

Stanisław BŁASZCZYŃSKI

Jan SZPYRKA

ODSIARCZANIE DROBNOZIARNIONYCH WĘGLI ENERGETYCZNYCH
W HYDROCYKLONACH WZBOGACAJĄCYCH

Streszczenie. Badania w ramach przedstawionej pracy miały na celu podniesienie efektywności rozdziału gęstościowego i tym samym skuteczności usuwania siarki w postaci pirytu z węgla energetycznych. Uzyskane wyniki pozwoliły na wyznaczenie najkorzystniejszych warunków prowadzenia procesu rozdziału gęstościowego oraz najkorzystniejszej geometrii profilu części stożkowej hydrocyklonu wzbogacającego w ośrodku wodnym.

1. WPROWADZENIE

Na całym świecie obserwuje się stopniowanie wymagań odnośnie do czystości atmosfery, od całkowitej dowolności po wyznaczanie "stref bezdymnych", gdzie zastosowanie paliw powodujących zanieczyszczenie atmosfery jest całkowicie zabronione. Akcję ochronną prowadzi się wielokierunkowo, a potencjał przeznaczony dla tej działalności w krajach wysoko uprzemysłowionych jest bardzo znaczny.

Przemysł energetyczny, oparty w Polsce na węglu kamiennym i brunatnym, jest bardzo dużym źródłem skoncentrowanej emisji SO_2 . Spalane w elektrowniach najgorsze gatunki węgla kamiennego, zawierające do 4% siarki powodują, że emisja SO_2 wynosi u nas przeciętnie około 35 kg/tonę spalonego węgla.

Systematyczny wzrost mocy jednostkowej elektrowni zawodowych powoduje wzrost zużycia węgla, przy wzroście koncentracji gazów spalinowych w rejonie pracy tych elektrowni.

Na podstawie oszacowań i obliczeń, przy zastosowaniu w nowo budowanych elektrowniach kominów o wysokości 200 do 300 m, w czasie występowania niesprzyjających warunków atmosferycznych mogłoby występować przekroczenie dopuszczalnego stężenia SO_2 w granicach 40-70 km, jeśli elektrownie te zmuszone byłyby pracować na węglu, w którym zawartość siarki przekraczałaby 1,5%. Dyłoby to olbrzymie zagrożenie dla atmosfery przez elektrownie, w strefie którego znalazłaby się znaczna część powierzchni naszego kraju.

Tak więc, niezależnie od podstawowych parametrów jakościowych węgla energetycznych, takich jak: zawartość popiołu i ciepło spalania - decydujących o przydatności węgla - wspomniana powyżej koncentracja mocy produkcyjnej, spowodowała ostre wystąpienie znaczenia dodatkowego parametru, jakim jest zawartość siarki w węglu, decydującej o obecności gazów toksycznych w spalinach odprowadzonych do atmosfery.

Jednym z kierunków zapobiegających nadmiernemu zanieczyszczeniu atmosfery jest odsiarcowanie paliwa. Jest to zagadnienie trudne i sprawia wiele kłopotów technologicznych. Potrzeby w zakresie odsiarczania węgla energetycznych przed procesami spalania stanowią zatem podstawę do podjęcia badań rozdziału gęstościowego wymienionych wyżej węgla w hydrocyklonach wzbogacających.

2. STANOWISKO BADAWCZE I CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW

Badania przeprowadzono na stanowisku doświadczalnym przedstawionym na schemacie (rys. 1). Biorąc pod uwagę charakter materiałów użytych do badań, zrezygnowano na wstępie z prowadzenia procesu w obiegu zamkniętym zasilanym pompą, z uwagi na trudności utrzymania w tych warunkach niezmiennego, w trakcie kolejnych prób składu ziarnowego nadawy.

Prowadzenie procesu w obiegu otwartym z zasilaniem hydrostatycznym znacznie zwiększyło uciążliwość prowadzenia doświadczeń, niemniej jednak, jedynie taki układ zapewniał niezmiennosc i powtarzalność zadanych parametrów.

Zastosowane stanowisko umożliwiło zmianę następujących parametrów procesu:

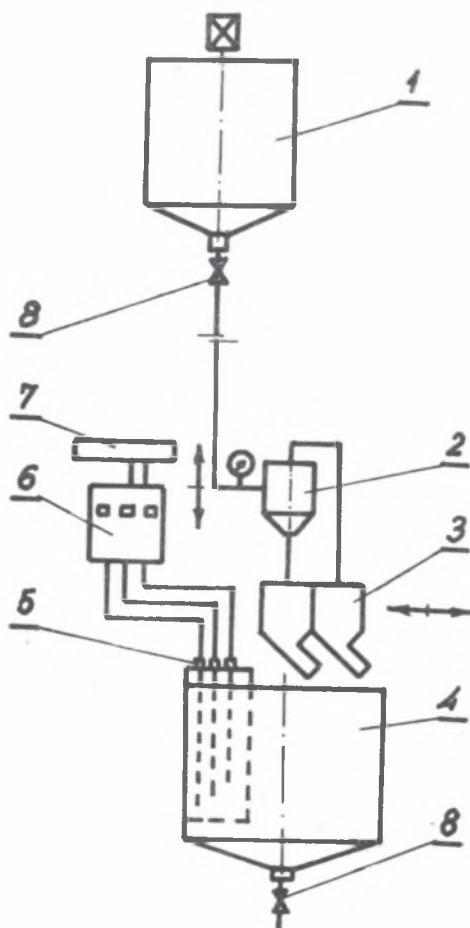
- zagęszczenie nadawy;
- ciśnienie zasilania,
- montowanie różnych hydrocyklonów.

Po przeprowadzeniu wielu próbnych serii doświadczeń na materiałach modelowych, ustalono szereg najkorzystniejszych wielkości parametrów technologicznych, jak i konstrukcyjnych hydrocyklonu. Parametrami stałymi, niezmiennymi w trakcie badań, były:

| | |
|---------------------|--------------------|
| ciśnienie zasilania | $p = 39,23$ (kPa), |
| zagęszczenie nadawy | $\alpha = 20\%$. |

Badania prowadzono w hydrocyklonie wzbogacającym $D = 100$ (mm), wyposażonym w sześć wymiennych części stożkowych. Parametry zastosowanych stożków (rys. 2) przedstawiono w tabeli 1.

Parametrami badanymi były również średnica dyszy wylawowej d oraz wysokość położenia dolnej krawędzi otworu dyszy przelewowej h .



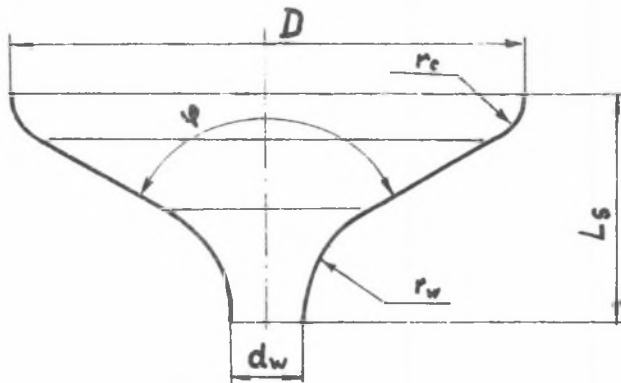
Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

1 - zbiornik nadawczy, 2 - hydrocyklon, 3 - próbobiornik, 4 - zbiornik odbiorczy, 5 - czujnik zmiany poziomu, 6 - sygnalizator typ EP-53N105TZ, 7 - czasomierz cyfrowy typ PFL-21, 8 - zawory spustowe

Fig. 1. Diagram of the test stand

1 - feeder tank, 2 - hydrocyclone, 3 - sampler, 4 - receiver tank, 5 - level gauge, 6 - signalling device type EP-53N106TZ, 7 - digital time recorder type PFL-21, 8 - draining valves

Nadawę do badań stanowił węgiel z KWK "Siersza". Węgiel ten jest jednym z najtrudniejszych do odsiarczania polskich węgli energetycznych. Wynika to przede wszystkim z największego rozproszenia pirytu. Wielkość jego ziarn waha się w granicach 0,5-0,003 (mm). Charakterystyczną cechą jest również przerastanie pirytu ze skałą płonna (60-70%). Drobne, kilkumikro-



Rys. 2. Parametry geometryczne stożków

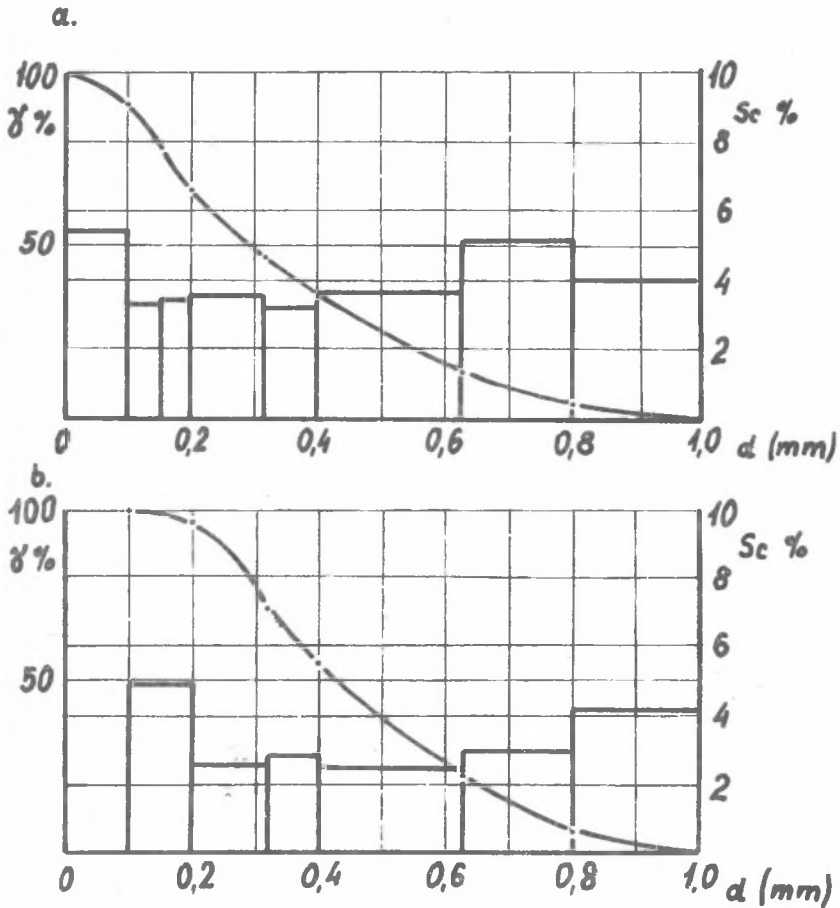
Fig. 2. Geometrical parameters of the cones

Tabela 1

| Nr stożka | D (mm) | L_s (mm) | D_w (mm) | φ (°) | r_w (mm) | r_t (mm) | V_{s3} (cm ³) |
|-----------|--------|------------|------------|---------------|------------|------------|-----------------------------|
| 1 | 100 | 50,5 | 6-15 | 80 | - | - | 153,40 |
| 2 | 100 | 45 | 6-15 | 120 | 25 | 10 | 120,45 |
| 3 | 100 | 41 | 6-15 | 140 | 25 | 10 | 102,44 |
| 4 | 100 | 42,5 | 6-15 | - | 21,5 | 21 | 149,46 |
| 5 | 100 | 42,5 | 6-15 | - | 42,5 | - | 48,89 |
| 6 | 100 | 58 | 6-15 | - | 10 | 50 | 263,55 |

nowe wprysnięcia pirytu w węglu są główną przyczyną niskiej efektywności procesów odsiarczania.

Węgiel do badań skruszono w młyńcu udarowo-odśrodkowym z sitem 1,5 (mm), a następnie odsiano na sucho klasę 1-0 (mm). Tak przygotowany węgiel stanowił materiał do badań w pierwszym etapie. Do badań drugiego etapu z wyżej opisanego materiału odsiano na mokro klasę 1-0,1 (mm). Charakterystyki tych materiałów przedstawiono na wykresach (rys. 3).



Rys. 3. Krzywe składu ziarnowego próby urobkowej węgla z KWK "Siersza" z zawartościami siarki całkowitej S_c w poszczególnych klasach
a. próba w klasie (1-0), b. próba w klasie (1-0,1)

Fig. 3. Curve of the grain composition of mine-run samples from the "Siersza" colliery containing composite sulphur S_c in the respective classes
a. sample in the class (1-0), b. sample in the class (1-0,1)

3. WYNIKI DADAŃ

Zadaniem procesu rozdziału gęstościowego jest możliwie najdokładniejsze wydzielenie do jednego produktu ziarna o ciężarze właściwym poniżej pewnej wielkości oraz uzyskanie drugiego produktu zawierającego ziarna o ciężarze właściwym powyżej tej wielkości. W rzeczywistym procesie zachodzącym w hydrocyklonie, rozdział następuje według trzech kryteriów równocześnie

(zagęszczanie, klasyfikacja, wzbogacanie), a więc nigdy nie będzie idealny, a każdy z produktów zawiera pewną ilość ziarn, które się w nim znaleźć nie powinny. Im takich ziarn będzie mniej, tym ostrość rozdziału będzie wyższa.

Do oceny procesów wzbogacania oraz odsiarczania przyjęto wskaźnik efektywności rozdziału E , stosowany we wcześniejszych pracach (5), które potwierdziły jego pełną przydatność.

Wyniki badań zestawiono w tabelach 2 i 3. Efektywność rozdziału próby węgla rozpatrywano zarówno pod kątem skuteczności odsiarczania, jak i wzbogacania węgla. Wartości wskaźnika efektywności odsiarczania E_{Sc} wyliczano każdorazowo z zawartości siarki całkowitej Sc (%) w produktach rozdziału. Podobnie wartości wskaźnika efektywności wzbogacania E_{λ} wyliczano z zawartości popiołów λ (%) w produktach rozdziału.

Najwyższe wartości wskaźnika E_{Sc} uzyskano dla stożków oznaczonych numerami 2 i 6. Wnoszą one odpowiednio: $E_{Sc_2} = 44,73$ (%); $E_{Sc_6} = 40,38$ (%) w drugim etapie badań.

Tabela 2

Zestawienie parametrów procesu oraz wskaźników rozdziału gęstościowego dla badań etapu 1

| Nr próby | Nr stożka | d_w mm | h_p mm | I * | przelew Sc % | wylw Sc % | E_{Sc} % | E_{λ} % |
|----------|-----------|-------------|-------------|--------|----------------------|-------------------|---------------|--------------------|
| 1 | 1 | 12 | 5 | 0,023 | 2,48 | 21,26 | 35,71 | 31,47 |
| 2 | 1 | 9 | 5 | 0,007 | 2,36 | 17,72 | 37,57 | 20,37 |
| 3 | 2 | 12 | 10 | 0,050 | 2,01 | 17,40 | 44,69 | 27,22 |
| 4 | 2 | 12 | 5 | 0,030 | 2,43 | 20,54 | 36,70 | 20,05 |
| 5 | 2 | 9 | 10 | 0,030 | 2,12 | 23,15 | 44,04 | 27,90 |
| 6 | 2 | 9 | 5 | 0,029 | 2,00 | 21,02 | 46,13 | 23,61 |
| 7 | 2 | 6 | 10 | 0,028 | 1,93 | 20,53 | 47,46 | 22,19 |
| 8 | 2 | 6 | 5 | 0,013 | 2,39 | 21,98 | 37,84 | 25,66 |
| 9 | 3 | 12 | 10 | 0,059 | 2,15 | 19,03 | 42,38 | 24,22 |
| 10 | 3 | 12 | 5 | 0,070 | 2,08 | 18,22 | 43,58 | 22,69 |
| 11 | 3 | 9 | 10 | 0,040 | 1,84 | 14,51 | 46,35 | 27,29 |
| 12 | 3 | 9 | 5 | 0,045 | 2,00 | 16,58 | 43,98 | 26,23 |
| 13 | 3 | 6 | 10 | 0,013 | 2,20 | 21,86 | 42,02 | 23,10 |
| 14 | 3 | 6 | 5 | 0,038 | 1,99 | 21,54 | 46,48 | 24,18 |
| 15 | 4 | 12 | 10 | 0,026 | 2,15 | 22,29 | 43,20 | 23,54 |
| 16 | 4 | 9 | 10 | 0,023 | 2,14 | 21,83 | 43,32 | 21,42 |
| 17 | 4 | 6 | 10 | 0,017 | 2,20 | 25,52 | 42,66 | 20,40 |
| 18 | 5 | 12 | 10 | 0,080 | 1,85 | 13,30 | 45,20 | 24,27 |
| 19 | 5 | 9 | 10 | 0,064 | 1,82 | 15,51 | 47,41 | 29,19 |
| 20 | 5 | 6 | 10 | 0,004 | 2,13 | 29,28 | 44,76 | 22,64 |
| 21 | 6 | 12 | -10 | 0,058 | 2,19 | 16,84 | 40,82 | 14,99 |
| 22 | 6 | 12 | -15 | 0,132 | 2,20 | 14,81 | 39,72 | 22,91 |
| 23 | 6 | 9 | -10 | 0,028 | 2,13 | 19,64 | 42,98 | 23,87 |
| 24 | 6 | 9 | -15 | 0,032 | 2,50 | 17,48 | 34,52 | 22,72 |
| 25 | 6 | 6 | -10 | 0,028 | 2,25 | 23,83 | 41,28 | 21,36 |
| 26 | 6 | 6 | -15 | 0,012 | 2,77 | 25,70 | 29,50 | 15,80 |

* I - rozdział ilościowy produktów

Tabela 3

Zestawienie parametrów procesu oraz wskaźników rozdziału gęstościowego dla badań etapu 2

| Nr próby | Nr stożka | d_w mm | h_p mm | I * | przelew Sc % | wylew Sc % | E_{Sc} % | E_λ % |
|----------|-----------|-------------|-------------|--------|--------------------|------------------|---------------|------------------|
| 1 | 1 | 12 | 5 | 0,077 | 2,20 | 14,54 | 22,24 | 17,48 |
| 2 | 1 | 9 | 5 | 0,040 | 2,30 | 14,07 | 15,35 | 15,00 |
| 3 | 1 | 6 | 5 | 0,015 | 2,43 | 15,91 | 14,70 | 5,34 |
| 4 | 2 | 12 | 10 | 0,101 | 1,57 | 11,41 | 40,22 | 27,76 |
| 5 | 2 | 12 | 5 | 0,088 | 1,78 | 11,67 | 34,46 | 12,29 |
| 6 | 2 | 9 | 10 | 0,066 | 1,43 | 12,55 | 44,73 | 41,03 |
| 7 | 2 | 9 | 5 | 0,080 | 1,71 | 10,56 | 35,87 | 38,55 |
| 8 | 2 | 6 | 10 | 0,022 | 1,55 | 10,16 | 40,97 | 35,29 |
| 9 | 2 | 6 | 5 | 0,069 | 1,70 | 12,16 | 36,97 | 20,17 |
| 10 | 3 | 12 | 10 | 0,047 | 1,77 | 13,45 | 35,40 | 12,33 |
| 11 | 3 | 12 | 5 | 0,061 | 1,83 | 13,33 | 33,57 | 17,78 |
| 12 | 3 | 9 | 10 | 0,035 | 1,83 | 15,81 | 34,15 | 24,43 |
| 13 | 3 | 9 | 5 | 0,035 | 1,92 | 15,24 | 28,36 | 23,01 |
| 14 | 3 | 6 | 10 | 0,030 | 2,07 | 15,20 | 26,50 | 17,20 |
| 15 | 3 | 6 | 5 | 0,033 | 2,07 | 18,28 | 26,82 | 19,13 |
| 16 | 4 | 12 | 10 | 0,053 | 2,36 | 11,62 | 18,49 | 25,28 |
| 17 | 4 | 9 | 10 | 0,051 | 2,10 | 10,76 | 24,74 | 24,15 |
| 18 | 4 | 6 | 10 | 0,046 | 2,56 | 15,09 | 10,23 | 22,49 |
| 19 | 5 | 12 | 10 | 0,056 | 1,89 | 11,74 | 31,29 | 28,13 |
| 20 | 5 | 9 | 10 | 0,046 | 1,85 | 13,05 | 33,08 | 36,72 |
| 21 | 5 | 6 | 10 | 0,040 | 1,80 | 15,35 | 34,98 | 17,74 |
| 22 | 6 | 12 | -10 | 0,063 | 1,57 | 11,68 | 40,38 | 17,26 |
| 23 | 6 | 12 | -15 | 0,099 | 2,41 | 12,12 | 15,17 | 9,50 |
| 24 | 6 | 9 | -10 | 0,050 | 2,13 | 12,61 | 24,21 | 15,85 |
| 25 | 6 | 9 | -15 | 0,063 | 2,47 | 15,67 | 12,83 | 11,11 |
| 26 | 6 | 6 | -10 | 0,022 | 2,54 | 15,57 | 10,93 | 15,98 |
| 27 | 6 | 6 | -15 | 0,023 | 2,54 | 14,79 | 10,91 | 7,13 |

* I - rozdział ilościowy produktów

W pierwszym etapie, najwyższe wartości uzyskano dla stożków 2 i 5:

$$E_{Sc_2} = 47,46 (\%) \text{ i } E_{Sc_5} = 47,41 (\%).$$

Natomiast najwyższe wartości wskaźnika E_λ uzyskano dla stożków o numerach 2 i 5: $E_{\lambda_2} = 41,29 (\%)$; $E_{\lambda_5} = 36,72$ w drugim etapie badań oraz dla stożków 3 i 7: $E_{\lambda_3} = 31,47 (\%)$; $E_{\lambda_7} = 29,19 (\%)$ w pierwszym etapie.

Najkorzystniejsze rezultaty odsiarczania uzyskano zatem w badaniach pierwszego etapu. Zawartość siarki całkowitej obniżono w 53,9 (%) w stosunku do ilości początkowej, zawartej w węglu surowym.

W kontekście światowych osiągnięć w tej dziedzinie, zamykających się usunięciem siarki w granicach 30-50% od ilości początkowej oraz w kontekście struktury mineralogicznej badanego węgla, uzyskane rezultaty są zadowalające. Potwierdzają celowość obranego kierunku i zachęcają do dalszych badań technologicznych w układach wielostopniowych, a także prób przemysłowych.

4. WNIOSKI

1. Obniżenie zawartości siarki całkowitej w wyniku rozdziału gęstościowego w hydrocyklonie wzbogacającym o 53,9 (%) od wielkości początkowej jest wynikiem zadowalającym, biorąc pod uwagę stopień uwolnienia ziarna pirytu z węgla.

2. Najwyższą efektywność odsiarczania $E_{SC} = 47,46$ (%) uzyskano na stożku o złożonej geometrii profilu, oznaczonym numerem 2. Opierając się na rezultatach badań technologicznych, określono dla powyższego stożka najkorzystniejszą wielkość zagęszczenia początkowego nadawy $\alpha = 20$ (%), średnicę otworu wylelowego $d_w = 6$ (mm) oraz wysokość położenia otworu dyszy przelewowej $h_p = 10$ (mm).

LITERATURA

- [1] Blaschke S., Chmura C.: Rozeznanie stopnia zasiarczania węgla rejonu J.M.Z.P.W. XXI Sesja Naukowa AGH, Kraków 1971.
- [2] Błaszczczyński S., Ojas A., Świerkot-Kopała A.: Odsiarczanie węgla w hydrocyklonie o potrójnym kącie zbieżności stożka. ZN Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 86, 1977.
- [3] Nowak Z.: Teoretyczne i praktyczne aspekty odsiarczania polskich węgla XXI Sesja naukowa AGH, Kraków 1971.
- [4] Nowak Z., Lisoń J.: Możliwości odsiarczania niektórych polskich węgla energetycznych metodami wzbogacania grawitacyjnego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Górnictwo, z. 48, 1971.
- [5] Szpyrka J.: Wpływ geometrii części stożkowej hydrocyklonu wzbogacającego w ośrodku wodnym na separację składników ciężkich z drobnouziarnionych węgla. Praca Doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice, 1986.

ОБЕССЕРИВАНИЕ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УГЛЯ
В ОБОГАЩАЮЩИХ ГИДРОЦИКЛОНАХ

Р е з ю м е

Исследования в рамках представленной работы имели целью повышение эффективности распределения плотности и тем самым эффективности устранения серы в виде шрита из энергетических углей. Полученные результаты позволили определить наиболее выгодные условия проведения процесса распределения плотности, а также наиболее выгодной геометрии профиля конической части обогащающего гидроциклона в водной среде.

DESULPHURIZATION OF FINE-GRAINED POWER COAL IN ENRICHING HYDROCYCLONES

S u m m a r y

It was the aim of the investigations discussed in this paper to increase the effectiveness of density separation and thus also the efficiency of the removal of sulphur in the form of pyrite from power coal. The obtained results have made it possible to determine the most favourable conditions of carrying on the process of density separation and most advantageous geometry of the profile of the conic part of the enriching hydrocyclone in a hydrous medium.