

Stanisław BŁASZCZYŃSKI

Anna ŚWIERKOT-KOPAŁA

Aleksander OLAS

LABORATORYJNE BADANIA NAD MOŻLIWOŚCIĄ UZYSKANIA NISKOPOPIOŁOWYCH KONCENTRATÓW Z DROBNOZIARNIONYCH WĘGLI W SEPARATORZE Z HYDRAULICZNYM ODBIOREM PRODUKTÓW

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań nad możliwością uzyskania niskopopiołowych koncentratów węglowych z drobnouziarnionych węgli, w separatorze z cieczą ciężką - prostej konstrukcji, pozbawionym ruchomych elementów naruszających statyczność ośrodka.

Uzyskano rezultaty zbliżone do wyników w zakresie ziarn grubszych.

## 1. WSTĘP

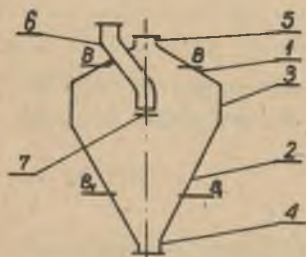
Nowe technologie w zakresie przetwórstwa węgla narzucają niejednokrotnie odpowiednią jakość surowca, zarówno pod względem granulometrycznym, jak i składu substancji węglowej. W większości przypadków przeróbka dla tych celów obejmuje ziarna drobne i najdrobniejsze. W kraju podjęto badania nad kompleksowym przetwórstwem węgla, w związku z czym aktualne staje się opanowanie różnych metod wzbogacenia w zakresie ww. ziarn, a między innymi wzbogacania w cieczach ciężkich. Dotychczas powszechnie stosowaną granicą wielkości ziarn wzbogacanych w separatorach z cieczą ciężką jest wielkość ziarna - 10 mm.

W niżej przedstawionych badaniach podjęto próbę sprawdzenia możliwości obniżenia dolnej granicy wielkości ziarn w najprostszej konstrukcji separatora, pozbawionego jakichkolwiek części ruchomych, co stwarzało możliwość uzyskania ośrodka cieczy ciężkiej o odpowiedniej statyczności. Wzorem do zbudowania stoiska był znany separator Toporkowa.

## 2. PODSTAWY TEORETYCZNE

Separator Toporkowa, skonstruowany w Związku Radzieckim, do wzbogacania węgla w nie tylko grubych, ale także i drobnych klasach ziarnowych, charakteryzuje się brakiem mechanizmów, oraz zadowalającą statycznością ośrodka. Opracowany został w dwóch wersjach, różniących się sposobem do-

przewodzenia nadawy, w jednej - nadawa podawana jest centralnie - dośrodkowo, w drugiej - wzdłuż obwodu cylindrycznej części separatora. Separator z centralnym doprowadzeniem nadawy (rys. 1) składa się z zamkniętego naczynia z blachy stalowej, w postaci dwóch stożków 1 i 2 połączonych cylin-



- 1 i 2 - część stożkowa separatora,
- 3 - część cylindryczna,
- 4 - wylot produktu ciężkiego
- 5 - wylot produktu lekkiego
- 6 - doprowadzenie nadawy
- 7 - nieruchoma tarcza rozdzielcza

Rys. 1. Schemat konstrukcji laboratoryjnego separatora Toporkowa

drem 3. Wylot 4 w dolnym stożku służy do odprowadzenia frakcji ciężkiej a otworem 5 w górnym stożku wypływa z cieczą produkt lekki. Nadawa wraz z cieczą podawana jest rurą 6 na nieruchomą tarczę rozdzielczą 7. Ziarna nadawy przepływają w poziomym strumieniu od centrum do zewnętrznego otworu separatora. Na tej drodze ziarna węgla, których ciężar właściwy jest mniejszy od ciężaru właściwego zawiesziny, wypływają z separatora przez rurę 5. Prędkość strumienia cieczy do góry stopniowo wzrasta, wraz z malejącym przekrojem stożkowej części separatora. Ziarna przerostów i skały płonnej, których ciężar właściwy jest większy od ciężaru właściwego zawiesziny opadają w dół i razem z cieczą ciężką wypływają z separatora przez króciec 4. Te ziarna węgla, których ciężar właściwy jest równy lub zbliżony do ciężaru właściwego cieczy ciężkiej przepływają z poziomym strumieniem tej cieczy w kierunku cylindrycznej poboczniczy separatora, gdzie poziomy strumień dzieli się na dwie części. Jedna z nich podnosi się wzdłuż ściany górnego stożka i wychodzi z separatora przez rurę 5 z wypływającą frakcją lekką, a drugi opuszcza się wzdłuż ściany dolnego stożka i wychodzi razem z tonącą frakcją przez króciec 4.

Dla zapewnienia wysokiej dokładności rozdziału ziarn nadawy według ich ciężaru właściwego, konieczne jest regulowanie ilości cieczy podawanej z nadawą i odbieranej przelewem i wylewem z separatora. Regulację tę przeprowadza się za pomocą bębnowego, sektorowego zaworu, znajdującego się u wylotu z separatora. Rozdział ziarn węgla według ciężaru właściwego w separatorze Toporkowa następuje w poziomym strumieniu cieczy, a nie - jak w innych typach separatorów - we wznoszącej lub opadającej strudze cieczy.

Drogę i prędkość ruchu cieczy można rozpatrywać jako ruch poziomo zastopionej strugi cieczy, która napotyka na swej drodze na przeszkodę w postaci nieruchomej ścianki (rys. 1).

Drogę i prędkość ruchu ziarn, poruszających się w poziomym strumieniu cieczy ciężkiej, określa się prawami opadania lub wypływania tych ziarn w zależności od ich ciężaru właściwego. Zależności matematyczne pomiędzy prędkością strugi a parametrami separatora przytoczone zostaną dla separatora z centralnym doprowadzeniem nadawy.

Prędkość początkową poziomej strugi cieczy z węglem, schodzącej z tarczy rozdzielczej 7 określa się równaniem

$$v_p = \frac{Q}{2\pi r H} \quad (1)$$

gdzie:

- $v_p$  - prędkość początkowa strugi [m/s],
- $Q$  - ilość nadawy (ciecz ciężka plus węgiel) podawanej w jednostce czasu do separatora [ $m^3/s$ ],
- $r$  - promień nieruchomej tarczy rozdzielczej [m],
- $H$  - odległość pomiędzy wlotem nadawy do separatora a tarczą rozdzielczą [m].

Prędkość końcowa poziomej strugi w pobliżu ścianki separatora wynosi

$$v_k = \frac{Q}{2\pi R H} \quad (2)$$

gdzie  $R$  - promień cylindrycznej części separatora m .

Z równań (1) i (2) wynika, że

$$v_k = v_p \cdot \frac{r}{R} \quad (3)$$

Uogólniając wzór (3), prędkość poziomej strugi - w dowolnym pionowym przekroju - będzie wynosiła

$$v_s = v_p \cdot \frac{r}{r + S}$$

lub

$$v_s = \frac{Q}{2\pi H (r + S)} \quad (4)$$

gdzie  $S$  - odległość pomiędzy tarczą rozdzielczą a dowolnym pionowym przekrojem strugi.

$$S_{\max} = R - r. \quad (5)$$

Czas przepływu poziomego strumienia cieczy od tarczy rozdzielczej do dowolnego miejsca (pionowego przekroju strugi) określamy z zależności

$$\frac{dS}{dt} = v_s. \quad (6)$$

czyli

$$dt = \frac{2\pi r H}{Q} (r + S) dS. \quad (7)$$

Całkując równanie (7) w przedziale od zera do S, otrzymamy

$$t = \frac{\pi H}{Q} (2rS + S^2). \quad (8)$$

Podstawiając w równanie (8) max wartość wyrażenia S, otrzymamy

$$t = \frac{H}{Q} \cdot \pi (R^2 - r^2). \quad (9)$$

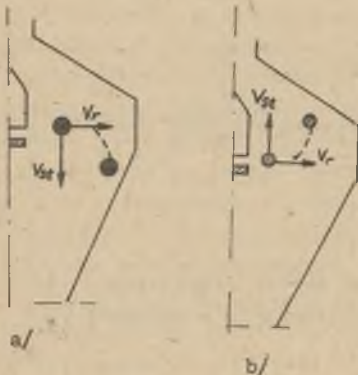
Oznaczając przez F wyrażenie  $\pi (R^2 - r^2)$

$$t = \frac{F \cdot H}{Q} \quad (10)$$

Z równania (10) wynika, że czas, w którym pozioma struga cieczy przepływa od tarczy rozdzielczej do ścianki separatora, równy jest iloczynowi efektywnej powierzchni przekroju poziomego cylindrycznej części separatora (F) i wysokości poziomej strugi (H), podzielonemu przez natężenie przepływu nadawy Q.

Rozpatrując ruch ziarn wzbogacanego węgla w poziomej strudze cieczy ciężkiej można stwierdzić, że w początkowym etapie ziarna te są zmieszane na całej wysokości strugi. Lekkie ziarna (o ciężarze właściwym mniejszym od ciężaru właściwego cieczy ciężkiej), które po zejściu z tarczy rozdzielczej znajdują się w górnej warstwie strugi, oraz ciężkie (o c.wł. większym od c.wł. cieczy ciężkiej) znajdujące się w dolnej warstwie strugi mogą bez przeszkód skierować się zgodnie ze swoim ciężarem właściwym (przelew lub wylew). Pozostałe ziarna lekkie znajdujące się w dolnej warstwie strugi cieczy, a także ciężkie znajdujące się w górnej warstwie strugi - muszą przedostać się w górę lub w dół (w zależności od c.wł.) na drodze przepływu strugi od tarczy rozdzielczej do ścianki separatora (rys. 2).

Na ciężkie ziarno węgla (rys. 2a) działają dwie główne siły: siła ciężkości równa ciężarowi ziarna w cieczy ciężkiej oraz siła nośna poziomej strugi cieczy. Pod działaniem pierwszej siły ziarno ciężkie będzie opadało w dół ze stałą prędkością  $V_{gt}$ . Pod działaniem drugiej siły ziarno będzie poruszało się w kierunku poziomym ze zmienną prędkością  $V_r$ , równą prędkości strugi poziomej (wzór 4).



Rys. 2. Ilustracja zachowania się ziarn produktu ciężkiego (a) i lekkiego (b) w skrzyni separatora Toporkowa

W pionowym kierunku ziarno przejdzie drogę  $H$  równą wysokości strugi, w poziomym zaś w tym samym czasie - drogę  $S$  równą  $(R-r)$ . Z warunku równości tych czasów otrzymujemy równanie ruchu ziarna w poziomej strudze cieczy:

$$V_{st} \cdot S^2 + 2V_{st} \cdot r \cdot S - \frac{Q}{\pi} = 0. \quad (11)$$

Na podstawie równania (11) można określić zależność pomiędzy średnicą separatora i jego obciążeniem a wielkością wzbogacanych ziarn. W przypadku rozpatrywania ziarna lekkiego, należy siłę pionową działającą na ziarno skierować wektorem ku górze, co wynika z ciężaru właściwego ziarna mniejszego od ciężaru właściwego cieczy ciężkiej.

### 3. BADANIA WŁASNE

Badania przeprowadzono w laboratoryjnym separatorze Toporkowa z centralnym zasilaniem, o średnicy części cylindrycznej 295 mm i pojemności 5,7 litra. W separatorze tym wzbogacano węgiel w pięciu klasach ziarnowych: 10-5 mm, 5-2 mm, 2-1 mm, 1-0,5 mm i 10-0,5 mm o odpowiednim średnim zapopieleniu: 29,8%, 30,0%, 25,6%, 27,8% i 28,2%, w cieczy ciężkiej jednorodnej (wodny roztwór chlorku cynku) oraz w cieczy ciężkiej zawiesinowej (obciążnik stanowił magnetyt o uziarnieniu  $< 0,033$  mm). Ciężar wł. rozdziału 1,5 g/cm<sup>3</sup>. Lepkość c.c. jednorodnej wynosiła 3,0 cp a lepkość cieczy zawiesinowej ok. 6,0 cp.

Badania przeprowadzono dla dwóch wariantów odbioru frakcji ciężkiej:

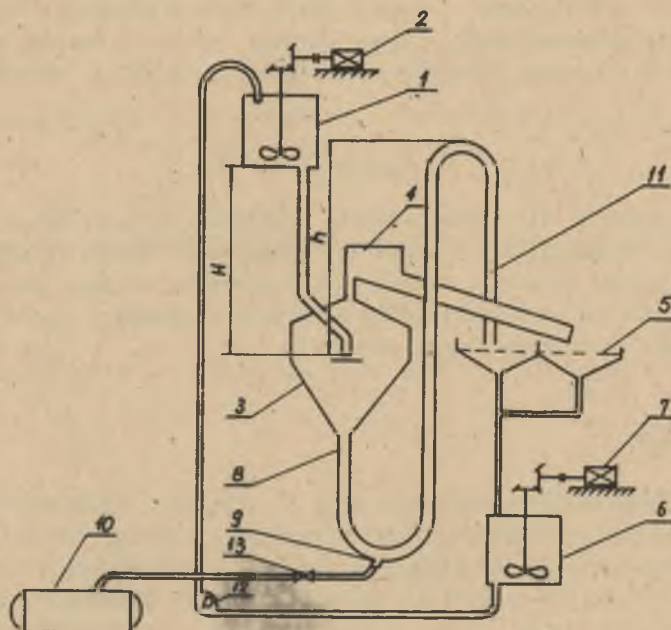
- I - odbiór okresowy
- II - odbiór ciągły

z czym wiązała się różna statyczność ośrodka w skrzyni separatora. W niniejszej pracy umieszczono schemat stanowiska do badań w przypadku ciągłego odbioru frakcji ciężkiej (rys. 3). Nadawę do separatora 3, stanowiącą mieszaninę węgla z cieczą ciężką, podawano z mieszalnika 1. Koncentrat z separatora odbierano przelewem 4 do przedziału na sito 5. Odpady zaś - kolumną 11 do drugiego przedziału również na sito 5.

W drugim wariantcie badań, odpady opadały do zbiornika wprowadzonego w miejsce kolumny 11 i odbierane były okresowo po uprzednim przepompowaniu cieczy do mieszalnika 1.

Oznaczano wychody oraz zawartości popiołu w produktach wzbogacania. Nadawę oraz produkty wzbogacania (koncentrat, odpady) poddawano analizie densymetrycznej w cieczach ciężkich jednorodnych o c.wł. 1,3; 1,35; 1,40; 1,50; 1,60; 1,70 i 1,80 g/cm<sup>3</sup>, na podstawie której wyznaczono wartości rozproszenia prawdopodobnego, charakteryzującego sprawność pracy separatora w danych warunkach.

W niniejszej pracy nie przytoczono tych analiz, a jedynie podano końcowe wyniki - wartości rozproszenia prawdopodobnego. Dla ww. wariantów odbioru frakcji ciężkiej określono prędkości płynięcia strug cieczy w kie-



Rys. 3. Schemat stanowiska z separatorem Toporkowa do badań nad wzbogaceniem drobnych węgli w cieczach ciężkich jednorodnych i zawiesinowych w przypadku ciągłego odbioru frakcji ciężkiej

1 - mieszalnik nadawy, 2 - napęd mieszadła, 3 - laboratoryjny separator Toporkowa, 4 - odbiór frakcji lekkiej, 5 - sito ( $\phi 0,3$  mm), 6 - zbiornik cieczy ciężkiej z mieszadłem, 7 - napęd, 8 - wylot ze skrzyni separatora, 9 - króciec doprowadzający sprężone powietrze, 10 - zbiornik sprężonego powietrza, 11 - kolumna odprowadzająca frakcję ciężką, 12 - pompa, 13 - zawór

runku przelewu (w połowie wysokości stożka górnego - na rys. 1 przekrój B-B) oraz w kierunku wylewu (w połowie wysokości stożka dolnego - rys. 1 przekrój  $B_1 - B_1$ ). I tak, w przypadku odbioru okresowego odpadów prędkość strug cieczy w kierunku przelewu wynosiła  $V_p = 1,90$  cm/s, zaś w kierunku wylewu prędkość można było przyjąć równą zero, a więc  $V_w = 0$  cm/s. W przypadku odbioru ciągłego produktów wzbogacania prędkość strug cieczy w określonych przekrojach wynosiły odpowiednio:

$$V_p = 1,10 \text{ cm/s} \quad \text{i} \quad V_w = 0,80 \text{ cm/s.}$$

3a) Wzbogacanie węgli drobnouziarnionych w cieczy ciężkiej jednorodnej, w przypadku okresowego odbioru frakcji ciężkiej

Badania prowadzono przy różnicy poziomów - wylot z mieszalnika wlot do separatora  $H = 342$  mm, 492 mm i 642 mm, celem znalezienia najkorzystniejszej

Tablica 1

Wyniki wzbogacania węgla drobnouziarnionych w laboratoryjnym separatorze Toporkowa

Klasa ziarnowa  mm	Wartości teoretyczne			Wartości rzeczywiste			Wartości rozpro- szczenia prawdo- podobne- go  e
	Wychód kon- cen- tratu	Zawar- tość po- piólu w konc.	Zawar- tość po- piólu w odpadach	Wychód kon- cen- tratu	Zawar- tość po- piólu w odpadach	Zawar- tość po- piólu w odpadach	
	$\gamma_t$ %	$\delta_t$ %	$\beta_t$ %	$\gamma_r$ %	$\delta_r$ %	$\beta_r$ %	

Warunki wzbogacania: c.c. jednorodna, okresowy odbiór frakcji ciężkiej,  
H = 342 mm

10 - 5	63,03	6,67	70,00	57,8	5,56	71,52	0,022
5 - 2	62,20	5,45	70,40	61,7	5,02	72,31	0,025
2 - 1	64,88	5,30	63,50	64,7	5,03	71,21	0,045
1 -0,5	65,50	5,30	70,50	65,3	5,54	66,80	0,055
10 -0,5	64,40	5,50	68,50	64,0	4,89	69,60	0,035

Warunki wzbogacania: c.c. jednorodna, ciągły odbiór frakcji ciężkiej /  
H = 342 mm, h = 902 mm

10 - 5	63,03	6,67	70,0	63,5	6,72	69,87	0,045
5 - 2	62,20	5,45	70,4	64,7	6,27	71,89	0,048
2 - 1	64,88	5,3	63,5	64,2	7,46	57,97	0,078
1 -0,5	65,50	5,3	70,5	64,1	17,60	46,16	-
10 -0,5	64,40	5,5	68,5	63,2	5,35	67,38	0,050

Warunki wzbogacania: c.c. zawieszinowa, ciągły odbiór frakcji ciężkiej,  
H = 342 mm, h = 902 mm

10 - 5	63,03	6,67	70,0	61,5	7,21	68,52	0,060
5 - 2	62,2	5,45	70,4	61,8	7,46	68,71	0,125
2 - 1	64,88	5,3	63,5	65,5	13,72	49,54	0,190
1 -0,5	65,50	5,3	70,5	68,8	23,27	41,53	-
10 -0,5	64,40	5,5	68,5	63,9	7,28	66,83	0,075

szego ciśnienia nadawy do separatora. Ponieważ najlepsze wyniki wzbogacania dla wszystkich klas ziarnowych otrzymano przy H = 342 mm, a więc w przypadku najmniejszego ciśnienia statycznego nadawy - a tym samym największej statyczności ośrodka - wyniki przy H = 642 mm i 492 mm pominięto a przytoczono jedynie wyniki wzbogacania, uzyskane przy H = 342 mm (tablica 1).

Najniższą zawartość popiołu w koncentracie otrzymano dla klasy ziarnowej 10-0,5 mm, tj.  $\psi_r = 4,89\%$  przy wychodzie  $\eta_r = 64\%$ . Dla pozostałych klas ziarnowych otrzymano równie dobre wyniki. Uzyskane wartości rozproszenia prawdopodobnego, podane w tabl. 1, należy uznać za korzystne, a ich wartości mieszczą się w granicach  $e = 0,022-0,055$ .

### 3b) Wzbogacanie węgla drobnouziarnionych w cieczy ciężkiej jednorodnej w przypadku ciągłego odbioru frakcji ciężkiej

Badania przeprowadzono przy różnicy poziomów - wylot z mieszalnika - wlot do separatora  $H = 342$  mm i 492, oraz różnicy poziomów - wlot nadawy do separatora - najwyższy punkt kolumny odprowadzającej frakcję ciężką  $h = 902$  mm i 992 mm. Najlepsze wyniki wzbogacania otrzymano dla  $H=342$  mm i  $h = 902$  mm (tablica 1) i dla tych parametrów pracy separatora, dla wszystkich badanych klas ziarnowych z wyjątkiem klasy 1-0,5 mm przeprowadzono analizę sprawności pracy separatora.

Wartości rozproszenia prawdopodobnego mieszczą się w granicach 0,045-0,078 (tablica 1). Wychód koncentratu w klasie ziarnowej 10-0,5 mm wynosi  $\eta_r = 63,2\%$  o zawartości popiołu  $\psi_r = 5,35\%$ , przy teoretycznych założeniach  $\eta_t = 64,4\%$  i  $\psi_t = 5,5\%$ . Jak wynika z tablicy 1 niezadowalający wynik otrzymano dla klasy najdrobniejszej 1-0,5 mm, dla której rzeczywista zawartość popiołu w koncentracie wynosiła  $\psi_r = 17,60\%$  przy przewidywanej  $\psi_t = 5,3\%$ . Taki wynik należy tłumaczyć hydraulicznym oddziaływaniem strug cieczy wywołanych większym naruszeniem statyczności ośrodka przez zastosowanie intensywnego odbioru produktu ciężkiego.

W przypadku wzbogacania węgla w laboratoryjnym separatorze Toporkowa - w warunkach ciągłego odbioru frakcji ciężkiej - otrzymano gorsze wyniki, aniżeli w warunkach okresowego odbioru tegoż produktu.

### 3c) Wzbogacanie węgla drobnouziarnionych w cieczy ciężkiej zawieszinowej w przypadku ciągłego odbioru frakcji ciężkiej

Wyniki badań przy różnicy poziomów - wylot z mieszalnika - wlot do separatora  $H = 342$  mm oraz różnicy poziomów wlot nadawy do separatora - najwyższy punkt kolumny odprowadzającej frakcję ciężką  $h = 902$  mm ujmują tablica 1. Najkorzystniejsze rezultaty w tej serii badań otrzymano dla klas 10-5 mm oraz 10-0,5 mm. Wychód koncentratu w klasie 10-0,5 mm wynosił  $\eta_r = 63,5\%$  o zawartości popiołu  $\psi_r = 7,28\%$ . W miarę obniżania granicy wielkości ziarn stwierdzono znaczne pogorszenie rezultatów wzbogacania. Najgorszy efekt otrzymano dla klasy 1-0,5 mm oraz 2-1 mm, co należałoby tłumaczyć znacznym wzrostem lepkości ośrodka magnetytowej cieczy ciężkiej w stosunku do cieczy ciężkiej jednorodnej o tym samym ciężarze właściwym.

Wyniki analizy sprawności pracy separatora w postaci wartości rozproszenia prawdopodobnego dla wszystkich klas ziarnowych z wyjątkiem klasy 1-0,5 mm ujmują tablica 1.

Wartości rozproszenia mieszczą się w granicach  $e = 0,060-0,190$ .



## 4. WNIOSKI

1. Wyniki przedstawionych badań potwierdzają wyraźny wpływ lepkości ośrodka na rozdział najdrobniejszych ziarn, co obrazuje porównanie jakości koncentratów uzyskanych w identycznych warunkach dla cieczy jednorodnej i cieczy zawieszinowej.
2. Uzyskane rezultaty w zakresie jakości koncentratu, jak i jakości odpadów, należy uznać za zadowalające, w szczególności dla szerszej klasy ziarnowej 10-0,5 mm.
3. Wartości rozproszenia prawdopodobnego dla poszczególnych wariantów doświadczeń mieszczą się w następujących granicach:
  - c.c. jednorodna, okresowy odbiór frakcji ciężkiej  $e = 0,22 - 0,55$ ,
  - c.c. jednorodna, ciągły odbiór frakcji ciężkiej  $e = 0,045 - 0,078$ ,
  - c.c. zawieszinowa, ciągły odbiór frakcji ciężkiej  $e = 0,060 - 0,190$ .
4. Metodą tą można uzyskać rezultaty zbliżone do rezultatów uzyskiwanych w zakresie ziarn grubszych, lecz nie należy oczekiwać wyraźnie niskiej zawartości popiołu w koncentracie, przy średnio występującym zapopleczeniu nadawy w badanym zakresie klas ziarnowych.

## LITERATURA

- [1] Toporkow W.J.; Obogaszczeniye koksujuszczichsja uglej w tiazolych suspenzijach. Koks i Chimija, Nr 7, 1957.
- [2] Toporkow W.J., Fłorinskij N.F., Szewczenko A.J.: Obogaszczeniye uglej w tiazolych sriedach na Jasinowskom Kokschemiczeskom zawodzie. Koks i Chimija, Nr 9, 1959.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАД ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ  
НИЗКОСОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ З МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ УГЛЕЙ  
В СЕПАРАТОРЕ С ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПОЛУЧЕНИЕМ ВЕЩЕСТВ

## Р е з ю м е

В статье приводятся результаты исследования над возможностью получения низкосольных угольных концентратов из мелкозернистых углей, в сепараторе с тяжелой жидкостью - простой конструкции, отсутствующих подвижных элементов, которые могли бы воздействовать на устойчивость среды.

Полученные результаты были приближены до результатов в пределе крупнейших зёрн.

LABORATORY INVESTIGATION ON THE FEASIBILITY OF OBTAINING LOW-ASH-CONCENTRATES FROM SMALL-GRAIN-COALS IN THE SEPARATOR WITH THE HYDRAULIC COLLECTOR OF PRODUCTS

S u m m a r y

The paper contains the results of studies into the possibility of obtaining low ash coal concentrate from the fine grained coals in a separator with a heavy fluid of simple construction having no moving parts that would disturb the stability of the medium. The results were close to those of the coarse grain range.