ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: GÓRNICTWO z. 133

Krystian KALINOWSKI

Instytut Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

# WPŁYW DYNAMICZNYCH WŁASNOŚCI NADAWY NA DOKŁADNOŚĆ WYZNACZANIA WYCHODU KONCENTRATU DWUPRODUKTOWEGO WZBOGACALNIKA

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań błędów wyznaczania wychodu koncentratu w oparciu o pomiary zawartości składników w nadawie i w produktach wzbogacania dwuproduktowego wzbogacalnika. Uwzględniono tu przede wszystkim wpływ parametrów dynamicznych wzbogacalnika i dopływającej nadawy na wielkość tych błędów. Otrzymane wyniki liczbowe dokładności wyznaczania wychodu koncentratu w zależności od wielkości tych parametrów przedstawiono na wykresach. Wykazano również istotny wpływ doboru frakcji elementarnych na dokładność wyznaczania wychodu koncentratu.

## 1. WSTĘP

W układach automatycznego sterowania procesów wzbogacania kopalin istnieje konieczność wyznaczania takich parametrów, jak wychody produktów wzbogacania, a w szczególności koncentratu, wychody określonych frakcji. Można tego dokonać w oparciu o pomiary jakości nadawy i produktów wzbogacania. (Metoda ta pozwala wyznaczać wyszczególnione parametry bez stosowania wag taśmowych). Pobiera się próbki nadawy i produktów wzbogacania, a następnie określa się ich jakość, tzn. zawartość w nich przyjętych składników, np. dla węgla można określać zapopielenie i skład densymetryczny.

Przyjęto, że do poboru próbek zastosowany będzie próbobiornik charakteryzujący się następującymi wielkościami:

- czasem pobierania próbki $\Delta t$,
- czasem próbkowania $T_p$,
- liczbą pobranych próbek $N$.

W zagadnieniach tego typu powstaje problem takiego doboru parametrów układu pomiarowego, aby potrzebne parametry procesu wyznaczone zostały z wymaganą dokładnością. Problem ten wiąże się z faktem, że błąd wyznaczania wychodów produktów i frakcji związany jest nie tylko z uchybami metody określania jakości pobranych próbek, ale również z faktem probabilistycznego charakteru dopływającej nadawy i własności dynamicznej wzbogacalnika.

## 2. ANALIZA TEORETYCZNA ZAGADNIENIA

Dla analizy problemu rozpatrzono elementy powodujące niedokładne oznaczanie wychodów produktów wzbogacania.

### Nadawa

Przyjęto strugowy model matematyczny nadawy. W modelu tym natężenie dopływu nadawy $Q$ do wzbogacalnika jest równe sumie natężeń dopływu poszczególnych i-tych frakcji nadawy;

$$Q = \sum_{1}^{I} Q_i, \tag{1}$$

gdzie:

I - liczba przyjętych frakcji.

Z kolei każda frakcja o natężeniu $Q_i$ jest sumą dwóch składników $q_i$ i $h_i$, np. dla węgla każda frakcja charakteryzowana jest przez część palną $q_i$ i niepalną $h_i$:

$$Q_i = q_i + h_i \tag{2}$$

Przyjmuje się, że nadawa ma charakter procesu przypadkowego, a więc natężenia poszczególnych frakcji $Q_i$ jak i $q_i$ i $h_i$ są przebiegami stochastycznymi o rozkładzie normalnym i funkcji autokorelacji typu wykładniczego. Nadawa charakteryzowana jest ze pomocą następujących parametrów:

$\bar{Q}, \bar{Q}_i, \bar{q}_i, \bar{h}_i$ - wartości średnie odpowiednich przebiegów,

$\sigma_Q^2, \sigma_{Q_i}^2, \sigma_{q_i}^2, \sigma_{h_i}^2$ - wariancje odpowiednich przebiegów,

$\alpha_Q, \alpha_{Q_i}, \alpha_{q_i}, \alpha_{h_i}$ - współczynniki tłumienia funkcji autokorelacji.

Między tymi parametrami zachodzą następujące zależności:

$$\bar{Q} = \sum_{1}^{I} \bar{Q}_i$$

$$\bar{Q}_i = \bar{q}_i + \bar{h}_i \tag{3}$$

$$\sigma_Q^2 = \sum_{1}^{I} \sigma_{Q_i}^2$$

$$\sigma_{Q_i}^2 = \sigma_{q_i}^2 + \sigma_{hi}^2$$

Jak wynika z szeregu badań, współczynniki tłumienia funkcji autokorelacji są w przybliżeniu sobie równe:

$$\alpha_Q = \alpha_{Q_i} = \alpha_{q_i} = \alpha_{hi}$$

i w dalszych rozważaniach przyjęto ich wartość równą $\alpha$.

Model wzbogacalnika

Do rozważań przyjęto dwustrefowy model wzbogacalnika dwuproduktowego [2]. Własności dynamiczne takiego wzbogacalnika opisuje następujący układ równań:

$$\begin{aligned}
\frac{dM_{oi}}{dt} &= -s_i M_{oi} - D_o M_{oi} + M_{ki} w_i + q_i \\
\frac{dM_{Ki}}{dt} &= s_i M_{oi} - w_i M_{ki} - D_k M_{ki} \\
\frac{dB_{oi}}{dt} &= -s_i B_{oi} - D_o B_{oi} + B_{ki} w_i + h_i \\
\frac{dB_{Ki}}{dt} &= s_i B_{oi} - w_i B_{ki} - D_k B_{ki}
\end{aligned} \tag{4}$$

gdzie:

$D_K$ - szybkość wypływu koncentratu przypadająca na jednostkę ilości ziaren w strefie koncentratu w jednostce czasu,

$D_o$ - szybkość wypływu odpadów przypadająca na jednostkę ilości ziaren strefy odpadów,

$s_i$ - szybkość przepływu ziaren i-tej frakcji ze strefy odpadów do strefy koncentratu przypadająca na jednostkę ilości tej frakcji,

$w_i$ - szybkość przepływu ziaren i-tej frakcji ze strefy koncentratu do strefy odpadów przypadająca na jednostkę ilości ziaren tej frakcji,

$M_{oi}$, $M_{Ki}$ - ilość ziaren i-tej frakcji odpowiednio w strefie odpadów i w strefie koncentratu,

$B_{oi}$, $B_{Ki}$ - ilość rozpatrywanego składnika (np. popiołu) odpowiednio w strefie odpadów i koncentratu.

Zawartość $z_{Ki}$ i-tej frakcji w strudze koncentratu wyraża wzór:

$$z_{Ki} = \frac{M_{Ki}(t) + B_{Ki}(t)}{\sum_{1}^{I}(M_{Ki}(t) + B_{Ki}(t)}, \tag{5}$$

natomiast w odpadach:

$$z_{oi} = \frac{M_{oi}(t) + B_{oi}(t)}{\sum_{1}^{I} M_{oi}(t) + B_{oi}(t)}. \tag{6}$$

Zawartość rozpatrywanego składnika w koncentracie $\lambda_K$ i odpadach $\lambda_o$ wyrażone są przez wzory:

$$\lambda_K = \frac{B_{Ki}(t)}{\sum_{1}^{I}(M_{Ki} + B_{Ki})} \tag{7}$$

$$\lambda_o = \frac{B_{oi}(t)}{\sum_{1}^{I}(M_{Ki} + B_{oi})} \tag{8}$$

Dla wyznaczenia wychodu produktów wzbogacania na koncentratu przyjętego modelu dynamicznego procesu (4÷8) i stałych wartości $C_i$ = const należy przeanalizować stan ustalony. Z analizy [2] tej wynika, że:

$$\frac{D_K M_{Ki}}{s_i} = \frac{\frac{s_i}{D_o}}{\frac{s_i}{D_o} + \frac{w_i}{D_K} + 1} \tag{9}$$

$$\frac{D_o M_{oi}}{s_i} = \frac{\frac{w_K}{D_K} + 1}{\frac{s_i}{D_o} + \frac{w_i}{D_K} + 1} \tag{10}$$

Wychód koncentratu $W_K$ określony jest wzorem:

$$W_K = \frac{D_K \sum_{1}^{I} M_{Ki}}{\sum_{1}^{I} s_i} \tag{11}$$

Po uwzględnieniu (9) otrzymuje się:

$$w_K = \frac{\sum_{1}^{I} \frac{\frac{s_i}{D_o}}{\frac{s_i}{D_o} + \frac{w_i}{D_K} + 1} Q_i}{\sum_{1}^{I} Q_i} \tag{12}$$

Wychód koncentratu określony wzorem (12) zależy jak widać od parametrów nadawy jak i parametrów procesu wzbogacanie $(s_i, w_i, D_K, D_o)$ i definiowany jest w oparciu o nadawę stałej w czasie.

Jeśli nadawa ma parametry o charakterze losowym, to definicja wychodu koncentratu określona jest wzorem:

$$w_K = \frac{\int_0^{T_c} \sum_1^I D_K M_{Ki}(t)dt}{\int_0^{T_c} \sum_1^I Q_i(t)dt}, \tag{13}$$

gdzie:

$T_c$ - czas obserwacji procesu wzbogacania.

Wychód koncentratu w systemie sterowania można określić w oparciu o pomiary zawartości frakcji w nadawie $Z_N$ oraz w produktach wzbogacania $z_k$, $z_o$ lub w oparciu o zawartości wybranego składnika, zgodnie ze wzorem:

$$w_{pK} = \frac{Z_O - Z_N}{Z_O - Z_K}, \tag{14}$$

wyprowadzonego o zasadę bilansu przepływu masy.

Określenie wychodu koncentratu za pomocą wzoru (14) jest obarczone uchybami wynikającymi z probabilistycznych własności nadawy, własności dynamicznych wzbogacalnika i dokładności pomiaru zawartości frakcji lub rozpatrywanego składnika.

Jako miarę dokładności określania wychodu koncentratu przyjęto stosunek odchylenia standardowego różnicy wychodu koncentratu otrzymanego na podstawie wzoru (13) i (14) do wychodu uzyskanego w oparciu o wzór (12), przy czym przyjęto $Q_i = \overline{Q}_i$:

$$\Delta w = \frac{\sqrt{var(w_K^* - w_{pK})}}{w_K} \tag{15}$$

Można więc założyć, że dokładność $W$ wyznaczania wychodu koncentratu jest funkcją parametrów probabilistycznych nadawy, parametrów dynamicznych wzbogacalnika, parametrów pomiarowych próbobiornika, czasu $T$, $T_c$:

$$\Delta W = f(Q_i, \sigma_{qi}, \sigma_{hi}, \alpha, s_i, w_i, D_K, D_o, N, \Delta t, T, T_c) \tag{16}$$

Jak wynika z pracy [2], nie jest możliwa jednoznaczna identyfikacja parametrów $s_i$, $w_i$, $D_K$, $D_o$, a jedynie parametrów pochodnych tych wielkości, takich jak:

$$T_{oi} = \frac{1}{s_i + D_o}$$

$$T_{Ki} = \frac{1}{w_i + D_K}$$

Zależność (16) można więc przedstawić jako:

$$\Delta W = f(\bar{q}_i, \bar{h}_i, \sigma_{qi}, \sigma_{hi}, \alpha, T_{oi}, T_{Ki}, N, \Delta t, T, T_c) \tag{17}$$

Natomiast zależność (17) można przedstawić w uogólnionej postaci:

$$\Delta W = f\left(\frac{q_i}{\Sigma Q_i}, \frac{h_i}{\Sigma Q_i}, \frac{\sigma_{qi}}{\Sigma Q_i}, \frac{\sigma_{hi}}{\Sigma Q_i}, \alpha T_K, \frac{T_{oi}}{T_K}, \frac{T}{T_K}, \frac{\Delta t}{T_K}, \frac{T_c}{T_K}\right) \tag{18}$$

Wprowadzenie analityczne zależności (18) jest bardzo trudne i dla takich charakterystyk posłużono się metodami symulacji cyfrowej.

## 3. BADANIA SYMULACYJNE DOKŁADNOŚCI WYZNACZANIA WYCHODU KONCENTRATU

Z zależności (18) wynika, że liczba zmiennych występująca w wyrażeniu jest zależna od liczby przyjętych frakcji I, tak np. dla $I = 2$ wynosi 14, dla $I = 3$ wynosi 19. Pełne scharakteryzowanie funkcji o tak wielkiej liczbie zmiennych jest praktycznie niemożliwe. W pracy tej ograniczono się do badań zależności dokładności wyznaczania koncentratu $W$ od zmiennych $\alpha T_K$, $\frac{T_c}{T_K}$.

Dane do symulacji nadawy

W nadawie wyróżniono trzy frakcje o parametrach przedstawionych w tablicy 1.

Badania symulacyjne przeprowadzono przy różnych wartościach współczynnika tłumienia funkcji autokorelacji.

Tablica 1

Parametry nadawy

| i | $q_i$ [t/h] | $h_i$ [t/h] | $\sigma_{qi}$ [t/h] | $\sigma_{hi}$ t/h |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 37.3 | 1.47 | 4.48 | 0.32 |
| 2 | 4.72 | 1.81 | 0.33 | 0.34 |
| 3 | 14.73 | 39.97 | 2.06 | 2 |

Dane symulowanego wzbogacalnika

Założono, że w symulowanym wzbogacalniku zjawisko dyfuzji ziaren ze strefy koncentratu do strefy odpadów jest do pominięcia, a więc $w_i = 0$. Pozostałe dynamiczne parametry osadzarki przedstawiono w tablicy 2.

Tablica 2

Parametry symulowanego wzbogacalnika

| i | $T_{Ki}$ [s] | $T_{oi}$ [s] | $\frac{s_i}{D_o}$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 100 | 35.09 | 2.85 |
| 2 | 100 | 95.72 | 0.0447 |
| 3 | 100 | 99.56 | 0.0044 |

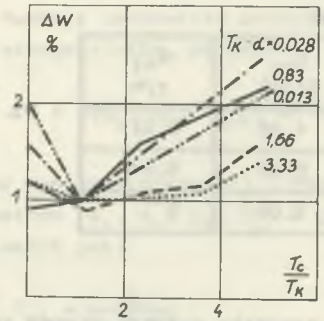
Dane próbobiornika

Zakłada się, że do wyznaczenia wychodu koncentratu zostanie pobrana jedna próbka nadawy koncentratu i odpadów, a więc $N = 1$. Czas pobierania próby jest równy 5 s ($\Delta t = 5$ s).

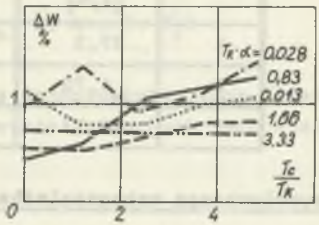
Wyniki badań symulacyjnych

Na rys. 1 przedstawiono uzyskane wyniki dokładności wyznaczania wychodu koncentratu otrzymanego w oparciu o pomiar zapopielenia nadawy i produktów wzbogacania. Jak widać, dokładność wyznaczania wychodu koncentratu zależy od stosunku $\frac{T_c}{T_K}$, występuje tu minimum. Dokładność wyznaczania w badanym zakresie zmian zmiennej $\alpha T_k$ ma charakter niejednoznaczny. Na rysunkach 2, 3, 4 są przedstawione zależności dokładności wyznaczania wychodu koncentratu w oparciu o pomiary zawartości frakcji odpowiednio o numerach 1, 2, 3. Widać tu również wpływ zmiennej $\frac{T_c}{T_K}$ i $\alpha T_K$ na badaną dokładność.

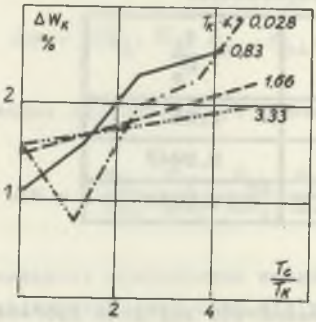
Na rys. 5 przedstawiono badaną dokładność pomiaru wychodu koncentratu za pomocą pomiaru zawartości składników przyjętych w analizowanym proce-



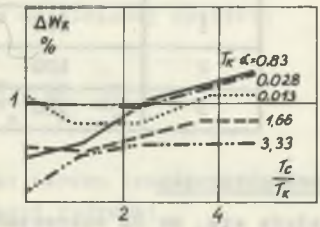

Rys. 1. Dokładność wyznaczania wychodu koncentratu w oparciu o pomiar zapopielenia nadawy i produktów wzbogacania w funkcji $\frac{T_c}{T_K}$, $\alpha T_K$



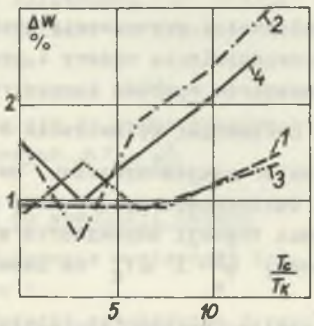

Rys. 2. Dokładności wyznaczania wychodu koncentratu w oparciu o pomiar zawartości frakcji nr 1 w funkcji $\frac{T_c}{T_K}$, $\alpha T_K$




Rys. 3. Dokładność wyznaczania wychodu koncentratu w oparciu o pomiar frakcji nr 2 w funkcji $\frac{T_c}{T_K}$, $\alpha T_K$




Rys. 4. Dokładność wyznaczania wychodu koncentratu w oparciu o pomiar frakcji nr 3 w funkcji $\frac{T_c}{T_K}$, $T_K$




Rys. 5. Porównanie dokładności wyznaczania wychodu koncentratu w oparciu o pomiar zawartości przyjętych składników

sie wzbogacania. I tak krzywa 1 odpowiada frakcji o numerze 1, krzywa 2 frakcji 2, krzywa 3 frakcji 3, natomiast krzywa 4 odpowiada zapopieleniu produktów wzbogacania i nadawy. Z rysunku tego wynika, że wyznaczanie wychodu koncentratu za pomocą pomiaru zawartości frakcji o numerze 1 i 3 zapewnia minimalny uchyb (maksymalną dokładność) w stosunku do pozostałych składników kopaliny.

## 4. UWAGI I WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że niedokładność wyznaczania wychodu koncentratu w oparciu o pomiary zawartości składników kopaliny w nadawie i produktach wzbogacania jest zależna od wielu parametrów zarówno nadawy, wzbogacalnika, jak i sposobu pobierania prób. Niemałą rolę na badaną dokładność odgrywa wybór składnika, w oparciu o który będą przeprowadzane pomiary. Otrzymane wyniki symulacji celowo nie uwzględniają dokładności czujników pomiarowych, jak i błędów wynikłych z reprezentatywności pobranych prób, by uzyskać informacje o wielkościach uchybów powstałych na skutek dynamicznych własności dopływającej nadawy i wzbogacalnika.

## LITERATURA

[1] Cierpisz S.: Optymalizacja produkcji w systemach sterowania procesami wzbogacania i tworzenia mieszanek węgla. Prace OBR-SMEAG, Katowice 1978.

[2] Kalinowski K.: Identyfikacja i sterowanie procesami wzbogacania węgla we wzbogacalnikach z cieczą ciężką i w osadzarkach. ZN Politechniki Śląskiej, Górnictwo z. 120, Gliwice 1982.

Recenzent: Doc. dr inż. Ryszard LACH

Wpłynęło do Redakcji we wrześniu 1984 r.

## ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВХОДНОГО МАТЕРИАЛА НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДА КОНЦЕНТРАТА ДВУПРОДУКТОВОГО ОБОГАТИТЕЛЯ

Р е з ю м е

В работе представлены результаты исследований ошибок определения концентрата на выходе, основываясь на измерении состава элементов во входном материале и в продуктах обогащения в двупродуктовом обогатителе. Учтено прежде всего влияние динамических параметров обогатителя и приходящего входного материала на величину ошибок. Полученные числовые результаты по точности определения выхода концентрата в зависимости от этих параметров представлены на графиках. Показано также существенное влияние подбора элементарных фракций на точность определения выходного концентрата.

THE EFFECT OF THE DYNAMIC PROPERTIES OF THE MATERIAL FED ON THE ACCURACY OF DETERMINING OF THE CONCENTRATE YIELD OF A TWO-PRODUCT CONCENTRATOR

S u m m a r y

In the paper are presented the results of tests on the errors in determining the concentrate yield on the basis of the measurements of the components content in the material fed and in the products of enrichment in a two-product concentrator. The effect of the dynamic parameters of the concentrator and the supplied material on the quantity of those errors have been taken into consideration. The obtained numerical results of the accuracy of determining the concentrate yield depending on the quantity of those parameters have been presented in charts. Also the significant effect of the selection of elementary fractions on the accuracy of determining the concentrate yield has been pointed out.