur.}}{kg}$	-	K^{-1}	-	-	-	
Wartość	69,01	0,2756	-986	0,147	-0,058	0,546	0,252	-0,608	19,66	0,111	-0,776	5,76	0,144	-0,1113	0,476	37,98	-0,00530	-0,1385	0,1264				

wego. Z analizy przeprowadzonej według modelu przepływu ciepła w wielkim piecu Kitajewa [20] wynika, że zwiększeniu temperatury dmucho towarzyszy spadek temperatury gazu wielkopieczowego, a dodatek paliwa zastępczego powoduje jej podwyższenie. Znajduje to także potwierdzenie w innych badaniach doświadczalnych (nie ujętych w spisie literatury), których nie wykorzystano do wyznaczenia zależności empirycznych z tych samych przyczyn, co w przypadku funkcji φ .

LITERATURA

1. Ande R.; Miyashita T. i in.: Research and development of new iron-making techniques in experimental blast furnace. Nippon Kokan Techn.Rept 1971, nr 13, s. 1.
2. Antonow W.M., Szawrin S.W.: Wypławka martienowskiego ozuguna s uwieli-
oziennym raschodom prirodnogo gaza. Metalurg 1974, nr 9, s. 10.
3. Babarykin N.N.: Wzaimoswjaz miëdu stiepieniami ispolzowanija wodoroda i okisi uglieroda w domiennoj piecozi. Stal 1975, nr 8, s. 684.
4. Bielewoow G.A., Kasjan W.W. i in.: Uluozszenije pokaztielej domiennoj
plawki primienienijem kombinirowannogo dutja s podwysziennymi roscho-
dami jego komponentow. Stal 1974, nr 9, s. 786.
5. Borgnat D., Eyclument B.: Étude de l'injection de "fuel-oil" au haut
fourneau. Essais sur modèle réduit d'une tuyère à onde de choc ali-
mentée en vent chaud. Ciroulaire d'Informations Techniques Centre de
Documentation Sidérurgique 1972, t. 29, nr 4, s. 951.
6. Brandl H.Th., Heynert G. i inn.: Increase in pig iron production and
reduction in fuel consumption as a result of high blast temperature,
oxygen - enrichment, oil - injection, and high top pressure. Proceed-
ings ICSTIS, cz. I, Suppl. Trans. ISIJ-D 29726, 1971, t. 11, s. 156.
7. Brandl H.Th., Ischebeck P., Beer H.: Einblasen von Schweröl bei hohen
Windtemperaturen, voll vorbereitetem Möller und Sauerstoffzusatz. Stahl-
und Eisen 1963, t. 83, nr 24, s. 1541.
8. Daubenfeld E., Reinland R., Limpach R.: L'injection du gaz de four à
coke au haut fourneau. Congrès International de Charleroi 1966. Le
coke en Sidérurgie (D2) s. 8.
9. Dunajew N.Je., Kudriawcewa E.M. i in.: Wduwanije pyliewidnych matie-
riałow w domiennyje piecozi. Metalurgija, Moskwa 1977.
10. Ghiglione A., Giulli M.: Iniezione di gas di cockeria all altoforno n.2
dello Stabilimento Italsider di Trieste. Boll. Techn. Finsider 1972,
nr 305, s. 464.
11. Goldsztejn N.L.: Wodorod w domiennom prociessie. Metalurgija, Moskwa
1971.
12. Gumz W.: Gas producers and blast furnaces. Theory and methods of cal-
culation. J. Wiley, New York 1950.
13. Hauswirth G., Mayer H.: Ein Jahr Betrieb eines Hochofens der Vöest mit
Schweröl und Sauerstoff. Berg- und Hüttenmännische Monatshefte 1963,
nr 11, s. 380.
14. Heynert G., Beuthan W., Schroeder H.F.: Fuel oil injection plus oxy-
gen enrichment; blast furnace performance vs. computer prediotions.
Blast Furnace and Steel Plant, 1964, nr 5, s. 409.
15. Henkel S., Haverkamp K.D. i in.: Technik und Auswirkungen des Einbla-
sens von Sauerstoff in den Hochofen. I. Metallurgie und betriebliche
Anwendung. Stahl- und Eisen 1970, t. 90, nr 7, s. 321.

16. Ischebeck P., Heynert G., Beer H.: Einblasen von Schweröl bei hohen Windtemperaturen und voll vorbereitetem Moller. Stahl- und Eisen 1962, nr 22, s. 1476.
17. Jemuszincow W.W., Galiemin I.M., Dunajew N.Je.: Wypławka pieriedielnego ozuguna s razlicznym raschodom pylieugolnogo topliwa. Stal 1969, nr 6, s. 489.
18. Jesin O.A., Gield P.W.: Fiziozeskaja obimija pirometallurgiozeskich processow. Metallurgizdat 1950.
19. Kasprzyński B.: Planowanie eksperymentów. Podstawy matematyczne. WNT, Warszawa 1974.
20. Kitajew B.I., Jaroszenko Ju.G., Lazariew B.L.: Tieploobmien w domiennoj pieczi. Metallurgija, Moskwa 1966.
21. Knepper W.A., Woolf F.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, s. 1189.
22. Lewin L.J., Wanozikow W.A. i in.: Rabota domiennyh pieczej Czerepowieckiego metallurgiozeskogo zawoda s primienieniem prirodnogo gaza. Stal 1965, nr 1, s. 10.
23. Lewin L.J., Wanozikow W.A. i in.: Opytnyje domiennyje plawki na dutje obogaszczennom kislorodom. Stal 1965, nr 8, s. 676.
24. Lazariew B.L., Parlenkow A.E. i in.: Opytnyje domiennyje plawki na kombinirowannom dutje wysokich parametrov. Biull, CNICzM 1970, nr 7, s. 30.
25. Loginow B.U., Krjazozko G.Ju. i in.: Wlijanije ispolzowanija gaza na pokazateli raboty domiennyh pieczej zawoda im. Dzierżyńskiego. Stal 1979, nr 2, s. 88.
26. Niekrasow Z.I., Buzowierja M.T. i in.: Domiennaja plawka na kombinirowannom dutje, sodierzaszcziem 30-32% kisloroda. Stal 1978, nr 4, s. 306.
27. Niekrasow Z.I.: Rabota domiennoj pieczi objemom 1719 m³ s wduwanijem prirodnogo gaza. Stal 1962, nr 3, s. 199.
28. Noel T., Molderez J., Poes A.: Recent fuel oil injection tests on a blast furnace in Belgium. Iron and Steel 1963, nr 1, s. 22.
29. Ono K., Katsoka M., Takei J.: Tetsu to bagane. Jurnal Iron and Steel Institut of Japan 1968, nr 12, s. 1268.
30. Ostrowski E.I., Dietz J.R.: Blast furnace operations with injected coal at Werton. J. Metals 1965, nr 12, s. 1289.
31. Sagajdak L.I.: Rabota domiennoj pieczi bolszego objema s prirodnym gazom. Metallurg 1965, nr 7, s. 16.
32. Schulz D., Fabian K. i in.: Überlegungen zur Optimierung des Hochofenverfahrens. Stahl- und Eisen 1972, t. 22, nr 13, s. 629.
33. Schumacher H.: Erfahrungen beim Betrieb eines Hochofens mit hohen Temperaturen. Stahl- und Eisen 1966, nr 6, s. 309.
34. Sironi G., Ghiglione A. i in.: Investigations on effects of natural gas and oxygen in the blast furnace process. Proceedings ICSTIS, Suppl. Trans. ISIJ 1971, t. 11, s. 201.
35. Starszinow B.N., Łukaszow G.G.: Primienienije prirodnogo gaza pri wypławke pieriedielnogo fosforistogo ozuguna. Stal 1962, nr 5, s. 396.
36. Stiefanowicz M.A., Fiedułow J.W., Szpärer L.J.: Wostanowitielnaja rabota gazow w szachtie domiennoj pieczi pri ispolzowanii prirodnogo gaza. Stal 1966, nr 8, s. 680.
37. Sugawara T., Ikeda M. i in.: Construction and operation of No 5 blast furnace. Fukuyama Works, Nippon Kakan KK. Ironmaking a. Steelmaking 1976, t. 3, nr 5, s. 241.
38. Szargut J.: Wpływ podgrzania dmuochu na wskaźniki energetyczne procesu wielkopieczowego. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. 1967, Energetyka z. 26, s.5.

39. Szargut J., Ziębik A.: Zastosowanie bilansów substancji i energii do określania wpływu temperatury dmuchu na wskaźniki cieplne procesu wielkopiecowego. *Archiwum Hutnictwa* 1974, nr 4, s. 395.
40. Szkodin K.K.: Wlijanije dobawok wodoroda k oksii uglieroda na wostanowlenije aglomeratow s razlioznoj fiziozieskoj strukturoj. *Stal* 1963, nr 2, s. 97.
41. Tkaczenko A.A., Bugajew K.M. i in.: Sowmiestnoje ispolzowanije mazuta i prirodno go gaza w domiennoj piawkie. *Stal* 1974, nr 6, s. 481.
42. Vielle A.: Compagne d'essais au haut fourneau 1 de Joeuf. *Circ. Inf. Techn.* 1973, t. 30, nr 3, s. 707.
43. Vroman L., Poos A.: Einblasen von Öl bei gleichzeitiger Anreicherung des Windes mit Sauerstoff. *Neue Hütte* 1962, t. 7, nr 6, s. 331.
44. Wakabayashi K., Fujiura M. i in.: Theoretical analyses on the high top-gas-pressure operation and oxygen - enriched operation of blast furnace. *Trans. Iron Steel Inst. Jap.* 1970, t. 10, nr 3, s. 207.
45. Wakulin W.N., Cymbal G.L.: Rabota domiennoj pieczy primiewienijem mazuta i kisloroda. *Biull. CNIIChM* 1975, nr 8, s. 37.
46. Waxweiler P., Lorang J. i in.: Injection de fuel-oil extralourd par tuyères d'un haut fourneau de L'ARBED. *Journées Internationales de Sidérurgie, Luxembourg* 1962, s. 417.
47. Wołkow J.P., Gawriljuk L.J. i in.: Primienienije prirodnogo gaza w domiennych pieczach zawodow Jużnogo Urala. *Stal* 1966, nr 5, s. 386.
48. Ziębik A.: Równania empiryczne ujmujące wpływ dodatku oleju opałowego i podgrzania dmuchu na wykorzystanie CO i H₂ w wielkim piecu oraz na temperaturę gazu wielkopiecowego. *Zeszyty Naukowe Pol. Sl. 1976. Energetyka* z. 54, s. 85.
49. Ziębik A., Madeja M.: Metoda bilansowa oceny efektów energetycznych wzbogacenia dmuchu wielkopiecowego w tlen. *Materiały XI Zjazdu Termodynamików Szczecin, Wrzesień 1981*, s. 360.
50. Ziębik A., Madeja M., Kruczek T.: Obliczanie wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego przy zmiennej temperaturze dmuchu, zmiennym udziale tlenu w dmuchu i wdmuchiwanii paliw zastępczych. *Praca Naukowo-badawcza ITC, cz. II, Gliwice 1982*.
51. Żeribin B.N.; Dembowieckij W.P.: Issledowanije raboty domiennoj pieczy pri wduwanii w gorn koksowogo gaza. *Stal* 1965, nr 4, s. 293.

Recenzent: prof. dr inż. Jan Szargut

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1984 r.

ЭМПИРИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ ДУТЯ
В КИСЛОРОД, ПРИМЕНЕНИЯ ЗАМЕНИТЕЛЕЙ КОКСА И ПОДОГРЕВА ДУТЯ
НА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СО И Н₂ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ И ТЕМПЕРАТУРУ
КОЛОШНИКОВОГО ГАЗА

Резюме

На основе результатов исследований, доступных главным образом в зарубежной литературе, разработано эмпирические уравнения определяющие влияние содержания кислорода в дутье, добавки различных заменителей кокса (мазута, природного газа, коксового газа и каменного угля), а также температуры дутья

на отношение CO/CO_2 в колошниковом газе и на температуру этого газа. Исходя из восьми индивидуальных эмпирических уравнений, представленных разными авторами, определено усредненную эмпирическую зависимость между величинами описывающими уровень использования H_2 и CO в доменной печи. Принимая отдельные эмпирические зависимости за однопараметрические семейства функции обобщено их на все доменные печи, в которых параметр определяется на основе теплового измерения исследуемого доменного процесса.

EMPIRICAL EQUATIONS DESCRIBING THE INFLUENCE ENRICHMENT OF BLAST-FURNACE BLOW WITH OXYGEN, APPLICATION OF AUXILIARY FUELS AND HEAT UPON THE UTILIZATION OF CO AND H_2 IN A BLAST-FURNACE AND ON THE TEMPERATURE OF THE TOP GAS

S u m m a r y

Basing on results of measurements mainly derived from foreign literature, empirical equations have been elaborated which describe the influence of the part of oxygen in blast-furnace, injection of auxiliary fuels (oil natural gas, coke oven gas and coal dust) and the temperature of the blow upon the proportion CO/CO_2 in top gas, and upon the temperature of that gas. Basing on eight individual empirical equations described by different writers, empirical relation between variables describing the degree of utilization of CO and H_2 in a blast-furnace has been defined. Individual empirical relations have been generalized on the all blast-furnaces, which were described by one-parametr family functions, where the parameter is described basing on heat measurement of the blast-furnaces process.