

Jerzy Nawrocki, Zygmunt Mościński,  
Ryszarda Sówka

WPLYW PARAMETRÓW HYDRODYNAMICZNYCH I TECHNOLOGICZNYCH  
NA SKUTECZNOŚĆ ROZDZIAŁU SUROWCA WĘGLOWEGO  
W WODNYCH BEZTŁOKOWYCH OSADZARKACH PULSACYJNYCH

**Streszczenie.** W artykule omówiono wpływ parametrów hydrodynamicznych warunkujących ruch pulsacyjny na skuteczność rozdziału. Dokonano analizy procesu wzbogacania, który kształtuje się w wyniku wzajemnego działania parametrów hydrodynamicznych i technologicznych.

Parametry osadzania wywierające wpływ na proces rozdziału materiału według gęstości można podzielić na technologiczne i hydrodynamiczne, jakkolwiek ścisłej granicy między nimi nie da się ustalić. Do technologicznych parametrów odnoszą się wszystkie czynniki związane z jakością jak i ilością wzbogacanego węgla takie jak skład ziarnowy, skład densymetryczny grubość łoża, czas wzbogacania. Do hydrodynamicznych zalicza się wszystkie czynniki warunkujące ruch oscylacyjny lub pulsacyjny. Źródłem wywoływania pulsacji wody jest sprężone powietrze. Rozwarstwienie łoża zależne jest nie tylko od działania sprężonego powietrza, ale również od wydatku i sposobu podania wody dolnej. Proces wzbogacania kształtuje się w wyniku wzajemnego działania parametrów technologicznych i hydrodynamicznych.

Ogólnie można stwierdzić, że w osadzarkach łatwiej wzbogaca się węgiel grubszych klas ziarnowych jak miał oraz, że skuteczność rozdziału maleje wraz ze zmniejszaniem się wymiarów ziarn. Wraz ze zmniejszaniem wymiarów ziarn wzrasta ich ilość na jednostkę objętości łoża. Wzrasta również prawdopodobieństwo stykania się ziarn różnych frakcji, a wraz z tym działanie sił dynamicznych. To prowadzi do zmniejszenia prędkości rozwarstwienia, zwiększenia rozproszenia, a więc do pogorszenia skuteczności rozdziału. Przytoczone w tablicy 1 wartości oparte na badaniach przeprowadzonych w osadzarce typu Baum we Francji potwierdzają te wnioski.

Podobną zależność wartości podają inni autorzy prac z tego zakresu na podstawie badań przeprowadzonych w wielu krajach. Zmiana składu ziarnowego w nadawie dostarczonej do osadzarek, przy zachowanych innych parametrach na niezmienionym poziomie, powoduje zmianę jakościowych wskaźników wzbogacania. Osiągnięcie odpowiedniego rozwarstwienia przy zmianie składu ziarnowego wymaga zmiany charakterystyki cyklu zależnego od ciśnienia sprężonego powietrza, wody dolnej i częstości. Regulacja automatyczna może stanowić próbę rozwiązania ciągłej zmiany wymaganych parametrów. Jakkol-

Tablica 1

Klasa mm	Gęstość rozdziału /g/cm <sup>3</sup>	Rozproszenie E	Imperfekcja J
50-20	1,81	0,10	0,12
20-6	1,95	0,18	0,19
6-3	2,10	0,22	0,20
3-1	2,10	0,28	0,25
50-1	2,00	0,185	0,185

wiek zmiany jakościowe związane ze zmianą składu ziarnowego odzwierciedlają się najwyraźniej w jakości produktów wzbogacania, to jednak automatyczna regulacja oparta o to źródło informacji jest niemożliwa do zrealizowania i dlatego źródłem informacji i impulsów jest stan łoża.

Dotychczas ustalono jedynie jakościowe związki zachodzące między klasą wzbogacanego węgla i skutecznością rozdziału, jednak materiałów badawczych, na podstawie których można by ustalić matematyczne zależności między składem ziarnowym a innymi parametrami wzbogacania - dotychczas nie ma.

Wpływ składu denzymetrycznego określają ilościowe zależności między wynikami analizy frakcyjnej nadawy i produktów wzbogacania. Zależności takie można ustalić tylko w oparciu o metody statystyki matematycznej analizując wpływ wahań parametrów wyjściowych na wejściowe traktując proces osadzania jako prawdopodobny. Wahania występujące w produktach wzbogacania można rozpatrywać jako wariancję przypadkowej wielkości wyjściowych wartości.

Jeżeli przez  $V_{xy}$  oznaczy się współczynnik korelacji pomiędzy dwoma przypadkowymi wielkościami,  $D_x$  - rozrzut jakiegokolwiek wskaźnika w nadawie stanowiący średnie kwadratowe odchylenie,  $D_y$  - średnie kwadratowe odchylenie tego samego wskaźnika w produkcie końcowym, to stopień wpływu wyjściowych wskaźników na końcowe b można określić

$$b = V_{xy} \sqrt{\frac{D_y}{D_x}}$$

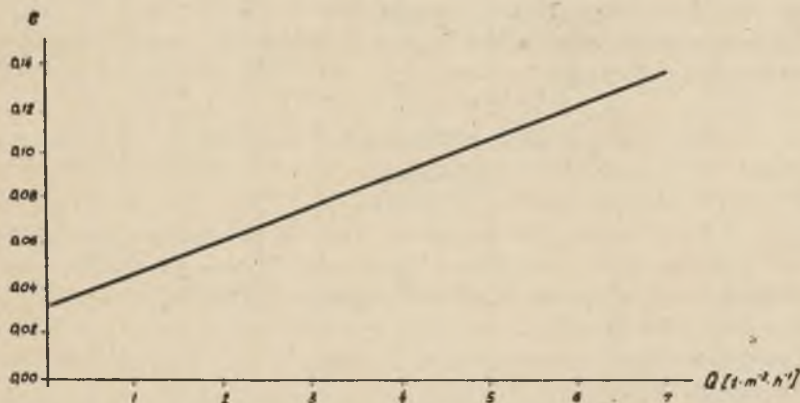
Rozrzut w produkcie końcowym  $D_y$  składa się z rozrzutu  $D_1$  wynikającego z wahań badanego wskaźnika w nadawie, oraz z rozrzutu  $D_2$  wynikającego z rozproszenia prawdopodobnego czyli pracy samej osadzarki lub wahań innych parametrów w nadawie.

$$D_y = D_1 + D_2$$

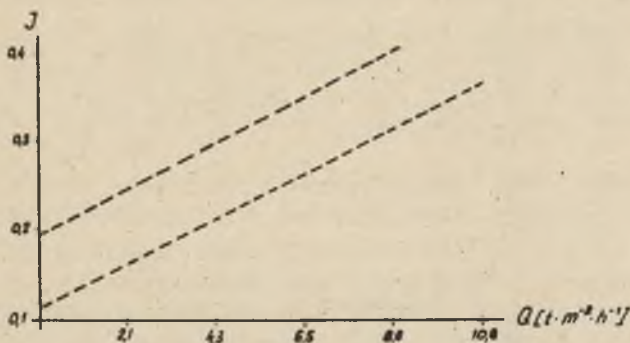
Ustalono, że wpływ składu densymetrycznego nadawy na wahania składu densymetrycznego produktów wzbogacanych stanowi maksymalnie 28%, pozostała część wahań spowodowana była niedokładnością pracy osadzarek i innych parametrów.

Grubość łoża z uwzględnieniem jego rozluźnienia i czasu przebywania węgla w osadzarce określają jej jednostkowe obciążenia - inaczej jednostkowa wydajność - czyli ilość nadawy przypadającej w 1 godzinie na  $1 \text{ m}^2$  roboczego koryta.

Bardziej prawidłowo byłoby jednostkową wydajność odnosić do jednostki szerokości roboczego koryta, gdyż różne odcinki roboczego koryta nie są jednoznaczne dla procesu wzbogacania z technologicznego punktu widzenia.



Rys. 1. Zależność wielkości rozproszenia prawdopodobnego od jednostkowego obciążenia



Rys. 2. Zależność wielkości imperfekcji od jednostkowego obciążenia wg odprowadzanych odpadów

Niektórzy autorzy proponują, aby dla określenia jednostkowej wydajności uwzględniać zarówno powierzchnię jak i szerokość koryta roboczego przy czym określać ją nie tylko w stosunku do nadawy, ale i procentowej zawartości w niej odpadów i produktu pośredniego. Według tego poglądu szerokość koryta określa tak zwaną przepustową wydajność osadzarki zależną jedynie od warunków transportowych materiału wzdłuż koryta bez uwzględnienia skuteczności rozdziału. Spotykane jednostkowe obciążenia wahają się w granicach 4-35 t/m<sup>2</sup>h.

Wraz ze zwiększeniem jednostkowego obciążenia maleje skuteczność rozdziału i wzrasta rozproszenie prawdopodobne oraz imperfekcja, co wskazują wykresy z przeprowadzonych badań, przy czym wykres dotyczący imperfekcji uwzględnienia jednostkowe obciążenie w odniesieniu do wydzielanych produktów ciężkich. Wyniki badań pokazano na rysunkach 1 i 2.

Zależność matematyczną pomiędzy wydajnością osadzarki, a skutecznością rozdziału można wyrazić wzorem

$$Q = \frac{3600 K V \bar{r} B H L}{\ln \frac{Y_{\max}}{Y_{\max} - Y_m}},$$

gdzie:

- V $\bar{r}$  - średnia prędkość ruchu materiałów wzdłuż koryta (m/s),
- B - szerokość koryta (m),
- H - wysokość łoża (m),
- L - długość koryta (m),
- K - wielkość charakteryzująca szybkość przebiegania procesu rozdziału zależna od właściwości nadawy i parametrów osadzarki (m<sup>-1</sup>).

Wielkość K oznacza się eksperymentalnie.

Wyrażenie  $\ln \frac{Y_{\max}}{Y_{\max} - Y_m}$  jest kryterium skuteczności rozdziału i charakteryzuje stopień zbliżenia środka ciężkości mieszaniny ziarn do jego granicznego położenia, tj. do stanu kiedy łożo będzie idealnie rozwarstwione, a wzajemnie zanieczyszczenie poszczególnych frakcji równe będzie zeru. Zatem im mniejsza będzie różnica  $Y_{\max} - Y_m$ , tym dokładniej będzie przeprowadzony rozdział.

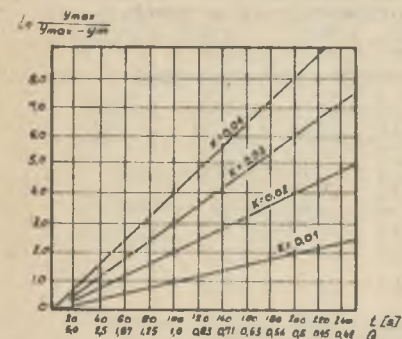
Przy tym  $\ln \frac{Y_{\max}}{Y_{\max} - Y_m}$  będzie wzrastać, a w konsekwencji wydajność osadzarki będzie maleć. Powyższe zależności charakteryzuje rysunek 3.

Teoretyczne rozważania i materiały doświadczalne potwierdzają, że zmniejszenie obciążenia prowadzi do wzrostu skuteczności rozdziału przy niezmiennych innych parametrach.

Idealne rozwarstwienie ustąpiłoby przy nieskończonej ilości pulsacji tj, przy  $t \rightarrow \infty$ . Jednakże wyniki doświadczeń w warunkach laboratoryjnych - wskazują, że już po 3 minutach rozwarstwiania łoża w pulsującej strudze rozproszenie ziarn stabilizuje się praktycznie lub zmienia się w bardzo

niewielkich granicach. Drugim ograniczeniem przedłużania okresu rozwarstwiania są straty frakcji lekkich, które przedostają się pod sita koryta roboczego. Ogniwem określającym wzajemny związek między parametrami technologicznymi a hydrodynamicznymi jest stopień rozluźnienia łoża, które posiada swoje optimum wtedy, gdy skuteczność rozdzielu osiąga pożądane maksimum.

Jednak rozluźnienie łoża w przemysłowej osadzarce może być określone w jakiejś uśrednionej wielkości ponieważ zmienia się w czasie i okresie każdego cyklu w przestrzeni łoża wzdłuż jego wysokości i długości. Techniczne określenie rozluźnienia również praktycznie jest bardzo trudne. Łatwiejszym do określenia wskaźnikiem jest prędkość ruchu wznoszącego, a rozluźnienie łoża jest jego funkcją. Wskaźnik ten jednak jest również zmienny od zera do maksimum w



Rys. 3. Zależność skuteczności rozdzielu od jednostkowego obciążenia

sposób zależny od przyjętego cyklu osadzania i dlatego nie jest jednoznaczny w takim stopniu, by przy jego pomocy można było ustalić wzajemne zależności między hydrodynamicznymi i technologicznymi parametrami. Cykl osadzania charakteryzujący się pionowym przemieszczaniem wody w czasie i pulsacji również nie musi stanowić kryterium skuteczności wzbogacania bez znajomości jego okresu i częstości. Wszystkie technologiczne i hydrodynamiczne parametry są ściśle wzajemnie uzależnione. Zwiększenie na przykład ciśnienia sprężonego powietrza powoduje zwiększenie amplitudy i w konsekwencji prowadzi do większego rozluźnienia łoża. Ale ten sam efekt może być osiągnięty przy zwiększeniu wody dolnej, zmianie składu ziarnowego nადawy lub zmniejszeniu jednostkowego obciążenia. Dlatego rozpatrywanie wpływu poszczególnych parametrów przeprowadza się przy założeniu, że pozostałe są stałe i niezmiennie. Natomiast dla oceny stopnia wpływu czyli istotności i kierunku należy porównać wyniki wzbogacania przy różnym ustawieniu wszystkich parametrów.

Określenie wpływu parametrów hydrodynamicznych przez poszczególnych autorów jest następujące.

Cykl powietrzny charakteryzuje się okresem wlotu i wylotu oraz pauzą między nimi, ciśnieniem powietrza, częstością pulsacji. W wyniku różnego ustawienia wymienionych czynników zmieniają się także hydrodynamiczne parametry jak amplituda pulsacji wody, wysokość podniesienia łoża, maksymalna i minimalna różnica poziomów wody w przedziale roboczym i powietrznym, maksymalne prędkości przy ruchu wznoszącym i opadającym i sumaryczny parametr, stopień rozluźnienia łoża.

Zależność wynikowych parametrów od kształtu cyklu obrazuje tablica 2.

Tablica 2

Cykl	Sto- sunek wlotu do wy- lotu	W y n i k i						Stopień rozluź- nienia łoża cm/sek
		Ampli- tuda	Wzniesie- nie łoża	Różnice pozio- mów zwiercia- dła wody		Maksymalna prędkość ruchu strugi		
				Maks. mm	Min. mm	Wzn. cm/s	Opadaj. cm/s	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm/s	cm/s	
33-00-67	2,0	69	44	374	168	18,0	12,0	80,0
40-00-60	1,5	71	45	383	172	18,0	13,2	84,0
50-00-50	1,0	78	45	499	269	13,5	16,5	89,2
60-00-40	0,67	70	34	540	332	10,8	16,2	73,2
30-10-60	2,0	67	43	344	146	18,0	11,6	74,0
36-10-54	1,5	73	47	384	169	18,0	13,8	84,8
45-10-45	1,0	78	45	475	244	14,6	15,2	93,2
54-10-36	0,67	68	32	534	336	10,6	14,8	68,4

Tablica 3

Liczba pulsacji na min.	Ciśnie- nie po- wietrza	W y n i k i					Stopień rozluź- niania łoża cm.sek. min
		Ampli- tuda	Wniesie- nia łoża	Maksymalna prędkość ruchu strugi cm/sek			
				wznosz.	opadaj.		
mm H <sub>2</sub> O	mm	mm	mm	mm	mm		
30	500	76	51	13,6	12,4	94,5	
40	500	69	31	12,3	9,1	56,4	
60	500	26	21	10,3	5,6	20,0	
30	650	111	84	19,1	19,3	166,0	
40	650	74	52	17,2	14,4	105,0	
60	650	36	21	14,1	8,1	40,9	
30	800	149	121	25,4	27,0	249,0	
40	800	99	76	22,7	20,1	164,0	
60	800	49	33	18,3	13,0	72,5	

Badania przeprowadzono przy założeniu 40 pulsacji na minutę i ciśnienia sprężonego powietrza 650 mm H<sub>2</sub>O. Cykle z zastosowaniem obrotowych zaworów oznaczono umownie przyjmując pełny obrót za 100%.

Na przykład 30-10-60 oznacza 30% wlot, 10% pauza, 60% wlot. Analizując wyniki można stwierdzić, że przy zmniejszeniu okresu wylotu zmniejsza się maksymalna prędkość wznoszącej strugi i zwiększa się maksymalna prędkość opadającej strugi. Największa amplituda pulsacji występuje przy cyklu 60-00-50 lub 45-10-45, a maksymalny stopień rozwarstwienia między cyklami 50-00-50 i 40-00-60 lub przy cyklu z niewielką pauzą 45-10-45 i 36-10-54. Przy dalszym zwiększaniu okresu wylotu stopień rozluźnienia łoża obniża się.

Zależność wynikowych parametrów od częstości pulsacji i ciśnienia sprężonego powietrza obrazuje tablica 3.

Z analizy wynika, że wraz ze zmniejszaniem częstości pulsacji zmniejsza się amplituda pulsacji, wzniesienie łoża, prędkość wznoszącej i opadającej strugi i stopień rozluźnienia łoża. Zwiększenie częstości pulsacji wpływa na zwiększenie stabilności układu hydrodynamicznego, lecz rozluźnienie łoża przy tym się zmniejsza.

Zmiana ciśnienia jest proporcjonalna do zmiany wynikowych parametrów układu. Przy małej częstości pulsacji można większy stopień rozluźnienia przy mniejszych ciśnieniach.

Zależność wynikowych hydrodynamicznych parametrów od zmiany ciśnienia sprężonego powietrza przy stałej częstości pulsacji 30 na minutę obrazuje tablica 4.

Tablica 4

Cykl	Ciśnienie powietrza  mm H <sub>2</sub> O	W y n i k i				
		Amplituda  mm	Wzniesienie łoża  mm	Maksymalna prędkość ruchu strugi cm/sek		Stopień rozluźnienia łoża cm, sek/min
				wznosz.	opadaj.	
40-00-60	520	96	72	17,5	16,4	142
40-00-60	390	82	55	16,2	13,5	117
50-00-50	520	98	68	16,0	17,7	152
50-00-50	390	83	56	15,1	14,8	128
60-00-40	650	76	51	13,6	12,4	94,5
60-00-40	520	87	53	13,7	16,6	137
60-00-40	390	76	45	13,2	12,5	115

Podawanie wody dolnej ma dwójakie znaczenie; jako istotny czynnik układu hydrodynamicznego osadzarki i transportu materiału wzdłuż łoża osadzarki. Jednostkowy rozchód wody dolnej można wyrazić jako funkcję jej pionowej prędkości.

Przyjmując średnio, że dla jednostkowej wydajności osadzarek nowszej konstrukcji jednostkowa wydajność wynosi 15 t/m<sup>2</sup> h, a rozchód wody dolnej 3 m<sup>3</sup>/t to odpowiadająca temu prędkość pionowa równa będzie 1,25 cm/sek.

Maksymalne szybkości wznoszącej i opadającej strugi wahają się w granicach 18-20 cm/sek, zatem bezpośredni udział wody dolnej w wywołaniu tych prędkości wyniesie 7-11%. Zwiększenie ilości wody dolnej zwiększa nieco amplitudę pulsacji, szybkość wznoszącej strugi i stopień rozluźnienia łoża.

Jej wpływ na prędkość opadającą strugi jest nieznaczny, co tłumaczy się tym, że przy ruchu opadającym łożo zwierając się tworzy jak gdyby zawór zwrotny dla wody, przez co powiększa się różnica poziomów zwierciadeł wo-

dy w roboczym i powietrznym przedziale i dlatego niemalże całkowicie ilość wody dolnej podawanej w tym interwale cyklu zużywa się na wypełnienie przedziału powietrznego osadzarki. Zatem dynamiczne działanie wody dolnej sprowadza się w głównej mierze do zwiększenia efektywnego ciśnienia. W zasadzie ten sam efekt można osiągnąć przez zwiększenie ciśnienia lub zmianę profilu cyklu pulsacji.

Zwiększenie ciśnienia w komorze powietrznej osadzarki wpływa znacznie wyraźniej na stopień rozluźnienia łoża jak zwiększenie rozchodu wody dolnej. Regulowanie procesu wzbogacania na drodze zmiany rozchodu wody dolnej jest łatwiejsze, jednak zwiększenie rozchodu wody dolnej ma zasadniczy wpływ na utrudnienie gospodarki wodno-szlamowej płuczki i dlatego należy dążyć do jego maksymalnego zmniejszenia, a pożądany stopień rozluźnienia łoża uzyskiwać przez odpowiednią regulację cyklu powietrznego.

#### LITERATURA

- [1] Dorogowicz G.M., Miedwiediew A.W., Lewczienko J.J.: Modernizacja i awtomatyzacja odsadoczych maszyn, koks i chemija 2/1969.
- [2] Jędo A., Kranzy M.: Badania i konstrukcje nowych osadzarek Separator 2/1970.
- [3] Koźłodij K.K.: Intensyfikacja procesu odsadki uгля pri ponizonych razchodach podriesziotnoj wody, Obogaszczienije brikietirowanije uгля, Niedra 39/1965.
- [4] Sanylin N.A.: Technologija obogaszczienija uгля gidrawliczeskoj odsadkoj.
- [5] Sanylin N.A.: Zawisimost efektiwnostiji rozdielienija ot proizwoditelnosti odsadocznój masziny, Koks i Chimija 9/1969.
- [6] Schubert H.: Zum gegenwertigen Stand der Setztheorie Bergacademie 12/1964.
- [7] Stępiński W.: Wzbogacanie grawitacyjne. PWN 1964.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ УГЛЕЛЬНОГО СЕРЬЯ  
В ВОДНЫХ БЕСПОРЯДКОВЫХ ПУЛЬСАЦИОННЫХ ОТСАДОЧНЫХ МАШИНАХ

#### С о д е р ж а н и е

В статье обсуждено влияние гидродинамических параметров, обуславливающих пульсационное движение, на эффективность разделения. Проведен анализ процесса обогащения, формирующегося в результате взаимного действия гидродинамических и технологических параметров.



---

THE INFLUENCE OF HYDRODYNAMIC AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS  
UPON THE EFFICIENCY OF THE RAW COAL DISTRIBUTION  
IN PISTONLESS WATER PULSATORS

S u m m a r y

The paper deals with the influence of the hydrodynamic parameters conditioning the pulsation upon the efficiency of distribution. The process of enrichment, has been analysed, this process being dependent on the interaction of hydrodynamical and technological parameters.