

Stanisław BŁASZCZYŃSKI, Aleksander OLAS,
Anna ŚWIERKOT-KOPAŁA

WZBOGACANIE DROBNYCH ZIARN WĘGLOWYCH W HYDROCYKLONACH

Streszczenie. W ramach badań, których wyniki przedstawiono w artykule, dokonano próby otrzymania koncentratów rynkowych z mułu węglowego pochodzącego z pozapłuszkowych osadników betonowych KWK "Sośnica", na drodze wzbogacania w hydrocyklonie z potrójnym kątem zbieżności stożka oraz klasyfikacji w hydrocyklonie klasyfikującym.

1. Wstęp

Rozwój mechanizacji urabiania węgla i sposoby jego transportu powodują systematyczny wzrost wychodu ziarn drobnych w urobku wydobytym na powierzchnię. Wzbogacanie ziarn przy wykorzystaniu wyłącznie siły grawitacji jest w warunkach przemysłowych mało efektywne a czasem wręcz niemożliwe. Skuteczność tych metod jest ograniczona dolną granicą wzbogacanych ziarn. Ziarna drobne, wydzielone w procesach odmulenia węgla surowego czy regeneracji wód popłuczkowych, wzbogaca się - w przypadku węgla wyższych typów metodą flotacji, natomiast w przypadku węgla energetycznych zbywa się najczęściej w stanie surowym.

Do wzbogacania ziarn drobnych można wykorzystać działania siły odśrodkowej umożliwiającą intensyfikację procesu, a tym samym zmniejszenie wielkości stosowanych urządzeń, obniżenie kosztów inwestycyjnych instalacji oraz znacznie obniżenie dolnej granicy wielkości wzbogacanych ziarn. Jednym z urządzeń pracujących przy wykorzystaniu siły odśrodkowej jest hydrocyklon. Przy wzbogacaniu w hydrocyklonach w zasadzie rozróżnia się dwa oddzielne procesy:

- wzbogacanie w ośrodku ciekłym, stanowiącym zawiesziną drobno zmielonych ziarn, tzw. obciążnika będącego minerałem o wysokim ciężarze właściwym np. magnetyt,
- wzbogacanie w ośrodku wodnym; w tym przypadku nie stosuje się cieczy zawieszinowej, a rozdział wg ciężarów właściwych uzyskuje się dzięki odpowiedniemu doborowi parametrów konstrukcyjnych hydrocyklonu i parametrów prowadzenia procesu [5].

Hydrocyklony z cieczą ciężką zawieszinową stosuje się szeroko do wzbogacania węgla w klasach ziarnowych 10-0,5 lub 30-0,5 mm, przy czym znalazły one zastosowanie w operacji wzbogacania głównego jak i wzbogacania wtórnego.

Klasa ziarnowa 0,5-0 mm nie ulega wzbogacaniu w hydrocyklonach, a ponadto ujemnie wpływa na jakość cieczy ciężkiej obiegowej. Ze względu na celowe dodawanie, w wyżej wymienionym sposobie wzbogacania, różnego rodzaju obciążników, wzbogacanie w warunkach przemysłowych jest nieco kłopotliwe (obieg cieczy ciężkiej, jej regeneracja, regulacje ciężaru, straty obciążnika itd.). Wydaje się być celowe zatem zwrócenie większej uwagi na wzbogacanie w hydrocyklonach w ośrodku wodnym, która to metoda nie znalazła jak dotychczas szerszego zastosowania w przeróbce mechanicznej kopalni, najczęściej ze względu na złożoność konstrukcji hydrocyklonów lub wady w sposobach odprowadzenia produktów. Ponadto hydrocyklony te nie są przystosowane do zmiennych warunków, co jest istotnym momentem w warunkach przemysłowych [4]. Jak wynika z dotychczasowych przeprowadzonych badań [3], [7], na szczególną uwagę zasługuje hydrocyklon z potrójnym kątem zbieżności stożka (rys. 1), jako urządzenie w pełni przydatne do wzbogacania drobnych ziarn węgla w ośrodku wodnym.

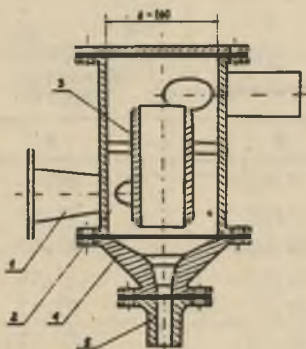
Począwszy od roku 1968 hydrocyklony tego typu nabierają coraz większego znaczenia w zakładach przerobczych USA. Praca ich jest wprawdzie mniej efektywna niż hydrocyklonów pracujących z cieczą ciężką, lecz rezultaty wzbogacania klas 0-10 mm i 0-0,5 mm wskazują na możliwość zastąpienia nimi stożków koncentracyjnych i flotacji szczególnie dla węgla zawierających piryt [2].

Mechanizm rozdziału w tym hydrocyklonie jest nieco bardziej skomplikowany aniżeli w zwykłych hydrocyklonach-separatorach. W górnej części stożkowej następuje odkładanie się łoża z ziarn o danej gęstości i uwięzionych między nimi ziarn drobnych. Łoże to, pomimo dużego tarcia, porusza się ruchem wirowym, uniemożliwiając przedostanie się frakcji lżejszej do dolnych warstw.

Woda przechodząca od ścian hydrocyklonu do jego centralnej części rozluźkuje górną warstwę "pościeli" i kieruje lżejsze ziarna do przelewu. Odpady i półprodukty przechodzą do środkowej części stożka, gdzie następuje zwiększenie prędkości ruchu wirowego wokół osi hydrocyklonu, dalsze rozluźwanie pościeli, w wyniku czego lżejsze składniki przedostają się do przelewu. Pozostały materiał, zawierający grube ciężkie ziarna i część uwięzionych ziarn lekkich, przechodzi do dolnej części stożka mającej najmniejszy kąt zbieżności. Wirująca warstwa ciężkich ziarn ulega kolejnemu rozluźwianiu i rozdział zachodzi głównie wg wielkości ziarn.

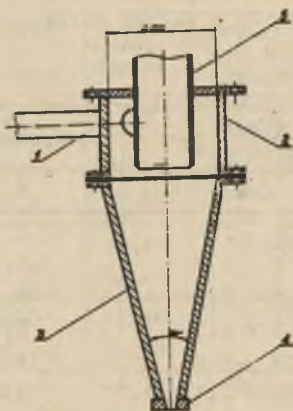
Drobne ziarna unoszą się wznoszącym strumieniem do drugiej sekcji stożka do powtórnego wzbogacania. Jedną z podstawowych zalet hydrocyklonów z potrójnym kątem zbieżności stożka wydaje się być możliwość wzbogacania drobnych ziarn węgla wysoko zapozielonych i zawierających duże ilości pi-

rytu. Parametry pracy hydrocyklonów pracujących w zakładach przerobczych USA (firmy Mc Nally) przedstawiono w tabl. 1 [2].



Rys. 1. Hydrocyklon z potrójnym kątem zbieżności stożka

1 - dysza wlotowa, 2 - część cylindryczna, 3 - dysza przelewowa, 4 - część stożkowa, 5 - dysza wylewowa



Rys. 2. Hydrocyklon klasyfikujący
1 - dysza wlotowa, 2 - część cylindryczna, 3 - część stożkowa, 4 - zwężka wylewowa, 5 - dysza przelewowa

Tablica 1

Parametry pracy hydrocyklonu z potrójnym kątem zbieżności stożka

Średnica hydrocyklon. mm	max. wielkość wzbog. ziarn mm	Wydatność T/n	max. zagęszcz. nadawy %
200	10	5	15
300	15	16	15
350	18	22	15
500	25	47	15
600	32	68	15

2. Aparatura i opis badań

W hydrocyklonie z potrójnym kątem zbieżności stożka wzbogacano muł węglowy z betonowych osadników pozapłuczkowych KWK "Sołonica": klasę ziarnową > 3 mm odsiano na przesiewaczu z napędem mimośrodowym, a pozostała klasa 3-0 mm stanowiła materiał do badań. Skład ziarnowy tej klasy i zapopielenie w poszczególnych klasach przedstawiono w tablicy 2. Średnie zapopielenie węgla wynosiło 31,58%. Analiza składu ziarnowego węgla pozwoliła ustalić, że klasa ziarnowa < 0,2 mm jest bardzo wysoko zapopielona (około 46%), w związku z czym korzystne jest wydzielanie tej klasy przed

wzbogacaniem w hydrocyklonie, gdyż w przeciwnym przypadku najdrobniejsze ziarna niezależnie od stopnia zapobielenia przejdą do przelewu. Wstępną klasyfikację przeprowadzono na hydrocyklonach klasyfikujących o średnicy $\phi = 100$ mm i kątach zbieżności stożka 20° i 40° (rys. 2).

Tablica 2

Klasa ziarnowa	Wychód	Suma wychodów	Zawartość popiołu
mm	%	%	%
3 - 2	3,19	3,19	20,0
2 - 1,0	18,90	22,09	24,65
1,0 - 0,5	38,40	60,49	27,65
0,5 - 0,3	7,62	68,11	34,10
0,3 - 0,2	14,10	83,21	37,13
0,2 - 0,1	8,29	91,50	48,21
0,1 - 0,075	3,20	94,70	46,47
-0,075	5,30	100,00	45,85
			$\alpha = 31,58$

Badania podzielono na dwa etapy. W pierwszym etapie starano się ustalić najkorzystniejsze warunki wzbogacania w hydrocyklonie z potrójnym kątem zbieżności stożka, w drugim natomiast najkorzystniejsze warunki klasyfikacji mułu węglowego w hydrocyklonach o budowie konwencjonalnej. Opierając się na wcześniej prowadzonych badaniach, pewne parametry hydrocyklonu (jak średnica i położenie dyszy przelewowej, średnica wylewu) przyjęto za stałe. zmieniając jedynie zagęszczenie nadawy, klasę ziarnową nadawy oraz ciśnienie na wlocie do hydrocyklonu. Hydrocyklony włączono do instalacji półtechnicznej, która zapewniała regulację badanych parametrów, w złożonym zakresie. Stałą wartość ciśnienia nadawy zapewniał układ automatycznej regulacji składający się ze zbiornika wyrównawczego i manometru kontaktowego sterującego zaworem elektromagnetycznym.

3. Wyniki badań

Wyniki badań przedstawione w tablicach 3-6 wskazują na celowość stosowania niskich zagęszczeń nadawy $150 - 200 \text{ q/dcm}^3$. Przy takich zagęszczeniach otrzymano (w przedziale ciśnień $0,4 - 0,8 \text{ kg/cm}^2$) koncentraty o zapobieleniu $7,04 - 11,8\%$ i wychodach $68,2 - 74,1\%$, w klasie ziarnowej nadawy $3 - 0,2$ mm. Prowadząc badania w hydrocyklonie klasyfikującym, wykonano analizy na zawartość popiołu w poszczególnych produktach, a w najkorzystniejszych przypadkach określono udział klasy ziarnowej $< 0,2$ mm. W przypadku klasyfikacji w hydrocyklonie o średnicy 100 mm i kącie zbieżności stożka 20°

Tablica 3

Wyniki wzbogacania mułu węglowego z KWK "Sośnica"
o uziarnieniu 3-0 mm w hydrocyklonie
z potrójnym kątem zbieżności stożka

Frakcja	Zagęszczenie nadawy	Ciśnienie P	Wychód	Zagęszczenie produktów	Zawartość popiołu	Uzysk cz. palnych i lotnych
	g/l	kG/cm ²	%	g/l	%	%
Koncentr. Odpady	150	0,4	62,4 37,6	100,5 189,9	26,04 47,09	69,87
Koncentr. Odpady	150	0,7	71,1 28,9	52,0 262,0	20,29 64,29	84,60
Koncentr. Odpady	150	0,6	64,9 35,1	90,0 220,0	25,48 51,28	73,87
Koncentr. Odpady	150	0,8	77,6 22,4	42,9 313,0	18,43 65,65	89,16
Koncentr. Odpady	150	1,0	79,5 20,5	41,2 450,0	20,04 56,94	87,80
Koncentr. Odpady	200	0,4	62,0 38,0	189,0 230,0	22,5 46,0	70,07
Konsentr. Odpady	200	0,6	64,0 36,0	168,0 260,0	21,52 49,20	72,45
Koncentr. Odpady	200	0,7	63,2 36,8	155,0 330,0	29,06 59,99	77,64
Koncentr. Odpady	200	0,8	62,2 37,8	132,0 412,0	13,02 61,02	78,59
Koncentr. Odpady	200	1,0	67,6 32,4	118,0 565,0	17,79 60,70	81,35
Koncentr. Odpady	300	0,4	62,8 37,2	230,0 320,0	23,96 52,86	73,14
Koncentr. Odpady	300	0,6	63,5 36,5	207,0 340,0	23,05 54,04	74,44
Koncentr. Odpady	300	0,7	65,0 35,0	195,0 427,0	22,46 57,52	77,22
Koncentr. Odpady	300	0,8	67,9 32,1	184,0 460,0	19,80 58,31	80,27
Koncentr. Odpady	300	1,0	72,2 27,8	155,0 590,0	20,79 57,19	82,78

Wyniki wzbogacania mułu węglowego z KWK "Sośnica"
o uziarnieniu 3-0,2 mm w hydrocyklinie
z potrójnym kątem zbieżności stożka

Fracja	Zagęszczenie nadawy	Ciśnienie p	Wychód	Zagęszczenie produktów	Zawartość popiołu	Uzysk cz. palnych i lotnych
	g/l	kG/cm ²	%	g/l	%	%
Koncentr.			74,1	120,0	7,04	88,15
Odpady	150	0,4	25,9	184,0	64,26	
Koncentr.			73,9	69,6	7,21	87,98
Odpady	150	0,6	26,1	222,0	64,12	
Koncentr.			73,6	64,4	8,82	86,43
Odpady	150	0,7	26,4	288,0	60,12	
Koncentr.			69,4	50,0	9,43	83,43
Odpady	150	0,8	30,6	378,0	59,20	
Koncentr.			69,1	45,5	18,08	79,48
Odpady	150	1,0	30,9	484,0	52,71	
Koncentr.			73,2	183,0	8,12	85,78
Odpady	200	0,4	26,8	230,0	58,43	
Koncentr.			72,7	176,3	10,31	83,88
Odpady	200	0,6	27,3	252,0	54,12	
Koncentr.			72,3	147,8	11,72	62,21
Odpady	200	0,7	27,7	326,0	50,14	
Koncentr.			68,2	129,5	11,84	77,78
Odpady	200	0,8	31,8	399,0	45,98	
Koncentr.			66,0	120,0	17,06	73,66
Odpady	200	1,0	34,0	510,0	42,41	
Koncentr.			71,4	213,0	15,13	80,61
Odpady	300	0,4	28,6	330,0	49,06	
Koncentr.			70,7	200,0	15,26	79,53
Odpady	300	0,6	29,3	246,0	47,38	
Koncentr.			69,2	183,5	17,54	76,86
Odpady	300	0,7	30,8	367,0	44,22	
Koncentr.			68,6	158,5	18,48	75,87
Odpady	300	0,8	31,4	462,0	43,36	
Koncentr.			67,5	147,8	18,76	73,92
Odpady	300	1,0	32,5	593,0	40,49	

Tablica 5

Udział klasy ziarnowej 0,2-0 mm w produktach klasyfikacji
w hydrocyklonie o średnicy 100 mm i kącie zbieżności stożka 20°
przy najkorzystniejszych warunkach klasyfikacji

Zagęszczenie nadawy	Fracja	Ciśnienie	Wychód klasy	
			3-0,2 mm %	0,2-2 mm %
100	Przelew	2,0	15,10	84,90
	Wylew		97,69	2,31
150	Przelew	2,0	2,69	97,31
	Wylew		99,01	0,99
200	Przelew	2,0	18,85	85,15
	Wylew		97,94	2,06

Tablica 6

Udział klasy ziarnowej 0,2-0 mm w produktach klasyfikacji
w hydrocyklonie o średnicy 100 mm i kącie zbieżności stożka 40°
przy najkorzystniejszych warunkach klasyfikacji

Zagęszczenie nadawy	Fracja	Ciśnienie	Wychód klasy	
			3-0,2 mm %	0,2-0 mm %
100	Przelew	2,0	33,08	66,92
	Wylew		93,78	6,22
150	Przelew	2,0	32,20	67,80
	Wylew		91,36	8,64
200	Przelew	2,0	34,77	65,23
	Wylew		91,74	5,26

najniższą procentową zawartość popiołu w wylewie (23,24%) otrzymano przy zagęszczeniu nadawy 150 g/l i ciśnieniu na wlocie 2 kg/cm². Przy ww. warunkach średnia procentowa zawartość popiołu w przelewie wynosiła 39,11%, udział klasy 0,2-0 mm wynosił 97,31%, natomiast najniższą procentową zawartość ziarn 0,2-0 mm w wylewie wynosiła 0,99% - przy zapopieleniu 23,24%. Przy wszystkich badanych zagęszczeniach nadawy najniższe zapopieleniu wylewu otrzymano w przedziale ciśnień 1,5 - 2,5 kg/cm², przy czym najkorzystniejsze jest ciśnienie 2,0 kg/cm² (25,0% popiołu w wylewie przy zagęszczeniu 100 g/l, 23,24% przy 150 g/l i 24,96% przy 200 g/l). We wszystkich przypadkach zagęszczenie wylewu rośnie ze wzrostem ciśnienia i zagęszczenia nadawy na wlocie do hydrocyklonu. Ze względu na konieczność utrzymania

nia zawiesiny o określonym zagęszczeniu (150-200 g/l) do wzbogacania w hydrocyklonie z potrójnym kątem zbieżności stożka wydaje się być celowa klasyfikacja przy niskich zagęszczeniach nadawy (100-150 g/l), ponieważ wylewy będą wymagały nieproporcjonalnie mniejszego "rozcieńczenia". W przypadku klasyfikacji w hydrocyklonie o kącie zbieżności stożka 40° otrzymano zdecydowanie gorsze wyniki. Przy ciśnieniu nadawy $1,5 \text{ kg/cm}^2$ i zagęszczeniu 150 g/l otrzymano najkorzystniejsze rezultaty, procentowy udział klas 0,2-0 mm wynosił 67,8% w przelewie, 8,64% w wylewie (tabl. 6).

Wnioski

1. Przeprowadzone badania nad zagęszczeniem wysoko zapozielonych mułów węglowych wskazują na możliwość uzyskania stosunkowo nisko zapozielonych koncentratów o zawartości popiołu około 7,8% w klasie ziarnowej 3-0,2 mm przy ciśnieniu nadawy $0,4 \text{ kg/cm}^2$ i zagęszczeniach 150-200 g/l. Na uwagę zasługuje fakt, że dobre wyniki otrzymuje się przy różnych zagęszczeniach nadawy, co w warunkach ruchowych jest zagadnieniem bardzo istotnym.
2. Ponieważ w hydrocyklonie z potrójnym kątem zbieżności stożka w pierwszej fazie jego pracy następuje w zasadzie odilanie nadawy, korzystne jest usunięcie wysoko zapozielonych najdrobniejszych ziarn przed procesem wzbogacania. Pełną przydatność do tego rodzaju klasyfikacji wykazał hydrocyklon o średnicy $\phi=100 \text{ mm}$ i kącie zbieżności stożka 20° . Przy zagęszczeniu nadawy 150 g/l i ciśnieniu na wlocie 2 kg/cm^2 w wylewie otrzymano zaledwie 0,99% ziarn 0,2 mm (tabl. 5).
3. Stosowanie hydrocyklonów do wydzielania klasy 0,2 mm (a nie np. przesiewania wibracyjnego) wydaje się być celowe ze względu na niską sprawność przesiewania dla takich ziarn - nawet na mokro.
4. Powyższe badania są jedynie wstępnym rozeznaniem możliwości uzyskania na tej drodze koncentratów rynkowych. Dalsze badania są prowadzone w trzech kierunkach:
 - wzbogacanie klasy $< 0,2 \text{ mm}$,
 - wzbogacanie różnego typu węgla,
 - wzbogacanie na jednostkach większych, co przybliży realność stosowania tego typu technologii w warunkach przemysłowych.

LITERATURA

- [1] Akopow M.C.: Osnovy obogaszchenia uglej w gidrociklonach. Izd. Nedra 1967.
- [2] Ciepielowicz W.W., Kurbatow W.P., Chworow W.W.: Obogaszchenie ugle w tiaziezich suspenzjach. Izd. Niewa 1974.

- [3] Błaszczczyński St.: Badania nad wzbogacaniem mułków węglowych w hydrocyklonie o potrójnym kącie zbieżności stożka, Zeszyty Naukowe Pol. Sl., Górnictwo Nr 48.
- [4] Lisoń J., Sówka J.: O wzbogacaniu drobnouziarnionych węgli w hydrocyklonach z ośrodkiem wodnym. Wz bog. i Utylizacja Kopalin 5, 1974.
- [5] Nowak Z.: Hydrocyklony w przeróbce mechanicznej kopalin. Wydawnictwo Śląsk, 1970.
- [6] Lewin St. i inni: Obogaszczanie szlamów w ciontrobieżnym pole sił. Koks i Chemija Nr 3, 1961.
- [7] Vismon J.: The Cleaming of highly frieble, coals by water cyklones. IV Kongres Przeróbki Mechanicznej Węgla, Harrogate 1962.
- [8] Peldbrin M., Utin W.: Obogaszczanie ugolnoij mieżoni w ciontrobieżnym separatorie w wodnoj świedie. Koks i Chemija nr 10, 1970.

ОБОГАЩЕНИЕ МЕЛКИХ ЗЕРН УГЛЯ В ГИДРОЦИКЛОНАХ

Р е з ю м е

В рамках исследований, которых результаты представлены в статье, сделана проба получения коммерциальных концентратов из угольного шлама происходящего из после-мойковых бетонных отстойников шахты "Соsница" путем обогащения в гидроциклоне из тройным углом схождения конуса, как и классификации в специальном гидроциклоне.

ENRICHMENT OF FINE COAL GRAINS IN HYDROCYCLONES

S u m m a r y

Attempts at obtaining trade concentrates from slurries from extra washer concrete settling tanks at "Sośnica" colliery have been made by enrichment in hydrocyclone with a triple convergence cone angle and classification in classifier hydrocyclone.