

Krzysztof KALINOWSKI

DOKŁADNOŚĆ WYZNACZANIA WYCHODU KONCENTRATU W SYSTEMIE STEROWANIA PROCESU
FLOTACJI WĘGLA

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki badań nad dokładnością wyznaczenia chwilowego wychodu koncentratu w procesie flotacji węgla. Przyjęto, że wychód koncentratu wyznaczany jest w systemie sterowania na podstawie pomiaru zapopielenia nadawy i produktów wzbogacania. Analizowano uchyby powstałe na skutek zmian w czasie parametrów nadawy (zagęszczenie i jej skład frakcyjny) i własności dynamicznych procesu. Wykazano, że dokładność ta zależy od czasu T_w , jaki upłynął od momentu pomiaru zapopielenia nadawy oraz produktów wzbogacania i istnieje taki czas, przy którym ta dokładność jest maksymalna. Badania przeprowadzono metodą symulacji cyfrowej.

1. WSTĘP

Jednym z podstawowych wskaźników oceny procesu flotacji jest wychód koncentratu. W systemach sterowania, których celem jest zapewnienie maksymalnego wychodu koncentratu przy określonych jego parametrach jakościowych, powstaje problem wyznaczenia wychodu koncentratu. Przykładem mogą tu być ewolucyjne algorytmy sterowania procesem flotacji. Powodzenie takich metod sterowania zależy od dokładnego wyznaczenia wychodu koncentratu. Określa się zazwyczaj go metodami pośrednimi na podstawie pomiaru zapopielenia nadawy λ_N , koncentratu λ_K , odpadów λ_O za pomocą znanego wzoru:

$$W'_K = \frac{\lambda_O - \lambda_N}{\lambda_O - \lambda_K} \quad (1)$$

Wzór ten jest słuszny dla stałych w czasie parametrów nadawy. Rzeczywisty jednak wychód koncentratu W_K , jaki zostanie wyprodukowany w czasie od t_0 do $t_0 + T$ trwania procesu, można zdefiniować następująco:

$$W_K = \frac{\int_{t_0}^{t_0 + T} X_K(t) dt}{\int_{t_0}^{t_0 + T} X_N(t) dt} \quad (2)$$

gdzie:

$X_K(t)$ - natężenie strugi koncentratu,

$X_N(t)$ - natężenie strugi nadawy,

Wyznaczony wzorem (1) wychód koncentratu obarczony jest uchybem:

$$\Delta W_K = W_K - W'_K$$

związanym z dokładnością czujników pomiarowych zapozielen nadawy i produktów wzbogacania, dynamiką zmian parametrów nadawy w czasie i własnościami dynamicznymi flotownika. Uchyb ten zależy również od czasu T_W , jaki upłynął od momentu pomiaru zapozielenia koncentratu i produktów wzbogacania. W referacie przedstawiono wyniki badań wpływu czasu T_W na uchyb ΔW_K . Badania przeprowadzono metodą symulacji komputerowej. Przedstawiono więc przyjęte modele nadawy i flotownika.

2. MODEL NADAWY

Jako podstawę określania własności nadawy przyjęto opis matematyczny wzbogacania w procesie flotacji cyklicznej, przy czym parametry opisu są wyznaczane na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych przy szerokich zmianach dawki odczynników flotacyjnych V_k, V_s natężeniach powietrza do aeracji Q_p i zagęszczeniach nadawy C_n . Na podstawie przeprowadzonych badań założono, że w nadawie można wyróżnić 4 frakcje o różnych zdolnościach flotowania określone przez współczynnik s_i . Masę wydzielonego koncentratu $M(t)$ w czasie trwania procesu t można wyrazić za pomocą wzoru:

$$M(t) = \sum_{i=1}^4 M_i (1 - e^{-s_i t}), \quad (3)$$

gdzie:

M_i - masa i -tej frakcji biorącej udział we flotacji,

s_i - współczynnik charakteryzujący zdolność flotowania i -tej frakcji.

Przeprowadzone badania wskazują, że zmienne sterujące, takie jak: V_k, V_s, Q_p oraz zagęszczenie nadawy C_n mają wpływ na współczynniki s_i :

$$s_i = f(V_k, V_s, Q_p, C_n) \quad (4)$$

i można aproksymować wzorem:

$$s_i = Q_p \left[1 - e^{-(a_{1i} V_k + a_{2i} V_s - a_{3i} C_n)} \right] \quad (5)$$

Również dla frakcji o pośrednim zapopieleniu (M_3) jej udział w procesie flotacji jest zależny od zagęszczenia nadawy C_n , jak również od dawki odzynnika kolektorowego V_k :

$$M_3 = M_3^* \left(1 - e^{-\frac{b_3 V_k}{3} - C_n} \right), \quad (6)$$

gdzie:

M_3 - ilość frakcji w nadawie,

b_3 - współczynnik.

Jeśli więc kinetykę procesu flotacji cyklicznej dla badanej nadawy opisać równaniami (1 - 4) to nadawa charakteryzowana jest przez następujące parametry:

- współczynniki a_{11} , a_{21} , a_{31} , b_3 ,
- zawartości poszczególnych frakcji z_{f1} , z_{f2} , z_{f3} , z_{f4} ,
- zapopielenie frakcji λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 .

Niżej podano wartości parametrów dla analizowanej nadawy:

$$z_{f1} = 0.12, \quad z_{f2} = 0.48, \quad z_{f3} = 0.24, \quad z_{f4} = 0.14,$$

$$\lambda_1 = 0.029, \quad \lambda_2 = 0.034, \quad \lambda_3 = 0.17, \quad \lambda_4 = 0.8,$$

$$a_{11} = 0.12, \quad a_{12} = 0.07, \quad a_{13} = 0.0004,$$

$$a_{21} = 0.25, \quad a_{22} = 0.025, \quad a_{23} = 0.0041,$$

$$a_{31} = 0.0066, \quad a_{32} = 0.0043, \quad a_{33} = 0.00081,$$

$$b_3 = 10,$$

przy czym poszczególne zmienne były wyrażone w następujących jednostkach:

$$V_k - [\text{cm}^3/100\text{g}], \quad V_s - [\text{cm}^3/\text{l}], \quad C_n - [\text{g/g}], \quad Q_p - [\text{l/min/l}].$$

3. MODEL KOMORY FLOTOWNIKA PRZEMYSŁOWEGO

Model matematyczny flotownika przemysłowego został utworzony na podstawie następujących założeń:

- w komorze wzbogacalnika tworzą się dwie strefy - koncentratu, odpadów,
- następuje przenikanie ziaren i-tych frakcji ze strefy odpadów do strefy koncentratu, przy czym natężenie to jest proporcjonalne do chwilowej masy M_{oi} i-tej frakcji znajdującej się w strefie odpadów:

$$X_i(t) = s_i M_{oi}(t)$$

- ze strefy odpadów odprowadzane są ziarna o natężeniu $o_i(t)$, przy czym natężenie strugi jest proporcjonalne do ilości ziaren tej strefy:

$$o_i(t) = D_o M_{oi}(t),$$

(D_o - współczynnik proporcjonalności),

- ze strefy koncentratu odprowadzane są ziarna o natężeniu q_{ki} proporcjonalnym do ilości ziaren i -tej frakcji:

$$q_{ki}(t) = D_k M_{ki}(t)$$

(D_k - współczynnik proporcjonalności),

- przy odpowiednio wysokim poziomie mętów następuje zjawisko wychwytywania ziaren ze strefy odpadów do strefy koncentratu, przy czym natężenie tej strugi ziaren h_i jest proporcjonalne do ilości ziaren w tej strefie:

$$h_i(t) = D_h N_{oi}(t),$$

gdzie:

D_h - współczynnik proporcjonalności równej:

$$D_h = k_h (h - h_{\min}),$$

k_h - współczynnik proporcjonalności,

h - wysokość poziomu mętów,

h_{\min} - poziom mętów przy której zaczyna się zjawisko wychwytywania ziaren.

Równania różniczkowe wyrażające bilans masy przepływającej przez i -tą komorę flotownika ma następującą postać:

$$T_o \frac{dq_{oi}(1)}{dt} = -q_{oi}(1) + D_o T_o q_{oi}(1-1), \quad (7)$$

$$T_k \frac{dq_{ki}(1)}{dt} = -q_{ki}(1) + \frac{(D_h + s_i)}{D_o} D_k q_{oi}(1),$$

$$i=1,2,3,4, \quad T_o = \frac{1}{s_i + D_h + D_o}, \quad T_k = \frac{1}{D_k}, \quad q_{oi}(0) = Q_{Ni}.$$

4. WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

Badania symulacyjne przeprowadzono dla flotownika typu JZ-5, składającego się z 6 komór flotacyjnych ($l=1,2, \dots, 6$). Na podstawie przedstawionych badań [1] przyjęto, że zmiany zagęszczenia nadawy mają charakter procesu stochastycznego, którego modelem jest proces autoregresji różnic drugiego rzędu z dodatkowo nałożonym przebiegiem sinusoidalnym:

$$c_n(n) = c_n(n-1) + \Delta c_n, \quad (8)$$

gdzie:

$$c_n = (b_1 * 0.00499638 - 0.0005671 * b_2) * (1 + 0.1 * \sin(0.33n))$$

$b_1 = 0.0001048$, $b_2 = 0.00284$, $c_n(0) = 80g/l$ dla kroku symulacji odpowiadającemu 1s.

Przyjęto również, że sumaryczne natężenie dopływu frakcji 1,2,3 jest zmienne w czasie, ma charakter losowy o funkcji autokorelacji typu wykładniczego.

Analizowano dokładność wychodu koncentratu w czasie $T=T_w$, tzn. w czasie, jaki upłynął od momentu pomiaru zapopielenia nadawy do momentu pomiaru zapopielenia produktów wzbogacania, przy czym pominięto błędy wskaźników czujników pomiarowych. Analizowana dokładność wyznaczania wychodu koncentratu dotyczy błędów powstałych na skutek zmian parametrów nadawy w czasie, jak i dynamicznych własności procesu flotacji.

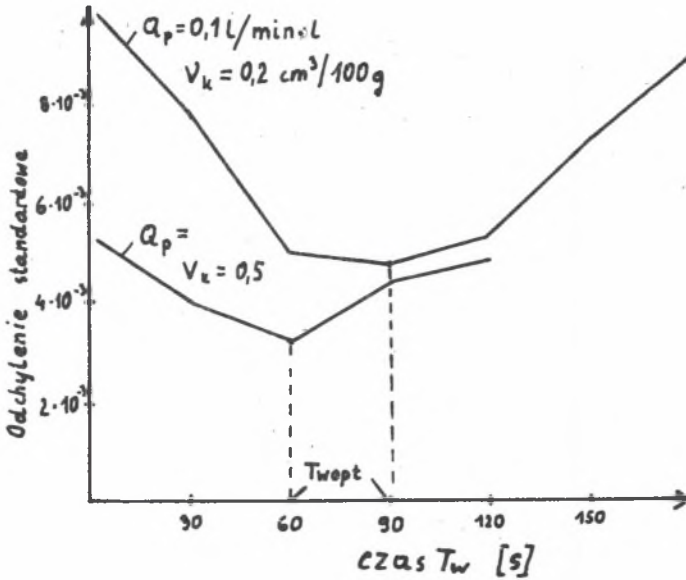
Otrzymane wyniki badań przedstawiono na rys.1 w postaci zależności:

$$\sigma_{wk} = f(T_w, Q_p, V_k),$$

gdzie:

σ_{wk} - odchalenie standardowe ΔW_k .

Jak widać dokładność wyznaczania koncentratu zależy od czasu T_w i istnieje taki czas, przy którym uchyb ten przyjmuje wartość minimalną. Dokładność ta również zależy od wartości dawki kolektora i natężenia dopływu powietrza aeracyjnego.



Rys. 1. Błąd wyznaczania wychodu koncentratu w funkcji T_w ,
(Q_p , V_k)

Fig. 1. Error of yield calculation as a function of dynamics of flotation unit, dynamics of the feed and time delay T_w

LITERATURA

- [1] Cierpisz S., Kalinowski K., Krasucki F., Walaszek-Babiszewska A.: Opracowanie algorytmu i programu poszukiwania optymalnego punktu pracy dla układu sterowania procesu flotacji. Praca IEIAG nr NB-404/RG1/86, Gliwice 1988.

ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫХОДА КОНЦЕНТРАТА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФЛОТАЦИИ УГЛЯ

Резюме

В реферате представлены результаты исследований точности определения мгновенного выхода концентрата в процессе флотации угля. Принимается, что выход концентрата определяется в системе управления на основе зольности садива и продуктов обогащения. Проанализированы ошибки, возникшие в результате изменений во времени параметров садива: концентрация и её фракционный состав и динамических свойств процесса. Показано, что точность эта зависит от времени, которое прошло от момента измерения зольности садива и продуктов обогащения и существует такое время, при котором точность будет максимальной. Исследования проводились методом числовой симуляции.

ACCURACY OF DETERMINING THE CONCENTRATE YIELD IN THE CONTROL SYSTEM OF THE COAL FLOTATION PROCESS

Summary

The paper presents the results of tests on the accuracy of determining the instantaneous concentrate yield in the coal flotation process. It is assumed that the concentrate yield is determined in the control system on the basis of ash measurement in the feed and product of beneficiation. The analysis of errors resulting from the change of feed parameters in time (its concentration and fraction composition) and dynamic properties of the process proves that the accuracy depends on time T_w which has passed since the ash measurement in the feed and product of beneficiation. Moreover, it proves that at certain moment this accuracy reaches maximum. The digital simulation method has been applied during tests.

Recenzent: Doc. dr inż. Ryszard Lach