

Artur FILIPOWICZ
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

BADANIA PRĘDKOŚCI TRANSPORTOWEJ ZIARN NA STOLE KONCENTRACYJNYM

Streszczenie. W referacie przedstawiono wyniki badań prędkości transportowej ziarn na stołach koncentracyjnych. Odniesienie uzyskanych wyników do kinematycznych charakterystyk napędu pozwoliło na stwierdzenie, że prędkość ziarn zależy od typu zastosowanego napędu i poprawności jego regulacji.

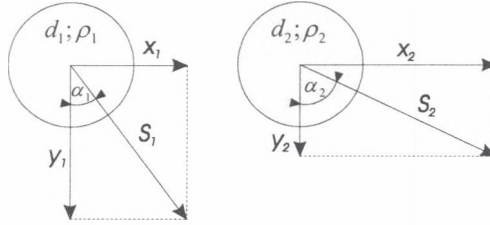
AN INVESTIGATION OF GRAIN FORWARD VELOCITY ON A CONCENTRATING TABLE

Summary. The results obtained from analysis of grain velocity on a concentratin tables are presented in this paper. With reference to drive characteristics it has been concluded that the grain forward velocity depends on a type of drive used and its proper adjustment.

1. Wprowadzenie

Wzbogacanie na stołach koncentracyjnych przebiega podczas wielu powtarzających się cykli, w których rozdzielane ziarna wykonują na płycie ruch o trajektorii wynikającej z rozkładu działających na nie sił. Nadawa przygotowana do wzbogacania składa się z ziarn różnej gęstości i wielkości oraz wody. Wzdłuż dłuższego boku płyty stołu znajduje się dozownik podający równomiernie wodę. Poprzeczne nachylenie stołu sprawia, że splywa ona prostopadle do kierunku drgań płyty. Płynąca woda powoduje, że znajdujące się na jej drodze ziarna poruszają się w kierunku nachylenia poprzecznego stołu. Na kierunku tym ziarna o mniejszej gęstości poruszają się szybciej od ziarn o gęstości wyższej. Ruch ziarn w kierunku wzdłużnym (równoległym do dłuższego boku płyty) wywoływany jest przez siły bezwładności wynikające z działania napędu stołu. Siła bezwładności działająca na ziarno może być skierowana „od” lub „do” napędu. W pierwszym przypadku siła ta po zerwaniu oporów ruchu ziarn powoduje ich przesuwanie się w pożądanym kierunku. Gdy siła bezwładności ma przeciwny zwrot, może dojść do zerwania oporów ruchu i przesuwania się ziarn wstecz, co w znacznym stopniu hamuje efekt rozdziału na stole [4].

Wynikiem działania na ziarna różnych sił poprzecznych i wzdłużnych jest zróżnicowanie ich drogi na płycie roboczej. Różnice te przedstawiono na rysunku 1. Widać, że dla ziarn o niższej gęstości ($d_1; \rho_1$) kąt α_1 jest mniejszy od kąta α_2 , a więc ziarna o niższej gęstości przebywają na stole drogę krótszą niż ziarna o gęstości wyższej i gromadzone mogą być już w pierwszej części komory odbiorczej.



Rys. 1. Schemat przemieszczania się ziarn o różnych gęstościach
Fig. 1. The diagram of moving of different density grains

Przyjęcie przedstawionego modelu ruchu ziarn pozwala na stwierdzenie, że prędkość materiału na kierunku prostopadłym do osi drgań regulowana może być kątem nachylenia poprzecznego płyty lub wydatkiem podawanej wzdłuż górnej krawędzi wody, a parametry te powinny być dobierane w taki sposób, by przy ustalonych prędkościach wzdłużnych w sposób optymalny wykorzystywać całą powierzchnię płyty roboczej [3].

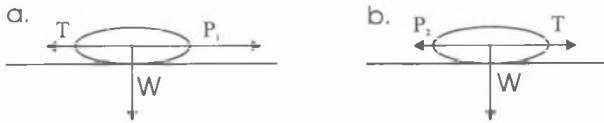
Opisane powyżej uwarunkowania ruchu ziarn nie zostały jak dotąd opisane jednolitą teorią pozwalającą na dobór wymiarów płyty, jej poprzecznego kąta nachylenia i wydatku wody dodatkowej w zależności od parametrów kinematycznych napędu.

Intensyfikacja rozdzielania materiału na stole jest możliwa przez zmianę charakterystyki kinematycznej napędu, a zwłaszcza, jak wykazują dotychczasowe badania, przez podniesienie stosunku przyspieszeń przy skrajnych wychyleniach płyty, oraz utrzymanie niskiej wartości przyspieszeń mogących powodować cofanie się ziarn [2, 4].

W pracy przedstawiono wyniki badań prędkości transportowej ziarn na płycie stołu koncentracijnego z napędem bezwładnościowo-udarowym cechującym się dużymi możliwościami regulacji parametrów drgań oraz wyniki badań uzyskane na stole koncentracijnym Wilfleya [1].

2. Warunki ruchu ziarn na płycie stołu koncentracijnego

Jak już wspomniano, dotychczas nie ma opracowanych wzorów opisujących ruch ziarna na stole. Wymienia się jedynie siły, jakie działają na ziarno. Głównymi siłami działającymi na ziarno wzdłuż stołu są: siła bezwładności P wynikająca z ruchu stołu, siła nacisku ziarna na stół W i siła tarcia T . Na rysunku 2 przedstawiono rozkład tych sił działających na ziarno zanurzone w wodzie podczas końcowej fazy ruchu stołu w przód i w tył.



Rys.2. Rozkład sił działających na ziarno wzdłuż stołu: a. przy ruchu w przód, b. przy ruchu w tył
 Fig.2. Distribution of forces acting the grain along the concentrating table: a. during the forward movement;
 b. during the back movement

Zgodnie z rysunkiem 2 warunkiem posuwu ziarna będzie:

$$P_1 > T = \mu W \quad (1)$$

gdzie: W - siła nacisku wynikająca z ciężaru ziarna pomniejszonego o siłę wyporu wody.

Ponieważ maksymalna wartość siły P_1 wynosi:

$$P_1 = A_1 V \rho_s \quad (2)$$

gdzie: A_1 - maksymalna bezwzględna wartość przyspieszenia stołu pod koniec ruchu w przód,

ρ_s - gęstość ziarna, V - objętość ziarna.

Po podstawieniu zależności (2) do wzoru (1) z uwzględnieniem siły tarcia i siły nacisku otrzymamy ostateczny warunek posuwu:

$$A_1 > \mu \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s} g \quad (3)$$

gdzie: ρ_w - gęstość wody.

Jednocześnie powinno się dążyć, by przy ruchu w tył nie dopuszczać do cofania się ziarn, gdyż obniżałoby to prędkość posuwu materiału wzdłuż stołu. By nie dopuścić do cofania się ziarn (rys. 1b), musi być spełniony warunek:

$$P_2 < T \quad (4)$$

Ostateczna postać warunku na niecofanie się ziarn to:

$$P_2 < T \Rightarrow A_2 < \mu \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_s} g \quad (5)$$

gdzie: A_2 - maksymalna wartość przyspieszenia pod koniec ruchu w tył.

Jak widać z tych dwóch warunków, o ruchu wzdłużnym ziarn decydować będą wartości przyspieszeń A_1 i A_2 , ich stosunek $S=A_1/A_2$ oraz współczynnik tarcia ziarn o powierzchnię stołu w wodzie.

3. Metodyka i materiały wykorzystane podczas badań

Do badań prędkości wykorzystano stanowisko badawcze składające się z ramy bezwładnościowo-udarowego stołu koncentracyjnego [4] i zamocowanego do niej koryta wykonanego ze sklejki i wyłożonego typową wykładziną stosowaną w stołach: gumą lub warstwą pleksi. Koryto wypełniano kilkumilimetrową warstwą wody. Podczas badań prędkości w określonym miejscu podawano porcję ziarn ($1\div 3$ [g]) i po uruchomieniu urządzenia mierzono czas przejścia odcinka o ustalonej długości. Ponieważ prędkość ziarn nie była jednakowa, pomiar dokonywany był dla czoła ziarn, czyli dla ziarn poruszających się najszybciej. Pomiary wykonywane były dla różnych częstości drgań i różnych rozmiarów strefy nieczułości e dla odbojnika, który we wcześniejszych badaniach dotyczących kinematyki napędu pozwalał na uzyskiwanie maksymalnych wartości stosunku przyspieszeń [2].

Stół koncentracyjny z napędem bezwładnościowo-udarowym pozwalał na uzyskiwanie stosunku przyspieszeń wyższego od $S=5$ dla rozmiaru strefy nieczułości $e=4$ [mm] i częstości drgań 25-28 [rad/s]. Po zamontowaniu płyty roboczej, ze względu na wzrost masy drgającej, częstość, przy której uzyskiwano maksymalne wartości stosunku S , obniżała się do 23-25 [rad/s].

Badania porównawcze przeprowadzono na stole z napędem Wilfleya wykorzystując podaną powyżej metodykę. Zastosowany napęd pozwalał na uzyskiwanie niezależnego od częstości drgań stosunku przyspieszeń $S=2,44$. Dla obydwu napędów nadmierny wzrost częstości wymuszenia prowadził do podniesienia dodatnich wartości przyspieszeń mogących powodować niespełnianie warunku (5) i cofanie się ziarn [4].

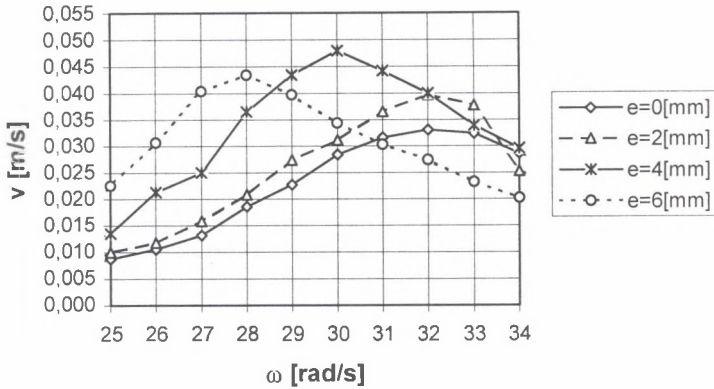
W badaniach wykorzystano dwa materiały o uziarnieniu 0,5-1 [mm], znacznie różniące się gęstością: galenę (PbS) - $7,06$ [g/cm³] i piasek kwarcowy - $2,62$ [g/cm³]. Współczynniki tarcia galeny i piasku zanurzonych w wodzie dla koryta wyłożonego gumą wynosiły odpowiednio 0,85 i 0,73, dla koryta wyłożonego wykładziną stosowaną w typowych stołach 0,71 i 0,67, a dla koryta pokrytego warstwą pleksi 0,6 i 0,7.

4. Wyniki badań

Na rysunkach 3 i 4 pokazano przebieg zależności prędkości wzdłużnej galeny i piasku dla koryta zamocowanego na ramie stołu koncentracyjnego z napędem bezwładnościowo-udarowym bez zamontowanej płyty roboczej.

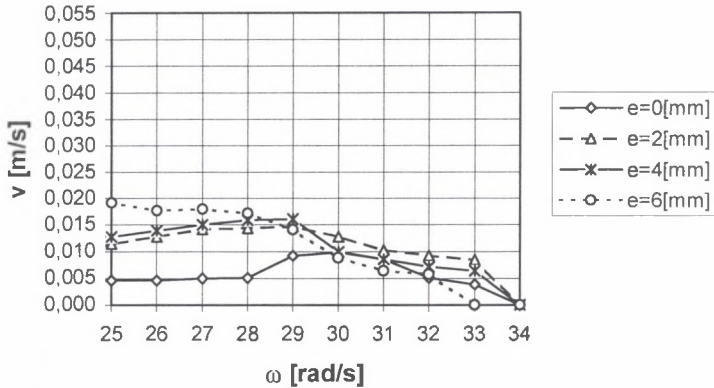
Jak wcześniej wspomniano, dla ramy stołu bez zamocowanej płyty najwyższy stosunek przyspieszeń przy skrajnych wychyleniach stołu S uzyskiwano dla częstości 25-28 [rad/s].

Częstość, przy której osiągnięta jest maksymalna prędkość ziarn galeny, to 30 [rad/s], a więc częstość bardzo zbliżona do optymalnej ze względu na kinematykę pracy napędu (stosunek przyspieszeń S). Powyżej tej częstości następuje wyraźny wzrost przyspieszenia mogącego powodować cofanie się ziarn (niespełniony warunek (5)), a więc pogarszanie efektów rozdziału, co na rys.3 zaobserwować można jako wyraźny spadek prędkości galeny. Najlepsze wyniki uzyskano dla rozmiaru strefy nieczułości $e=4$ [mm].



Rys.3. Przebieg prędkości ziarn galeny na stole z napędem bezwładnościowo-udarowym, w zależności od częstości drgań dla różnych rozmiarów strefy nieczułości (wykładzina)

Fig.3. The plot of galena grains velocity on the concentrating table with inertial-stroke drive depending on vibration frequency for different dimensions of insensibility zones (lining)

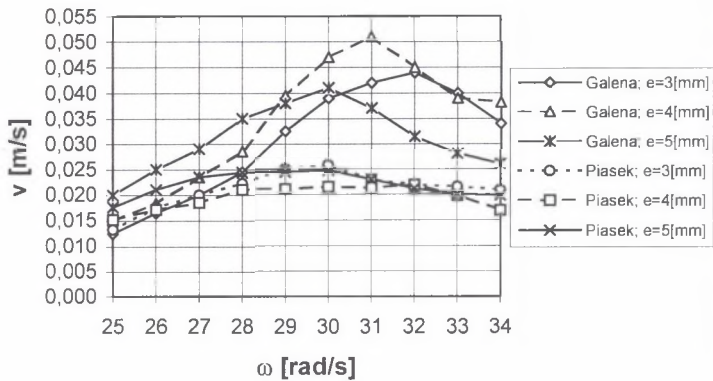


Rys.4. Przebieg prędkości ziarn piasku na stole z napędem bezwładnościowo-udarowym, w zależności od częstości drgań dla różnych rozmiarów strefy nieczułości (wykładzina)

Fig.4. The plot of sand grains velocity on the concentrating table with inertial-stroke drive depending on vibration frequency for different dimensions of insensibility zones (lining)

Przy tych samych parametrach pracy napędu prędkość transportowa piasku była niemal pięciokrotnie niższa (rys.4), co świadczy o możliwości zoptymalizowania procesu rozdzielania ziarn przez dobór właściwych parametrów pracy napędu.

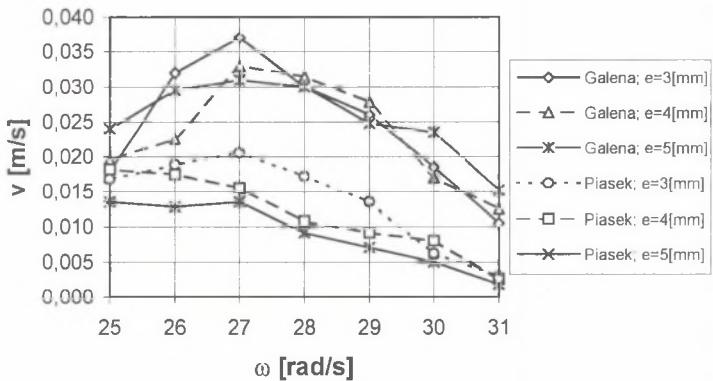
Po wymianie typowej wykładziny stołu na płytę gumową różnica prędkości pomiędzy ziarnami galeny i piasku obniżyła się. Na rysunku 5 pokazano przebieg zależności tej prędkości dla różnych częstości drgań i trzech rozmiarów strefy nieczułości e . Dla wykładziny gumowej stosunek prędkości ziarn galeny do prędkości ziarn piasku przy rozmiarze strefy nieczułości $e=4$ [mm] wyniósł ok. $v_g/v_p=2,4$, przy czym częstość drgań, przy której uzyskano najlepszy wynik, była prawie taka sama jak w przypadku pomiaru wykonywanego na wykładzinie.



Rys.5. Przebieg prędkości ziarn na stole z napędem bezwładnościowo-udarowym, w zależności od częstotliwości drgań dla różnych rozmiarów strefy nieczułości (guma)

Fig.5. The plot of grains velocity on the concentrating table with inertial-stroke drive depending on vibration frequency for different dimensions of insensibility zones (rubber)

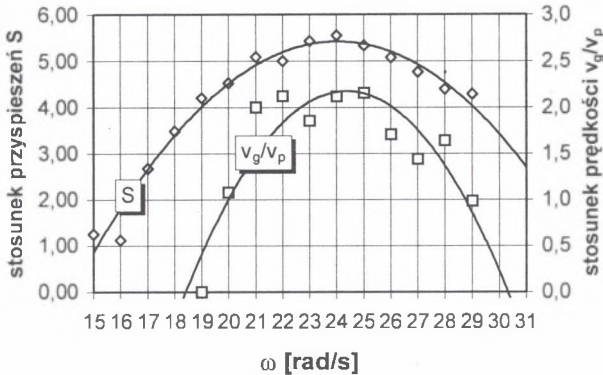
Jak już wspomniano, zamontowanie płyty roboczej powodowało obniżenie częstotliwości, przy której osiągnano najwyższy stosunek przyspieszeń przy ruchu stołu w przeciwnych kierunkach, do wartości 23-25 [rad/s]. Przebieg prędkości ziarn przy zmienionych w ten sposób parametrach pracy pokazano na rysunku 6. Widać, że częstotliwość, przy której uzyskano maksymalną prędkość ziarn galeny, obniżyła się do 27 [rad/s], a dla rozmiaru strefy nieczułości 4 [mm] stosunek prędkości ziarn galeny do prędkości ziarn piasku wynosił ok. $v_g/v_p=2$.



Rys.6. Przebieg prędkości ziarn na stole z napędem bezwładnościowo-udarowym z zamontowaną płytą roboczą, w zależności od częstotliwości drgań dla różnych rozmiarów strefy nieczułości (guma)

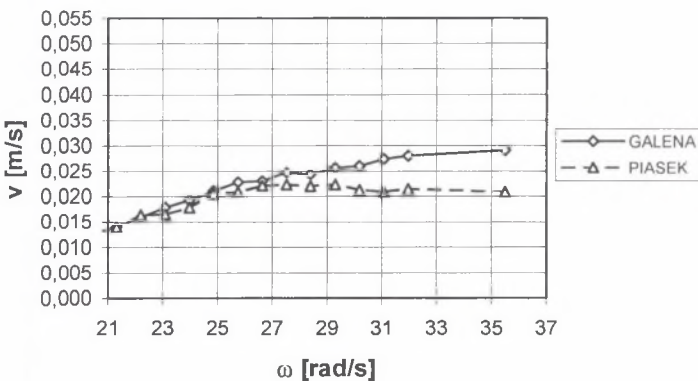
Fig.6. The plot of grains velocity on the concentrating table, equipped with working board, propelled with inertial-stroke drive depending on vibration frequency for different dimensions of insensibility zones (rubber)

Przeprowadzono także dodatkowe badania wpływu innych materiałów pokrywających dno koryta na prędkość transportową ziarn. Na rysunku 7 pokazano przebieg zależności stosunku prędkości ziarn galeny do prędkości ziarn piasku v_g/v_p w zależności od częstości drgań dla napędu bezwładnościowo-udarowego z zamocowaną płytą roboczą i korytem pokrytym warstwą pleksi.



Rys. 7. Zależność stosunku przyspieszeń i stosunku prędkości od częstości drgań (pleksi)
Fig. 7. Dependence of acceleration ratio and velocity ratio versus vibration velocity (plexiglass)

Można zauważyć, że nawet w przypadku pokrycia dna koryta warstwą materiału o właściwościach zupełnie innych niż guma lub typowa wykładzina stołu uzyskuje się stosunki prędkości v_g/v_p większe od 2. Na rysunku tym widać również omawiany wcześniej związek pomiędzy wartością stosunku przyspieszeń przy ruchu płyty w przeciwnych kierunkach S i stosunkiem prędkości ziarn galeny i piasku. Maksima obydwu przebiegów występują w tym samym zakresie częstości, co świadczy o wyraźnej zależności pomiędzy mechanicznymi parametrami pracy napędu a możliwymi do uzyskania efektami pracy stołu.



Rys. 8. Przebieg prędkości ziarn galeny i piasku na stole Wilfleya (guma)
Fig. 8. Velocity of grains of galena and sand on the Wilfley's concentrating table

Przedstawione wyniki porównano w wynikami badań uzyskanymi podczas pomiarów prowadzonych na najbardziej rozpowszechnionym na świecie stole koncentracyjnym z

napędem Wilfleya. Na rysunku 8 pokazano przebieg prędkości ziarn galeny i piasku dla różnych częstotliwości pracy stołu przy ustawieniu umożliwiającym osiągnięcie stosunku przyspieszeń $S=2,44$. Pomiarów przeprowadzono wykorzystując koryto pokryte gumą, a więc stosowane również przy prowadzeniu pomiarów przedstawionych na rysunkach 5 i 6.

Jak wynika z prezentowanych powyżej wyników, na stole koncentracyjnym z napędem bezwładnościowo-udarowym możliwy jest taki dobór parametrów drgań stołu, by stosunek prędkości ziarn galeny do prędkości ziarn piasku nie spadał poniżej 2.

W przypadku stołu koncentracyjnego z napędem Wilfleya dla częstotliwości 30 [rad/s] stosunek prędkości galeny do prędkości piasku wynosi zaledwie 1.45 (rys.8). Należy tu dodać, że przy wyższych częstotliwościach stosunek ten jest nieco większy, a jego najwyższa wartość wynosi 1.7. Ze względu na znaczne wartości przyspieszenia powodującego cofanie się materiału praca stołu w takich warunkach nie jest jednak możliwa (niespełniony warunek (5)).

5. Wnioski

Przedstawione wyniki wykazują związek pomiędzy wartością stosunku przyspieszeń przy ruchu płyty stołu w przeciwnych kierunkach i prędkością transportową ziarn wzbogacanych na stole koncentracyjnym.

Wzrost stosunku przyspieszeń umożliwia zwiększenie prędkości ziarn oraz podniesienie stosunku prędkości ziarn galeny do prędkości ziarn piasku powyżej wartości uzyskiwanych na typowym stole z napędem Wilfleya.

Najlepsze wyniki uzyskano wykorzystując typową wykładzinę stosowaną do pokrywania powierzchni roboczej stołów koncentracyjnych. Zastosowanie płyty gumowej lub pleksi pogarszało efekty pracy stołu określane jako stosunek prędkości ziarn galeny do prędkości ziarn piasku. W każdym z badanych przypadków stosunek ten był wyższy od osiąganego na stole koncentracyjnym Wilfleya, co świadczy o dużym wpływie kinematycznych parametrów pracy napędu na możliwe do osiągnięcia efekty wzbogacania.

LITERATURA

1. Banaszewski T., Blaschke J.: Kinematyka napędu Wilfleya. ZN AGH. Elektryfikacja i Mechanizacja Górnictwa i Hutnictwa, nr 224, z.33, Kraków 1969.
2. Filipowicz A.: Symulacyjne badania drgań stołu koncentracyjnego z napędem bezwładnościowo-udarowym. I Konferencja Automatyzacja Maszyn, Urządzeń i Procesów APRO'99. Krynica 1999.
3. Weiss N.L.: Mineral processing handbook. Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining and Petroleum Engineers, Inc. New York 1985.
4. Projekt badawczy KBN nr 7 S101 013 06 (1994-1996): Opracowanie teoretycznych podstaw wykorzystania drgań nieliniowych w stołach koncentracyjnych. Katedra Maszyn Górniczych i Urządzeń Utylizacji Odpadów AGH.

Recenzent: Doc. dr inż. Stanisław Błaszczczyński

Abstract

The quality of grain separation on a concentrating table depends primarily on the velocity of transportation in the direction parallel to the drive axis.

The results obtained from analysis of grain velocity on a concentratin table of nonlinear elasticity characteristics and on Wilfley table are presented in this paper. The materials of various specific gravity were used. With reference to drive kinematic characteristics it has been concluded that the grain forward velocity depends on the ratio of plate accelerations in opposite directions, thus indirectly on a type of drive used and its proper adjustment.