ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1977

Seria: GÓRNICTWO z. 86 Nr kol. 557

Stanisław BŁASZCZYŃSKI,
Janusz STEINHOFF, Piotr SOBEL

FLUIDALNE WZBOGACANIE DROBNOZIARNISTYCH WĘGLI W OŚRODKU WODNYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań nad fluidalnym wzbogacaniem drobnoziarnistych węgli w ośrodku wodnym. Wyznaczono najbardziej korzystne warunki wzbogacania przez odpowiedni dobór prędkości przepływu czynnika wywołującego fluidyzację a zatem i stopnia ekspansji wzbogacanego materiału.

Wstęp

Wzbogacanie drobnych ziarn węgli energetycznych stanowi od lat nierozwiązany problem w przeróbce mechanicznej. Ogólnie znane metody wzbogacania tych węgli na stołach koncentracyjnych oraz w hydrocyklonach ze względu na wysokie koszty inwestycyjne i eksploatacyjne nie znalazły szerszego zastosowania. Dlatego też obecnie poszukuje się możliwie tanich metod wzbogacania drobnoziarnistych węgli, które pozwalałyby na uzyskanie koncentratów o niewielkiej zawartości popiołu z przeznaczeniem ich do celów specjalnych.

Autorzy niniejszej publikacji zwrócili uwagę na możliwość gęstościowego rozdziału minerałów w procesie fluidyzacji w ośrodku wodnym. Proces fluidyzacji jako specjalna metoda zetknięcia fazy stałej z fazą ciekłą lub gazową wykorzystany został oraz szeroko opisany [1-3] w inżynierii chemicznej, gdzie znalazł zastosowanie w takich procesach jak suszenie, prażenie, zgazowanie i odgazowanie paliw itp.

W Instytucie Przeróbki Kopalin Politechniki Śląskiej wykorzystano proces fluidyzacji w ośrodku gazowym do wzbogacania drobnoziarnistych minerałów [6], uzyskując dobre rezultaty rozdziału. Przedstawione poniżej wyniki badań laboratoryjnych fluidalnego wzbogacania węgli w ośrodku wodnym są próbą alternatywnego rozwiązania procesu wzbogacania fluidalnego.

Ogólny zarys procesu fluidyzacji

Strumień cieczy przepływający przez nieruchome drobnoziarniste łoże wywiera ciśnienie na poszczególne ziarna, co sumarycznie ujawnia się wzrostem oporów a tym samym w stratach ciśnienia występujących w łożu. Wzrost

prędkości strumienia cieczy prowadzi do zwiększenia spadku ciśnienia w łożu oraz zwiększenia jego porowatości. Przy dalszym wzroście prędkości cieczy łoże przechodzi w tzw. stan fluidalny, a dalszy spadek ciśnienia w przypadku doskonałej fluidyzacji materiału drobnoziarnistego jest prawie stały. Hydrodynamikę ładunku fluidalnego w sposób uproszczony przedstawiono za pomocą krzywej fluidyzacji (rys. 1) określającej korelację między prędkością strumienia cieczy a spadkiem ciśnienia w łożu, przy założeniu, że ilość materiału w łożu pozostaje stała. Warunkiem przejścia łoża w stan fluidalny jest wzrost przekroczenie pewnej krytycznej prędkości cieczy u_k. W tym momencie ciśnienie statyczne ładunku równe jest spadkowi ciśnienia cieczy:

$$\Delta_p = L(1 - \varepsilon)(\gamma_s - \gamma)$$

gdzie:

- L - wysokość ładunku fluidalnego,
- ε - porowatość ładunku fluidalnego,
- γ_s - ciężar właściwy ciała stałego,
- γ - ciężar właściwy cieczy.

Wartość prędkości krytycznej strumienia cieczy, przy którym ładunek przechodzi w stan fluidalny w warunkach przepływu laminarnego, wyraża się wzorem:

$$u_k = \frac{0{,}005\ d_z^2\ (\gamma_s - \gamma)\ \varepsilon^2}{\mu \varphi^2\ (1 - \varepsilon)}$$

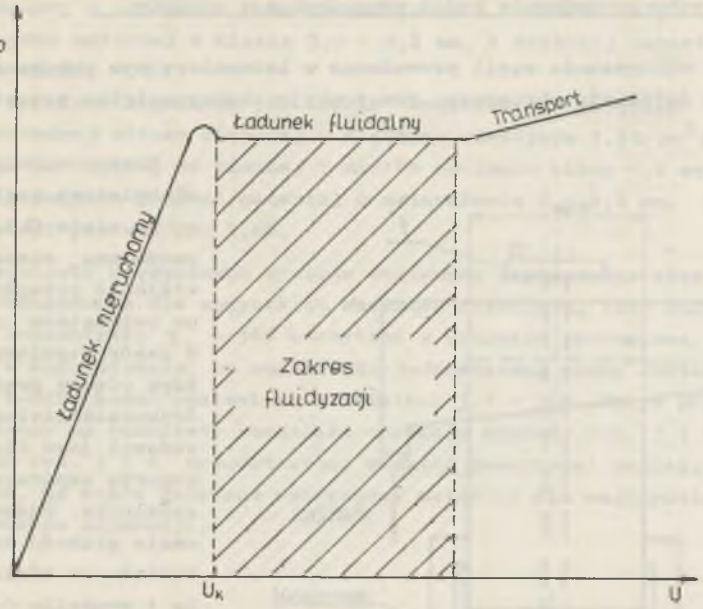
gdzie:

- d_z - średnica zastępcza ziarna,
- μ - współczynnik lepkości dynamicznej,
- φ - współczynnik kształtu ziarna definiowany jako stosunek powierzchni ziarna do powierzchni kuli o tej samej objętości

$$\varphi = 0{,}205 \cdot \frac{F}{V^{2/3}}$$

W procesie fluidalnego rozdziału materiałów o zróżnicowanych ciężarach właściwych wykorzystano zauważone przez Ciborowskiego [1] prawidłowości występujące przy fluidyzacji mieszanin polidyspersyjnych - wieloskładnikowych. Można tu wyróżnić trzy przypadki:

1. Prędkość opadania ziarn o większym ciężarze właściwym jest wyższa od prędkości opadania ziarn materiału lżejszego. Obserwuje się wyraźny rozdział materiału, w warstwie górnej grupują się ziarna materiału lżejszego, w warstwie dolnej zaś ziarna materiału o większym ciężarze właściwym.

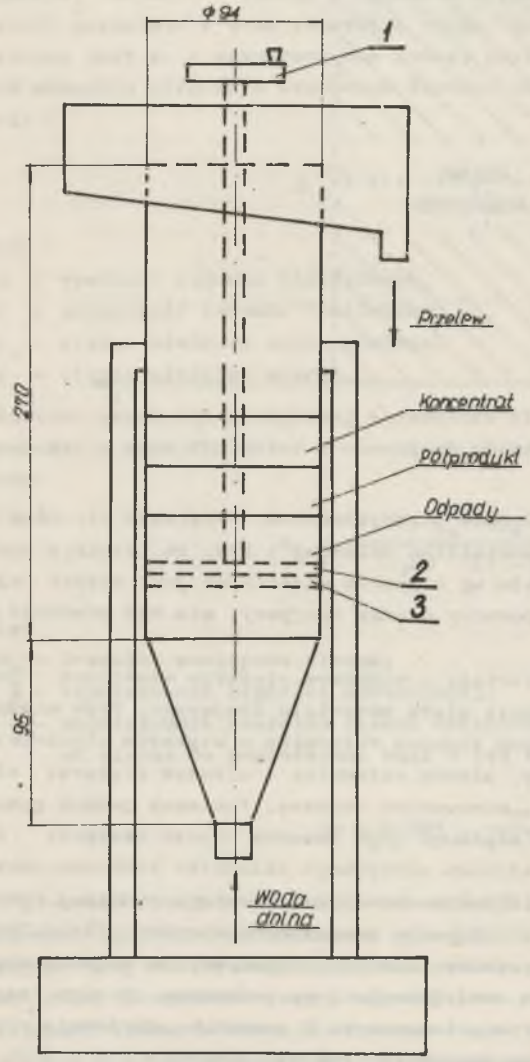


Rys. 1

2. Prędkość opadania obu składników jest jednakowa. Obserwuje się również rozwarstwienie ładunku. Rozdział ten świadczy o tym, że istotnym warunkiem rozwarstwienia materiału wg ciężarów właściwych jest ciężar właściwy składnika, lub jego pozorny ciężar nasypowy, nie zaś prędkość swobodnego opadania.
3. Prędkość opadania ziarn materiału o większym ciężarze właściwym jest mniejsza od prędkości opadania ziarn materiału lżejszego. Przy nieznacznych prędkościach przepływu ładunek składnika o większym ciężarze właściwym będzie sfluidyzowany, ziarna składnika o niższym ciężarze właściwym będą tworzyły dolną, nieruchomą warstwę. Ponieważ jednak pomimo pewnej ekspansji składnika ciężkiego jego pozorny ciężar nasypowy będzie większy od pozornego ciężaru nasypowego składnika lekkiego, obserwujemy w tym przypadku fluidyzację składnika ciężkiego w dolnej części kołumny, zaś składnik lekki pływa na powierzchni warstwy fluidalnej. Wzrost prędkości przepływu cieczy powoduje jednak dalszą ekspansję składnika ciężkiego, a tym samym zmniejszenie jego pozornego ciężaru nasypowego składnika lekkiego, co w konsekwencji powoduje odwrócenie układu. Niesfluidyzowana warstwa składnika lekkiego znajdzie się u dołu kolumny, w górnych jej partiach będzie fluidyzował składnik cięższy.

Opis sposobu prowadzenia badań oraz dyskusja wyników

Próby wzbogacania węgli prowadzono w laboratoryjnym wzbogacalniku fluidalnym o działaniu okresowym. Konstrukcję wzbogacalnika przestawiono na rys. 2.



Rys. 2

Przez warstwę drobnoziarnistego węgla ułożonego na sicie ϕ 0,1 mm przepuszczano ciecz, której wielkość przepływu mierzono rotametrem wyposażonym w zawór regulacyjny. Przepływ cieczy przez warstwę drobnoziarnistego węgla spowodował jego fluidyzację w komorze separacyjnej wzbogacalnika. Podczas wzbogacania grubość warstwy materiału na sicie była stała i wynosiła 0,15 m, zmieniano natomiast wielkość przepływu cieczy. Wzbogacany materiał poddawano fluidyzacji przez 60 sekund, przy czym czynnikiem wywołującym fluidyzację był przepływ wody lub jednorodnej cieczy ciężkiej, którą stanowił wodny roztwór chlorku wapnia o ciężarze właściwym 1,2 G/cm^3. Po ustalonym czasie fluidyzacji materiału z komory separacyjnej spuszczano ciecz i podnoszono sito wraz z warstwą materiału, którą rozdzielano na 4 do 5 frakcji, w których oznaczano procentową zawartość popiołu oraz ich wychody.

Wzbogacaniu poddano następujące próby węgla:

- próba bruzdowa pobrana w pokładzie 357 K.W.K. "Chwałowice": wzbogacano materiał surowy w klasie 1 - 0,2 mm, i średniej zawartości popiołu α = 21,8%,

- muł węglowy z osadników pozapłuczkowych K.W.K. "Sośnica"; wzbogacano materiał w klasie 3,0 - 0,2 mm, i średniej zawartości popiołu α = 26,3%,
- próba urobkowa z pokładu 507 K.W.K. "Dymitrow" po wstępnym wzbogaceniu w jednorodnej cieczy ciężkiej o ciężarze właściwym 1,5G/cm^3 i skruszeniu frakcji pływającej do poniżej 1 mm. Po odsianiu klasy 0,2 mm, wzbogacaniu fluidalnemu poddano materiał o uziarnieniu 1 - 0,2 mm, i średniej zawartości popiołu α = 2,6%.

Na podstawie otrzymanych wyników obliczono współrzędne oraz wykreślono krzywe wzbogacania dla wszystkich warunków rozdziału. Przy założonym wychodzie koncentratu γ_k = 50% odczytano z wykresów procentową zawartość popiołu w koncentracie, co umożliwiło jednoznaczną ocenę skuteczności rozdziału. Wyniki badań zestawiono w tabelach 3.1 - 3.4. Wpływ prędkości przepływu cieczy na rezultaty rozdziału obrazują wykresy rys. 3 i 4, zaś na wykresach rys. 5 i 6 przedstawiono rozkład zawartości popiołu oraz wychody warstw, na które dzielono wzbogacony materiał dla najbardziej korzystnych warunków separacji.

Tabela 3.1

Prędkość przepływu wody U . 10^{-2} cm/s	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108
Zawartość popiołu w koncentracie γ%	20,3	12,3	12,6	10,5	7,4	7,5	7,6	10,3	11,6	11,6	11,9	12,8

Tabela 3.2

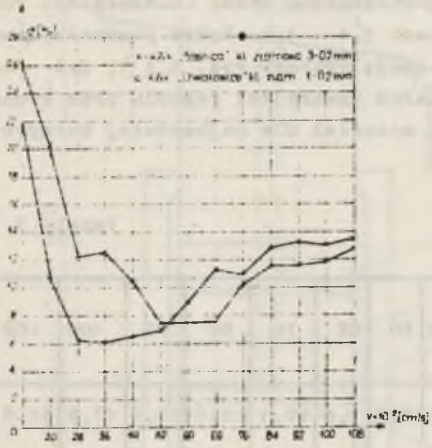
Prędkość przepływu wody U . 10^{-2} cm/s	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108
Zawartość popiołu w koncentracie γ%	10,8	6,2	6,4	6,5	6,9	8,9	11,3	11,0	12,9	13,3	13,1	13,5

Tabela 3.3

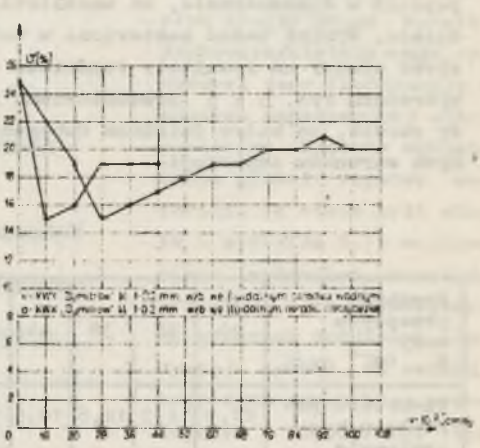
Prędkość przepływu wody U . 10^{-2} cm/s	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108
Zawartość popiołu w koncentracie γ%	1,9	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1.9	2,0	2,0	2,1	2,0	2,0

Tabela 3.4

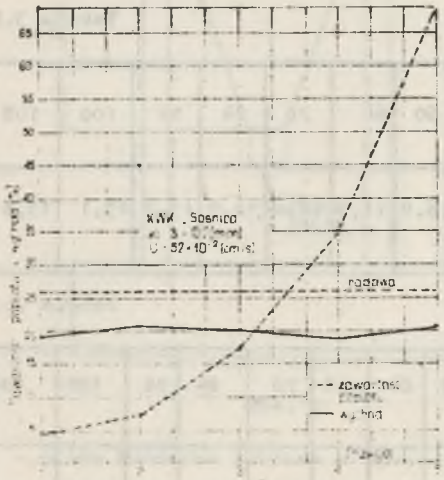
Prędkość przepływu cieczy ciężkiej U . 10^{-2} cm/s	16	20	28	36	44
Zawartość popiołu w koncentracie %	1,5	1,6	1,9	1,9	1,9



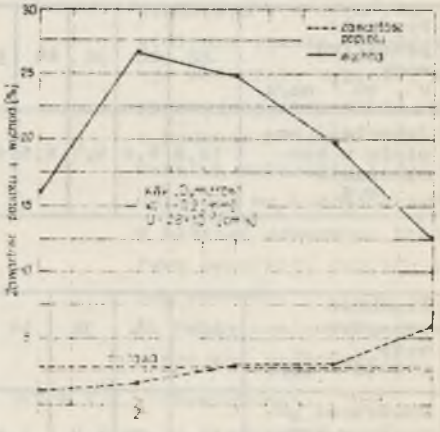
Rys. 3



Rys. 4



Rys. 5



Rys. 6

Uzyskane wyniki wzbogacania mułu węglowego z osadników pozapłuczkowych K.W.K. "Sośnica" w klasie ziarnowej 3,0 - 0,2 mm przedstawiono w tabeli 3.1 są najkorzystniejsze w zakresie prędkości przepływu wody od 52 . 10^{-2} cm/s do 68 . 10^{-2} cm/s. Przy tych wielkościach prędkości przepływu uzyskano koncentrat o średniej zawartości popiołu ϑ = 7,4 - 7,6%, przy wychodzie γ_k = 50%. Zawartość popiołu w pierwszej frakcji wynosiła 4,5% przy jej wychodzie γ_1 = 19,1%.

Wyniki wzbogacania węgla z K.W.K. "Chwałowice" w klasie 1,0 - 0,2 mm przedstawiono w tabeli 3.2. Najkorzystniejsze prędkości przepływu wody dla tego węgla zawierały się 28 - 44.10^{-2} cm/s. W warunkach tych uzyskano średnią zawartość popiołu w koncentracie ϑ = 6,2 - 6,5% przy wychodzie γ_k = = 50%. Zawartość popiołu w pierwszej frakcji wynosiła 4,12%, przy jej wychodzie γ_1 = 23,8%, przy czym w ostatniej, piątej frakcji uzyskano zawartość popiołu równą 67,6%. Zwiększanie prędkości przepływu powyżej 84.10^{-2} cm/s we wszystkich przypadkach powodowało straty najdrobniejszych ziarn wzbogacanego materiału w przelewie, które to straty przy prędkości przepływu 108 . 10^{-2} cm/s sięgały 20% całości wzbogacanego materiału.

Uzyskane rezultaty wzbogacania wysokopopiołowych węgli z K.W.K. "Sośnica" i "Chwałowice" zachęciły autorów do dalszych prób fluidalnego wzbogacania niskopopiołowych koncentratów węglowych, których celem było uzyskanie możliwie najniższej zawartości popiołu w pierwszej, powierzchniowej frakcji wzbogacanego materiału.

Badania prowadzono na węglu z pokładu 507 K.W.K. "Dymitrow" o średniej zawartości popiołu w klasie 1,0 - 0,2 mm, σ = 2,6%. Sposób przygotowania próby podano w tekście. Czynnikiem powodującym fluidyzację wzbogacanego materiału była woda oraz jednorodna ciecz ciężka, którą stanowią wodny roztwór chlorku wapnia o ciężarze właściwym 1,2 G/cm. Wyniki wzbogacania w ośrodku wodnym zestawiono w tabeli 3.3, zaś w tabeli 3.4 przedstawiono wyniki uzyskane w przypadku stosowania cieczy ciężkiej jako czynnika powodującego fluidyzację. W obu przypadkach uzyskano koncentrat o zawartości popiołu V = 1,5 - 1,6% przy wychodzie koncentratu γ_k = 50%, przy czym na uwagę zasługuje fakt, że uzyskano bardzo niskie zawartości popiołu w pierwszej frakcji dochodzące do 1,06% przy ich wychodzie γ = 16 - 20%. Zastosowanie jako czynnika powodującego fluidyzację materiału jednorodnej cieczy cięźniej nie poprawiło rezultatów separacji pozwoliło natomiast na obniżenie prędkości przepływu z 28 - 44 . 10^{-2} cm/s dla wody do 16 - 20.10^{-2} cm/s dla cieczy ciężkiej.

Wnioski

1. W procesie fluidalnego wzbogacania drobnouziarnionych węgli w ośrodku wodnym na uwagę zasługuje fakt, iż otrzymywano bardzo niską zawartość popiołu w pierwszych frakcjach, która w zależności od rodzaju nadawy wynosiła od 1,06% do 1,9%.

Ustalono najkorzystniejsze prędkości przepływu cieczy, które dla nadawy w klasie ziarnowej 3,0 - 0,2 mm zawierają się w przedziale 52 - 68 . 10^{-2} cm/s oraz w przedziale 28 - 44 . 10^{-2} cm/s w klasie 1,0 - 0,2mm.

2. Dotychczasowe badania laboratoryjne nad rozdziałem drobnoziarnistych węgli na frakcje różniące się ciężarem właściwym a zatem i zawartością popiołu w laboratoryjnym wzbogacalniku fluidalnym dały wyniki, które stanowią podstawę do dalszych badań w tym zakresie. Poza badaniami w wyżej opisanych warunkach zostaną przeprowadzone próby nad fluidalnym wzbogacaniem węgla w odpowiednio skonstruowanym urządzeniu przepływowym.

LITERATURA

[1] Ciborowski J.: Fluidyzacja. PWT, Warszawa 1957.

[2] Ciborowski J.: Inżyniera procesowa. WNT. Warszawa 1973.

[3] Razumow I.M.: Fluidyzacja i transport pneumatyczny materiałów sypkich. WNT, Warszawa 1975.

[4] Kell M.N.: Grawitacionnyje processy obogaszczenia polieznych iskopajemych, Gornyj Instytut im. Plechanowa, Leningrad 1970.

[5] Artiuszin S.P.: Obogaszczenie ugliej. Niedra, Moskwa 1975.

[6] Lupa Z., Laskowski J.: Zastosowanie separatorów fluidyzacyjnych do odsiarczania węgli energetycznych. Sesja Naukowa COBPWiUK,Separator,Katowice 1973.

ФЛЮИДАЛЬНОЕ ОБОГАЩЕНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ УГЛЕЙ
В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Р е з ю м е

В статье рассмотрены результаты исследований над флюидальным обогащением мелкозернистых углей в водной среде. Определено самые выгодные условия обогащения соответствующим подбором скорости течения агента вызывающего флюидизацию, а затем и степень экспансии обогащенного материала.

FLUIDAL HYDROUS FINE GRAIN COAL ENRICHMENT

S u m m a r y

Results of fluidal hydrous procedures have been presented along with the determination of optimum fluid flow rates and henoe coal expansion rates.