

Stanisław CIERPISZ

Krystian KALINOWSKI

Anna WALASZEK-BABISZEWSKA

ZALEŻNOŚĆ ZAPOBIENIA KONCENTRATU OD PARAMETRÓW REGULACYJNYCH
W PROCESIE FLOTACJI WĘGLA

Streszczenie. W referacie przedstawiono rezultaty badań identyfikacyjnych procesu flotacji węgla. Badania eksperymentalne były przeprowadzone dla flotownika przemysłowego typu IZ-5 w zakładzie wzbogacania KWK "Jastrzębie". Jako podstawowe zmienne niezależne przyjęto następujące wielkości: natężenie przepływu odczynników pianotwórczego i kolektorowego, natężenie przepływu powietrza, poziomy mętów w komorach flotownika, natężenie przepływu nadawy oraz zawartość popiołu, zagęszczenie i skład granulometryczny nadawy. Jako wskaźnik jakości procesu przyjęto zapobienie koncentratu. Zależności zmierzone doświadczalnie zostały przedstawione w niniejszym opracowaniu graficznie. Dane eksperymentalne posłużyły do przeprowadzenia analizy regresyjnej zależności zapobienia koncentratu od zmiennych niezależnych. Przyjęto kilka typów równań regresji zawierających tylko zmienne regulacyjne lub także zakłócenia mierzalne w postaci parametrów nadawy. Istotność przyjętych równań badano testem F Fishera a istotność współczynników testem t Studenta. W opracowaniu przedstawiono kilka poustawowych typów wybranych modeli.

1. PROCES FLOTACJI WĘGLA JAKO OBJEKT STEROWANIA

Przemysłowy proces flotacji węgla jest wielowymiarowym, nieliniowym obiektem identyfikacji i sterowania. Podlega losowym zaburzeniom zmieniającej się nadawy. W celu określenia charakterystyki statycznej przeprowadzono badania identyfikacyjne flotownika pneumomechanicznego typu IZ w Zakładzie Przeróbczym KWK "Jastrzębie".

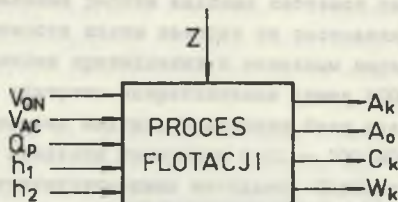
Przyjęto następujące wielkości wyjściowe:

- zawartość popiołu w koncentracie A_k ,
- zawartość popiołu w odpadach A_o ,
- wychód koncentratu W_k ,
- zagęszczenie koncentratu C_k .

oraz wielkości wejściowe:

- natężenie przepływu odczynnika kolektorowego V_{ON} ,
- natężenie przepływu odczynnika pianotwórczego V_{AC} .

- c) natężenie przepływu powietrza do aeracji mętów Q_p ,
- d) poziom mętów w pierwszej sekcji flotownika h_1 ,
- e) poziom mętów w drugiej sekcji flotownika h_2 .



Rys. 1. Proces flotacji jako obiekt sterowania

Fig. 1. Coal flotation process as an object of automatic control

Ponadto, na efekty procesu flotacji mają istotny wpływ parametry nadawy, na rys. 1 przedstawione jako wektor z . Parametrami tymi są:

- a) natężenie przepływu nadawy V_n ,
- b) zawartość popiołu w nadawie A_n ,
- c) zagęszczenie nadawy C_n ,
- d) pH nadawy,
- e) skład ziarnowy nadawy, określony przez procentową zawartość γ_j danej klasy ziarnowej.

2. BADANIA IDENTYFIKACYJNE PROCESU FLOTACJI

W badanym procesie flotacji węgla mierzono wszystkie wielkości wyjściowe i wejściowe oraz parametry nadawy (z wyjątkiem pH) za pomocą urządzeń pomiarowych lub przez analizę laboratoryjną prób. Aparaturę pomiarową i metodę pomiarów poszczególnych wielkości opracowano w GAG EMAG w Katowicach.

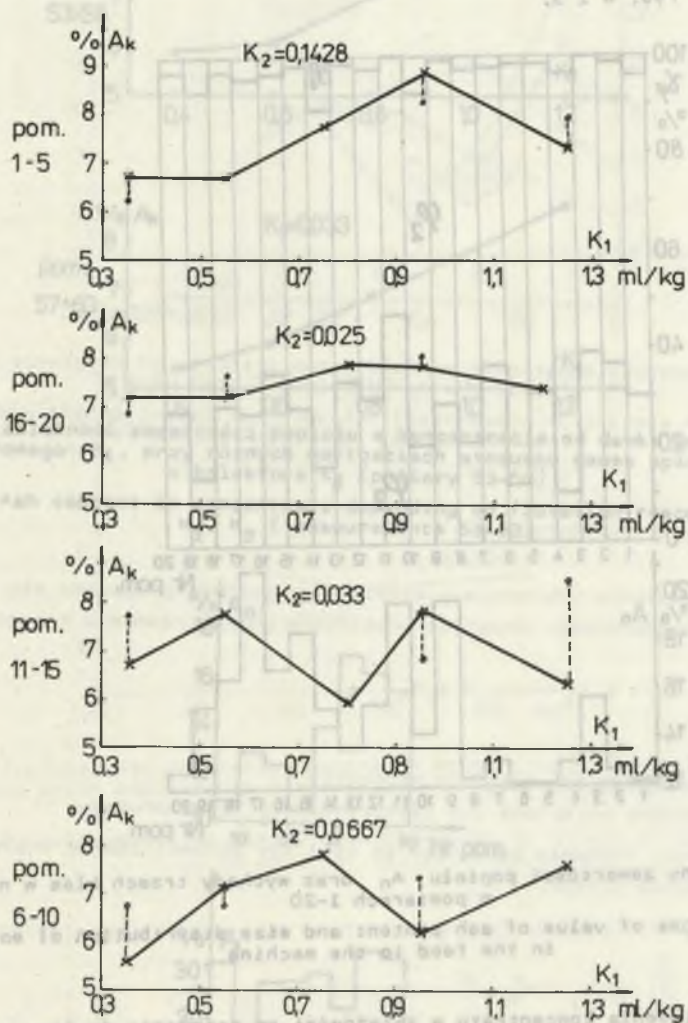
Wielkość dawki K_1 odczynnika kolektorowego (oleju napędowego) ustalano w stosunku do aktualnie mierzonych parametrów nadawy: natężenia przepływu V_n i zagęszczenia C_n :

$$K_1 = \frac{V_{ON}}{C_n V_n} \quad (1)$$

Wielkość dawki K_2 odczynnika pianotwórczego (alkoholu) była dobierana w odniesieniu do odczynnika kolektorowego w następujący sposób:

$$K_2 = \frac{V_{AC}}{V_{ON}} \quad (2)$$

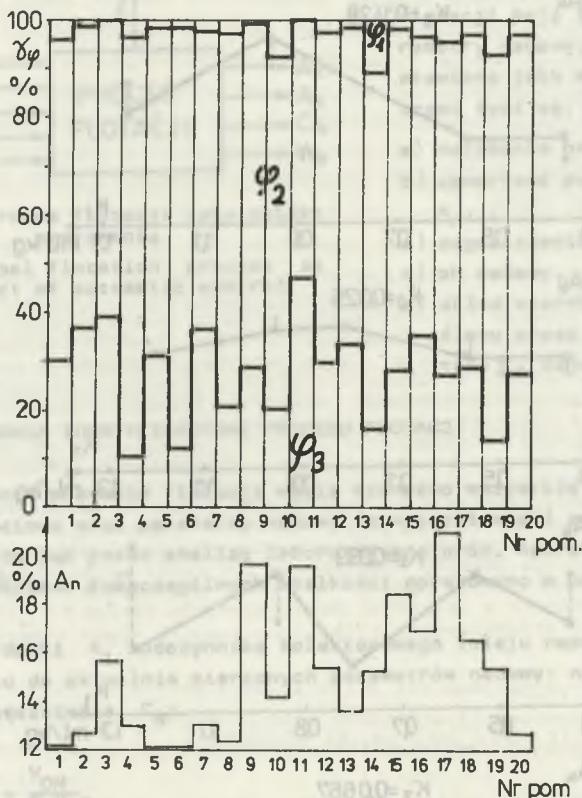
Badaniu wpływu odczynników na przebieg procesu flotacji poświęcono największą ilość pomiarów. Zależność zawartości popiołu w koncentracie A_k od zmian dawki odczynnika kolektorowego K_1 , przy ustalonej wartości dawki K_2 w doświadczeniach 1-20 przedstawiono na rys. 2. W poszczególnych doświadczeniach wartość natężenia przepływu nadawy V_n była prawie stała, ale zmieniało się zagęszczenie nadawy C_n , zawartość popiołu w nadawie A_n



Ryc. 2. Zależność zawartości popiołu w koncentracie od dawki odczynnika kolektorowego K_1 , przy różnych wartościach dawek spieniacza i kolektora K_2 (w pomiarach 1-20)

Fig. 2. Ash content in concentrate depending on flotation reagents dosage K_1 , K_2 (measurement 1-20)

oraz skład ziarnowy, a w szczególności zawartość drobnych ziaren, poniżej 0,07 mm (klasa φ_3). Zmienność nadawy w pomiarach 1-20 przedstawiono na rys. 3. Podobne badania zostały powtórzone w doświadczeniach 53-60 i przedstawione na rys. 4 i 5.

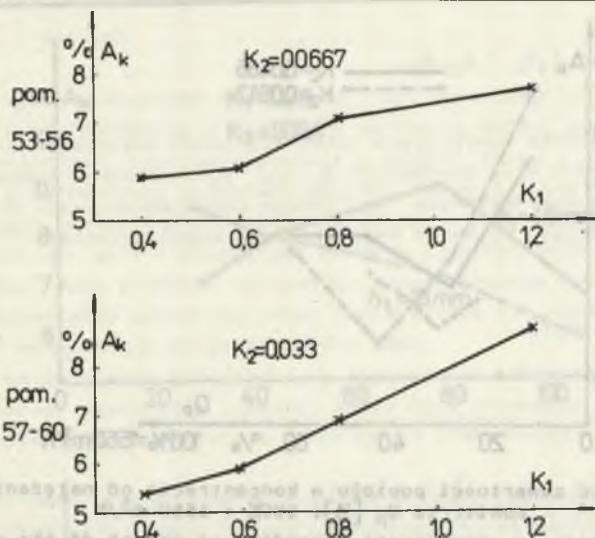


Rys. 3. Zmiany zawartości popiołu A_n oraz wychody trzech klas w nadawie w pomiarach 1-20

Fig. 3. Changes of value of ash content and size distribution of solids in the feed to the machine

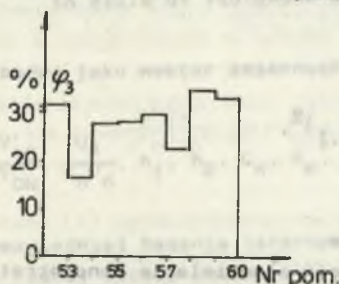
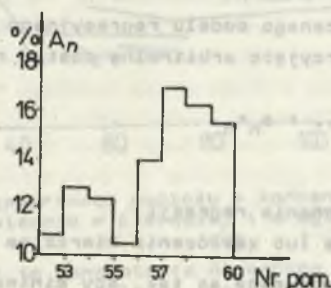
Zmiana zapopielenia koncentratu w zależności od natężenia dopływu powietrza Q_p do aeracji mętów przy różnych wartościach dawki obydwu odczynników K_2 została przedstawiona na rys. 6.

Wpływ poziomu mętów h_1 i h_2 w obydwu sekcjach maszyny flotacyjnej na wartość zapopielenia koncentratu A_k przedstawiono na rys. 7, przy czym większa wartość h_1 (lub h_2) oznacza niższy poziom mętów.



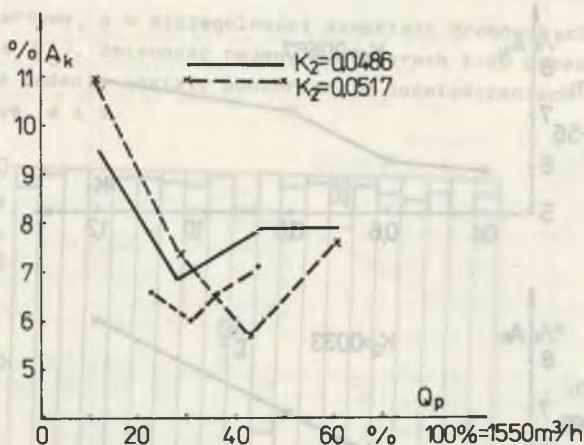
Rys. 4. Zależność zawartości popiołu w koncentracie od dawki odczynnika kolektorowego K_1 , przy różnych wartościach stosunku dawek spieniacza i kolektora K_2 (pomiarzy 53-60)

Fig. 4. Ash content in concentrate depending on flotation reagents dosage K_1, K_2 (measurements 53-60)



Rys. 5. Zmiany zawartości popiołu A_n i wychodu klasy ziarnowej $\psi_3 < 0,07$ mm w nadawie (pomiarzy 53-60)

Fig. 5. Changes of value of ash content and yield of size grade $\psi_3 < 0,07$ mm in the feed of the machine (measurements 53-60)



Rys. 6. Zależność zawartości popiołu w koncentracie od natężenia dopływu powietrza Q_p [%]; 100% = 1550 m³/h

Fig. 6. Ash content in concentrate depending on amount of air added to the machine Q_p [%]; 100% = 1550 m³/h

3. ANALIZA REGRESYJNA

Dla opracowania statycznego modelu regresyjnego posłużono się metodą regresji wielokrotnej. Przyjęto arbitralną postać równania regresji

$$A_k^* = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n \quad (3)$$

gdzie:

a_i - współczynniki równania regresji.

x_i - zmienne wejściowe lub zakłócenia mierzalne procesu.

Współczynniki równania dobierane są tak, aby minimalizowały kryterium sumy kwadratów błędów

$$S = \sum_{j=1}^m (A_{k,j} - A_{k,j}^*)^2 \quad (4)$$

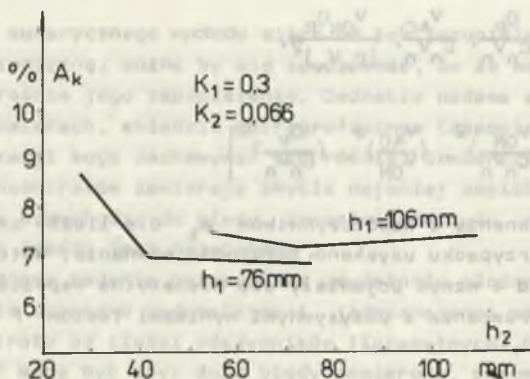
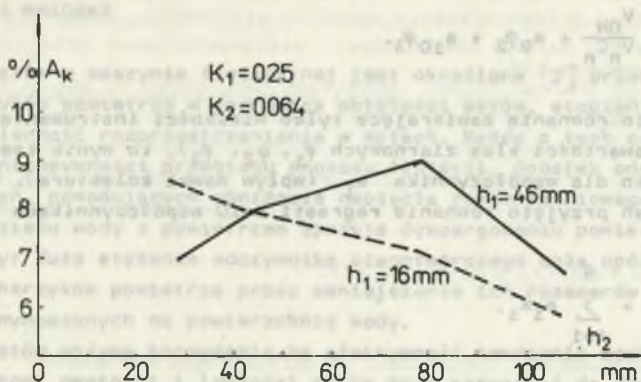
gdzie:

m - liczba pomiarów,

$A_{k,j}$ - zmierzona wartość zapopielenia koncentratu w j -tym pomiarze,

$A_{k,j}^*$ - obliczona z równania (3) wartość modelu dla j -tego pomiaru zmiennych x_1, \dots, x_n .

Istotność przyjętej funkcji regresji badano testem F Fishera, a istotność poszczególnych współczynników testem t Studenta.



Rys. 7. Zależność zawartości popiołu w koncentracie od wartości h_1 i h_2 poziomu mętów odpowiednio w pierwszej i drugiej sekcji maszyny flotacyjnej

Fig. 7. Ash content in concentrate depending on levels of slurry h_1 , h_2 in cells of flotation machine

W pierwszej serii badań jako wektor zmiennych x przyjęto:

$$x^T = \left[\frac{V_{ON}}{C_n V_n}, \frac{V_{AC}}{V_{ON}}, \frac{C_P}{C_n V_n}, h_1, h_2, C_n, A_n, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \right].$$

Program obliczeń uwzględniał badanie istotności równania i poszczególnych współczynników dla różnej liczby zmiennych x_i (od 1 do 10). W każdym przypadku uzyskano istotność równania. Dla równania o trzech zmiennych istotne okazały się następujące składniki równania:

$$A_k^* = a_1 \frac{V_{ON}}{C_n V_n} + a_9 \varphi_2 + a_{10} \varphi_3. \quad (5)$$

Jeżeli przyjęto równanie zawierające tylko wielkości instrumentalnie mierzalne (bez zawartości klas ziarnowych $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$), to wynik testu t był pozytywny tylko dla współczynnika a_1 (wpływ dawki kolektora). W następnej serii badań przyjęto równanie regresji o 10 współczynnikach

$$A_k^* = a_0 + \sum_{i=1}^9 a_i x_i. \quad (6)$$

w którym jako wektor x przyjęto następujące wielkości:

$$x^T = \left[\frac{V_{ON}}{C_n V_n}, \frac{V_{AC}}{V_{ON}}, \frac{Q_P}{C_n V_n}, \frac{V_{AC}}{C_n V_n}, \frac{V_{ON} Q_P}{(C_n V_n)^2}, \right.$$

$$\left. \frac{V_{AC} Q_P}{V_{ON} C_n V_n}, \left(\frac{V_{ON}}{C_n V_n} \right)^2, \left(\frac{V_{AC}}{V_{ON}} \right)^2, \left(\frac{Q_P}{C_n V_n} \right)^2 \right].$$

Badano istotność równania i współczynników a_i dla liczby zmiennych od 1 do 9. W każdym przypadku uzyskano istotność równania, natomiast dla liczby zmiennych od 4 wzwyż pojawiały się nieistotne współczynniki równania. Przykładowe równania z pozytywnymi wynikami testów F i t są następujące:

$$A_k^* = a_0 + a_1 \frac{V_{ON}}{C_n V_n} + a_3 \frac{Q_P}{C_n V_n}.$$

$$A_k^* = a_0 + a_3 \frac{Q_P}{C_n V_n} + a_5 \frac{V_{ON} Q_P}{(C_n V_n)^2},$$

$$A_k^* = a_0 + a_1 \frac{V_{ON}}{C_n V_n} + a_2 \frac{V_{AC}}{V_{ON}} + a_5 \frac{V_{AC} Q_P}{V_{ON} C_n V_n}.$$

Najmniejszą wartość uchybu średniokwadratowego (4) uzyskano dla równania ostatniego.

4. UWAGI I WNIOSKI

Aeracja mętów w maszynie flotacyjnej jest określona [2] przez zawartość pęcherzyków powietrza w jednostce objętości mętów, stopień dyspersji i równomierność rozprzestrzenienia w mętach. Każdy z tych czynników decyduje o intensywności przebiegu procesu flotacji. Dodatek odczynników pianotwórczych, powodujących obniżenie napięcia powierzchniowego wody na granicy rozdziału wody z powietrzem sprzyja dyspergowaniu powietrza. Jednocześnie zbyt duże stężenie odczynnika pianotwórczego może opóźnić wpływanie pęcherzyków powietrza przez zmniejszenie ich rozmiarów i obniżyć ilość ziarn wynoszonych na powierzchnię wody.

Gęstość mętów wpływa korzystnie na efektywność tworzenia pęcherzyków. Zbyt duży wzrost gęstości i lepkości mętów może prowadzić do zmniejszenia stopnia zdyspergowania powietrza i obniżenia efektywności procesu flotacji.

Zależność sumarycznego wychodu ziarn od ich zapopielenia w nadawie jest funkcją monotoniczną; można by się spodziewać, że ze wzrostem wychodu koncentratu rośnie jego zapopielenie. Jednakże nadawa składa się z ziarn o różnych rozmiarach, składzie petrograficznym (zapopieleniu), które w procesie flotacji mogą zachowywać się różnie. Stwierdzono [2], że "... duże ziarna koncentratów zawierają zwykle najmniej popiołu, tzn. duże ziarna płonne nie przechodzą do piany. Zawartość popiołu w drobnych klasach koncentratu z zasady jest największa".

Przeprowadzone badania przemysłowe uwydatniły złożoność procesu flotacji węgla. Nie uzyskano zadowalającej, jednoznacznej zależności zapopielenia koncentratu od ilości odczynników flotacyjnych. Przyczyną takich wyników badań mogą być zbyt duże błędy pomiarowe, przewyższające efekt zmiany zapopielenia koncentratu od dawkowanych odczynników. Na rys. 2 nanesiono dodatkowe punkty A_k , z powtórzonych analiz laboratoryjnych. Ze względu na zmieniające się własności nadawy należałoby dla każdej, ustalonej wartości zmiennej sterującej wykonać większą ilość pomiarów wielkości wyjściowych procesu. Stwierdzono nieliniową, z wyraźnym optimum, zależność zawartości popiołu w koncentracie od ilości powietrza (rys. 6). Wpływ ilości powietrza na zmiany A_k potwierdziły także badania statystyczne.

Przeprowadzone badania wskazują potrzebę dalszych eksperymentów, badań symulacyjnych i analiz procesu flotacji węgla.

5. LITERATURA

- [1] Praca zbiorowa: Identyfikacyjne badania procesu flotacji węgla na przykładzie wybranego flotownika. Praca IeiAG nr NB-20/RG1/84. Politechnika Śląska, 1984.
- [2] Klassen W.I.: Flotacja węgla. "Śląsk", Katowice 1966.

- [3] Zubnicki Z.: Identyfikacja obiektów sterowania. PWN, Warszawa 1974.
[4] Mańczak K.: Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. WNT, Warszawa 1971.
[5] Rozenberg W.J.: Wstęp do teorii błędów systemów pomiarowych. PWN, Warszawa 1982.

Recenzent: Doc. dr inż. Ryszard LACH

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

ЗАВИСИМОСТЬ ЗОЛЬНОСТИ КОНЦЕНТРАТА ОТ РЕГУЛИРУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ ФЛОТАЦИИ УГЛЯ

Р е з ю м е

В докладе представлены результаты идентификационных исследований процесса флотации угля. Исследования проводили на промышленной флотационной машине типа ИЗ-5 на обогатительной фабрике шахты Яцембе. В качестве основных независимых переменных были приняты следующие величины: расход реагентов вспенивающего и коллектора, расход воздуха, уровень пульпы в камерах флотационной машины, нагрузка исходного питания, зольность, плотность и гранулометрический состав пульпы. В форме показателя качества процесса была принята зольность концентрата. Опытные зависимости изображены на иллюстрациях. Экспериментально полученные данные послужили для проведения регрессионного анализа зольности концентрата как функции независимых величин. Приняли несколько типов моделей содержащих только регулирующие переменные либо даже параметры исходного питания как помехи процесса. Значимость принятых моделей и коэффициентов регрессии проверяли по критериям Фишера и Стюдента. В докладе представлены несколько типов отобранных моделей.

THE INFLUENCE OF CONTROLLED PARAMETERS OF COAL FLOTATION PROCESS ON ASH CONTENT IN CONCENTRATE

S u m m a r y

The results of investigations of static characteristics of coal flotation process are presented in the paper. The field tests have been performed on the flotation machine type IZ-5 installed in the coal preparation plant in "Jastrzębie" mine. As basic independent parameters of the process the following have been accepted: flotation reagents dosage, amount of air added to the process, levels of slurry in cells and flow, ash content, concentration of solids and size distribution of solids in the feed to the machine.

