

Władysław ZAPATA

WYBRANE PROBLEMY POMIARU GĘSTOŚCI WARSTW WZBOGACANEGO MATERIAŁU
W ŁOŻU OSADZARKI PRZY POMOCY PŁYWAKA

Streszczenie. Referat stanowi komunikat o realizowanej pracy badawczej dotyczącej nowego rozwiązania układu automatycznego sterowania osadzarki. Zaprezentowano wybrane zagadnienia związane z zastosowaniem pływaka jako czujnika położenia warstwy o zadanej gęstości w łożu osadzarki. Przedstawiono koncepcję nowego układu odbioru produktów wzbogacania z wykorzystaniem pomiaru rozkładu frakcji densymetrycznych węgla, którego działanie ma na celu stabilizację zawartości popiołu w koncentracie. Wykazano, że zastosowanie kilku pływaków do pomiaru rozkładu frakcji densymetrycznych w łożu osadzarki umożliwia oszacowanie efektywności procesu wzbogacania węgla w osadzarkie. Przedstawiono ilustrację graficzną zasady działania aktualnie stosowanych układów odbioru produktów oraz proponowanego układu.

1. WSTĘP

W układach automatycznej regulacji odbioru produktów wzbogacania w osadzarkach jako czujnik grubości warstwy o zadanej gęstości powszechnie stosowany jest pływak. Metody radiometrycznego pomiaru gęstości uważane za dokładniejsze dotychczas nie znalazły zastosowania w krajowych osadzarkach pracujących w warunkach przemysłowych z następujących powodów: zawodność, kłopotliwa eksploatacja, wymogi bezpieczeństwa obsługi. W tej sytuacji wydaje się uzasadnione prowadzenie prac, których celem byłoby opracowanie czujnika pływakowego o zwiększonej dokładności pomiaru gęstości wzbogacanego materiału w pobliżu strefy rozdziału produktów.

2. WPŁYW ROZKŁADU GĘSTOŚCI OŚRODKA NA WSKAZANIA PŁYWAKA POMIAROWEGO

W rozważaniach przyjmuje się następujące założenia:

- rozpatruje się położenie pływaka na początku (końcu) cyklu pulsacji,
- pomija się wpływ ziarnistości materiału,
- przyjmuje się pływak, którego powierzchnia przekroju prostopadła do wysokości pływaka jest stała,
- gęstość warstwy o wysokości Δx i powierzchni S (równiej powierzchni przekroju pływaka) wzbogacanego materiału zależy tylko od jej wysokości nad sitem maszyny.

- siły tarcia występujące w przewodnicach są niewielkie w porównaniu z ciężarem pływaka ewentualnie kompensowane w układzie automatycznego pomiaru.

Uwzględniając powyższe założenia, pływak znajduje się w równowadze w chwili zrównania się siły ciężkości F_c pływaka z siłą wyporu F_w . W rezultacie otrzymuje się następujące równanie:

$$F_w = F_c,$$

$$\int_x^{x+H} f(x) dx = HF(x + kH), \quad (1)$$

gdzie:

x - położenie podstawy pływaka nad sitem osadzarki,

H - wysokość pływaka,

k - parametr, określający punkt przyłożenia wypadkowej siły wyporu, $0 \leq k \leq 1$,

$f(x)$ - nieznaną funkcją, opisującą rzeczywisty rozkład gęstości wzbogaconego materiału w łóżu osadzarki,

$F(x)$ - znana funkcja wiążąca położenie pływaka nad sitem z jego gęstością (funkcja ta opisuje rozkład gęstości warstw zmierzony za pomocą pływaka pomiarowego).

Poniżej przedstawiono kilka przykładów analitycznego rozwiązania równania (1):

Zmierzona funkcja gęstości $F(x)$

Rzeczywista funkcja gęstości $f(x)$

b

b

$$ax + b$$

$$ax + b + (k - \frac{1}{2})aH$$

$$ax^2 + bx + c$$

$$ax^2 + bx + c + (2k - 1) aHx + [k(k - 1) + \frac{1}{6}] aH^2 + (k - \frac{1}{2}) bH$$

Różnicę pomiaru gęstości warstwy na wysokości x można zdefiniować następująco

$$\delta(x) = F(x) - f(x). \quad (2)$$

Z analizy różnych typów funkcji wynika, że jeżeli zmierzona gęstość jest:

- stała, to różnica $\delta(x) = 0$,

- liniowo zależna od wysokości nad sitem, to różnica $\delta(x) = 0$, jeżeli jako punkt odniesienia przyjmuje się punkt leżący w połowie wysokości pływaka,

- zmieniająca się parabolicznie, to różnica $\delta(x) = \text{const} \neq 0$, jeżeli jako punkt odniesienia przyjmuje się punkt leżący w połowie wysokości pływaka i nie zależy od aktualnego położenia x podstawy pływaka nad sitem osadzarki.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów za pomocą pływaka pomiarowego na osadzarce pracującej w warunkach przemysłowych autor stwierdził, że rozkład gęstości warstw wzbogacanego materiału w końcowej części koryta roboczego osadzarki dobrze przybliża funkcja (błąd średniokwadratowy aproksymacji $M_n^2 = 0,0002 + 0,0008$)

$$F(x) = b_0 + b_1 \exp(-b_2 x). \quad (3)$$

Rzeczywista funkcja gęstości $f(x)$, będąca rozwiązaniem równania (1), przyjmuje wówczas postać:

$$f(x) = b_0 + b_1 \cdot \frac{b_2 H \exp(-b_2 kH)}{1 - \exp(-b_2 H)} \cdot \exp(-b_2 x), \quad (4)$$

gdzie:

H - wysokość pływaka,

k - parametr,

$k=0$ przy pomiarze funkcji $F(x)$ względem podstawy pływaka,

$k = \frac{1}{2}$ przy pomiarze funkcji $F(x)$ względem punktu leżącego w połowie wysokości pływaka, $k=1$, jeśli pomiar funkcji $F(x)$ wykonywany był względem wierzchołka pływaka.

Różnica $\delta(x)$ pomiaru gęstości warstwy leżącej na wysokości x wynosi:

$$\delta(x) = F(x) - f(x) = b_1 \cdot \left[1 - \frac{b_2 H \exp(-b_2 kH)}{1 - \exp(-b_2 H)} \right] \exp(-b_2 x) \quad (5)$$

i zależy od położenia x pływaka nad sitem osadzarki niezależnie od wyboru punktu odniesienia leżącego na wysokości pływaka.

W obecnym układzie regulacji odbioru produktów wzbogacania w osadzarce pomiar położenia pływaka o zadanej gęstości dokonywany jest względem ustalonego punktu leżącego na wysokości pływaka. Zmiany w czasie krzywej gęstości warstw wzbogacanego materiału mogą więc etanować przyczynę błędnych wskazań pływaka, a tym samym niewłaściwego ustawienia progu przelewowego w osadzarce. W celu określenia wielkości błędu trzeba wyznaczyć względem jakiego punktu leżącego na wysokości pływaka należy dokonywać pomiaru, by wartość bezwzględna różnicy spełniała warunek:

$$|\delta(x)| = |F(x) - f(x)| \leq \varepsilon, \quad (6)$$

gdzie ε - dowolnie mała liczba.

Przyjmując przykładowe zmierzone krzywe gęstości dla różnych pulsacji wody można obliczyć wartość parametru k_0 , przy którym spełniony jest warunek (6).

Jeżeli w układzie regulacji odbioru produktów pomiar wykonywany jest np. względem środka pływaka ($k = \frac{1}{2}$), to różnica pomiędzy wyznaczonym k_0 przy danej krzywej gęstości i przy $k = \frac{1}{2}$, stanowi względny błąd pomiaru, tzn.

$$\Delta_w = k - k_0 = \frac{1}{2} - k_0, \quad (7)$$

a bezwzględny błąd pomiaru wyrażony w jednostkach długości wynosi

$$\Delta = \Delta_w H = (k - k_0)H, \quad (8)$$

gdzie H - całkowita wysokość pływaka.

Przykładowe wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Prognozowany błąd pomiaru położenia warstwy o zadanej gęstości przy różnych krzywych gęstości warstw wzbogacanego materiału

Pulsacja [min^{-1}]	Pływak o wysokości $H = 0,1 \text{ m}$	
	k_0	Δ [cm]
37	0,491	0,088
40	0,488	0,120
44	0,481	0,122
47	0,500	0,000
50	0,487	0,124
53	0,491	0,088
56	0,487	0,124
60	0,488	0,120
Pulsacja [min^{-1}]	Pływak o wysokości $H = 0,25 \text{ m}$	
	k_0	Δ [cm]
37	0,476	0,590
40	0,468	0,795
44	0,466	0,840
47	0,499	0,001
50	0,467	0,820
53	0,476	0,590
56	0,466	0,840
60	0,469	0,770

Przyjęto, że za pomocą pływaka wykonywany jest pomiar położenia warstwy o gęstości $\delta = 1,42 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, wartość parametru ε spełniała warunek $\varepsilon < 0,0001 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Dla pływaka o wysokości $H = 0,1 \text{ m}$ błąd pomiaru jest do pominięcia a dla pływaka o wysokości $H = 0,25 \text{ m}$ w większości przypadków błąd pomiaru nie przekroczy $0,002 \text{ m}$, jeżeli pomiar dokonywany będzie w odległości $0,0065 \text{ m}$ powyżej środka pływaka pomiarowego.

3. WSKAZANIA PŁYWKÓW O RÓŻNYCH WYSOKOŚCIACH

W literaturze [1] zamieszczone zostały rozkłady gęstości warstw wzbogacanego materiału zmierzone za pomocą pływaków o różnych wysokościach (krzywe 1, 3, 5, 8 na rys. 1).

Z [1] str. 131, rys. 65 odczytano punkty charakterystyki dla pływaka o wysokości $H = 0,18 \text{ m}$, którą aproksymowano funkcją $F(x) = b_0 + b_1 \exp(-b_2 x)$ z błędem średniokwadratowym $Mm^2 = 0,00017$ (krzywa 2 na rys. 1).

Jeżeli zmierzona funkcja $F(x)$ rozkładu gęstości warstw wzbogacanego materiału za pomocą pływaka o wysokości "H" (pomiar względem podstawy pływaka) ma postać określoną wzorem (3), to dowolny punkt pływaka - określony jednoznacznie przez wartość parametru k z przedziału $0 < k \leq 1$ - o wysokości "h" zakreśli krzywą gęstości $F_h(x)$ o następującym równaniu:

$$F_h(x) = b_0 + \frac{b_1 H \cdot [1 - \exp(-b_2 h)] \cdot \exp(-b_2 x)}{h \cdot [1 - \exp(-b_2 H)] \cdot \exp(-b_2 kh)} \quad (9)$$

Na podstawie przedstawionych wzorów wykreślono teoretyczne charakterystyki kreślone przez podstawy pływaków o różnych wysokościach oraz rzeczywisty rozkład gęstości warstw wzbogacanego materiału w łóżu osadzarki. Na rys. 1 poszczególne charakterystyki określają:

- 1 - doświadczalna krzywa gęstości kreślona przez podstawę pływaka o wysokości $H = 0,18 \text{ m}$,
- 2 - aproksymacja krzywej 1 funkcją $F(x) = b_0 + b_1 \exp(-b_2 x)$,
- 3 - doświadczalna krzywa gęstości kreślona przez podstawę pływaka o wysokości $h = 0,1 \text{ m}$,
- 4 - teoretyczna krzywa gęstości kreślona przez podstawę pływaka o wysokości $h = 0,1 \text{ m}$, wyznaczona na podstawie krzywej 2,
- 5 - doświadczalna krzywa gęstości kreślona przez podstawę pływaka o wysokości $h = 0,05 \text{ m}$,
- 6 - teoretyczna krzywa gęstości kreślona przez podstawę pływaka o wysokości $h = 0,05 \text{ m}$,
- 7 - teoretyczna krzywa gęstości rzeczywistej w łóżu osadzarki wyznaczona na podstawie krzywej 2,
- 8 - doświadczalna krzywa gęstości kreślona przez podstawę pływaka o wysokości $h = 0,01 \text{ m}$,

9 - teoretyczna krzywa gęstości kreślona przez podstawę pływaka o wysokości $h = 0,01$ m, wyznaczona na podstawie krzywej 2.

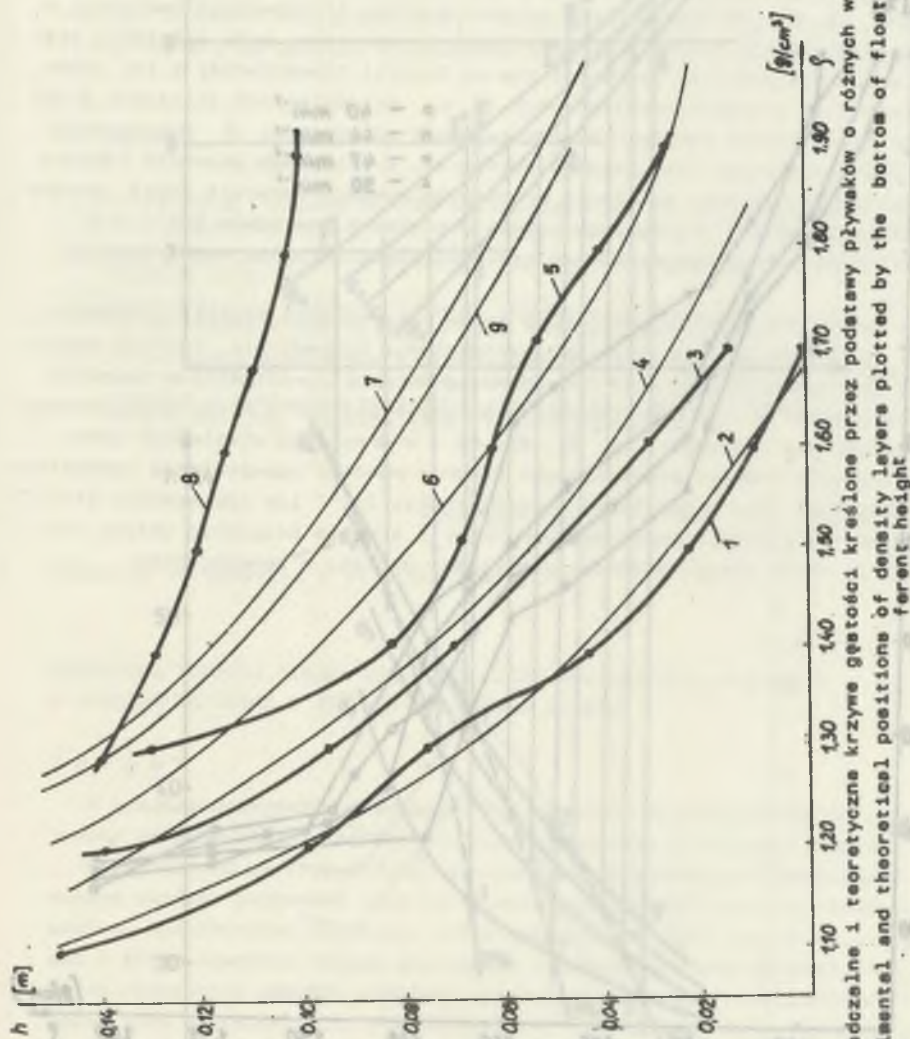
Z przedstawionych wyników obliczeń i wykresów można stwierdzić że zaprezentowane wzory dobrze przybliżają wskazania pływaków o wysokościach 0,18 m, 0,1 m i 0,05 m. Znaczne rozbieżności występują pomiędzy teoretyczną i doświadczalną krzywą gęstości dla pływaka o wysokości 0,01 m. Przyczyną dużej różnicy mogą być:

- a) inne warunki wykonywania pomiaru,
- b) wysokość pływaka porównywalna z wielkością ziaren wzbogacanego materiału i wówczas nie jest spełnione założenie o niewielkim wpływie ziarnistości ośrodka, w którym zanurzony jest pływak pomiarowy,
- c) błąd aproksymacji doświadczalnej charakterystyki dla pływaka o wysokości $H = 0,18$ m,
- d) doświadczalne charakterystyki wyznaczone były za pomocą pływaków o zmiennej wysokości i stałej średnicy. Oznacza to, że objętość pływaka o wysokości $h = 0,01$ m była najmniejsza, a zatem siła ciężkości pływaka dla zadanej gęstości pływaka pomiarowego była najmniejsza. Siła ta jest niewystarczająca do pokonania bariery na granicy woda - wzbogacany materiał i w rezultacie pływak "ślizga" się po warstwach leżących w pobliżu tej granicy.

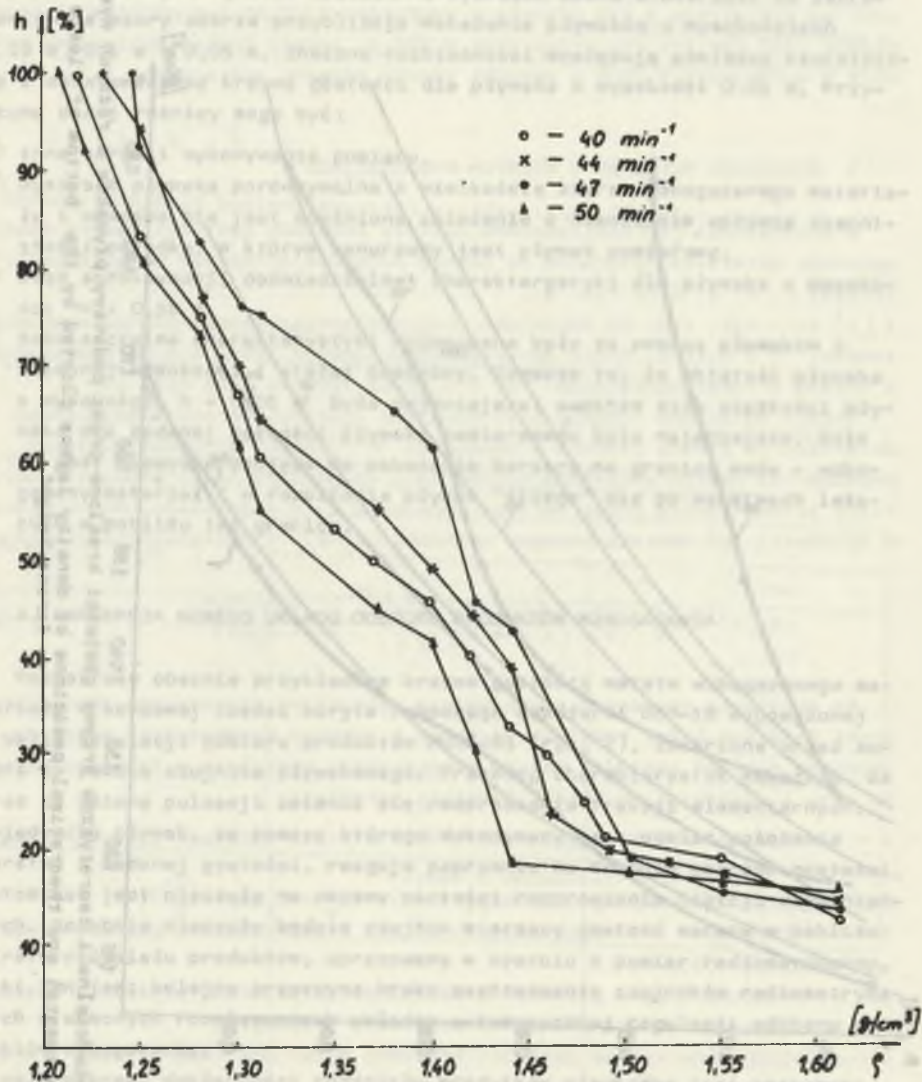
4. KONCEPCJA NOWEGO UKŁADU ODBIORU PRODUKTÓW WZBOGACANIA

Rozpatrzmy obecnie przykładowe krzywe gęstości warstw wzbogacanego materiału w końcowej części koryta roboczego osadzarki ODM-18 wyposażonej w układ regulacji odbioru produktów PULS-83 (rys. 2), zmierzone przez autora za pomocą czujnika pływakowego. Przebieg charakterystyk wskazuje, że wraz ze zmianą pulsacji zmienia się rozproszenie frakcji elementarnych. Pojedynczy pływak, za pomocą którego dokonywany jest pomiar położenia warstwy o zadanej gęstości, reaguje poprawnie na średnią wartość gęstości, natomiast jest nieczuły na zmiany wartości rozproszenia frakcji elementarnych. Podobnie nieczuły będzie czujnik mierzący gęstość warstw w pobliżu strefy rozdziału produktów, opracowany w oparciu o pomiar radiometryczny. Fakt ten jest kolejną przyczyną braku zastosowania czujników radiometrycznych w obecnych rozwiązaniach układów automatycznej regulacji odbioru produktów wzbogacania.

W celu poprawy dokładności rozdziału produktów niezbędna jest znajomość krzywej gęstości, na podstawie której można oszacować wielkość rozproszenia frakcji. Krzywą gęstości można zmierzyć za pomocą kilku pływaków lub jednego "ruchomego" pływaka.

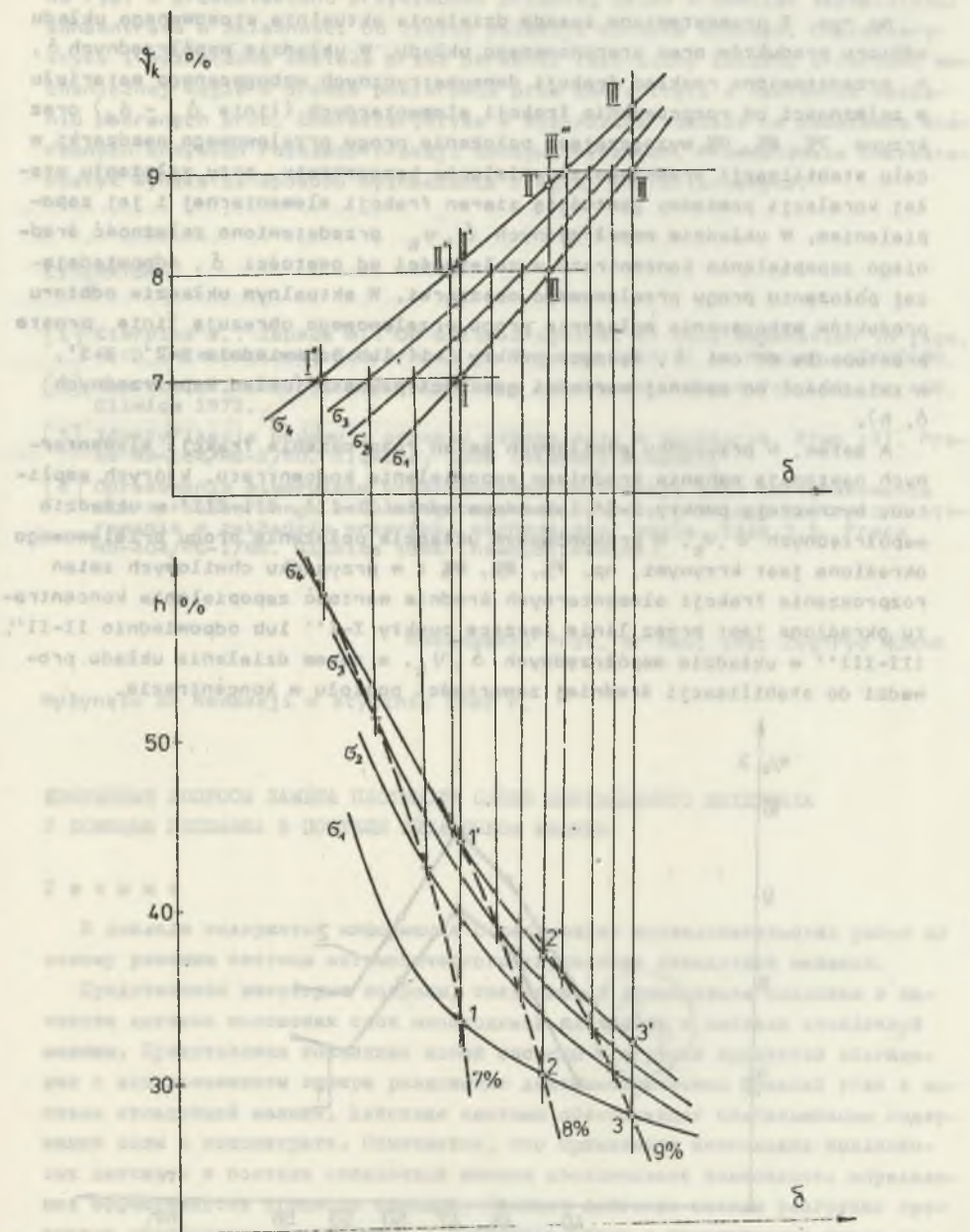


Rys. 1. Doświadczalne i teoretyczne krzywe gęstości kreślone przez podstawy pływaków o różnych wysokościach
 Fig. 1. Experimental and theoretical positions of density layers plotted by the bottom of floats with different height



Rys. 2. Krzywe gęstości warstw wzbogacanego materiału w końcowej części koryta roboczego oadzarki ODM-18

Fig. 2. Characteristics of the position of density layers in the latter part of jig ODM-18

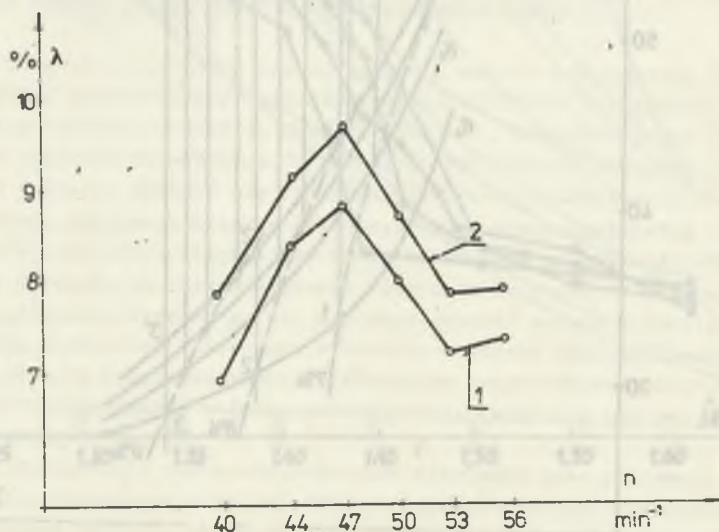


Rys. 3. Ilustracja graficzna zasady działania układu odbioru produktów wzbogacania w osadzarce

Fig. 3. The graphic illustration of the principle of operation of the products discharge in a jig

Na rys. 3 przedstawiono zasadę działania aktualnie stosowanego układu odbioru produktów oraz proponowanego układu. W układzie współrzędnych δ , h przedstawiono rozkład frakcji densymetrycznych wzbogacanego materiału w zależności od rozproszenia frakcji elementarnych (linie $\delta_1 - \delta_4$) oraz krzywe 7%, 8%, 9% wyznaczające położenie progu przelewowego osadzarki w celu stabilizacji średniego zapopielenia koncentratu, przy założeniu stałej korelacji pomiędzy gęstością ziaren frakcji elementarnej i jej zapopieniem. W układzie współrzędnych δ , v_k przedstawiono zależność średniego zapopielenia koncentratu w zależności od gęstości δ , odpowiadającej położeniu progu przelewowego osadzarki. W aktualnym układzie odbioru produktów wzbogacania położenie progu przelewowego obrazują linie proste prostopadłe do osi δ , łączące punkty 1-1' lub odpowiednio 2-2', 3-3', w zależności od zadanej wartości gęstości pływaka (układ współrzędnych δ , h).

A zatem, w przypadku chwilowych zmian rozproszenia frakcji elementarnych następują wahania średniego zapopielenia koncentratu, których amplitudę wyznaczają punkty I-I' lub odpowiednio II-II', III-III' w układzie współrzędnych δ , v_k . W proponowanym układzie położenie progu przelewowego określone jest krzywymi, np. 7%, 8%, 9% i w przypadku chwilowych zmian rozproszenia frakcji elementarnych średnia wartość zapopielenia koncentratu określona jest przez linie łączące punkty I-I'' lub odpowiednio II-II'', III-III'' w układzie współrzędnych δ , v_k , a zatem działanie układu prowadzi do stabilizacji średniej zawartości popiołu w koncentracie.



Rys. 4. Przykładowy przebieg zmian średniego zapopielenia koncentratu w zależności od częstotliwości pulsacji osrodka wodnego w osadzarku z układem regulacji PULS-83

Fig. 4. The example of relation between average ash content in concentrate and frequency of water pulsation in a jig with control system PULS-83

Na rys. 4 przedstawiono przykładowy przebieg zmian średniego zapozielenia koncentratu w zależności od liczby pulsacji ośrodka wodnego. Charakterystyka 1 wyznaczona została przez personel techniczny zakładu przeróbki mechanicznej węgla w drodze pobierania prób koncentratu a następnie spalaniu pobranych prób. Charakterystyka 2 wyznaczona została na podstawie mierzonych krzywych rozkładu frakcji densymetrycznych. Przesunięcie charakterystyk wynika ze sposobu wyznaczania drugiej charakterystyki.

LITERATURA

- [1] Cierpisz S., Zapała W.: On optimal control of coal separation in jigs. 8-th International Conference on Process Control in Mining, ICAMC'86.
- [2] Nawrocki J.: Budowa i eksploatacja osadzarek. Skrypt Pol. Śl. nr 408, Gliwice 1972.
- [3] Identyfikacja nadawy i procesu wzbogacania w osadzance. Etap III. Praca NB-164/RG-1/80. Gliwice, 1985 (niepublikowana).
- [4] Opracowanie algorytmów przetwarzania informacji oraz oprogramowania mikroprocesorowego modułowego systemu dyspozytorskiego kontroli i sterowania w zakładzie przeróbki mechanicznej węgla. Etap 3.1. Praca NB-404/RG-1/86. Gliwice 1986 (niepublikowana).

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zygfryd NOWAK

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1987 r.

ИЗБРАННЫЕ ВОПРОСЫ ЗАМЕРА ПЛОТНОСТИ СЛОЕВ ОБОГАЩАЕМОГО МАТЕРИАЛА
С ПОМОЩЬЮ ПОПЛАВКА В ПОСТЕЛИ ОТСАДОЧНОЙ МАШИНЫ

Р е з ю м е

В докладе содержится информация о реализации исследовательских работ по новому решению системы автоматического управления отсадочной машиной.

Представлены некоторые вопросы, связанные с применением поплавка в качестве датчика положения слоя необходимой плотности в постели отсадочной машины. Представлена концепция новой системы разгрузки продуктов обогащения с использованием замера разложения денсимметрических фракций угля в постели отсадочной машины. Действие системы обеспечивает стабилизацию содержания золы в концентрате. Отмечается, что применение нескольких поплавковых датчиков в постели отсадочной машины обеспечивает возможность определения эффективности процесса отсадки. Принцип действия систем разгрузки продуктов обогащения, применяемых в настоящее время и предлагаемая новая система изображены на прилагаемых иллюстрациях.

SOME PROBLEMS OF THE MEASUREMENT OF THE DISTRIBUTION OF COAL DENSITY LAYERS IN A JIG BASED ON APPLICATION OF FLOAT SENSOR

Summary

The paper presents the results of the research work which is in progress. This work is carried out in order to achieve new solution of control system of coal separation in a jig. The paper presents selected problems which are connected with application of float to determine the position of density layers in a jig. The new idea of control system in order to achieve the stabilization of ash content in concentrate is presented. This control system is based on the measurement of the position of density layers in a jig. The application of few floats in order to measure the position of density layers allows to estimate the efficiency of coal separation in a jig. The graphic illustration of the principle of operation of the present-day type of heavy material discharge and the new type of products discharge are presented.

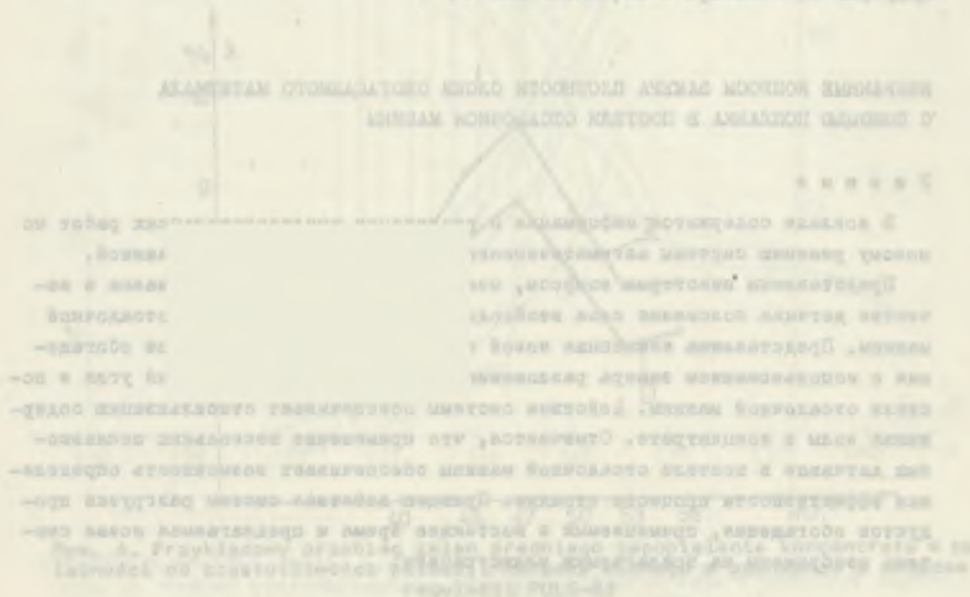


Fig. 2. The principle of operation of the float sensor in the jig.