

Jerzy ROKITA

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych

Janusz STARCZEWSKI

Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy
Przemysłu Kruszyw Budowlanych w Warszawie

BADANTA GŁOWIC URABIAJĄCYCH POGŁĘBIARKI STRUMIENICOWEJ

Streszczenie. Przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne głowic urabiających pogłębiarek strumienicowych o zasilaniu obwodowym i centralnym. Uzasadniono na podstawie wyników badań modelowych korzystniejsze parametry osiągane przez głowice o zasilaniu centralnym. Potwierdzono tę tezę rezultatami badań zdolności wydobywczej pogłębiarki w warunkach eksploatacyjnych.

Wprowadzenie

Zwiększanie masy pozyskiwanych kruszyw mineralnych (żwir, piasek) wymaga wprowadzania w coraz szerszym zakresie nowych, wysokowydajnych metod urabiania. W przypadku złóż zalegających pod lustrem wody (stanowiących szacunkowo ponad połowę zasobów krajowych) korzystne rezultaty przynosi wprowadzenie hydromechanizacji urabiania za pomocą różnego typu pogłębiarek. W zależności od zasady działania pogłębiarki hydrauliczne można podzielić na:

- pogłębiarki ssąco-refulujące,
- pogłębiarki hydropneumatyczne,
- pogłębiarki strumienicowe.

Pogłębiarki ssąco-refulujące wyposażone są w pompę krętną odśrodkową, która zasysa mieszaninę wodno-kruszywową i tłoczy ją następnie do miejsca przeznaczenia. Pompa jednak ulega szybkiemu zużyciu i jest najbardziej zawodnym elementem układu.

Pogłębiarki hydropneumatyczne działają w oparciu o wykorzystanie powietrznego podnośnika typu Mamut, nie mają więc zdolności tłoczenia mieszaniny i są wysoce energochłonne.

Pogłębiarki strumienicowe wyposażone są w głowicę urabiającą - stanowiącą szczególny przypadek strumienicy, zasilaną czystą wodą tłoczoną przez pompę. W tym przypadku pompa pracuje w korzystnych warunkach i odznacza się wysoką trwałością. Głowica nie posiada żadnych elementów ruchomych, jest nieskomplikowana w montażu i obsłudze. Dzięki efektowi tłoczenia strumienicy mieszanina urobionego kruszywa z wodą może być transportowana rurociągami do miejsca dalszej przeróbki, a kruszywo zostaje przy tym wstępnie przemyte.

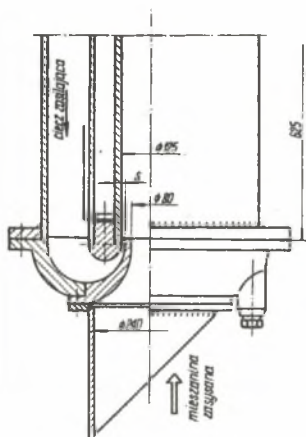
Wyraźne zalety pogłębiarek strumienicowych uzasadniają celowość podjęcia prac zmierzających do ich doskonalenia i szerszego rozpowszechnienia.

1. Urabiające głowice strumienicowe

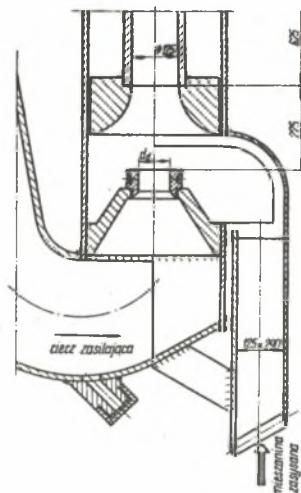
Urabiające głowice strumienicowe pogłębiarek, można podzielić na dwie zasadnicze grupy, biorąc pod uwagę sposób doprowadzenia strumienia zasilającego:

- głowice z zasilaniem obwodowym,
- głowice z zasilaniem centralnym.

Zważywszy, że literatura przedmiotu [1,2,3,4,5] zawiera bardzo skąpe informacje o parametrach pracy głowic pogłębiarek strumienicowych, postanowiono zainicjować własne badania w tym zakresie. Ponieważ badania te objęły zarówno zakres modelowy jak i badania eksploatacyjne, w pierwszym etapie wytypowano do badań dwie głowice, o zasilaniu obwodowym i centralnym, preferowane w literaturze przedmiotu [1,4,5].



Rys. 1. Schemat rozwiązania konstrukcyjnego głowicy urabiającej o zasilaniu obwodowym



Rys. 2. Schemat rozwiązania konstrukcyjnego głowicy urabiającej o zasilaniu centralnym

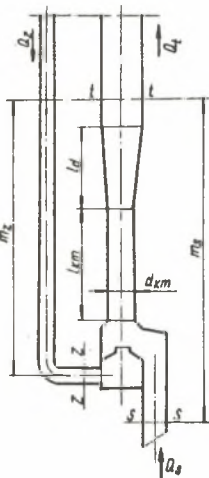
Głowica o zasilaniu obwodowym (rys. 1) przewidziana została z osiowym (centralnym) dopływem strumienia zasysanego. Wielkość szczeliny "s" mogła być zmieniana na drodze wymiany profilowanej kształtki. Główne wymiary głowicy podano na rysunku. Konstrukcja głowicy umożliwia stosowanie jej do urabiania ziół kruszyw, z zawartością ziaren o znacznych wymiarach porównywalnych z średnicą komory mieszania (do ok. 70 mm).

Głowica o zasilaniu centralnym (rys. 2) przewidziana została z bocznym dopływem strumienia zasysanego, przez odpowiednio ukształtowany króciec dopływowy. Wymienne dysze robocze o różnych średnicach, umożliwiały realizację zmiany parametrów pracy głowicy. Główne wymiary głowicy przedstawiono na rysunku. Rozwiązanie konstrukcyjne głowicy, charakteryzujące się zmianą kierunku przepływu strumienia zasysanego, narzuca wykorzystanie jej raczej do urabiaiania ziół o małych średnicach ziaren.

W przypadku obu głowic stosowano komorę mieszania o takich samych wymiarach ($d_{km} = 125 \text{ mm}$, $l_{km} = 625 \text{ mm}$, $l_{km}/d_{km} = 5$), współpracującą z takim samym dyfuzorem o wymiarach: średnica dopływowa $d_{dd} = 125 \text{ mm}$, średnica wypływowa $d_{dw} = 240 \text{ mm}$, długość $l_d = 500 \text{ mm}$, kąt rozchylenia $\varphi = 12^\circ$.

Ponieważ zdecydowano badania hydrauliczne głowic podobnego typu i przeznaczenia przeprowadzić w szerokim zakresie, wykonano również głowice modelowe w skali 1:3, zachowując wierne ich geometryczne podobieństwo do głowic roboczych (zwłaszcza w zakresie kształtów kanałów przepływowych).

2. Podstawowe pojęcia dotyczące głowic urabiających strumienicowych



Rys. 3. Głowica strumienicowa w układzie pomiarowym

Ponieważ głowica strumienicowa urabiająca jest odmianą konstrukcyjną strumienicy, przeto jej bilans energetyczny jest identyczny z bilansem strumienicy. Schemat usytuowania głowicy w układzie pomiarowym przedstawiono na rys. 3.

Energie jednostkowe cieczy w charakterystycznych przekrojach głowicy: ssawnym, tłocznym i zasilającym odpowiednio wynoszą:

$$H_s = z_s + \frac{P_s}{\gamma_s} + \frac{c_s^2}{2g} \quad (1)$$

$$H_t = z_t + \frac{P_t}{\gamma_t} + \frac{c_t^2}{2g} \quad (2)$$

$$H_z = z_z + \frac{P_z}{\gamma_z} + \frac{c_z^2}{2g} \quad (3)$$

Uwzględniając równanie ciągłości przepływu

$$Q_s + Q_z = Q_m \quad (4)$$

bilans mocy hydraulicznej głowicy można zanotować w postaci

$$\gamma_z Q_z (H_z - H_t) = \gamma_s Q_s (H_t - H_s) + \Delta N \quad (5)$$

skąd wynika określenie sprawności głowicy

$$\eta = \frac{\gamma_s}{\gamma_z} \cdot \frac{Q_s}{Q_z} \cdot \frac{H_t - H_s}{H_z - H_t} \quad (6)$$

Wprowadzając pojęcia:

- wyróżnika wysokości podnoszenia

$$\Psi = \frac{H_t - H_s}{H_z - H_t} \quad (7)$$

- stopnia ejakcji

$$e = \frac{Q_s}{Q_z} \quad (8)$$

otrzymuje się

$$\eta = \frac{\gamma_s}{\gamma_z} \cdot e \cdot \Psi \quad (9)$$

W szczególności uwzględniając (1), (2), (3), (7) oraz

$$m_z = z_z - z_t \quad \text{i} \quad m_s = z_t - z_s \quad (10)$$

otrzymuje się w formie rozwiniętej

$$\Psi = \frac{m_s + \frac{p_t}{\gamma_t} - \frac{p_s}{\gamma_s} + \frac{c_t^2 - c_s^2}{2g}}{\frac{p_z}{\gamma_z} - \frac{p_t}{\gamma_t} + \frac{c_z^2 - c_t^2}{2g}} \quad (11)$$

Wysokość podnoszenia głowicy H jest określona wzorami:

$$H = H_t - H_s \quad (12)$$

lub

$$H = m_s + \frac{p_t}{\gamma_t} - \frac{p_s}{\gamma_s} + \frac{c_t^2 - c_s^2}{2g} \quad (13)$$

Charakterystykami wymiarowymi głowicy będą zależności: $H = f(Q_s)$ i $\eta = f(Q_s)$, natomiast charakterystykami bezwymiarowymi zależności: $\Psi = f(e)$ i $\eta = f(e)$.

3. Wyniki badań modelowych głowic urabiających

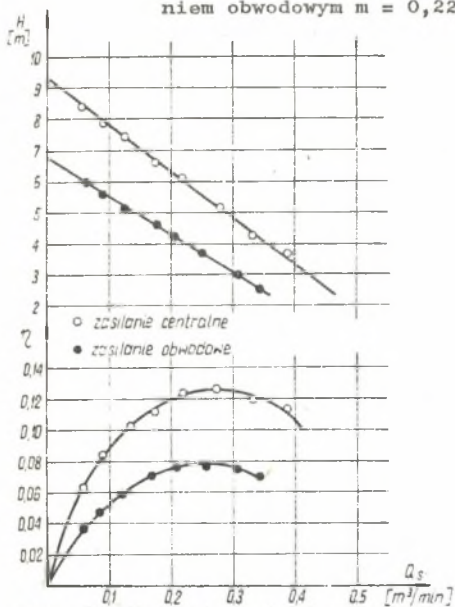
Badania modelowe głowic urabiających przeprowadzono w laboratorium maszyn hydraulicznych Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej na specjalnie zorganizowanym stanowisku.

Aby stworzyć możliwość pewnej porównywalności rezultatów badań obu głowic, średnice wymiennych dysz zasilających głowicy z zasilaniem centralnym oraz szerokości szczelin zasilających głowicy z zasilaniem obwodowym zostały dobrane w ten sposób, że wyróżniki otwarcia dyszy (szczeliny) definiowane jako

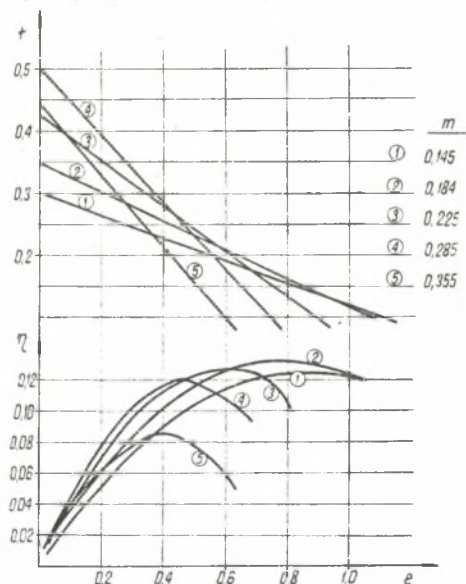
$$m = \frac{F_d}{F_{km}} \quad (14)$$

gdzie:

F_d, F_{km} są odpowiednio powierzchniami przekroju dyszy (szczeliny) i komory mieszania, wynoszą dla głowicy z zasilaniem centralnym $m = 0,145; 0,184; 0,225; 0,285$ i $0,355$ oraz dla głowicy z zasilaniem obwodowym $m = 0,225; 0,265; 0,306$ i $0,355$.



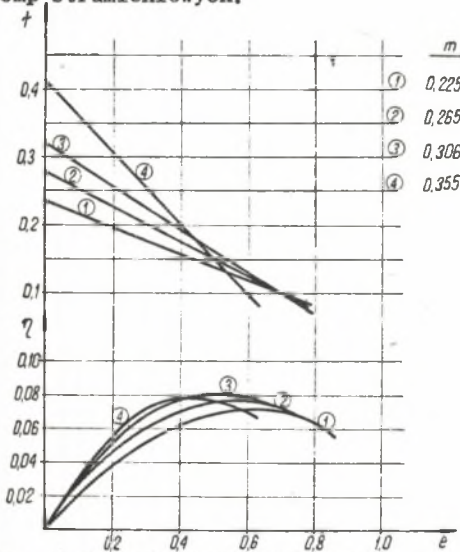
Rys. 4. Charakterystyki wymiarowe obu badanych głowic modelowych (o wyróżniku otwarcia dyszy $m = 0,225$), wyznaczone przy ciśnieniu zasilającym $p_z = 3$ bary.



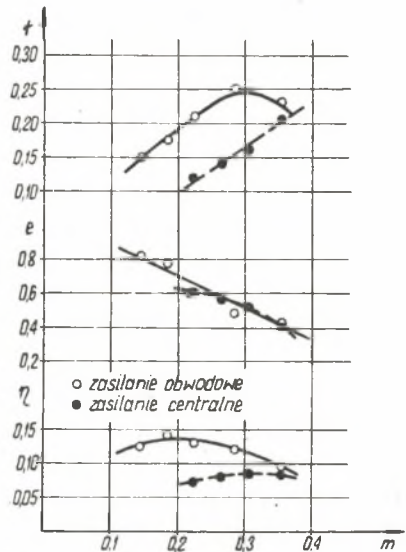
Rys. 5. Charakterystyki bezwymiarowe strumieniowej o zasilaniu centralnym

Pomiarów głowic modelowych dokonywano przy ciśnieniach zasilania wynoszących $p_z = 3$ i $2,5$ bary, a na podstawie uzyskanych rezultatów wyznaczano charakterystyki wymiarowe i bezwymiarowe. Dla przykładu na rys. 4 przedstawiono wybrane charakterystyki wymiarowe obu badanych głowic.

Na rysunkach 5 i 6 dokonano zestawienia uzyskanych charakterystyk bezwymiarowych dla obu głowic. Znamienne jest, że wszystkie zależności $\Psi = f(e)$ mają charakter liniowy, podobnie jak w przypadku większości klasycznych pomp strumieniowych.



Rys. 6. Charakterystyki bezwymiarowe głowicy strumieniowej o zasilaniu obwodowym



Rys. 7. Wpływ wyróżnika otwarcia dyszy na optymalne wartości wyróżnika parametrów pracy badanych głowic

Na rysunku 7 natomiast zaprezentowano zależność optymalnych bezwymiarowych wyróżników parametrów pracy obu głowic od wyróżnika otwarcia dyszy m .

Analizując uzyskane rezultaty, stwierdzono, że ze wzrostem wyróżnika otwarcia dyszy bezwymiarowe charakterystyki wysokości podnoszenia przesuwają się w stronę większych wartości (przy małych stosunkach ejskcji) i stają się bardziej strome. Zmiany takie są typowe dla pomp strumieniowych.

Pewnym odstępstwem od powyższego stwierdzenia jest obniżenie się charakterystyki bezwymiarowej wysokości podnoszenia w przypadku głowicy o zasilaniu centralnym, przy największym wyróżniku otwarcia dyszy $m = 0,355$. Jest to spowodowane niekorzystnymi warunkami dopływu cieczy zasysanej (napływ niesymetryczny pod kątem prostym w stosunku do osi dyszy), które potęgują się w miarę wzrostu średnicy dyszy. W celu pełnego wyjaśnienia tego zjawiska przewiduje się przeprowadzenie odrębnych badań.

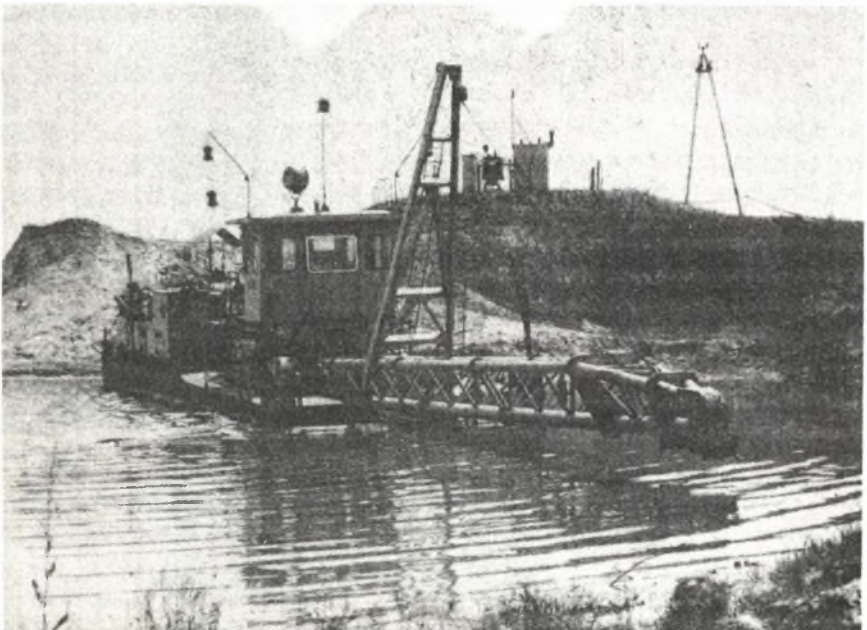
W miarę wzrostu wyróżnika otwarcia dyszy maleje stopień ejskcji głowicy, co również jest znamienne dla klasycznych pomp strumieniowych. Zmiana stopnia otwarcia dyszy wywołuje również zmiany sprawności głowic, przy czym stwierdzono występowanie maksymalnych wartości sprawności w badanym zakresie zmienności wyróżnika m .

W trakcie badań zaobserwowano uzyskiwanie wyższych wyróżników wysokości podnoszenia i sprawności przez głowice o zasilaniu centralnym, przy czym wyrównanie się tych wielkości następuje dopiero przy wyróżniku otwarcia dyszy $m = 0,355$. Tłumaczyć ten fakt należy występowaniem dużych strat energii powodowanych tarciem strumienia cieczy zasilającej o powierzchnię komory mieszania w przypadku głowicy o zasilaniu obwodowym.

W porównaniu z klasycznymi pompami strumieniowymi uzyskane w trakcie badań wyróżniki wysokości podnoszenia i sprawności głowic strumieniowych są znacznie niższe. Wynika to z odmienności ukształtowania części przepływowej głowicy strumieniowej w porównaniu z klasyczną pompą strumieniową. W głowicach strumieniowych o zasilaniu centralnym wypływ dyszy jest bardzo oddalony od początku cylindrycznej części komory mieszania, co powoduje zwiększenie strat wymieszania się strumienia zasilającego i zasysanego jeszcze w obrębie komory wstępnej głowicy.

Wydaje się, że bardziej racjonalne ukształtowanie komory wstępnej głowicy powinno pozwolić na polepszenie uzyskiwanych parametrów. Będzie to przedmiotem dalszych badań.

4. Badania eksploatacyjne głowic urabiających pogłębiarki strumieniowej



Rys. 8. Pogłębiarka strumieniowa PgSr-100 (widok)

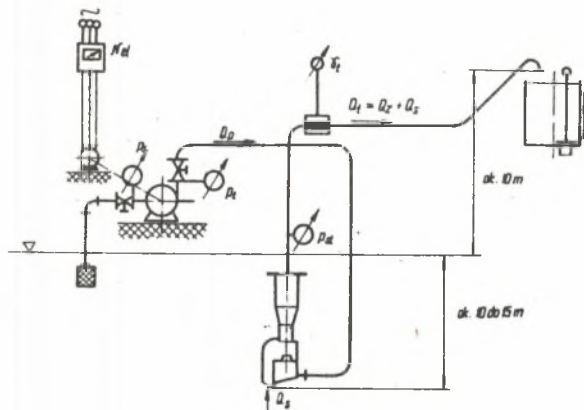
Badania eksploatacyjne głowic urabiających przeprowadzono po zainstalowaniu ich na pogłębiarce strumieniowej typu PgSr-100 (rys. 8). Głowice zasilane były poprzez układ przewodów zasilających od pompy odśrodkowej wielostopniowej typu OS-250/R2 rozwijającej wysokość podnoszenia $H = 100$ m przy wydajności $Q = 7,5$ m³/min.

Mieszanka wody z urobionym kruszywem odprowadzana była na brzeg zbiornika wodnego przez pływający rurociąg na wysokość około 10 m nad lustro wody i odległości około 170 m (licząc wzdłuż rurociągu).

Skład ziarnowy złoza (zalegającego na głębokości ok. 10 m) w miejscu badań można scharakteryzować następująco:

frakcja (w mm)	udział frakcja (%)
do 1,25	43,3
1,25 do 2,5	41,8
2,5 do 5	3,9
ponad 5	11,0

Ciężar właściwy urobionego surowca (w stanie wilgotnym) wynosił w granicach $\gamma = 18,8$ do $19,5$ N/dm³.



Rys. 9. Układ pomiarowy pogłębiarki strumieniowej PgSr-100 (schemat)

głowic i jednostkowego objętościowego i masowego zapotrzebowania energii e_o i e_m (w odniesieniu do energii pobieranej przez silnik napędzający pompę zasilającą).

Sposób pomiaru poszczególnych wielkości fizycznych, wynika ze schematu układu pomiarowego instalacji (rys. 9).

Ze względu na poważne trudności związane z organizacją badań w warunkach przemysłowych, badania przeprowadzono dla obu głowic, przy takim samym stopniu otwarcia dyszy (lub szczeliny), wynoszącym $m = 0,3$; którą to wartość wytypowano jako korzystną w oparciu o wyniki badań modelowych.

Głównym celem badań eksploatacyjnych było określenie objętościowej i masowej zdolności wydobywczej W_o i W_m obu

W tabelicy 1 podano uśrednione wyniki badań obu głowic (uzyskane na podstawie kilku przeprowadzonych pomiarów).

Tabelica 1

Porównanie parametrów pracy urabiających
głowic strumieniowych

Wielkość	Oznaczenia	Jednostka	Głowica o zasilaniu	
			obwodowym	centralnym
Wydażność pompy	Q	m ³ /s	0,17	0,14
Ciśnienie na króćcu tłocznym głowicy	P _t	bar	1,7	1,6
Natężenie przepływu mieszaniny	Q _m	m ³ /s	0,14	0,12
Moc pobierana przez pompę	N	kW	185	170
Sprawność głowicy	η		0,085	0,125
Zdolność wydobywczą - objętościowa	W _o	m ³ /h	78	96
- masowa	W _m	t/h	147	181
Jednostkowe zużycie energii				
- objętościowe	e _o	kWh/m ³	2,37	1,77
- masowe	e _m	kWh/t	1,26	0,94

Badania eksploatacyjne dowiodły pełnej przydatności obu typów głowic do urabiania złóż kruszyw naturalnych zalegających pod lustrem wody. Sposób właściwego prowadzenia eksploatacji złoża jest oczywiście odrębnym zagadnieniem i nie będzie w ramach pracy omawiany. Zarazem badania eksploatacyjne potwierdziły uzyskiwanie korzystniejszych parametrów pracy przez głowicę z zasilaniem centralnym, co pozwoliło na uzyskanie w tym przypadku wyraźnie większej zdolności wydobywczej pogłębiarki.

W trakcie badań eksploatacyjnych przeprowadzono również obserwacje zmierzające do ustalenia miejsc w układzie przepływowym głowic, narażonych na szczególne zużycie w związku z kontaktem z mieszaniną wodno-kruszywową.

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że urabiające głowice strumieniowe odbiegają swoimi parametrami pracy i własnościami hydraulicznymi od typowych pomp strumieniowych. Wykazano, że głowice o zasilaniu centralnym osiągnają znacznie korzystniejsze parametry pracy i sprawności od głowic o zasilaniu obwodowym i powinny być szczególnie zalecane do praktycznego wykorzystywania. Optymalizacja kształtowania części przepływowej

głowicy powinna pozwolić, w wyniku zmniejszenia występujących strat hydraulicznych, na poprawę uzyskiwanych parametrów pracy.

Ważniejsze oznaczenia

- H - jednostkowa energia użyteczna cieczy
 Q - objętościowe natężenie przepływu, wydajność objętościowa
 ΔN - straty mocy związane z działaniem głowicy
 c - prędkość przepływu cieczy
 p - ciśnienie
 e - stopień eejekcji
 m - wyróżnik otwarcia dyszy
 z - wysokość niwelacyjna
 γ - ciężar właściwy cieczy
 η - sprawność głowicy
 ψ - wyróżnik wysokości podnoszenia

Indeksy

- s - przekrój ssawny głowicy
 t - przekrój tłoczny głowicy
 z - przekrój zasilania głowicy.

LITERATURA

- [1] Jufin A.P.: Gidromiechanizacja, Moskwa 1974.
 [2] Kamieniew P.N.: Gidroeliewatory w stroitielstwie. Moskwa 1970.
 [3] Ogorodnikow S.P.: Inzektirovanie na ziemliesosnyoh snarjadach. Moskwa 1962.
 [4] Pletniew P.P., Ogorodnikow S.P.: Nowyje sposoby powysijenija proizwo-ditielnosti ziemliesosnyoh snarjadow. Moskwa 1964.
 [5] Szkundin B.M.: Ziemliesosnyje snarjady. Moskwa 1973.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОТБОЙНЫХ ГОЛОВОК ДРАГИ СО СТРУЙНЫМ АППАРАТОМ

Р е з ю м е

В статье представлены конструкционные решения отбойных головок драг со струйным аппаратом с цепным и центральным питанием. Доказаны на основании результатов модельных исследований более благоприятные параметры, получаемые головками с центральным питанием. Этот тезис подтвержден результатами исследований производственной мощности драги в эксплуатационных условиях.

TESTING JET DREDGER WORKIN HEADS

S u m m a r y

Construction solutions for working heads of jet dredgers with central and circumferential feed have been presented. Central feed systems have been justified as more advantageous as has resulted from model testing. This has been also proved by a dredger work efficiency record under normal conditions.