

Wiesław CIESLIK

Adam KLICH

Instytut Maszyn Górniczych,
Przeróbczych i Automatyki
AGH w KrakowieMULTIHYDROCYKLONY ROTODYNAMICZNE W UKŁADACH OCZYSZCZANIA WÓD GÓRNICZYCH
I ODZYSKU Z HYDROMIESZANIN SUROWCÓW WTRÓNYCH

Streszczenie: W referacie przedstawiono porównanie multihydrocyklonów w wykonaniu klasycznym z nowym multihydrocyklonem rotodynamicznym pod względem zasady działania parametrów konstrukcyjnych i przepływowych. Omówiono typoszereg odmian konstrukcyjnych opracowanych multihydrocyklonów w Instytucie Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Automatyki AGH w Krakowie. Przedstawiono przykładowe układy technologiczne zastosowane w przemyśle górniczym oraz dodatkowo azbestowo-cementowym. W zakończeniu podano informację odnośnie możliwości wdrożenia multihydrocyklonów rotodynamicznych w innych gałęziach przemysłowych.

1. Wprowadzenie

Dynamiczny wzrost wydobycia surowców mineralnych stwarza konieczność stosowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych w przemyśle. Realizacja nowych technologii w skali przemysłowej pociąga za sobą duże zapotrzebowanie wody, przy czym stosunek masy wody do suchej masy surowca mineralnego mieści się w przedziale wartości od 3 do 16. Tak duża ilość wody po spełnieniu podstawowej funkcji w technologicznym procesie jest poddana procesowi wydzielenia drobnych ziarn surowca /odpadów/, najczęściej poprzez składowanie w naturalnych lub specjalnie budowanych zbiornikach wody zanieczyszczonej w postaci stawów osadowych lub osadników grawitacyjnych.

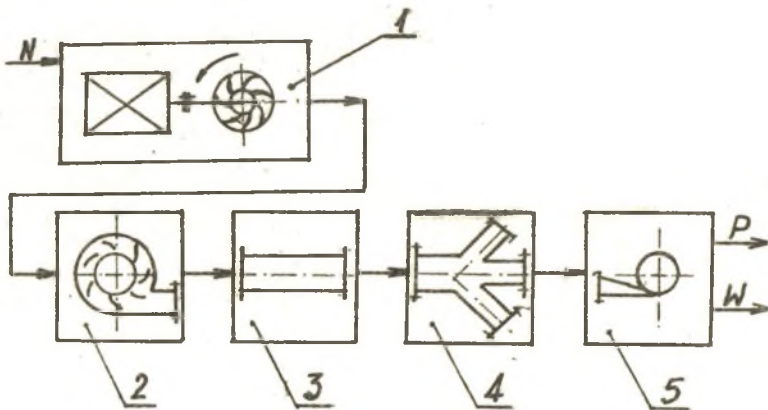
Gospodarka wodą głównie w przemyśle górniczym natrafia na poważny problem, jakim jest ochrona środowiska naturalnego, co zmusza do możliwie szybkiego oczyszczania wód w zamkniętym obiegu wodno-mułowym. W klasycznych metodach wykorzystuje się do tego celu hydromechaniczne zjawiska sedymentacji, głównie w polu działania siły grawitacji. Stawy osadowe i zbiorniki sedymentacyjne charakteryzują się znacznymi powierzchniami oraz stwarzają duże trudności eksploatacyjne głównie w okresie ujemnych temperatur otoczenia, jak również w przypadku nadmiernych opadów atmosferycznych. Są także stosowane urządzenia mechaniczne do oczyszczania wód, w których wykorzystuje się hydromechaniczne zjawiska sedymentacji lub rozdziału na przegrodzie i w polu działania siły odśrodkowej. Do tych urządzeń należą wirówki sedymentacyjne, hydrocyklony, wirówki sitowe i odśrodkowe sita odwadniające. Stosowanie wymienionych urządzeń w instalacjach przemysłowych pozwala na zamknięcie obiegu wodnego.

Do nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych, za pomocą których istnieje możliwość stosunkowo prostego i ekonomicznego oczyszczania zanieczyszczono-

nych wód należą tak zwane multihydrocyklony rotodynamiczne opracowane i przebadane w Instytucie Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Automatyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Znalazły one przemysłowe zastosowanie do oczyszczania wód górniczych w kopalniach z podsadzką płynną, technologicznych wód w przemyśle wyrobów cementowo-azbestowych, oczyszczania wód zanieczyszczonych piaskiem i olejem myjni samochodów i wagonów.

2. Porównanie multihydrocyklonu klasycznego z nowym multihydrocyklonem rotodynamicznym

Klasyczne układy instalacji multihydrocyklonów z odrębnym źródłem zasilania, charakteryzują się znaczną ilością zespołów i elementów połączonych ze sobą. Podczas przepływu ciekłych mieszanin przez te instalacje, występują znaczne straty hydrauliczne, które powodują zaniżenie wskaźników energetycznych i technologicznych. Schemat blokowy instalacji klasycznego rozwiązania multihydrocyklonu przedstawia rys. 1.

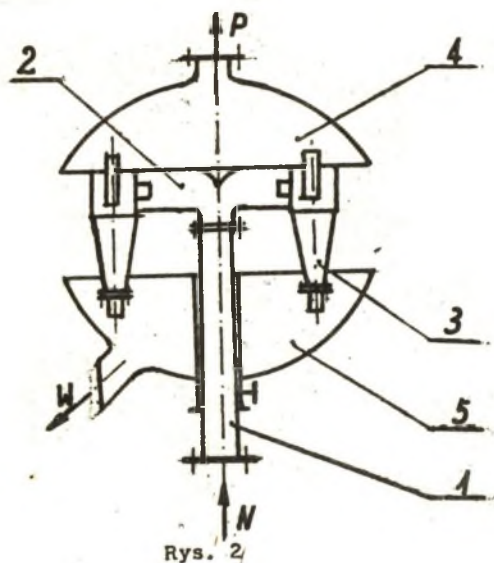


Rys. 1

W skład bloku 1 wchodzi silnik połączony z wałem wirnika za pomocą sprzęgła. Zachodzi tu transformacja mechanicznego momentu obrotowego na wielkości hydrauliczne. W bloku 2 rozróżnia się: spiralę zbiorczą /dyfuzor/ wraz z ewentualną palisadą łopatek kierownicy odśrodkowej. Przekrój spirali zbiorczej zwiększa się wraz z kierunkiem przepływu mieszaniny. Zachodzi tu transformacja ciśnienia dynamicznego na statyczne. Od doskonałości przemiany energetycznej w spirali zbiorczej i kierownicy łopatkowej w dużym stopniu zależy sprawność pompy wirowej. Blok 3 stanowi rurociąg doprowadzający mieszaninę. W tym rurociągu występują znaczne straty hydrauliczne. W skład bloku 4 wchodzi rozdzielacz, w którym występują zmiany kierunku przepływu oraz zmniejszenie przekroju przepływu zawiesiny, co także powoduje znaczne straty hydrauliczne. Blok 5 stanowią hydrocyklony, których dysze wlotowe są zbieżne. W zbieżnych dyszach wlotowych zachodzi druga z kolei transformacja w przepływającej zawieszynie dużego ciśnienia statycznego na ciśnienie dynamiczne konieczne do rozwinięcia się w cieczy główne

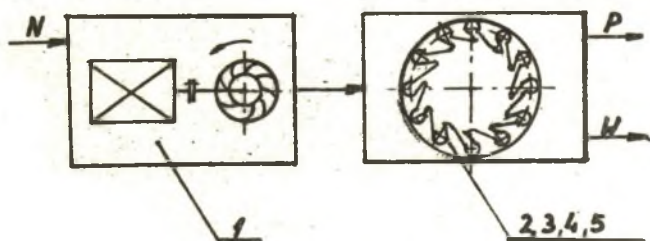
wiru swobodnego w hydrocyklonach.

W przypadku multihydrocyklonu klasycznego przedstawionego na rys. 2 mieszaninę wody i drobnych ziarn mineralnych doprowadza się przewodem zasilającym -1. Mieszanina wpływa do komory rozdzielczej -2, z którą łączą się dysze wlotowe poszczególnych hydrocyklonów -3. Dysze przelewowe hydrocyklonów połączone są z komorą przelewową -4, przez którą przepływa produkt przelewowy i opuszcza multihydrocyklon króćcem przelewowym. Drugi produkt rozdziału, tj. produkt wylewowy, wypływa przez stożkowe części hydrocyklonów do komory wylewowej -5.



Rys. 2

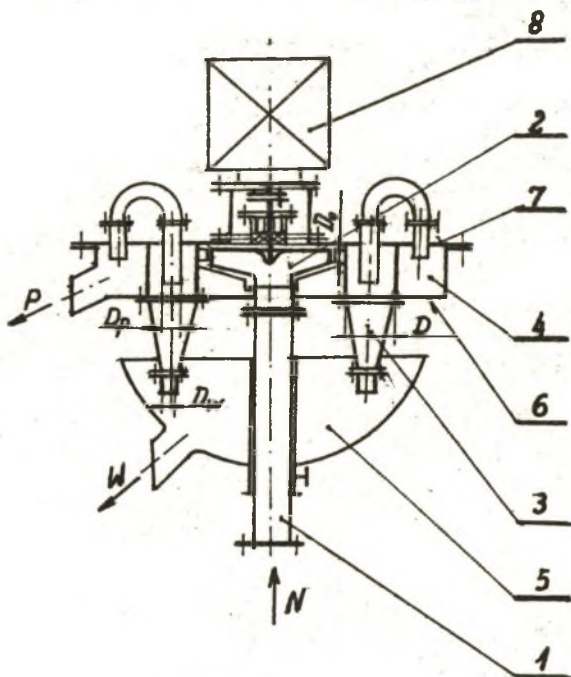
Multihydrocyklony w nowym rozwiązaniu nazwane rotodynamicznymi charakteryzują się zwartą budową, w których źródło zasilania, tj. wirnik wraz z elementarnymi hydrocyklonami zbudowane są we wspólnym korpusie. Schemat blokowy multihydrocyklonu nowej konstrukcji przedstawiono na rys. 3. Widoczne są tu tylko dwa bloki, z których pierwszy stanowi odpowiednik bloku pierwszego instalacji multihydrocyklonu o budowie klasycznej.



Rys. 3

Blok drugi zawiera wszystkie pozostałe bloki poprzedniej instalacji. Scalenie elementów czterech bloków, tj. 2, 3, 4 i 5 klasycznych multihydrocyklonów w jeden blok spowodowało zmniejszenie do minimum sumarycznych strat hydraulicznych podczas przepływu cieczy i ziarna surowca mineralnego, jak również pozwoliło na uzyskanie optymalnych wskaźników energetycznych i technologicznych rozdziału.

Konstrukcje multihydrocyklonu rotodynamicznego przedstawiono na rys. 4, w skład którego wchodzi następujące elementy: przewód zasilający -1, wirnik -2, hydrocyklony -3 o średnicy części cylindrycznej D , komora zbiorcza przelewu -4, lej zbiorczy wylewu -5, korpus -6, pokrywa -7 i silnik napędowy -8.



Rys. 4.

Do multihydrocyklonu rotodynamicznego mieszaninę doprowadza się przewodem zasilającym do wirnika powodującego wzrost energii kinetycznej mieszaniny. Rozbieżne dysze wlotowe hydrocyklonów rozstawione wokół wirnika spełniają rolę dyfuzorów, w których zachodzi transformacja ciśnienia dynamicznego na ciśnienie statyczne konieczne do rozwinięcia się w cieczy głównie wiru swobodnego w hydrocyklonach. Ziarna ciała stałe większe od ziarna podziałowego d_{50} zostają wyprowadzone na zewnątrz przez otwory dysz wylewowych D_w , a mniejsze wyprowadzone zostają na zewnątrz otworami dysz przelewowych D_p i zbiorczą komorą przelewu, króćcem przelewu.

Multihydrocyklony rotodynamiczne są urządzeniami o zwartej budowie. Charakteryzują się korzystnymi wskaźnikami techniczno-ekonomicznymi, prostą konstrukcją oraz małą przestrzenią zajmowaną przez te urządzenia przy sto-

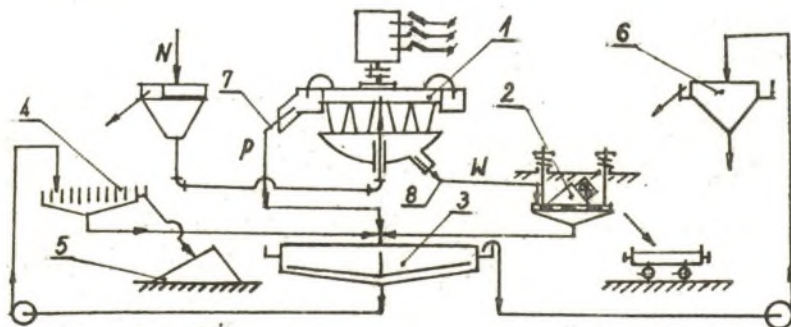
sunkowo dużym natężeniu przepływu hydromieszanki. Wyróżniają się do 30-40% wyższą sprawnością energetyczną niż multihydrocyklony klasyczne. Proces rozdziału ziarn mineralnych przebiega przy wielkości średnicy ziarna podziałowego w granicach 80 do 350 μm . Wielkość średnicy ziarna podziałowego wynika z konstrukcji multihydrocyklonów rotodynamicznych oraz zależy od parametrów determinujących przepływ hydromieszanki.

Powstałe w wyniku prac badawczych prowadzonych w Instytucie Maszyn Górniczych, Przerobczych i Automatyki AGH nowe rozwiązania multihydrocyklonów rotodynamicznych zgrupowane zostały w odmianach konstrukcyjnych, które głównie różnią się między sobą konstrukcją wienika, wydajnością i wielkością średnicy ziarna podziałowego. Zakończone badania laboratoryjne i przemysłowe umożliwiły optymalizację czterech rozwiązań konstrukcyjnych, tj.:

1. Multihydrocyklon rotodynamiczny z wirnikiem zamkniętym, o natężeniu przepływu $Q = 0,024 \text{ m}^3/\text{s}$ i średnicy ziarna podziałowego $d_{50} = 80-200 \mu\text{m}$.
2. Multihydrocyklon rotodynamiczny z wirnikiem o przepływie wymuszonym, o natężeniu przepływu $Q = 0,042 \text{ m}^3/\text{s}$ i średnicy ziarna podziałowego $d_{50} = 100-250 \mu\text{m}$.
3. Multihydrocyklon rotodynamiczny z wirnikiem o przepływie swobodnym, o natężeniu przepływu $Q = 0,035 \text{ m}^3/\text{s}$ i średnicy ziarna podziałowego $d_{50} = 150-300 \mu\text{m}$.
4. Multihydrocyklon rotodynamiczny bezdławicowy z wirnikiem o przepływie swobodnym lub wymuszonym, o natężeniu przepływu $Q = 0,035-0,042 \text{ m}^3/\text{s}$ i średnicy ziarna podziałowego od 100 do 300 μm .

3. Przykłady zastosowania multihydrocyklonów rotodynamicznych w układach technologicznych

Przykładem zastosowania multihydrocyklonów rotodynamicznych może być układ do wzbogacania drobnych klas ziarnowych energetycznych mieszanin węglowych przedstawiony na rys. 5. Zgodnie z powyższym schematem w skład układu wchodzi następujące maszyny i urządzenia: multihydrocyklon rotodynamiczny - 1, wibracyjny przesiewacz odwadniający - 2, grawitacyjny osadnik promieniowy - 3, filtr próżniowy - 4, składowisko odpadów - 5, zbiornik oczyszczonej wody technologicznej - 6, przelew multihydrocyklonu - 7 i wylew multihydrocyklonu - 8.



Rys. 5

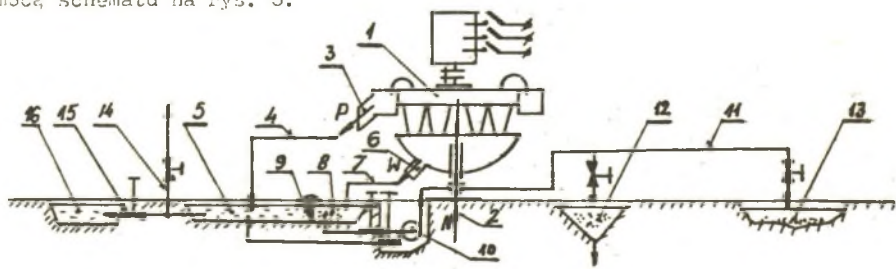
W układzie technologicznym pokazanym na rys. 5, zanieczyszczoną wodę drobnymi ziarnami węgla i skały płonnej kieruje się do rotodynamicznych multihydrocyklonów -1, celem przeprowadzenia rozdziału drobnych ziarn węgla od skały płonnej, przy czym wylew -8, zawierający ziarna węgla kieruje się na wibracyjny przesiewacz odwadniający -2, gdzie następuje dalsze odwadnianie wzbogaconej hydromieszaniny węgla, a przelew -7 zawierający ziarna skały płonnej /mniejsze od ok. 200 μm / kieruje się w celu sedimentacji do grawitacyjnego osadnika promieniowego -3, z którego przelew stanowiący czystą technologicznie wodę wprowadza się ją ponownie do zamkniętego obiegu w procesie wzbogacania węgla, przy czym całość procesu przeprowadza się w zamkniętym obiegu wody. Przelew osadnika proponowany jest do zbiornika -6 wody technologicznie czystej, a zawarty w wylewie osadnika zagęszczony osad skały płonnej kieruje się poprzez filtr -4 na składowisko odpadów -5.

Układ technologiczny pozwala na skuteczne oddzielenie ziarn węgla od ziarn skały płonnej, przy jednoczesnym odwodnieniu, jak również zapobiega stratom węgla poprzez całkowity odzysk zawartych w obiegu mułowym drobnych ziarn węgla i pozwala na uproszczenie obiegu wody w procesie technologicznym wzbogacania mułów, przynosząc znaczne efekty ekonomiczne.

Analiza wyników badań przemysłowych multihydrocyklonów rotodynamicznych zainstalowanych w obiegu wodno-mułowym zakładów przeróbki mechanicznej Kopalni Węgla Kamiennego "Generał Zawadzki" wykazała następujące korzyści:

- multihydrocyklon rotodynamiczny eliminuje dotychczas stosowane hydrocyklony o średnicy części cylindrycznej - 0,44 m,
- uzyskano zmniejszenie zapotrzebowania energii elektrycznej przez wyeliminowanie urządzeń, takich jak: filtry tarczowe, dozowniki flokulanta, pompy mułowe, dozowniki wapna hydrotyzowanego, zbiorniki mułów o łącznej mocy 210 kW,
- wskaźnik zmniejszenia energii elektrycznej w obiegu wodno-mułowym uzyskał wartość równą 14,
- odzysk drobnej klasy ziarnowej /+ 200 μm / węgla energetycznego o zawartości popiołu do 26 % przynosi wymierny efekt ekonomiczny,
- nowy obieg wodno-mułowy pozwala na wzbogacanie węgla w drobnych klasach ziarnowych i pomniejszenie wychodu mułów węglowych o dotychczasowej zawartości popiołu do ok. 41 %.

Inne rozwiązanie stanowi zastosowanie w Kopalni Węgla Kamiennego "Czerwone Zagłębie" multihydrocyklonów rotodynamicznych w układzie technologicznym, oczyszczania wód górniczych popodsadzkowych, który przedstawiono za pomocą schematu na rys. 5.



Rys. 6

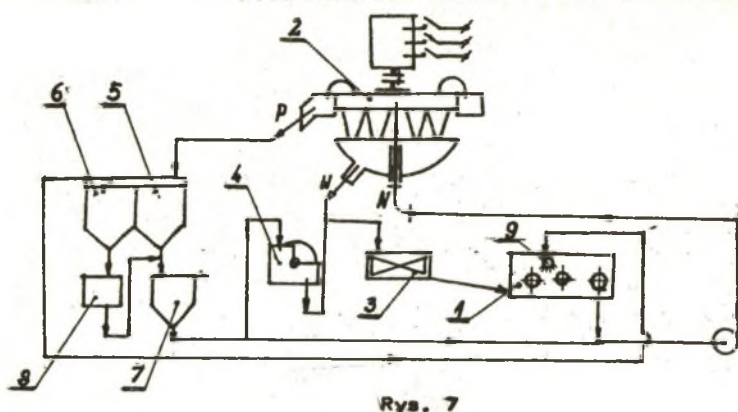
Układ zawiera multihydrocyklon rotodynamiczny -1, którego króciec wlotowy -2 jest połączony z kanałem wody zanieczyszczonej odpływającej z obszaru podszadania płynnego dołowych wyrobisk górniczych. Króciec przelewu -3 multihydrocyklonu rotodynamicznego, jest połączony pierwszym przewodem rurowym -4 z osadnikiem grawitacyjnym drobnych ziarn ciał stałych -5, a króciec wylewowy -6 jest połączony drugim przewodem rurowym -7 z osadnikiem grawitacyjnych grubych ziarn ciał stałych, tj. piasku -8. Osadniki grawitacyjne -5 i -8 są połączone przelewem -9, służącym do odprowadzenia wody zanieczyszczonej drobnymi ziarnami ciał stałych z osadnika grawitacyjnego grubych ziarn ciał stałych -8 do osadnika grawitacyjnego drobnych ziarn ciał stałych -5. Ponadto osadniki grawitacyjne -5 i -8 są połączone poprzez pompę -10 trzecim przewodem rurowym -11 równoległe z lejem podszadki płynnej -12 oraz ze zbiornikiem ziemnym -13, a dodatkowo osadnik grawitacyjny drobnych ciał stałych -5 jest połączony przewodami rurowymi -14 i -15 odpowiednio z siecią zamkniętego obiegu wody w kopalni oraz ze zbiornikiem rezerwowym wody lub z korytem rzeki -16.

W układzie - rys.6 woda zanieczyszczona napływająca z obszaru podszadania płynnego dołowych wyrobisk górniczych do kanału chodnika wodnego jest tłoczona niewidoczną na rysunku pompą na powierzchnię kopalni do multihydrocyklonu rotodynamicznego -1, w którym następuje rozdział ziarn ciał stałych i skierowanie mieszaniny wodnej drobnych ziarn ciał stałych poprzez króciec przelewu -3 i pierwszy przewód rurowy -4 do osadnika grawitacyjnego drobnych ziarn ciał stałych -5 oraz skierowanie grubych ziarn ciał stałych z częścią wody zanieczyszczonej drobnymi ziarnami ciał stałych poprzez króciec wylewowy -6 i drugi przewód rurowy -7 do osadnika grawitacyjnego grubych ziarn ciał stałych -8. Po napełnieniu osadnika grawitacyjnego grubych ziarn ciał stałych -8 do poziomu odpowiadającego wysokości przelewu -9, przy dalszym napełnianiu zbiornika grawitacyjnego -8, następuje przelewanie się z niego wody zanieczyszczonej drobnymi ziarnami do osadnika grawitacyjnego drobnych ziarn ciał stałych -5, z którego sklarowana woda jest kierowana przewodami rurowymi -14 i -15 odpowiednio do sieci zamkniętego obiegu wody lub do koryta rzeki -16, zaś mieszanina wody i zagęszczonej masy ciał stałych z osadników grawitacyjnych -5 i -8 jest przetłaczana pompą -10 do leja podszadki płynnej -12 lub do zbiornika ziemnego -13.

Analiza wyników badań przemysłowych multihydrocyklonów rotodynamicznych zainstalowanych w obiegu oczyszczania wód górniczych Kopalni Węgla Kamiennego "Czerwone Zagłębie" wykazała następujące korzyści:

- 10-20-krotne zmniejszenie powierzchni osadników grawitacyjnych przeznaczonych do sklarowania wody popodszadzkowej odprowadzanej do obiegu zamkniętego zakładu przeróbki mechanicznej lub w przypadku jej nadmiaru do rzeki,
- zastosowanie ww. urządzeń w obiegu oczyszczania wód popodszadzkowych przynosi wymierne efekty ekonomiczne wynikające z odzysku obciążnika z podszadki płynnej i poprawy warunków ochrony środowiska naturalnego.

Multihydrocyklony rotodynamiczne zastosowane zostały również poza przemysłem górniczym, tj. w Zakładach Wyrobów Azbestowo-Cementowych w układzie technologicznym pokazanym na schemacie - rys.7.



Układ zawiera maszynę -1 formującą wyroby azbestowo-cementowe, z której wypływa zanieczyszczona woda zawierająca znaczne ilości części stałych w postaci włókien azbestowych, włókien bazaltowych i ziarn aktywnego chemicznie cementu. Zanieczyszczoną wodę odprowadza się do multihydrocyklonu rotodynamicznego -2, w którym zachodzi proces wzbogacania części stałych w wyniku czego uzyskuje się w wylewie zwiększoną koncentrację cementu, a w przelewie zwiększoną koncentrację włókien azbestowych i bazaltowych. Wzbogacony wylew w cement kieruje się do kadzi mieszalnika -3, do którego równocześnie doprowadza się z turbomiksera -4 wodę z rozdrobnionym azbestem. Przygotowaną w kadzi -3 pulpę doprowadza się wprost do maszyny -1 w celu wykorzystania jej do formowania wyrobów.

Przelew multihydrocyklonów rotodynamicznych -2 o zwiększonej koncentracji włókien kieruje się do osadnika grawitacyjnego, składającego się z komory sedymentacyjnej -5 i z komory klarującej -6. W wyniku sedymentacji części stałych, czyli włókien w komorze -5, wzbogacony wylew z tej komory, kieruje się do hydropulvera -7, do którego równocześnie doprowadza się z kołogniotu -8 rozdrobniony azbest. Przelew z komory sedymentacyjnej -5 przepływa do komory klarującej -6 osadnika w celu dalszego oczyszczania wody z pozostałości drobnych resztek włókien. Wylew komory -5 o zwiększonej koncentracji resztek włókien, o bardzo małej średnicy doprowadza się do kołogniotu -8. Natomiast przelew komory -6, stanowiący oczyszczoną wodę kieruje się do natrysków -9 maszyny -1. Przelew z komory -6 zamyka obieg wody ciągu technologicznego wyrobów azbestowo-cementowych.

Analiza wyników badań przemysłowych multihydrocyklonów rotodynamicznych w układzie technologicznym oczyszczania wód w przemyśle cementowo-azbestowym stwierdziła możliwość:

- a/ odzysku z odpadów cementu o 80% aktywności chemicznej oraz włókien bazaltowych i azbestowych, co powoduje zmniejszenie o 20% zużycia cementu do uzyskania gotowych wyrobów cementowo-azbestowych /eternit - płytki i płyty azbestowo-cementowe falowane/,
- b/ odzysku wtórnych surowców /cement, azbest i bazalt/, co przynosi wymierne efekty ekonomiczne.

4. Zakończenie

Przedstawione w referacie możliwości zastosowania multihydrocyklonów rotodynamicznych w trzech układach technologicznych są nielicznymi wybranymi przykładami. W Instytucie Maszyn Górnictwowych, Przeróbczych i Automatyki prowadzone były prace koncepcyjne wraz z próbami nad znacznie szerszymi możliwościami ich wykorzystania. Między innymi widzi się możliwość szerokiego zastosowania w obiegach wodnych zakładów wzbogacania flotacyjnego węgla i rud. W innych przemysłach nie związanych z górnictwem istnieją koncepcje i rozwiązania projektowe dla oczyszczania zanieczyszczonych wód w myjniach samochodowych i wagonowych, w przemyśle garbarskim, w objętościach wodnych odlewni żeliwa, jak również do oczyszczania ścieków przemysłowych i komunalnych.

Istnieje szeroka możliwość zastosowania multihydrocyklonów nowego typu w hydrotransporcie między innymi w układach składowania odpadów elektrociepłowni i elektrowni zasilanych energetycznymi mieszkankami węglowymi.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Tadeusz PIECUGH

Wpłynęło do Redakcji 1987.02.28

РОТОДИНАМИЧЕСКИЕ МУЛЬТИГИДРОЦИКЛОНЫ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ
ПАХТНЫХ ВОД И РЕГЕНЕРАЦИИ ИЗ ГИДРОСМЕСЕЙ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Р е з ю м е

В докладе представлено сравнение мультигидроциклонов в классическом выполнении с новым ротодинимическим мультигидроциклоном по принципу действия, конструкционным и проточным параметрам. Обсуждается здесь ряд конструктивных модификаций мультигидроциклонов, разработанных в Институте горных, обогатительных машин и автоматики Горно-металлургической академии в Кракове. Представлены также в качестве примера технологические системы, примененные в горной и добавочно в асбестно-цементной промышленности. В заключении даётся информация относительно возможности внедрения ротодинимических мультигидроциклонов в других отраслях промышленности.

ROTODYNAMIC MULTIHIDROCYCLONES IN THE SYSTEMS PURIFYING MINE
FILLING WATER AND RECOVERING SECONDARY RAW MATERIALS
FROM HYDROMIXTURES

S u m m e r y

In this paper a comparison has been made between conventional multi-hydrocyclones and new rotodynamic multihydrocyclones as regards their operation principles, construction and flow parameters. A series of types of construction variation of multihydrocyclones built at the Institute of Mining, Dressing Machines and Automatic Control Engineering of the Academy of Mining and Metallurgy in Kraków has been discussed. Exemplary technological systems employed in the mining and the asbestos and cement industries have been presented. In conclusion, information on the possibility of implementing rotodynamic multihydrocyclones in other industries has been given.