

Józef Wojnarowski,
Manfred Chmurawa,
Krzysztof Grajek

Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn
Politechnika Śląska w Gliwicach

BADANIE KSZTAŁTU PRZEKROJU RUCHU ZWIERCIADŁA WODY W ODSADZARCE TYPU ODM-18

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badania kształtu przebiegu ruchu zwierciadła wody w osadzarce typu ODM-18. Po wykazaniu stochastycznego charakteru zjawiska osadzania przedstawiono model teoretyczny procesu wzbogacania grawitacyjnego w oparciu o ruch środka masy. Na podstawie przeprowadzonych badań postawiono hipotezę o wpływie niesymetrycznego ruchu zwierciadła wody na jakość wzbogacania.

1. Wstęp

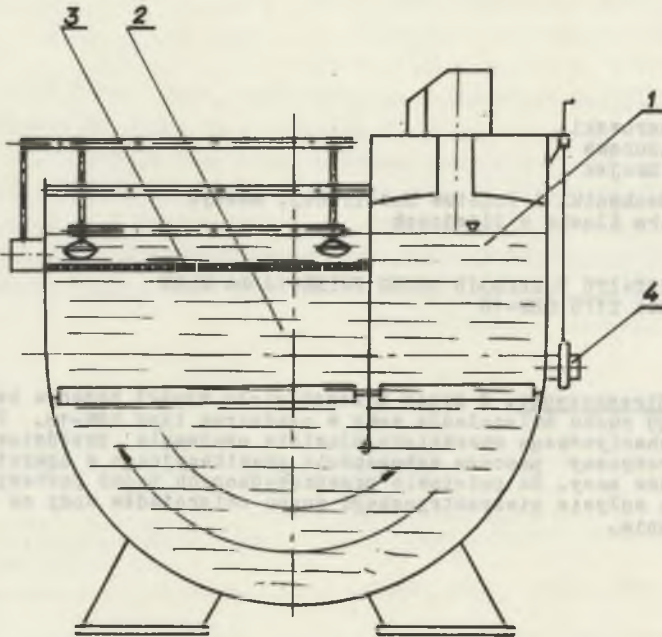
Obecne metody mechanicznego urobku węgla powodują dużą zawartość miazły w wydobytej kopalinie. Miazła ten jest zanieczyszczony skałą płoną i piaskiem podsadzkowym. Dla przywrócenia pełnych wartości należy poddać go procesowi wzbogacania. Metody wzbogacania oparte są na różnych właściwościach fizycznych materiału wzbogacanego i zanieczyszczeń. Produktami wzbogacania mogą być: ziarna lekkie (węgiel), ziarna pośrednie (przerosty), ziarna ciężkie (skała płona) [1].

Żadna ze znanych metod wzbogacania nie prowadzi do zupełnego rozdzielu ziaren [2], stąd ważnym problemem staje się zagadnienie doboru optymalnych parametrów pracy urządzenia wzbogacającego ze względu na kryterium jakości wzbogacania i wydajności procesu.

Osadzanie [1, 2], zwane też wzbogacaniem grawitacyjnym, wykorzystuje zjawisko różnych prędkości opadania ziarn węgla i skały płonej w ośrodku wodnym. Proces osadzania odbywa się w maszynach zwanych osadzarkami.

Osadzarka [1] jest maszyną hydrauliczną, w której mieszalinę ziaren o różnym ciężarze właściwym poddaje się osadycznemu lub pulsacyjnemu działaniu wody w celu rozdzielu masy ziaren na warstwy według ciężarów właściwych.

Osadzarka bezłokowa typ ODM-18 (rys.1) zbudowana jest w postaci skrzyni z zaokrąglonym dnem podzielonej na dwie komory: komorę powietrzną 1 i komorę roboczą 2. Do komory roboczej na sito 3 doprowadzana jest nadawa czyli mieszanina węgla i skały płonej. Na skutek okresowego doprowadzania do komory 1 sprężonego powietrza występuje pulsujący ruch wody w komorze



Rys. 1. Schemat osadzarki bezłokowej

1 - komora powietrzna, 2 - komora robocza, 3 - sito, 4 - króciec wody dolnej

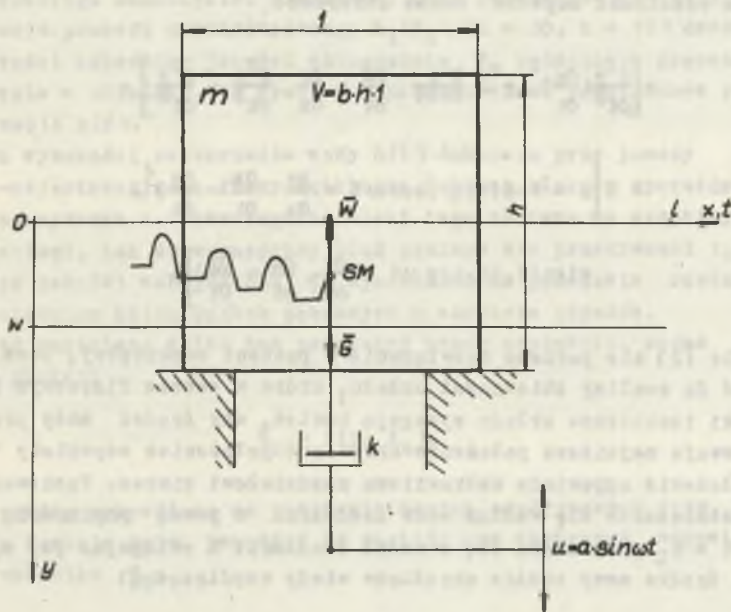
roboczej. Rucho ten powoduje unoszenie i rozwarstwienie ziaren według ciężarów właściwych. Przez króciec 4 doprowadza się tzw. wodę dolną polepszającą warunki rozdziału ziaren. Ponieważ ilość nadawy w czasie jest różna, a dla przeprowadzenia właściwego procesu rozdziału potrzebna jest stała grubość warstwy, dlatego osadzarka posiada układ automatycznej regulacji zapewniający stałość poziomu odpadów.

Pomiary przeprowadzono na osadzarce bezłokowej typu ODM-18 pracującej w KWK "Zofiówka" o następujących parametrach technicznych:

- klasa ziarnowa węgla	10 - 20 mm,
- wydajność	5000 kg/min,
- maksymalna wydajność wygarniaka odpadów	2000 kg/min,
- maksymalna wydajność wygarniaka produktu pośredniego	1700 kg/min,
- liczba obrotów zaworów powietrznych	26 - 62 obr/min,
- zakres obrotów wygarniaka	0 - 15 obr/min,
- liczba zaworów powietrznych	4

2. Proces osadzania jako proces stochastyczny

Zjawisko osadzania ze względu na skomplikowany charakter i dużą liczbę parametrów jest trudne do opisu analitycznego. Modele teoretyczne proponowane w literaturze [2, 3] nie są zbyt adekwatne do rzeczywistości. Dlatego w rozważaniach zaproponowano model procesu w postaci przemieszczającej się objętości $V = b \cdot h \cdot l$ wyciętej z warstwy nadawy o wysokości h , szerokości b i długości l (rys. 2).



Rys. 2. Model procesu wzbogacania grawitacyjnego

Zakłada się rozmieszczenie ziarn węgla i skały płonej o masie całkowitej "m" w sposób przypadkowy, oraz że masa "m" nie zmienia się przy przemieszczaniu objętości V wzdłuż sita osadzarki. Zakłada się również, że masa skupiona jest w środku masy "SM". Na środek masy działają siły ciężaru G, wyporu W oraz wymuszenia dynamicznego pochodzącego od ruchu wody w układzie. Umieszczając układ współrzędnych (x, y, t) w punkcie, jaki zajmował środek masy w chwili początkowej osadzania, można napisać równanie ruchu środka masy rozpatrywanej objętości V:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = H \left[G - W - b \left(\dot{y} - \frac{dy}{dt} \right)^2 \cdot \text{sign} \left(\dot{y} - \frac{dy}{dt} \right) \right], \quad (1)$$

gdzie:

$$\left[G - W - b \left(\dot{u} - \frac{Dy}{Dt} \right)^2 \cdot \text{sign} \left(\dot{u} - \frac{Dy}{Dt} \right) \right] = A,$$

$$H[A] = 0 \quad \text{dla} \quad A > 0,$$

$$H[A] = A \quad \text{dla} \quad A < 0,$$

$$\dot{u} = a \cdot \omega \cdot \cos \omega t.$$

Rozpisując różniczkę zupełną można otrzymać:

$$\begin{aligned} m \left[\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \left(\frac{\partial x}{\partial t} \right)^2 + 2 \frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t} \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial x} \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} + \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right] = \\ = H \left[G - W - b (a \cdot \omega \cdot \cos \omega t - \frac{\partial y}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} - \frac{\partial y}{\partial t})^2 \cdot \right. \\ \left. \cdot \text{sign} (a \cdot \omega \cdot \cos \omega t - \frac{\partial y}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial t} - \frac{\partial y}{\partial t}) \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

Równanie (2) nie posiada rozwiązania w postaci zamkniętej, lecz może ono służyć do analizy zbieżności układu, która w sensie fizycznym istnieje. Warunki techniczne układu wymagają bowiem, aby środek masy przy $t \rightarrow \infty$ osiągnął swoje najniższe położenie określone położeniem asymptoty "w". Najniższe położenie odpowiada oalkowitemu rozdziałowi ziaren. Ponieważ objętość V przemieszcza się wzdłuż sita osadzarki z pewną prędkością $v(t)$, więc dla $t = t_L$ przemieści się o moduł osadzarki L osiągając jej wyjście. Położenie środka masy będzie określone wtedy współrzędną:

$$z = w(1 - \alpha),$$

gdzie:

α dodatni parametr.

Jakość wzbogacania wymaga, aby dla $t = t_L$ α było bardzo małe.

Równanie (2), pomimo że było wyprowadzone dla modelu zdeterminowanego, posiada losowe parametry. Są nimi: wartość współczynnika tłumienia "b", który zależy od średnicy, kształtu i wzajemnego ułożenia ziaren oraz wartość amplitudy "a", która również ma pewne losowe odchylenia. Obie zmienne losowe nie są przy tym zmiennymi typu białego szumu i dla znalezienia ich charakterystyk należałoby empirycznie wyznaczyć ich parametry. Ze względu na trudności techniczne występujące przy pomiarze tych wielkości wybrano ruch zwierciadła wody jako proces stochastyczny będący wynikiem

wzajemnego oddziaływania wymuszenia i ruchu ziaren, a jednocześnie łatwy do zarejestrowania.

3. Sposób pomiaru

Parametrami pracy osadzarki zmienianymi w czasie pomiarów były ciśnienie powietrza wymuszającego "p" i ilość wody dolnej określona wskaźnikiem "i_z". Przez i_z oznaczono liczbę obrotów wrzeciona zasuwki wody dolnej od stanu oalkowitego zamknięcia. Dla każdej pary parametrów "p" i "i_z" zdjęto realizacje procesu stochastycznego h₁(t_k) (i = 30, k = 19) oraz wyznaczono wartości wskaźnika jakości wzbogacania $\bar{\eta}_k$ podającego procentową zawartość węgla w odpadach. Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe rejestracje realizacji h(t).

Pomiaru wysokości zwierciadła wody h(t) dokonano przy pomocy zestawu pomiarowo-rejestrującego firmy Hottinger. Schemat blokowy aparatury przedstawiono na rysunku 4. Poszczególne bloki tego zestawu na wysokiej jakości urządzeniami, tak że sumaryczny błąd pomiaru nie przekraczał 1,5%.

Wskaźnik jakości wzbogacania $\bar{\eta}_k$ wyznaczono na podstawie rozdziału cieczach ciężkich kilku próbek pobranych w warstwie odpadów.

Ponieważ zmieniano tylko dwa parametry pracy osadzarki, można założyć istnienie funkcji

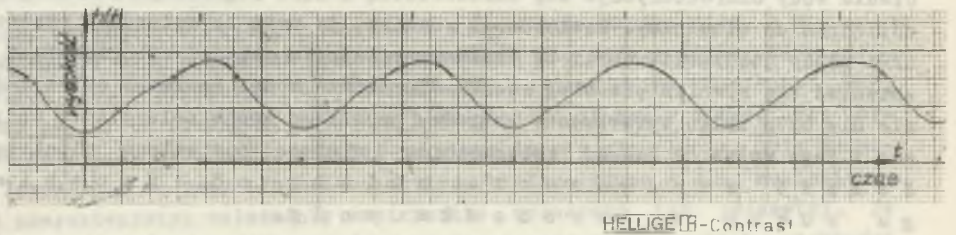
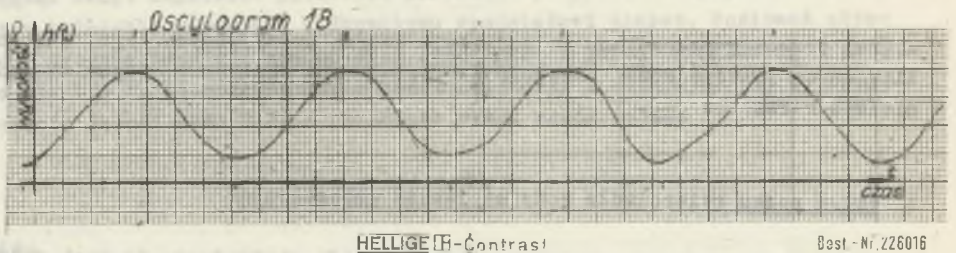
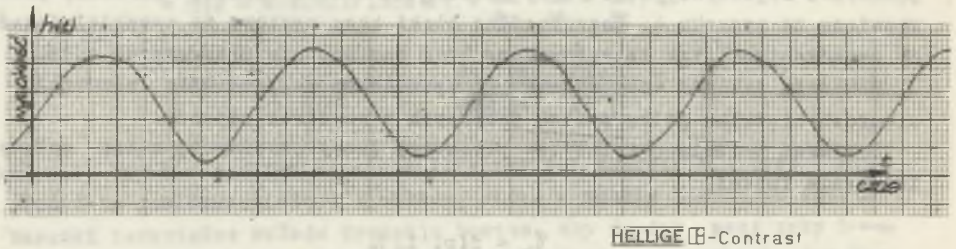
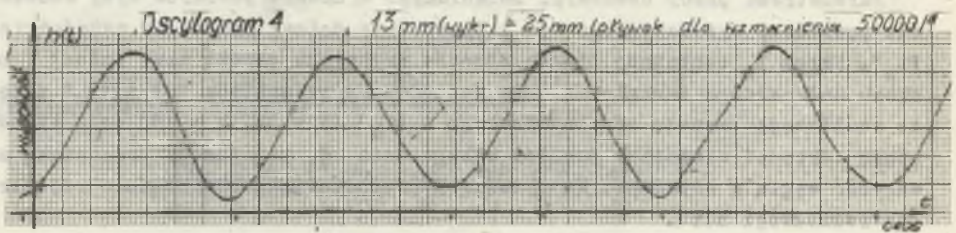
$$\bar{\eta}_k = f(p, i_z),$$

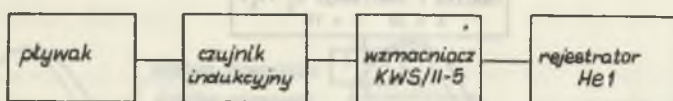
której przebieg wykreślono na podstawie danych empirycznych (rys. 5). Analizując tę funkcję można zauważyć że posiada ona ekstremum odpowiadające minimum wskaźnika $\bar{\eta}_k$.

4. Wpływ ruchu zwierciadła wody na jakość wzbogacania

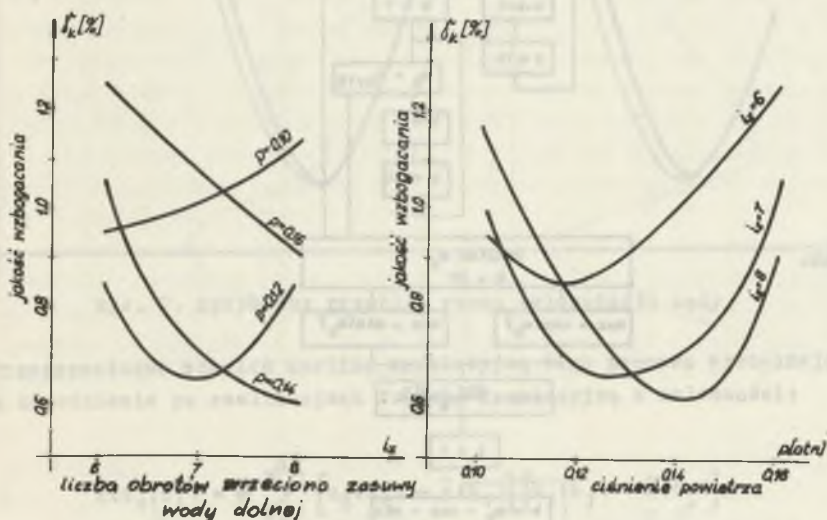
Analizując wyniki uzyskane w czasie pomiarów stwierdzono, że ruch zwierciadła wody charakteryzuje się okresowością i dość regularnym przebiegiem zbliżonym do sinusoidy. Stwierdzono również, że wraz ze zmianami parametrów pracy osadzarki, czyli ze zmianami wskaźnika jakości wzbogacania $\bar{\eta}_k$, zmieniał się również przebieg ruchu zwierciadła wody. Ponieważ celem badania nie było tylko sprawdzenie kształtu przebiegu ruchu zwierciadła wody, ale i jego wpływ na jakość wzbogacania, dlatego postawiono hipotezę: **J a k o ś ć w z b o g a c a n i a z a l e ż y o d p r z e b i e g u r u c h u z w i e r c i a d ł a w o d y.**

Dla wyznaczenia średniego przebiegu h(t_k) oraz dla sprawdzenia powyższej hipotezy skonstruowano algorytm postępowania przedstawiony na rysunku 6.

Rys. 3. Przykładowe przebiegi $h(t)$



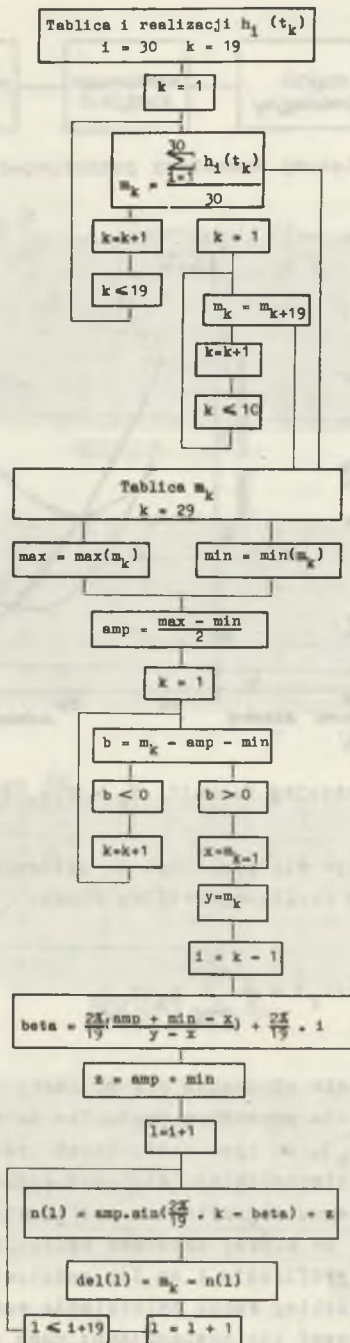
Rys. 4. Schemat blokowy aparatury pomiarowo-rejestrującej

Rys. 5. Przebieg funkcji $\eta_k = f(p, i_z)$

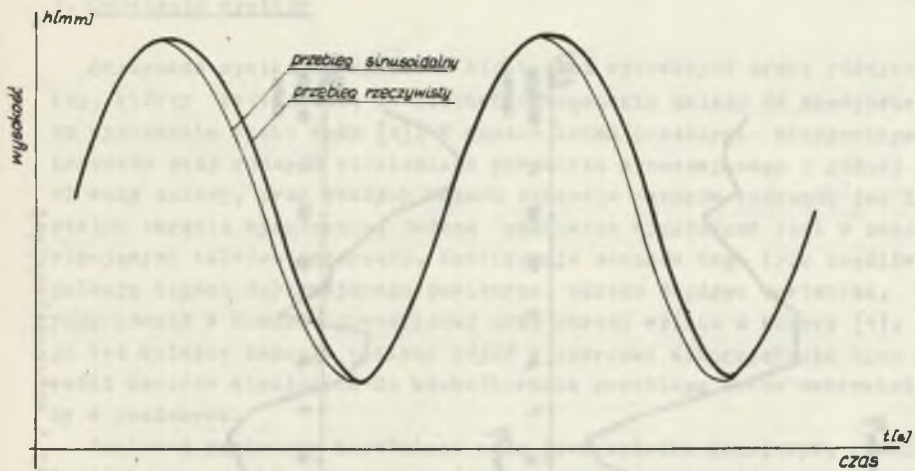
W algorytmie tym znajduje się procedura do obliczania wartości średniej metodą uśredniania po realizacji według wzoru:

$$\bar{h}(t_k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i(t_k). \quad (3)$$

W wyniku tego postępowania otrzymuje się przebieg wartości średniej w czasie. Następnie zastosowano procedurę poszukiwania wartości maksymalnej i minimalnej ze zbioru $h(t_k)$. Na tych wartościach oraz na okresie przebiegu skonstruowano przebieg sinusoidalny, względem którego mierzono odchylenia przebiegu rzeczywistego. Algorytm ten był podstawą do programu na maszynę cyfrową ODRA 1204, na której dokonano wszystkich obliczeń. Otrzymane wyniki przedstawiono graficznie i na ich podstawie uściślono poprzednią hipotezę. Optymalny przebieg ruchu zwierciadła wody określony minimum wskaźnika η_k powinien odbywać się następująco: ruch unoszenia winien odbywać się po sinusoidzie, a ruch opadania powinien rozpoczynać się później i odbywać po ekwidystansie do sinusoidy (rys. 7).



Rys. 6. Algorytm do programu



Rys. 7. Optymalny przebieg ruchu zwierciadła wody

Przeprowadzono również analizę korelacyjną tego procesu wyznaczając metodą uśredniania po realizacjach funkcję korelacyjną z zależności:

$$K(t_1, t_j) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [h_1(t_1) - \bar{h}(t_1)] [h_1(t_j) - \bar{h}(t_j)]. \quad (5)$$

Wyznaczono również funkcję autokorelacyjną metodą uśredniania po czasie z zależności:

$$K(\tau) = \frac{1}{m-k} \sum_{i=1}^{m-k} [h_1(t) - \bar{h}] [h_{1+k}(t) - \bar{h}], \quad (6)$$

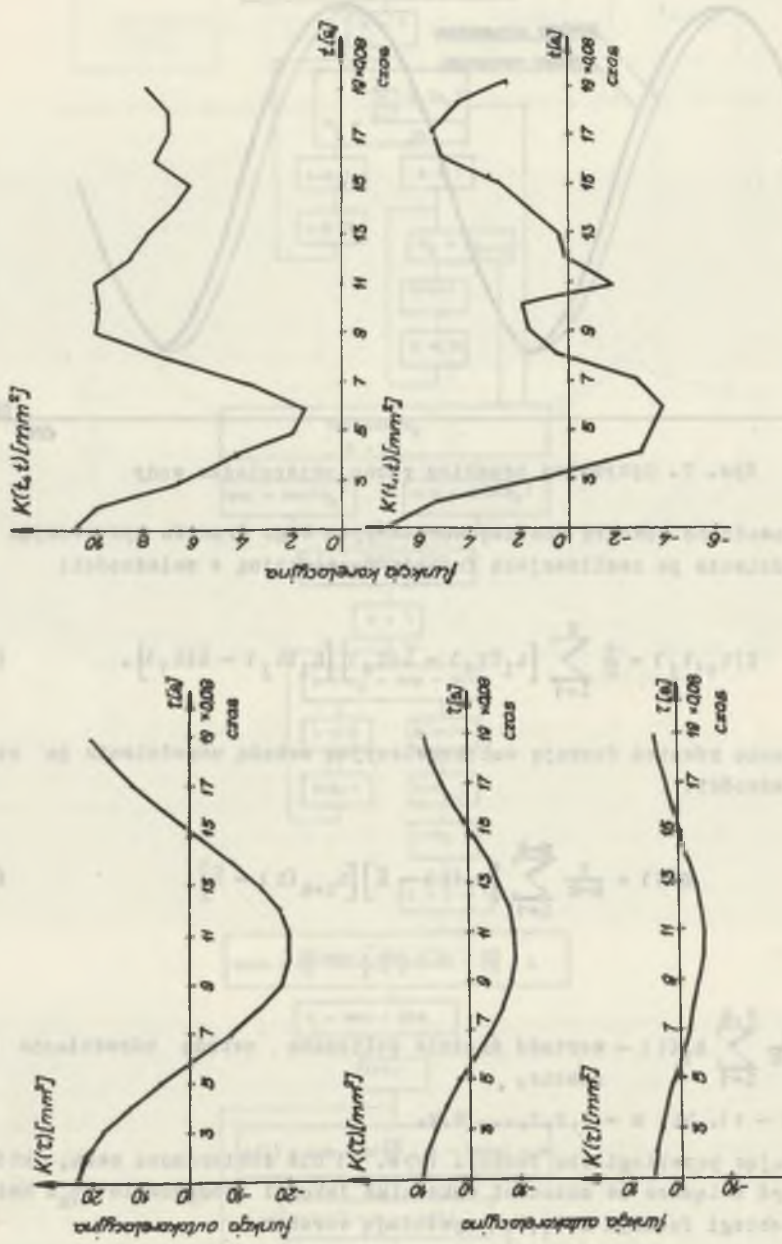
gdzie:

$$\bar{h} = \frac{1}{N \cdot k} \sum_{i=1}^{N \cdot k} h_1(t) - \text{wartość średnia obliczona metodą uśredniania po czasie,}$$

$$\tau = (k - 1) \cdot \Delta t, \quad m = 1, 2, 3, \dots, N \cdot k.$$

Analizując przebiegi obu funkcji (rys. 7) nie stwierdzono cech, które mogłyby być związane ze zmianami wskaźnika jakości zwoboczenia σ_k . Natomiast przebiegi funkcji $K(t_1, t_j)$ spełniają warunek

$$\lim_{(t_j - t_1) \rightarrow \infty \Delta t} K(t_1, t_j) \neq 0$$



Rys. 8. Przykładowe przebiegi funkcji korelacyjnej i autokorelacyjnej

5. Omówienie wyników

Otrzymane wyniki są zgodne z hipotezami wysuwanymi przez różnych badaczy, którzy twierdzili, że stopień wzbogacenia zależy od niesymetrycznego wymuszenia ruchu wody [1]. W czasie badań przebiegi niesymetryczne otrzymano przy różnych ciśnieniach powietrza wymuszającego i różnej jakości wody dolnej, przy stałych kątach otwarcia zaworów rozrządu jak i przy stałym okresie wymuszenia. Badana osadzarka wyposażona jest w zawory z wirującymi tulejami rozrządu. Konstrukcja zaworów tego typu umożliwia regulację ilości dopływającego powietrza, okresu dopływu powietrza, okresu rozprężania w komorze powietrznej oraz okresu wylotu z komory [1]. Dlatego też kolejne badania powinny pójść w kierunku wykorzystania tych możliwości zaworów wirujących do kształtowania przebiegu ruchu zwierciadła wody w osadzarce.

Ponieważ osadzarka napełniona wodą jest układem drgającym, również należałoby sprawdzić wpływ częstotliwości wymuszenia na jakość wzbogacania i wydajność osadzarki. W przeprowadzonych badaniach założono stałość tego parametru ze względu na fakt, że osadzarka pracowała w warunkach eksploatacyjnych.

6. Wnioski

1. Ruch zwierciadła wody charakteryzuje się słabą zmiennością określoną stosunkiem

$$r = \frac{S(t_k)}{h(t_k)},$$

gdzie:

$S(t_k)$ - wariancja procesu dla czasu t_k .

2. Dla wyznaczenia pełnych charakterystyk i dokładnego stwierdzenia ergodyczności takiego procesu należy rozpatrzyć bardzo długie realizacje.
3. Stwierdzono wpływ ruchu zwierciadła wody na jakość wzbogacania.
4. Ustalono, że odpowiednie zniekształcenie przebiegu ruchu wody wpływa na jakość wzbogacania.
5. W oparciu o uzyskane dane postuluje się prowadzenie badań nad wpływem niesymetrycznego ruchu zwierciadła wody na jakość osadzania.

LITERATURA

- [1] Dietrych J.: Osadzarki, PWT, Katowice, 1953.
- [2] Krukowiecki W.: Przeróbka mechaniczna rud, węgla, soli i innych kopalin. PWN, Warszawa-Kraków, 1970.
- [3] Stępieński W.: Wzbogacanie grawitacyjne. PWN, Łódź-Warszawa-Kraków, 1969.
- [4] Smirnow I.W., Dunin B.W.: Kurs rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej. PWN, Warszawa, 1968.
- [5] Świecznikow B.W.: Podstawowe metody funkcji losowych. PWN, Warszawa, 1965.
- [6] Chmurawa M., Grajek K., Wojnarowski J.: Niektóre problemy badań wpływu ruchu zwierciadła wody w osadzarko na jakość wzbogacania. Materiały Sympozjum: Metody stochastyczne w mechanice. z. 7, PTMTS (s.56-66) Gliwice, 1973.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ХОДА ДВИЖЕНИЯ ЗЕРКАЛА ВОДЫ
В ОТСАДОЧНОЙ МАШИНЕ ТИПА ОДМ-18

Р е з ю м е

В работе даны результаты исследования формы хода движения зеркала воды в отсадочной машине типа ОДМ-18. После выявления стохастического характера осаждения представлена теоретическая модель процесса гравитационного обогащения на основании движения центра массы. На базе проведенных исследований поставлена гипотеза о влиянии несимметрического движения зеркала воды на качество обогащения.

INVESTIGATIONS CONCERNING THE MOTION COURSE OF THE WATER SURFACE
IN AN ADM-18 JIG

S u m m a r y

The paper presents the results of investigations concerning the shape of the motion course of the water surface in an ODM-18 jig. Having shown up the stochastic character of the phenomenon of deposition, the authors represent a theoretical model of a gravitational jigging process, basing on the motion of the mass centre. From these investigations there has been derived a hypothesis of the influence of the unsymmetrical motion of the water surface upon the quality of enrichment.