

Stanisław CIERPISZ
Politechnika Śląska, Gliwice

IDENTYFIKACJA PROCESU WZBOGACANIA WĘGLA W CIECZACH CIĘŻKICH

Streszczenie. Przedstawiono metodę identyfikacji procesu wzbogacania węgla w cieczach ciężkich polegającą na wykorzystaniu pomiarów natężeń przepływu produktów wzbogacania oraz modelu symulacyjnego wzbogacalnika. Identyfikowana jest charakterystyka wzbogacalności węgla surowego w postaci liczby frakcji gęstościowych w nadawie oraz imperfekcja wzbogacalnika. Błędy identyfikacji są porównywalne z błędami klasycznego określania tych wielkości na podstawie analizy prób nadawy i produktów.

IDENTIFICATION OF COAL WASHING PROCESS IN HEAVY MEDIA

Summary. The method of identification of a coal separation process in heavy media is presented. The method is based on the measurements of tonnages of three products and a simulation model of the process. Identified are washability characteristic of raw coal (yields of density fractions of the feed) and imperfection of the machine. The errors of identification are of the order of classical determination of these parameters on the basis of products samples analysis.

1. Wprowadzenie

Podstawowymi procesami wzbogacania węgla o uziarnieniu powyżej 1 mm są procesy wzbogacania grawitacyjnego we wzbogacalnikach z cieczą ciężką i w osadzarkach. Łączy te procesy podobny opis rozdziału węgla surowego na produkty o określonej jakości. Właściwości węgla surowego (nadawy) określone są jego charakterystyką wzbogacalności, natomiast efektywność wzbogacalnika podaje krzywa rozdziału. Charakterystyka wzbogacalności węgla podaje udział masowy elementarnych frakcji gęstościowych w danej frakcji ziarnowej węgla surowego oraz zawartość popiołu (i innych atrybutów) w tych

frakcjach. Krzywa rozdziału podaje prawdopodobieństwo przejścia danej elementarnej frakcji do produktu lekkiego (np. koncentratu). Parametrem określającym jakość (zawartość popiołu) produktów jest gęstość rozdziału. W trakcie procesu wzbogacania występują fluktuacje ilości nadawy oraz jej charakterystyki wzbogalności wynikające ze zmiennych warunków wydobywania węgla z pokładów, zmiennego udziału w węglu surowym mas węgla z różnych pokładów oraz stopnia uśrednienia węgla surowego w zbiornikach retencyjnych. Stopień zmienności tej charakterystyki znany jest okresowo dla wartości średnich, określanych na podstawie pobieranych próbek węgla analizowanych w cieczach ciężkich. Zwykle nie jest znana krótkookresowa zmienność charakterystyki wzbogalności (zakres zmian udziałów poszczególnych frakcji gęstościowych oraz szybkość tych zmian).

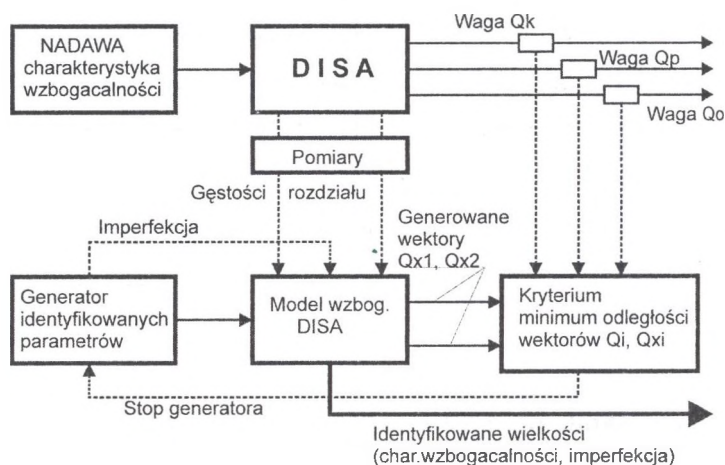
Gęstości rozdziału we wzbogalnikach grawitacyjnych również podlegają fluktuacjom. W przypadku wzbogalników gęstość rozdziału jest bliska gęstości cieczy ciężkiej, która zwykle jest stabilizowana w układzie automatycznej regulacji. Fluktuacje gęstości rozdziału są w tym przypadku niewielkie i wynikają z osiągniętej dokładności stabilizacji tego parametru (ok. $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$). W przypadku osadzarek gęstość rozdziału nie jest znana bezpośrednio, wynika ona z określonej gęstości pływaka i jego usytuowania względem progu przelewowego frakcji lekkiej. Fluktuacje gęstości rozdziału są większe niż w przypadku wzbogalników zawieszinowych. Krzywa rozdziału wzbogalnika grawitacyjnego również podlega fluktuacjom, szczególnie w przypadku osadzarek. Wynika to np. ze zmiennego udziału różnych frakcji ziarnowych w nadawie, zmiennego obciążenia maszyny nadawą lub zmiennych parametrów maszyny (ilość wody, amplituda pulsacji łoża i wynikający z tego jego stopień rozluźnienia). Charakterystyka wzbogalności nadawy, krzywa rozdziału (imperfekcja) oraz gęstości rozdziału (w przypadku osadzarek) są określane wyłącznie na podstawie pracochłonnych analiz laboratoryjnych pobieranych próbek węgla surowego i produktów wzbogacania. Niewiele jest publikowanych prac na temat bieżącej identyfikacji tych parametrów. Propozycję ciągłego pomiaru charakterystyki wzbogalności węgla grubego z zastosowaniem radiometrycznego pomiaru zawartości popiołu i masy w spadających w zsuwni ziarnach węgla przedstawiono w pracy [5], a prognozowanie tej samej charakterystyki na podstawie pomiaru zawartości popiołu w nadawie w pracach [3,4].

2. Metoda identyfikacji procesu wzbogacania węgla

Proponowana metoda identyfikacji procesu wzbogacania węgla we wzbogalniku grawitacyjnym opiera się na odpowiednim przetworzeniu informacji uzyskiwanej z ciągłych pomiarów parametrów ilościowych i jakościowych produktów wzbogacania. W metodzie tej zakłada się, że proces bieżącej identyfikacji odbywać się będzie w układzie technologicznym wzbogalnika trójproduktowego. Analizowano dwie metody identyfikacyjne:

- pomiar natężeń przepływu trzech produktów (koncentrat, półprodukt, odpady) oraz pomiar zawartości popiołu w koncentracie i półprodukcie,
- pomiar natężeń przepływu wszystkich produktów.

Pierwszą metodę badano dla wzbogacania węgla w trójproduktowej osadzarce i została ona przedstawiona w pracy [1,2]. Na rys. 1 przedstawiono drugą metodę identyfikacji procesu wzbogacania węgla w trójproduktowym wzbogalniku z cieczą ciężką, która opiera się na pomiarze natężeń przepływu trzech produktów dla dwóch (lub więcej) par gęstości rozdziału. Zakłada się, że gęstość rozdziału równa jest w przybliżeniu gęstości cieczy ciężkiej oraz że fluktuacje imperfekcji wokół wartości średniej są stosunkowo niewielkie.



Rys. 1. Metoda identyfikacji procesu wzbogacania węgla w 3-produktowym wzbogalniku zawieszinowym (pomiar parametrów ilościowych produktów)

Fig. 1. Identification of a coal preparation process in a 3-product heavy media vessel

W metodzie wykorzystuje się model symulacyjny 3-produktowego wzbogalnika [2] oraz generator zmian charakterystyki wzbogalności węgla oraz imperfekcji jako parametru krzywej rozdziału wzbogalnika. Zakłada się, że wartości gęstości rozdziału są w

przybliżeniu równe gęstościom cieczy ciężkiej, których bieżące wartości są dostępne jako sygnały z urządzeń pomiarowych. Wyznaczane w modelu symulacyjnym ilości produktów wzbogacania Q_{xk} , Q_{xp} , Q_{xo} (koncentrat, półprodukt, odpady) dla dwóch par gęstości rozdziału i kolejnych generowanych wielkości są ciągle porównywane z mierzonymi wagami przenośnikowymi natężeniami przepływu Q_k , Q_p , Q_o . Minimum „odległości” wektora parametrów generowanych przez model symulacyjny oraz wektora wielkości mierzonej daje poszukiwaną charakterystykę wzbogalności oraz imperfekcję wzbogalnika według kryterium (1):

$$\text{Min}[L] = \text{Min}(|Q_{k1} - Q_{xk1}| + |Q_{p1} - Q_{xp1}| + |Q_{o1} - Q_{xo1}| + |Q_{k2} - Q_{xk2}| + |Q_{p2} - Q_{xp2}| + |Q_{o2} - Q_{xo2}|) \quad (1)$$

gdzie:

Q_{k1} , Q_{p1} , Q_{o1} – mierzone natężenia przepływu koncentratu, półproduktu i odpadów dla pierwszej pary gęstości rozdziału ρ_{11} i ρ_{21} ,

Q_{k2} , Q_{p2} , Q_{o2} – mierzone natężenia przepływu koncentratu, półproduktu i odpadów dla drugiej pary gęstości rozdziału ρ_{21} i ρ_{22} ,

Q_{xk1} , Q_{xp1} , Q_{xo1} – obliczone symulacyjnie natężenia przepływu koncentratu, półproduktu i odpadów dla pierwszej pary gęstości rozdziału ρ_{11} i ρ_{21} ,

Q_{xk2} , Q_{xp2} , Q_{xo2} – obliczone symulacyjnie natężenia przepływu koncentratu, półproduktu i odpadów dla drugiej pary gęstości rozdziału ρ_{21} i ρ_{22} .

3. Wyniki badań symulacyjnych

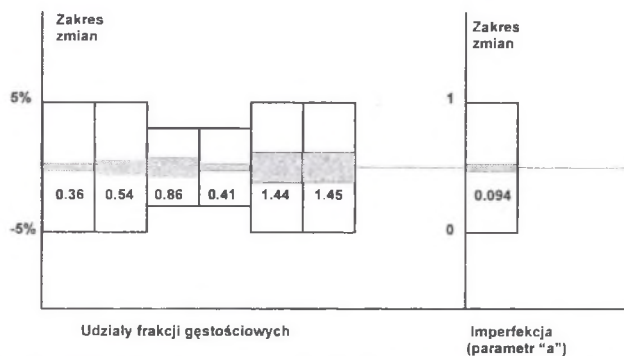
Wyniki badań symulacyjnych przedstawiono w tabelicy 1 oraz na rys. 2. Charakterystyka wzbogalności węgla identyfikowana była w sześciu przedziałach gęstości frakcji $\Delta\rho_i$: < 1,35; 1,35 – 1,5; 1,5 – 1,65; 1,65 – 1,8; 1,8 – 1,95; >1,95 g/cm³. Zmiany wychodów frakcji gęstościowych w_i charakterystyki wzbogalności w symulatorze generowane były wokół średniej charakterystyki w przedziałach: $w_1 \pm 5\%$, $w_2 \pm 5\%$, $w_3 \pm 3\%$, $w_4 \pm 3\%$, $w_5 \pm 5\%$, $w_6 \pm 5\%$. Podane w tabelicy 1 odchylenia standardowe wychodów frakcji gęstościowych i

imperfekcji wyznaczone zostały z 50 poszukiwań minimum funkcji (1) dla 30 generowanych zbiorów tych parametrów. Dla ilustracji podano przykładowe dane dla 3 kolejnych generowanych zbiorów.

Tablica 1

Parametr	Symulacja „1”		Symulacja „2”		Symulacja „3”		Odchyl. stand. %	Błąd systemat. %
	Wartość rzecz. (1)	Błąd identyfik. (2)	Wartość rzecz. (1)	Błąd identyfik. (2)	Wartość rzecz. (1)	Błąd identyfik. (2)		
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)		
udział frakcji, w1,%	39	0,87	44	0,82	37	-0,19	0,36	0,55
udział frakcji, w1,%	12	-0,86	9	-0,42	14	1,48	0,54	-0,16
udział frakcji, w1,%	7	0,62	7	1,52	7	-1/78	0,86	0,094
udział frakcji, w1,%	6	-0,12	6	0,22	6	0,2	0,41	0,29
udział frakcji, w1,%	12	3,45	9	1,79	12	3,53	1,44	2,75
udział frakcji, w1,%	24	-3,96	25	-3,24	24	-3,24	1,45	-3,53
udział frakcji, w1,%	51	53	53	0,31	53	1,29	0,41	0,38
udział frakcji, w1,%	13	13	13	1,05	15	-1,58	0,94	0,33
udział frakcji, w1,%	36	34	34	-1,36	32	0,29	0,83	-0/71
gęst.rozdz. $\rho_{11}, g/cm^3$	1,40	gęstości mierzone w układzie automatycznej regulacji gęstości cieczy ciężkiej (pierwsza para gęstości)						
gęst.rozdz. $\rho_{21}, g/cm^3$	1,80							
gęst.rozdz. $\rho_{21}, g/cm^3$	1,43	gęstości mierzone w układzie automatycznej regulacji gęstości cieczy ciężkiej (druga para gęstości)						
gęst.rozdz. $\rho_{22}, g/cm^3$	1,83							
parametr „a”	0,6	0,05	0,8	0,06	0,6	0,01	0,034	0,053
średnia charakterystyka wzbogalności,%	$w_1 = 41, w_2 = 10, w_3 = 7, w_4 = 6, w_5 = 8, w_6 = 28$							

Imperfekcja wzbogalnika I określona była poprzez parametr a (zawarty w przedziale $0 \div 1$) według wzoru: $I = a I_{max} + (1-a) I_{min}$.



Rys. 2. Zakresy zmian identyfikowanych parametrów i odchylenia standardowe identyfikacji
 Fig. 2. Range of changes of identified parameters and errors of identification

4. Wnioski

Symulacyjna metoda identyfikacji procesu wzbogacania w trójproduktowym zawieszinowym wzbogacalniku węgla (Disa), oparta na pomiarze udziałów masowych trzech produktów, umożliwia identyfikację udziałów 6 frakcji gęstościowych charakterystyki wzbogacalności węgla surowego oraz identyfikację imperfekcji. Odchylenia standardowe identyfikacji udziałów 6 frakcji zawierają się w przedziale 0,36 – 1,45%. Odchylenia standardowe identyfikacji połączonych trzech frakcji gęstościowych nadawy ($< 1,4$; $1,4 - 1,8$; $> 1,8 \text{ g/cm}^3$) są mniejsze i mieszczą się w przedziale 0,41 – 0,94%. Odchylenie standardowe identyfikacji imperfekcji (parametr „a”) jest rzędu 0.01 i pozwala na jej określenie z błędem względnym około 10%.

BIBLIOGRAFIA

1. Cierpisz S., Zębik A.: Symulacyjna metoda ciągłej identyfikacji grawitacyjnego procesu wzbogacania węgla. MiAG nr 2/374, 2002.
2. Cierpisz S.: Komputerowe modele symulacyjne przebiegu procesów wzbogacania węgla. Monografia nr 41, Politechnika Śląska, Gliwice 2003.
3. Jachnik E.: Algorytm maksymalizacji ilości mieszanki o zadanej zawartości popiołu. Przegląd Górniczy nr 9, 1987.
4. Kalinowski K., Walaszek-Babiszewska A.: Sterowanie procesu wzbogacania węgla. Skrypt Uczelniany Politechniki Śląskiej nr 1125 (cz.II), Gliwice 1983.
5. Kirchner A.T.: On-line analysis of coal. IEACR/40 September, 1991.