ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1968

Seria: ENERGETYKA z. 29 Nr kol. 223

JAN SZARGUT, ANDRZEJ ZIĘBIK
Katedra Energetyki Cieplnej

RÓWNANIA PRAKTYCZNE UJMUJĄCE WPŁYW PODGRZANIA DMUCHU NA WSKAZNIKI ENERGETYCZNE PROCESU WIELKOPIECOWEGO

Streszczenie. Analiza dokładności przewidywania wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego [6] wykazała, że zasadniczy wpływ na poprawność obliczeń wskaźników mają błędy współczynników w równaniach empirycznych opisujących funkcję $\varphi = V_{CO}/(V_{CO} + V_{CO_2}) = f_1(t_L)$ i zależność temperatury t_g gazu od temperatury t_L dmuchu. Zmieniono więc pierwotne [5] ujęcie funkcji φ a dla zwiększenia dokładności funkcji $t_g = f_3(t_L)$ wykorzystano dodatkowo cztery serie pomiarowe.

Z uwagi na zmiany w równaniach empirycznych przeprowadzono w oparciu o równania teoretyczne podane w [3] ponowne obliczenia wskaźników energetycznych dla rozpatrywanych w [4] pięciu wielkich pieców i ustalono nowe praktyczne równania ujmujące wpływ podgrzania dmuchu na różniczkowe wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego. Przeprowadzono również analizę wpływu podgrzania dmuchu na wartość opałową gazu wielkopiecowego.

1. Wstęp

Przeprowadzona w [6] analiza dokładności przewidywania wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego wykazała przeważający wpływ błędów współczynników równań empirycznych $\varphi = V_{CO}/(V_{CO} + V_{CO_2}) = f_1(t_L)$ i $t_g = f_3(t_L)$ na błędy obliczanych wskaźników. Przy przyjętym poziomie ufności $p_o = 0,68$ (prawdopodobieństwo odpowiadające średniemu błędowi kwadratowemu) dokładność równań empirycznych podanych w [5] można poprawić tylko przez wykorzystanie większej liczby wiarygodnych serii pomiarowych. Niestety, w przypadku funkcji φ nie dysponowano dodatkowymi seriami pomiarowymi. W związku z tym postanowiono zmienić pierwotne [5] ujęcie funkcji φ. Wpływ tempera-

tury t_L dmuchu na temperaturę t_g gazu wielkopiecowego ustalono poprzednio [5] na podstawie dwu serii pomiarowych. Dla zwiększenia dokładności wykorzystano obecnie dodatkowe cztery serie pomiarowe.

Zmiany w równaniach empirycznych rzutują oczywiście na wartości przewidywanych wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego. Powtórzono więc obliczenia dla rozpatrywanych w [4] pięciu wielkich pieców. Wyniki tych obliczeń były podstawą do ustalenia nowych praktycznych równań ujmujących wpływ podgrzania dmuchu na różniczkowe wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego.

2. Nowe równania empiryczne ujmujące wpływ temperatury dmuchu na skład i temperaturę gazu wielkopiecowego

Spośród równań empirycznych niezbędnych do przeprowadzenia konkretnych obliczeń wskaźników energetycznych najistotniejsze znaczenie ma równanie funkcji φ zdefiniowanej wzorem podanym w [3]:

$$\varphi = \frac{V_{CO}}{V_{CO} + V_{CO_2}} \tag{1}$$

gdzie:

V_{CO}, V_{CO_2} - ilość CO i CO_2 w gazie wielkopiecowym.

Zależność funkcji φ od temperatury t_L dmuchu ujęto równaniem:

$$\varphi = 1 - \frac{1}{A\,\epsilon^{-B\frac{t_L}{1000}} + C + 1} \tag{2}$$

Równanie to badano w postaci przekształconej:

$$\Phi = \frac{V_{CO}}{V_{CO_2}} = A\,e^{-B\frac{t_L}{1000}} + C \tag{3}$$

Współczynniki A, B i C zostały wyznaczone dla każdej z serii pomiarowych za pomocą metody najmniejszych kwadratów [5].

W celu określenia jednoparametrowej rodziny krzywych φ, która zawierałaby tylko jeden współczynnik wyznaczany na podstawie wyników jednorazowego pomiaru cieplnego wielkiego pieca przyjęto stałą wartość współczynnika B. Współczynnik $\bar{B}$ rodziny krzywych został obliczony jako średnia ważona ze współczynników B_k dla poszczególnych serii pomiarowych. Waga w_k jest odwrotnie proporcjonalna do oceny wariancji σ_k^2 dla k-tej serii pomiarowej. Jako współczynnik proporcjonalności przyjęto ocenę wariancji serii pomiarowej, w której występował najmniejszy rozrzut punktów pomiarowych. Uśredniony współczynnik $\bar{B}$ ma wartość:

$$\bar{B} = 2,88$$

Po przyjęciu dla wszystkich serii pomiarowych uśrednionej wartości współczynnika $\bar{B}$ wyznaczono za pomocą metody najmniejszych kwadratów nowe wartości współczynników A i C w równaniu (3). W celu pełnego uogólnienia równania (2) przyjęto pierwotnie [5] zależność liniową między współczynnikami A i C. Współczynnik C jest wyznaczany indywidualnie dla badanego wielkiego pieca na podstawie wyników jednorazowego pomiaru. Analiza dokładności przewidywania wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego [6] wykazała, że współczynniki liniowej aproksymacji A = f(C) są obarczone stosunkowo dużymi błędami. Stwierdzono natomiast, że dokładność funkcji φ można zwiększyć przyjmując stałą, uśrednioną wartość współczynnika A. W tablicy 1 umieszczono wyniki obliczeń współczynników A_k dla poszczególnych serii pomiarowych i wagi w_k, które wyznaczono analogicznie jak w przypadku uśrednionego współczynnika $\bar{B}$.

Tablica 1

Współczynniki A_k i wagi w_k
dla poszczególnych serii pomiarowych

Lp.	Seria pomiarowa	A_k	w_k
1	WP I	2,29	1,0000
2	WP II	3,28	0,2377
3	WP III	2,79	0,0071
4	WP IV	5,62	0,0115

Uśredniony współczynnik $\bar{A}$ wynosi:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{k=1}^{4} w_k A_k}{\sum_{k=1}^{4} w_k} = 2,51 \tag{4}$$

Zatem dokładniejsza postać funkcji φ jest następująca:

$$\varphi = 1 - \frac{1}{2,51\, e^{-2,88 \frac{t_L}{1000}} + C + 1} \tag{5}$$

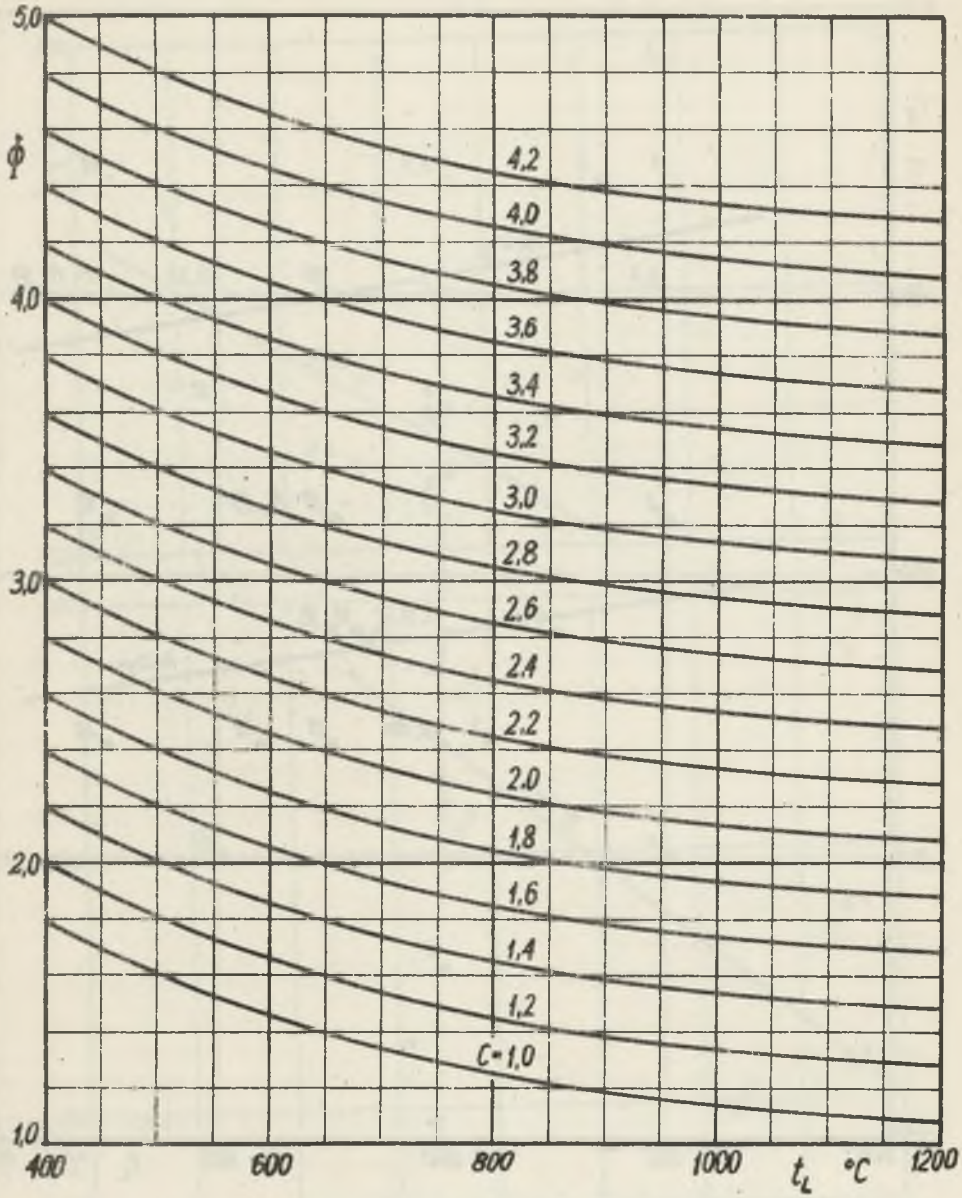
Na rysunku 1 przedstawiono wykres jednoparametrowej rodziny krzywych Φ. Stałą C wyznacza się jak poprzednio [5] na podstawie wyników jednorazowego pomiaru cieplnego wielkiego pieca.

Wpływ temperatury t_L dmuchu na temperaturę t_g gazu wielkopiecowego ujęto równaniem pęku prostych [5]:

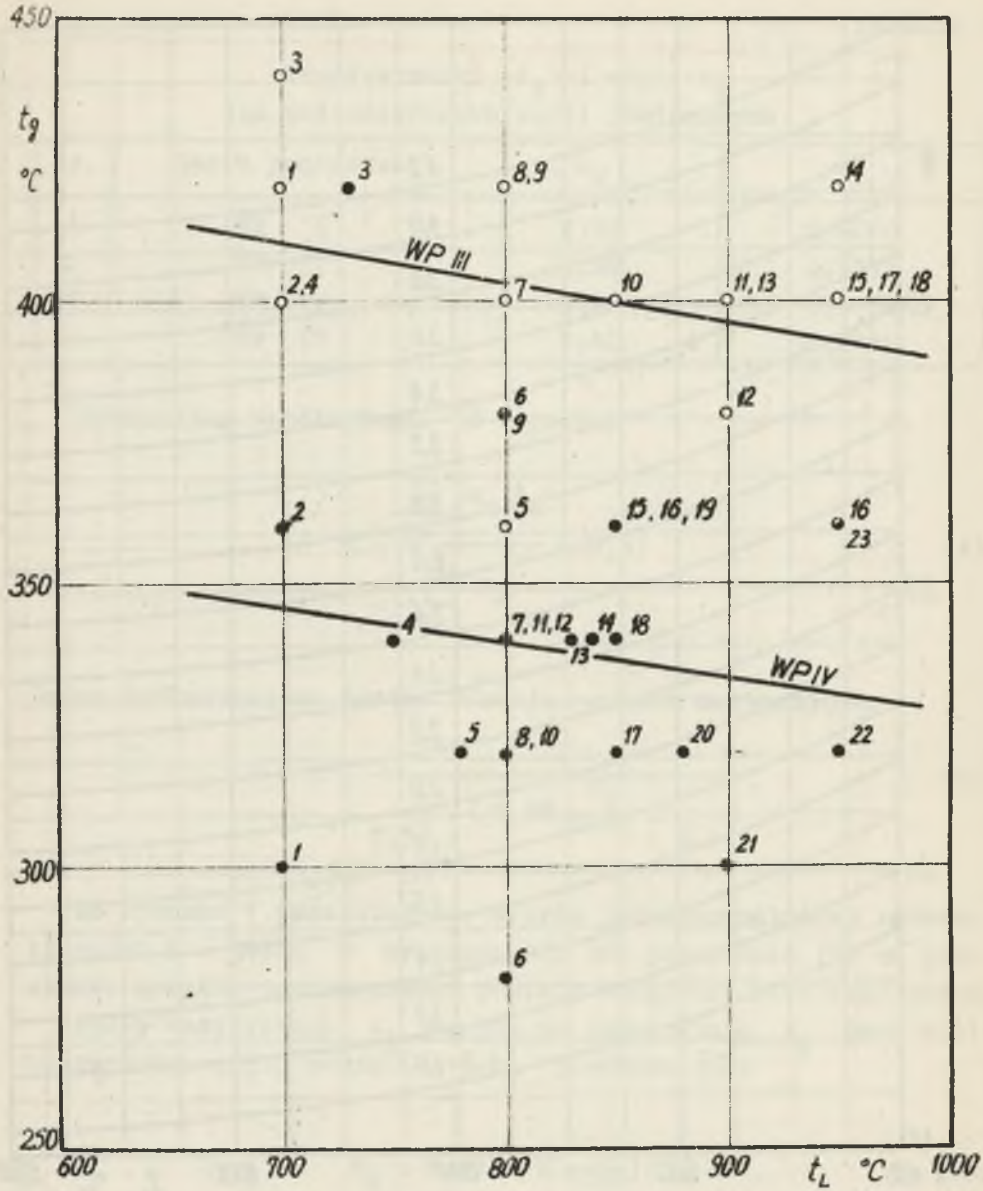
$$t_g = D\left(1 - \bar{b}\,\frac{t_L}{1000}\right) \tag{6}$$

Stałą D wyznacza się indywidualnie dla badanego wielkiego pieca podług wyników jednorazowego pomiaru.

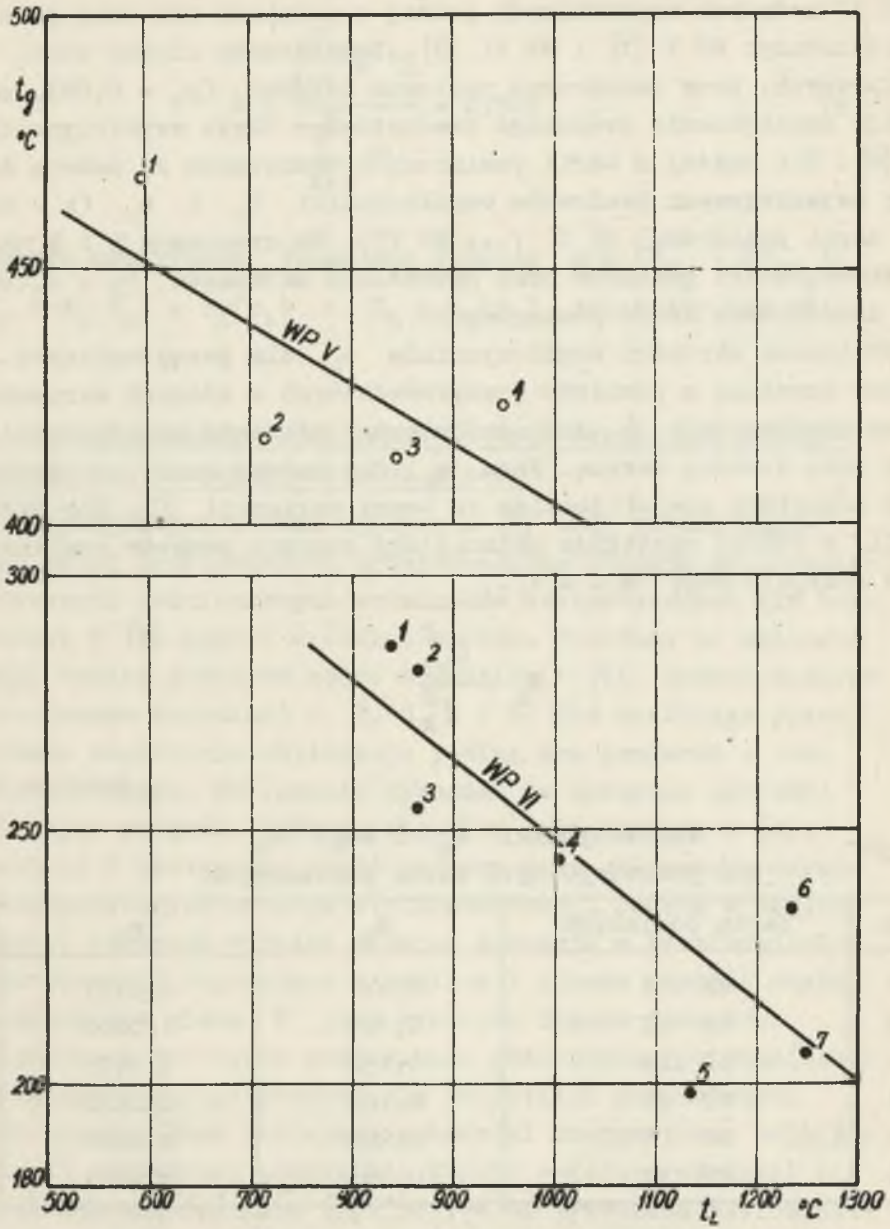
Uśredniony współczynnik $\bar{b}$ został ustalony poprzednio na podstawie dwu serii pomiarowych WP I i WP II [5]. Obecnie wy-



Rys. 1. Wykres jednoparametrowej rodziny krzywych ϕ



Rys. 2. Zależność temperatury gazu wielkopiecowego od temperatury dmuchu dla WP III i WP IV



Rys. 3. Zależność temperatury gazu wielkopiecowego od temperatury dmuchu dla WP V i WP VI

korzystano dodatkowo cztery serie pomiarowe w tym dwie: WP III i WP IV z danych archiwalnych jednej z polskich hut oraz dwie z literatury: WP V [1] i WP VI [2]. Zwiększenie ilości serii pomiarowych, przy narzuconym poziomie ufności (p_0 = 0,68), powoduje zmniejszenie średniego kwadratowego błędu współczynnika $\bar{b}$ [6]. Dla każdej z serii pomiarowych wyznaczono za pomocą metody najmniejszych kwadratów współczynniki D_k i b_k (k - numer serii pomiarowej WP I, ..., WP VI). Na rysunkach 2 i 3 naniesiono wyniki pomiarów oraz nakreślono zależność $t_g = f_3(t_L)$ dla dodatkowych serii pomiarowych.

Obliczone wartości współczynników b_k dla poszczególnych pieców uzyskano z pomiarów przeprowadzonych w różnych warunkach. Zatem współczynnik $\bar{b}$ dla uogólnionego równania należy obliczać jako średnią ważoną. Waga w_k dla każdej serii pomiarowej jest odwrotnie proporcjonalna do oceny wariancji $\tilde{\sigma}_k^2$. Dla serii WP II, w której występuje najmniejszy rozrzut punktów pomiarowych przyjęto wagę $w_{II} = 1$.

$$w_k = \frac{\tilde{\sigma}_{II}^2}{\tilde{\sigma}_k^2} \tag{7}$$

Tablica 2

Współczynniki b_k i wagi w_k
dla poszczególnych serii pomiarowych

Lp.	Seria pomiarowa	b_k	w_k
1	WP I	0,441	0,6395
2	WP II	0,385	1,0000
3	WP III	0,152	0,5495
4	WP IV	0,162	0,2472
5	WP V	0,226	0,4620
6	WP VI	0,393	0,5809

W tablicy 2 umieszczono wyniki obliczeń współczynników b_k i wagi w_k dla poszczególnych serii pomiarowych.

Uśredniony współczynnik $\bar{b}$ wynosi:

$$\bar{b} = \frac{\sum_{k=1}^{6} w_k b_k}{\sum_{k=1}^{6} w_k} = 0{,}323 \qquad (8)$$

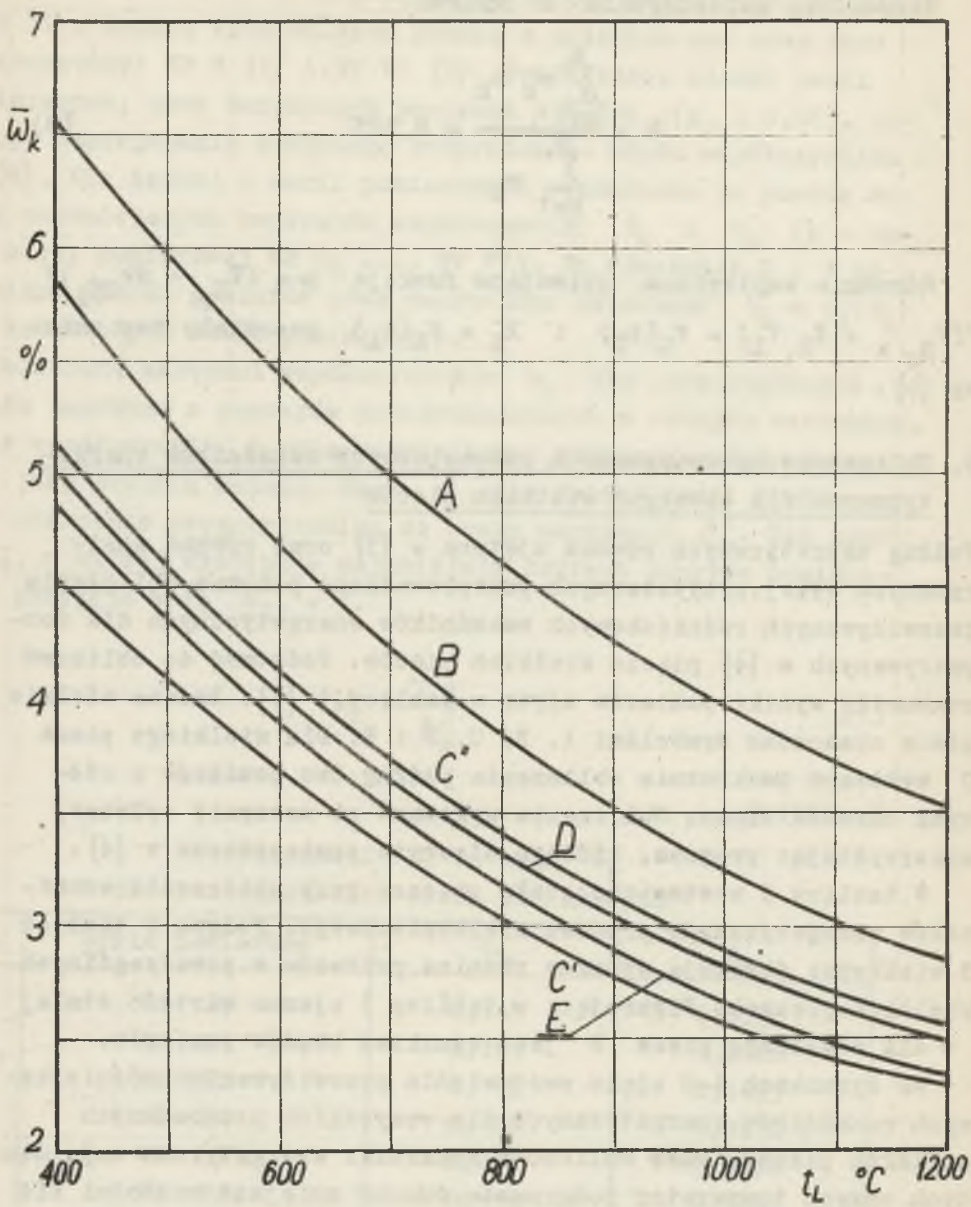
Równania empiryczne opisujące funkcje $\psi = (V_{H_2} + 2V_{CH_4})/(V_{H_2\,k} + X_L V_L) = f_2(t_L)$ i $X_L = f_4(t_L)$ pozostały bez zmiany [5].

3. Obliczenie przewidywanych różniczkowych wskaźników energetycznych dla badanych wielkich pieców

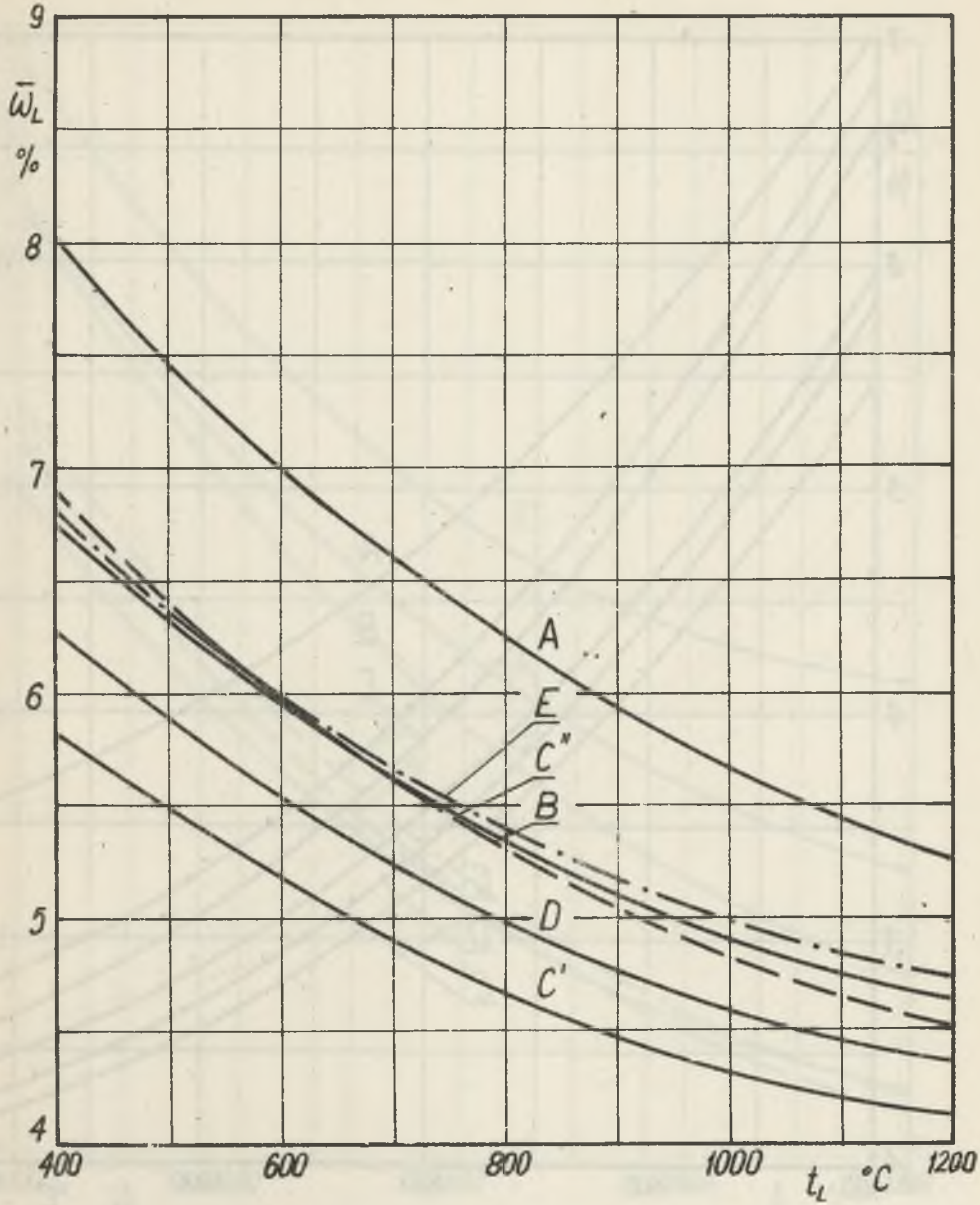
Podług teoretycznych równań ujętych w [3] oraz równań empirycznych wyżej przytoczonych przeprowadzono ponowne obliczenia przewidywanych różniczkowych wskaźników energetycznych dla rozpatrywanych w [4] pięciu wielkich pieców. Podstawę do obliczeń stanowiły wyniki pomiarów ujęte w tablicy 1 [4]. Badane wielkie piece oznaczono symbolami A, B, C, D i E. Dla wielkiego pieca C wykonano dwukrotnie obliczenia podług dwu pomiarów z różnych okresów czasu. Obliczenia wykonano na maszynie cyfrowej wykorzystując program, którego algorytm zamieszczono w [4].

W tablicy 3 zestawiono stałe procesu przy obliczaniu wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego. Podane w tablicy 3 wielkości obrazują wyraźne różnice procesów w poszczególnych wielkich piecach. Figurująca w tablicy 3 ujemna wartość stałej σ dla wielkiego pieca E jest wynikiem błędów pomiarów.

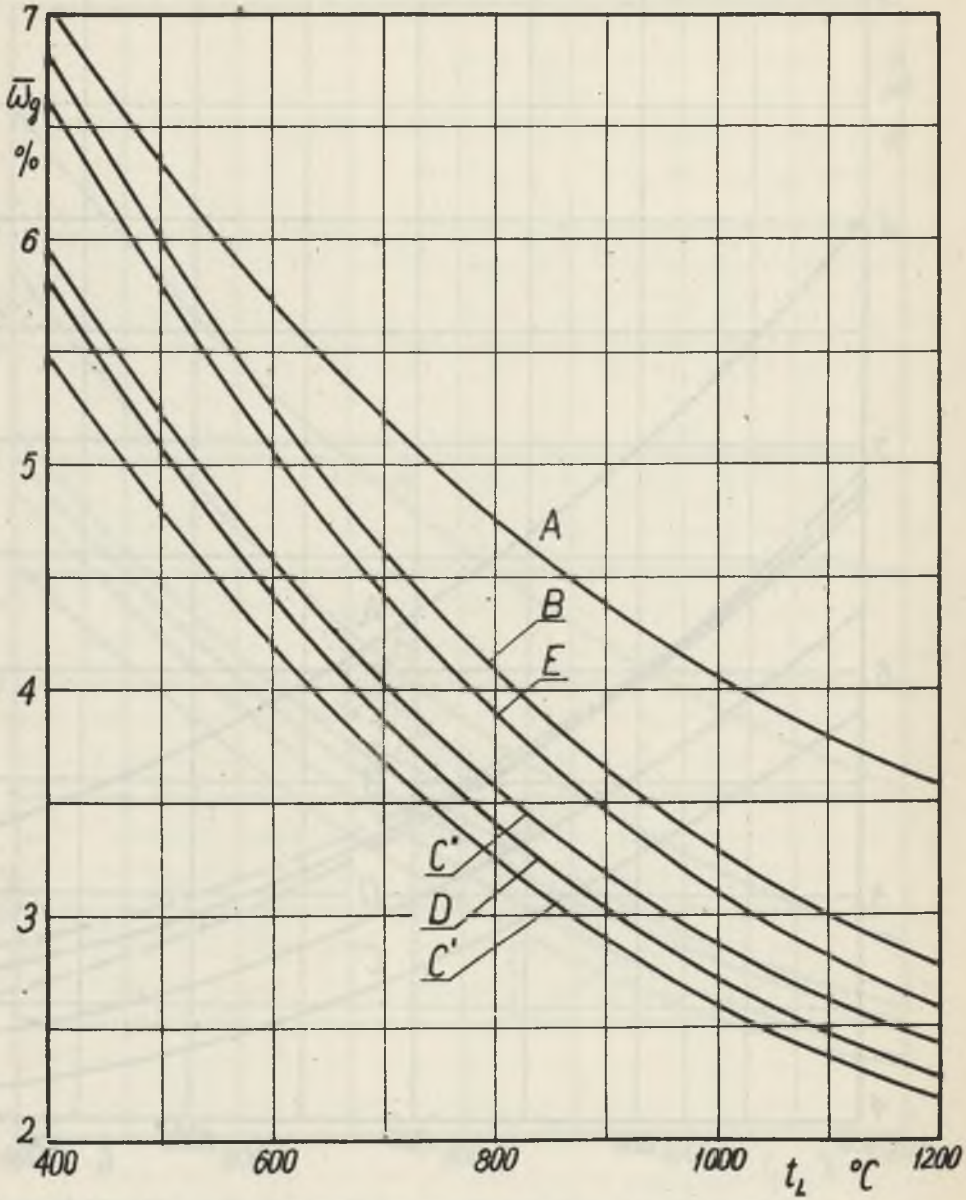
Na rysunkach 4-9 ujęto zestawienia przewidywanych różniczkowych wskaźników energetycznych dla wszystkich przebadanych wielkich pieców. Nowo obliczone wskaźniki energetyczne mają dla tych samych temperatur podgrzania dmuchu mniejsze wartości niż w poprzednich obliczeniach [4]. Krzywe na rysunkach 4-9 obrazujące wpływ temperatury dmuchu na przewidywane wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego są bardziej płaskie. Widać



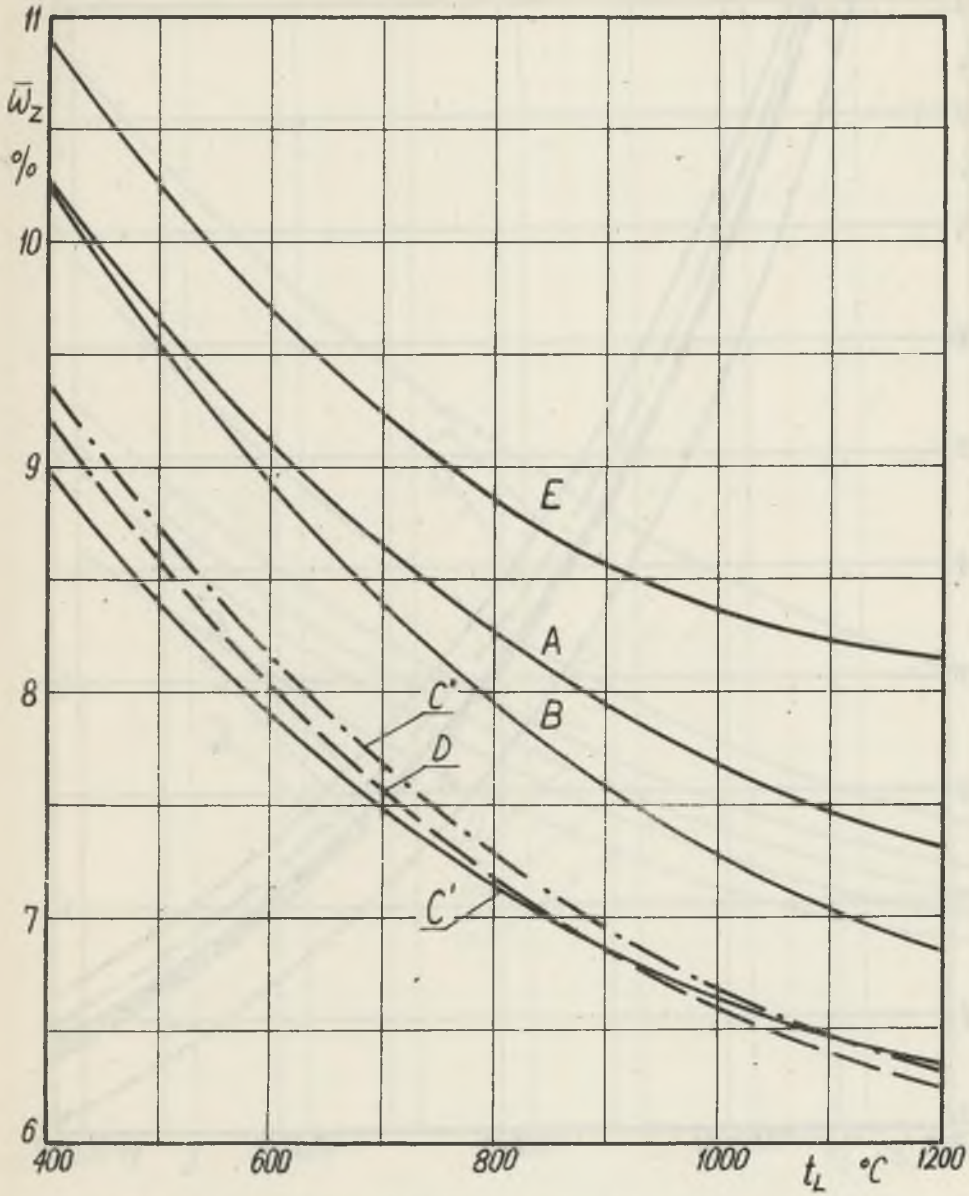
Rys. 4. Różniczkowe wskaźniki energetyczne $\bar{\omega}_k$ dla badanych wielkich pieców



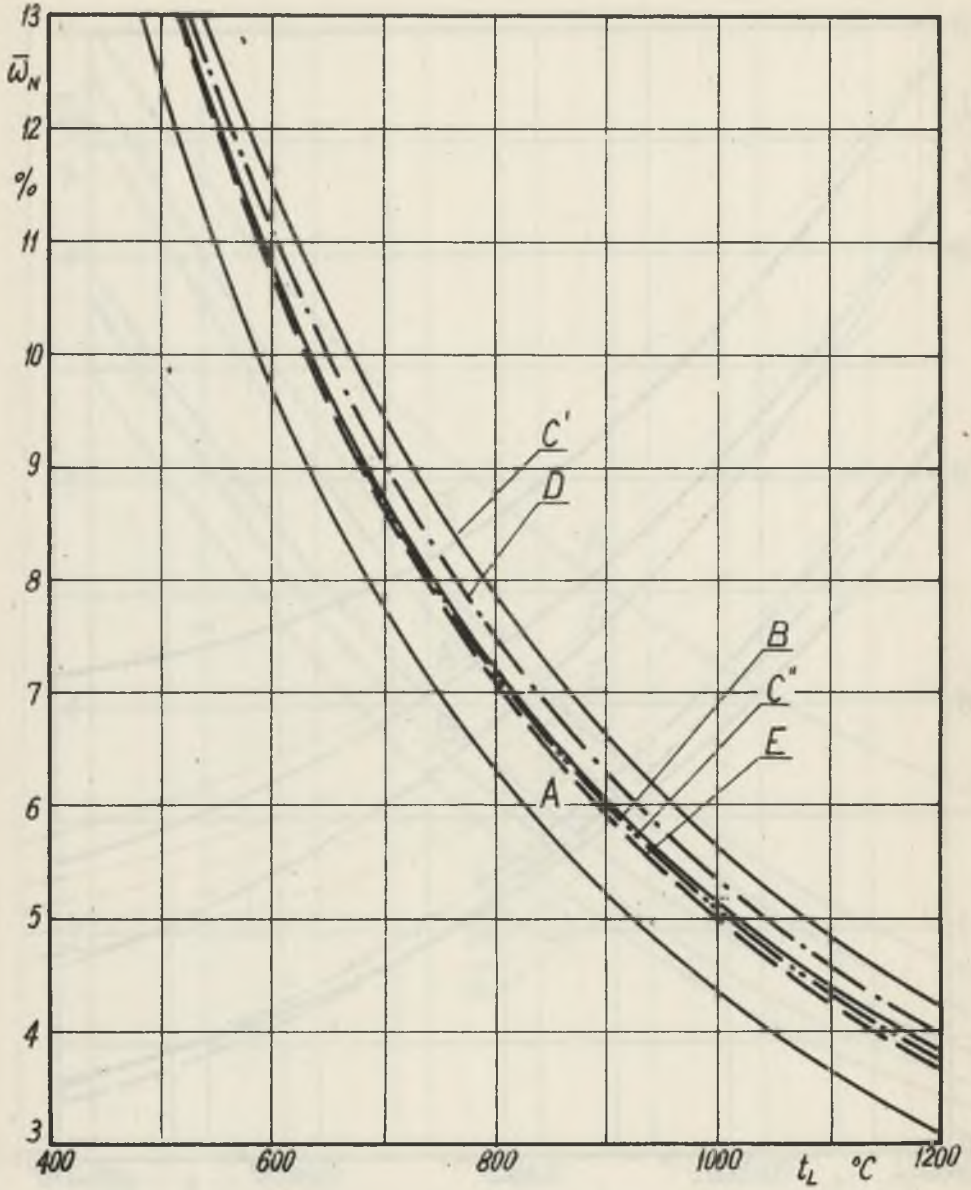
Rys. 5. Różniczkowe wskaźniki energetyczne $\bar{\omega}_L$ dla badanych wielkich pieców



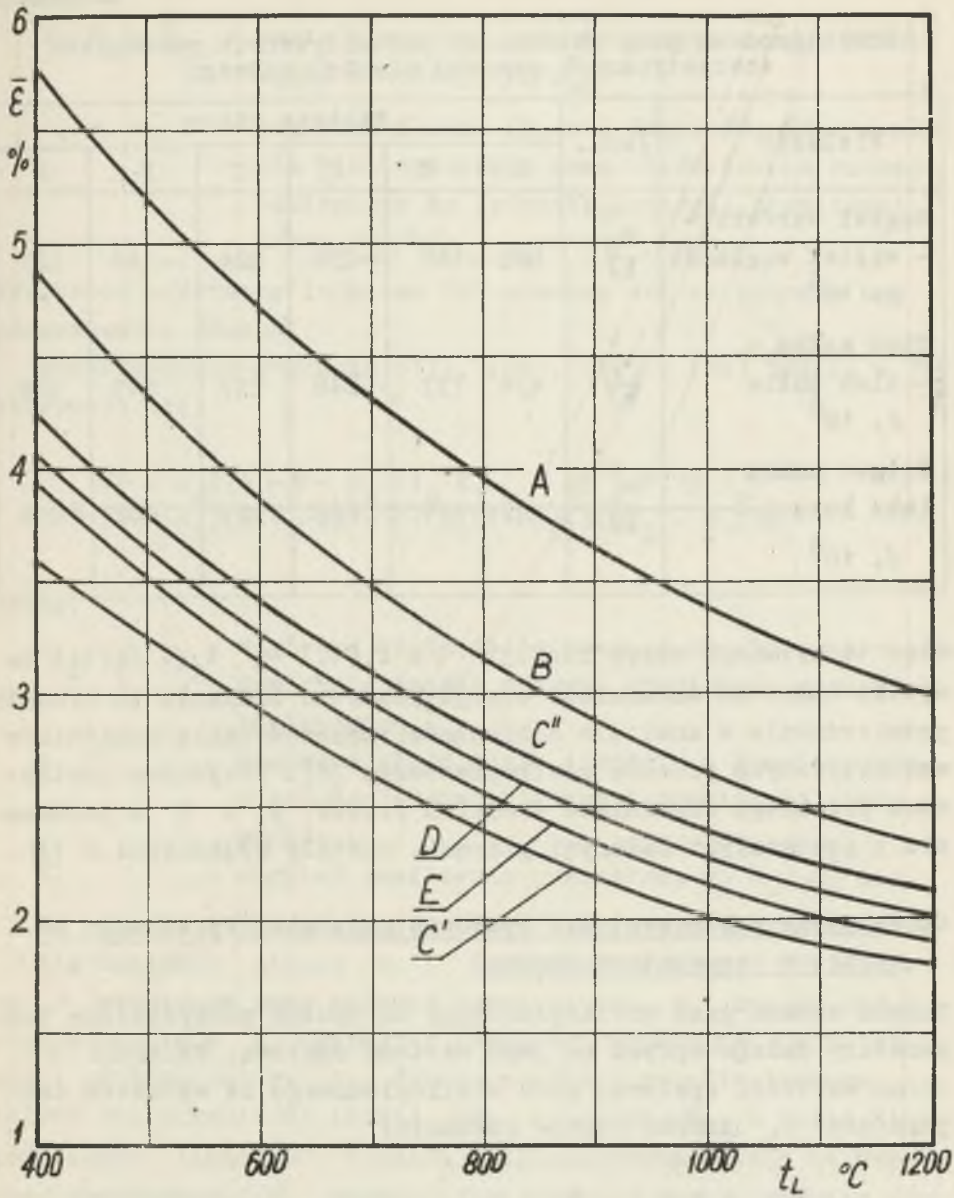
Rys. 6. Różniczkowe wskaźniki energetyczne $\bar{\omega}_g$ dla badanych wielkich pieców



Rys. 7. Różniczkowe wskaźniki energetyczne $\bar{\omega}_z$ dla badanych wielkich pieców



Rys. 8. Różniczkowe wskaźniki energetyczne $\bar{\omega}_N$ dla badanych wielkich pieców



Rys. 9. Różniczkowe wskaźniki energetyczne $\bar{\varepsilon}$ dla badanych wielkich pieców

Tablica 3

Stałe procesu przy obliczaniu przewidywanych wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego

Wielkość	Jedn.	Wielkie piece					
		A	B	C′	C″	D	E
Węgiel surówki - - węgiel węglanów $\alpha \cdot 10^6$	$\frac{m_n^3}{kJ}$	0,05	-1,65	-0,36	0,24	-1,69	5,25
Tlen wsadu - - tlen żużla $\beta \cdot 10^6$	$\frac{m_n^3}{kJ}$	4,76	7,37	8,48	7,37	8,49	5,70
Wilgoć wsadu (bez koksu) $\delta \cdot 10^6$	$\frac{m_n^3}{kJ}$	8,42	5,95	6,20	5,59	6,07	-0,09

więc tu wyraźnie wpływ funkcji $\varphi = f_1(t_L)$ i $t_g = f_3(t_L)$ na wyniki obliczeń wskaźników energetycznych. Znalazło to zresztą potwierdzenie w analizie dokładności przewidywania wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego [6]. Przyczyny odstępstwa przebiegu wskaźników wielkich pieców A i B w porównaniu z pozostałymi badanymi piecami, zostały wyjaśnione w [4].

4. Wskaźnik zmian wartości opałowej gazu wielkopiecowego ze wzrostem temperatury dmuchu

Zmiana składu gazu wielkopiecowego na skutek podwyższenia temperatury dmuchu wpływa na jego wartość opałową. Wskaźnik χ zmian wartości opałowej gazu wielkopiecowego ze wzrostem temperatury t_L dmuchu ujmuje równanie:

$$\chi = \frac{W}{W_o} = \frac{y\,W_{CO} + u\,W_{H_2}}{u + y + z + 0{,}79\,l} \cdot \frac{u_o + y_o + z_o + 0{,}79\,l_o}{y_o\,W_{CO} + u_o\,W_{H_2}} \qquad (9)$$

gdzie:

W, W_{CO}, W_{H_2} - wartość opałowa gazu wielkopiecowego, tlenku węgla i wodoru, kJ/m_n^3,

u, y, z, l - względne ilości ($H_2 + 2\ CH_4$), CO, CO_2 w gazie wielkopiecowym oraz ilość dmuchu suchego, odniesione do jednostki energii chemicznej koksu, m_n^3/kJ.

Wielkości oznaczone indeksem "o" odnoszą się do procesu bez podgrzewania dmuchu.

Wykorzystując równania (11), (21), (37) i (38) podane w [3] otrzymuje się:

$$\varkappa = \frac{(1 - \omega_g)[a - \alpha + \psi_o (l_o X_{L\,o} + d') + 0{,}79\, l_o]}{(1 - \omega_k)(a + \psi d') - \alpha + l_o(1 - \omega_L)(\psi X_L + 0{,}79)} \qquad (10)$$

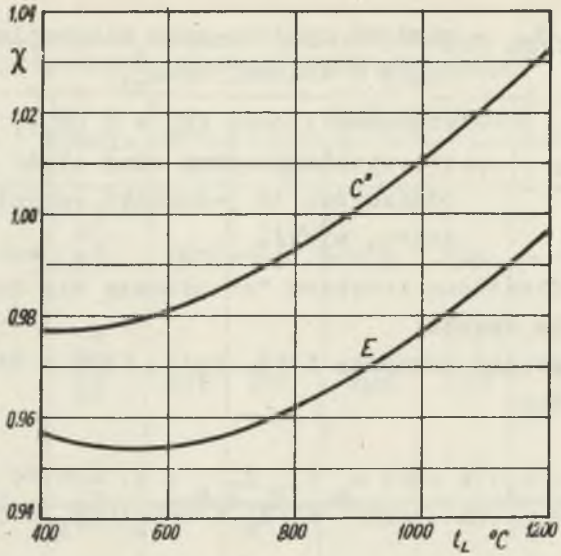
gdzie:

ω_k, ω_L, ω_g - względna oszczędność koksu i dmuchu oraz względne zmniejszenie energii chemicznej gazu wielkopiecowego,

a, d' - względna ilość węgla i wodoru w koksie odniesiona do jednostki energii chemicznej koksu, m_n^3/kJ,

X_L - stopień zawilżenia powietrza, $m_n^3\ H_2O/m_n^3$ p.s.

Na rysunku 10 przedstawiono przykładowo przebieg wskaźnika $\varkappa$ dla wielkich pieców C i E. Minimum krzywej $\varkappa$ dla pieca C występuje przy niższej temperaturze t_L dmuchu niż w przypadku pieca E. Charakter przebiegu wskaźnika $\varkappa$ w zależności od temperatury t_L dmuchu wynika z przeciwstawnego wpływu dwu czynników: ilości CO_2 i ilości N_2 w gazie wielkopiecowym. Ilość CO w gazie wielkopiecowym maleje ze wzrostem temperatury t_L dmuchu (funkcja φ). Maleje wówczas jednak i ilość N_2 w gazie (zmniejszenie ilości dmuchu na skutek podgrzewania). Ostateczny więc wynik zależy od przewagi jednego czynnika nad drugim. Wpływ zaś obu czynników może być różny



Rys. 10. Zależność wskaźnika zmian wartości opałowej gazu wielkopiecowego od temperatury dmuchu dla pieców C* i E

dla różnych temperatur podgrzania dmuchu. Wzrost wartości opałowej gazu wielkopiecowego dla wyższych temperatur podgrzania dmuchu znajduje potwierdzenie w literaturze [7].

5. Nowe praktyczne równania ujmujące wpływ podgrzania dmuchu na przewidywane różniczkowe wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego

Zmiany w równaniach empirycznych spowodowały również zmiany współczynników w przybliżonych równaniach na różniczkowe wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego [4]. Współczynniki w nowych równaniach znaleziono za pomocą metody najmniejszych kwadratów na podstawie przeprowadzonych obliczeń dla wielkich pieców C, D i E. Z przytoczonych w [4] powodów nie uwzględniono wyników dla pieców A i B. Uzyskano następujące przybliżone równania ujmujące wpływ temperatury dmuchu na przewidywane różniczkowe wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego. Równania te obowiązują dla procesu produkcji surówki martenowskiej.

Różniczkowy wskaźnik oszczędności koksu:

$$\bar{\omega}_k = 6,7\ e^{-0,00178\ t_L} + 1,61\ \frac{\%}{hdeg} \tag{11}$$

Różniczkowy wskaźnik oszczędności dmuchu:

$$\bar{\omega}_L = 5,3\ e^{-0,00175\ t_L} + 3,81\ \frac{\%}{hdeg} \tag{12}$$

Różniczkowy wskaźnik zmniejszenia energii chemicznej gazu wielkopiecowego:

$$\bar{\omega}_g = 9,9\ e^{-0,00183\ t_L} + 1,24\ \frac{\%}{hdeg} \tag{13}$$

Różniczkowy wskaźnik zmniejszenia energii chemicznej gazu oddawanego zewnętrznym odbiorcom:

$$\bar{\omega}_z = 8,2\ e^{-0,00207\ t_L} + 6,04\ \frac{\%}{hdeg} \tag{14}$$

Różniczkowy wskaźnik zwiększenia obciążenia cieplnego nagrzewnic:

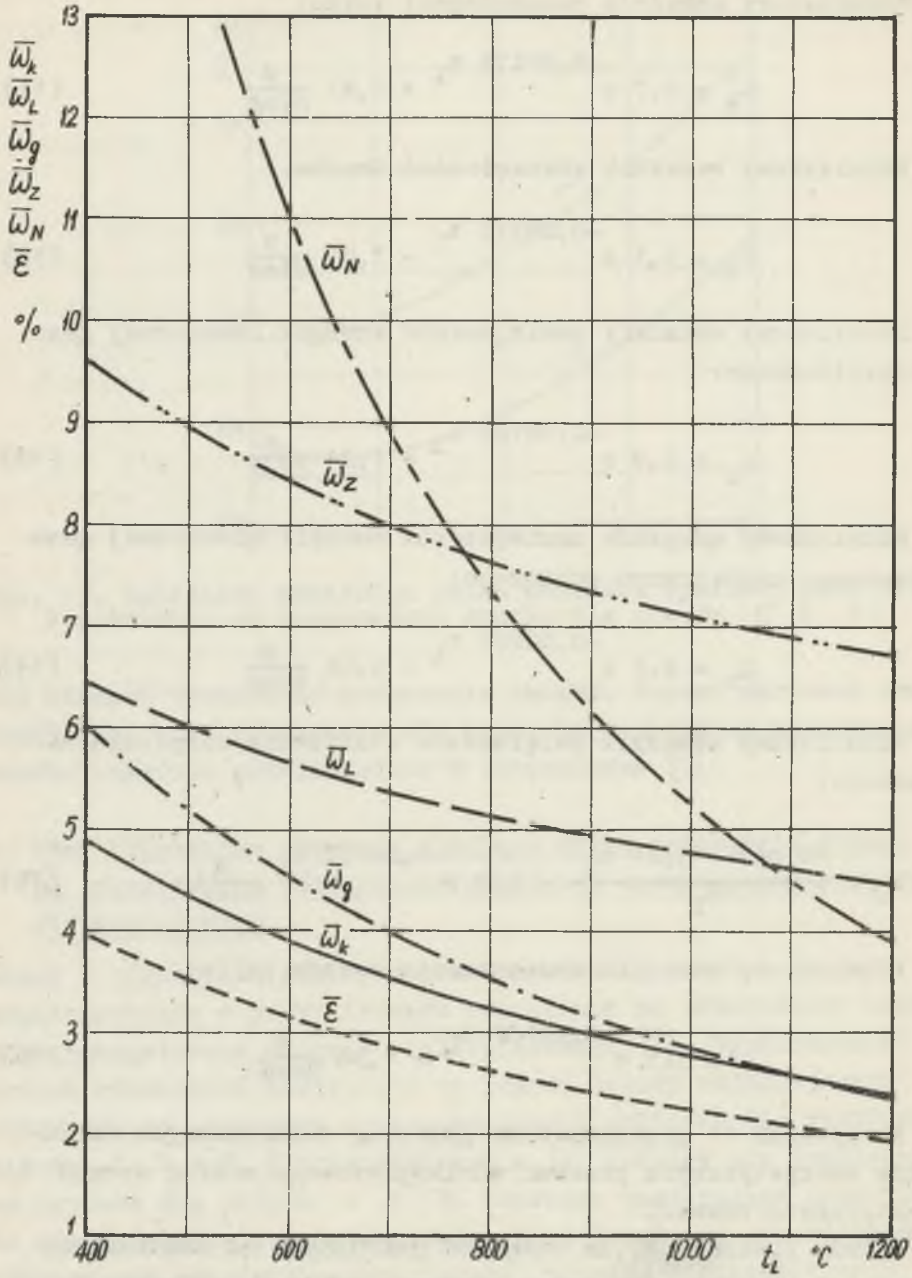
$$\bar{\omega}_N = \frac{10\ 000 - 3,81\ t_L}{t_L} - 5,3\ e^{-0,00175\ t_L}\ \frac{\%}{hdeg} \tag{15}$$

Różniczkowy wskaźnik zmniejszenia kosztu paliw:

$$\bar{\varepsilon} = 5,5\ e^{-0,00186\ t_L} + 1,36\ \frac{\%}{hdeg}. \tag{16}$$

Na rysunku 11 przedstawiono przebieg różniczkowych wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego według nowych praktycznych równań.

Należy podkreślić, że równania praktyczne na różniczkowe wskaźniki energetyczne można stosować tylko do orientacyjnych obliczeń. Obliczenia dokładne przeprowadza się na podstawie



Rys. 11. Różniczkowe wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego podług praktycznych równań

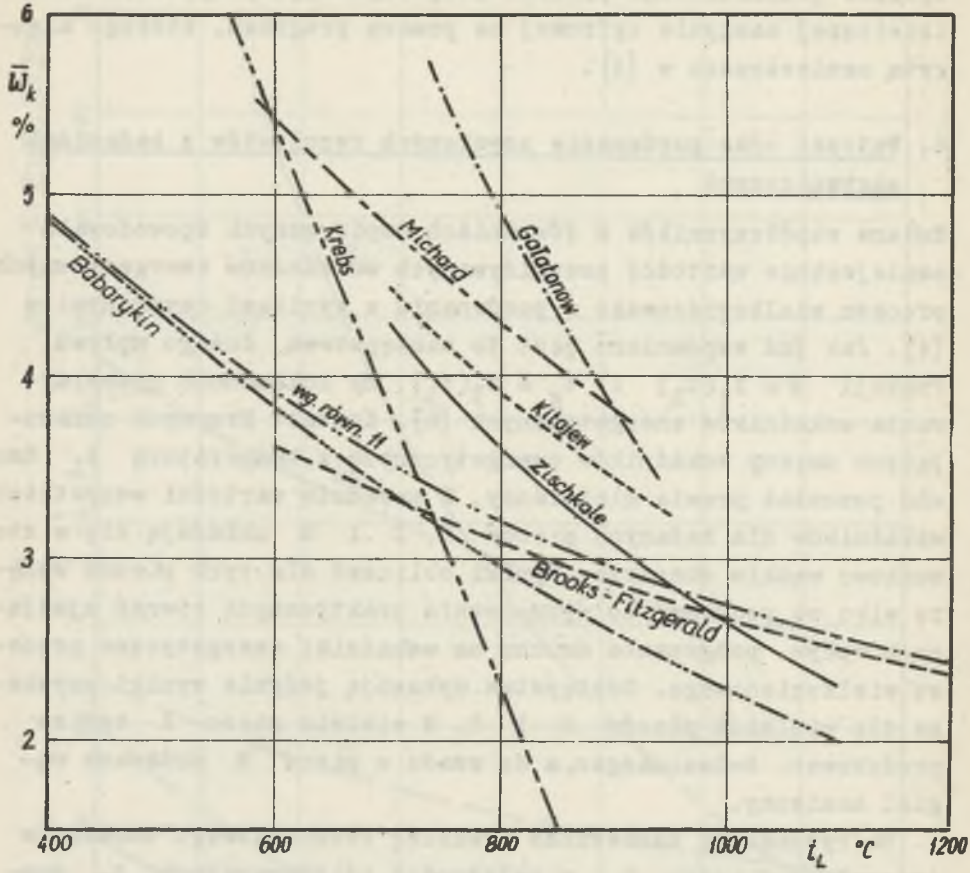
wyników jednorazowego pomiaru rozpatrywanego procesu na elektronicznej maszynie cyfrowej za pomocą programu, którego algorytm zamieszczono w [4].

6. Wnioski oraz porównanie uzyskanych rezultatów z badaniami zagranicznymi

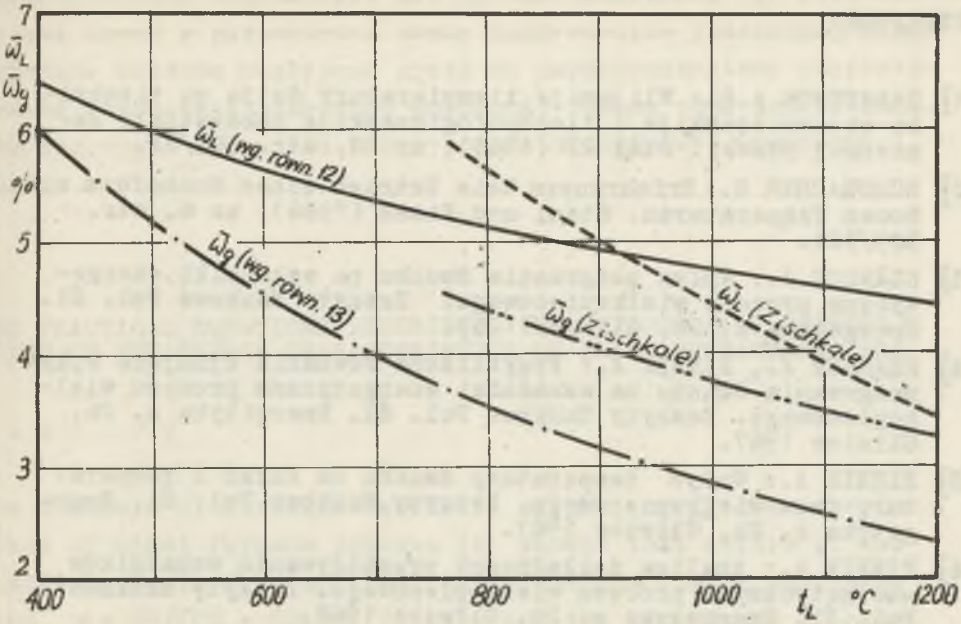
Zmiana współczynników w równaniach empirycznych spowodowała zmniejszenie wartości przewidywanych wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego w porównaniu z wynikami uzyskanymi w [4]. Jak już wspomniano jest to następstwem dużego wpływu funkcji $\varphi = f_1(t_L)$ i $t_g = f_3(t_L)$ na dokładność przewidywania wskaźników energetycznych [6]. Kształt krzywych obrazujących zmiany wskaźników energetycznych z temperaturą t_L dmuchu pozostał prawie niezmienny. W zasadzie wartości wszystkich wskaźników dla badanych pieców C, D i E układają się w stosunkowo wąskim obszarze. Wyniki obliczeń dla tych pieców wzięto więc za podstawę do wyznaczenia praktycznych równań ujmujących wpływ podgrzania dmuchu na wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego. Odstępstwa wykazują jedynie wyniki uzyskane dla wielkich pieców A i B. W wielkim piecu A bowiem produkowano żelazomangan, a do wsadu w piecu B dodawano węgiel kamienny.

Na rysunku 12 naniesiono przebieg różniczkowego wskaźnika oszczędności koksu $\bar{\omega}_k$ w zależności od temperatury t_L dmuchu według różnych autorów. Do temperatury dmuchu $\sim 750^oC$ przebieg krzywej podług równania (11) jest bardzo zbliżony do wyników uzyskanych przez Babarykina, powyżej zaś temperatury 750^oC do krzywej Brooksa-Fitzgeralda. Kształt krzywej $\bar{\omega}_k(t_L)$ według praktycznego równania (11) jest zbliżony do krzywych uzyskanych przez Micharda i Kitajewa.

Rysunek 13 przedstawia porównanie otrzymanych wyników dla wskaźników $\bar{\omega}_L$ i $\bar{\omega}_g$ z badaniami zagranicznymi [7]. Do temperatury dmuchu $\sim 900^oC$ wartości $\bar{\omega}_L$ uzyskane według równania (12) są mniejsze aniżeli u Zischkalego, powyżej zaś tej temperatury uzyskuje się wyższe wartości podług równania (12).



Rys. 12. Różniczkowy wskaźnik oszczędności koksu $\bar{\omega}_k$



Rys. 13. Różniczkowe wskaźniki energetyczne $\bar{\omega}_L$ i $\bar{\omega}_g$

Dla wskaźnika $\bar{\omega}_g$ uzyskano według przybliżonego równania (13) mniejsze wartości niż Zischkale.

Na temat zmian wartości opałowej gazu wielkopiecowego z temperaturą t_L dmuchu zdania autorów zajmujących się podgrzewaniem dmuchu wielkopiecowego są podzielone. Wyniki uzyskane w niniejszej pracy (rys. 10) wykazują, że przy niskich temperaturach dmuchu podwyższanie tej temperatury powoduje zmniejszenie wartości opałowej gazu, przy wysokich zaś temperaturach dmuchu kierunek zmian wartości opałowej gazu jest przeciwny.

LITERATURA

[1] GAŁATONOW A.Ł.: Wlijanije tiempieratury dutja na tiechniko-ekonomiczeskije i tiechnołogiczeskije pokazatieli domiennoj pławki. Stal 23 (1963), nr 10, str. 869/74.

[2] SCHUMACHER H.: Erfahrungen beim Betrieb eines Hochofens mit hohen Temperaturen. Stahl und Eisen (1966), nr 6, str. 309/321.

[3] SZARGUT J.: Wpływ podgrzania dmuchu na wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Energetyka z. 26, Gliwice 1967.

[4] SZARGUT J., ZIĘBIK A.: Przybliżone równania ujmujące wpływ podgrzania dmuchu na wskaźniki energetyczne procesu wielkopiecowego. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Energetyka z. 26, Gliwice 1967.

[5] ZIĘBIK A.: Wpływ temperatury dmuchu na skład i temperaturę gazu wielkopiecowego. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Energetyka z. 26, Gliwice 1967.

[6] ZIĘBIK A.: Analiza dokładności przewidywania wskaźników energetycznych procesu wielkopiecowego. Zeszyty Naukowe Pol. Śl. Energetyka z. 29, Gliwice 1968.

[7] ZISCHKALE W., HEYNERT G., BEER H.: Auswirkung der Heisswindtemperaturen auf die Betriebsergebnisse des Hochofens. Stahl und Eisen 23 (1963) nr 18, str. 1117/23.

ПРАКТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ ПОДОГРЕВА ДУТЬЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОМЕННОГО ПРОЦЕССА

Р е з ю м е

Анализ точности предсказывания значений энергетических показателей доменного процесса [6] доказал, что принципиальное влияние на правильность расчётов этих показателей имеют ошибки численных коэффициентов эмпирических уравнений, определяющих влияние температуры дутья на соотношение CO/CO_2 в доменном газе и на температуру доменного газа. Для повышения точности эмпирических уравнений авторы изменили предыдущий [5] вид функции $\frac{CO}{CO_2}(t_L)$ и использовали добавочные четыре серии измерений $t_g(t_L)$. Учитывая изменения в эмпирических уравнениях авторы повторили основанные на теоретических уравнениях [3] расчёты

энергетических показателей для рассматриваемых в [4] пяти доменных печей и разработали новые практические уравнения, определяющие влияние подогрева дутья на дифференциальные энергетические показатели доменного процесса. Сделан тоже анализ влияния подогрева дутья на теплотворную способность доменного газа.

THE PRACTICAL EQUATIONS DESCRIBING THE INFLUENCE OF HEATING BLAST ON THE ENERGY CHARACTERISTICS OF BLAST FURNACE PROCESS

S u m m a r y

The analysis of foresight accuracy of the energy characteristics of blast furnace process [6] showed that errors of the coefficients in the empirical equations describing the function $\varphi = CO/(CO + CO_2) = f_1(t_L)$ and the dependence of gas temperature t_g on the blast temperature t_L have main influence on the correctness of calculations of the energy characteristics. For that reason the previous [5] form of the function φ was changed and in order to improve the accuracy of the function $t_g = f_3(t_L)$ four measurement series were used additionally. For the sake of the changes in the empirical equations the authors, using the theoretical equations [3] repeated the calculations for five blast furnaces considered in [4] and formed the new practical equations to describe the influence of heating blast on the energy characteristics of blast furnace process. The authors also performed the analysis of the influence of heating blast on the heating value of blast furnace gas.