ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1974

Seria: Energetyka z. 52 Nr kol. 419

Jerzy Grychowski, Jerzy Rokita

Instytut Maszyn i Urządzeń
Energetycznych

ZWIĘKSZENIE WYSOKOŚCI SSANIA POMP GŁÓWNEGO ODWADNIANIA PRZEZ ZASTOSOWANIE POMP WSTĘPNYCH

Streszczenie. Przeanalizowano warunki pracy bezkawitacyjnej pomp głównego odwadniania kopalń. Określono zdolności ssawne aktualnie produkowanych pomp typu OW i OWB. Wskazano możliwość stosowania pomp wstępnych w celu radykalnego wyeliminowania kawitacji w pompach głównego odwadniania. Przedstawiono rozwiązanie konstrukcyjne ważowej śmigłowej pompy wstępnej. Określono kierunki dalszych prac.

1. Wprowadzenie

Zdolność ssania pomp głównego odwadniania w sposób istotny wpływa na warunki eksploatacji i trwałość pomp. Pompy głównego odwadniania umieszczone w komorze pomp, zasysają zwykle wodę z chodników wodnych. Biorąc pod uwagę, że przepisy górnicze wymagają umieszczenia spągu komory pomp na wysokości 0,5 m ponad poziom podszybia oraz, że przy stosunkowo dużej niejednokrotnie rozległości obszaru eksploatacyjnego na danym poziomie musi być zapewniony odpowiedni spływ cieczy do chodników wodnych, geometryczne wysokości ssania, przy których pracują pompy głównego odwadniania wahają się przeciętnie w granicach H_{gs} = 4 do 5 m. Należy przy tym zwrócić uwagę, że przy czyszczeniu (odmulaniu) chodników wodnych konieczne jest dalsze odpompowanie wody na jeszcze większą głębokość i pompa okresowo musi pracować przy znacznie zwiększonych wartościach H_{gs}. Ponadto korzystnie jest, jeżeli chodniki wodne opróżniane są rzadko, natomiast na większą głębokość. Pompowanie może być wtedy ograniczone do okresów pozaszczytowych (godziny nocne).

Ciśnienie bezwzględne (wyrażone w metrach słupa pompowanej cieczy), w króćcu ssawnym pompy $\frac{p_s}{\gamma}$ wynosi:

$$\frac{p_s}{\gamma} = \frac{p_d}{\gamma} - H_{gs} - \sum \Delta h_s - \frac{c_s^2}{2g} \qquad (1)$$

gdzie:

$\frac{p_d}{\gamma}$ - wysokość ciśnienia nad zwierciadłem cieczy w chodnikach wodnych,

$\sum \Delta h_s$ - wysokość strat hydraulicznych przepływu cieczy w przewodzie ssawnym,

c_s - średnia prędkość przepływu cieczy w króćcu ssawnym pompy.

Aby w trakcie działania pompy uniknąć wystąpienia zjawiska kawitacji, wywierającego ujemny wpływ na prawidłowość pracy i trwałość pompy [1] ciśnienie bezwzględne w króćcu ssawnym pompy musi spełniać warunek (przy danej wydajności):

$$\frac{p_s}{\gamma} > (\Delta h_{cav})_p + \frac{p_v}{\gamma} - \frac{c_s^2}{2g} \tag{2}$$

gdzie:

p_v - ciśnienie nasycenia pompowanej cieczy w danej temperaturze,

$(\Delta h_{cav})_p$ - antykawitacyjna wymagana nadwyżka wysokości ciśnienia pompy.

Wartość Δh_{cav} wyznacza się indywidualnie dla danej pompy na drodze doświadczalnej, z zależności:

$$(\Delta h_{cav})_p = \frac{p_s - p_v}{\gamma} + \frac{c_s^2}{2g} \tag{3}$$

w funkcji wydajności, traktując ciśnienie p_s jako krytyczne, przy którym występuje kawitacja zaczątkowa.

Po uwzględnieniu zależności (1) i (2), warunek pracy bezkawitacyjnej pompy, można sformułować następująco

$$\frac{p_d - p_v}{\gamma} - H_{gs} - \sum \Delta h_s > (\Delta h_{cav})_p \tag{4}$$

przy czym lewa strona nierówności stanowi rozporządzalną antykawitacyjną nadwyżkę ciśnienia danego układu pompowego $(\Delta h_{cav})_s$.

Aby wyeliminować wpływ ewentualnych czynników ubocznych i zwiększyć pewność pracy bezkawitacyjnej, należy dążyć, aby $(\Delta h_{cav})_s = (1{,}10-1{,}20)$ $(\Delta h_{cav})_p$, przy danej wydajności.

Biorąc pod uwagę przeciętne warunki pracy układów pompowych głównego odwadniania, można założyć, że wartości $(\Delta h_{cav})_s$ zawarte są zwykle w granicach 4 do 6 m, przy czym w niektórych przypadkach mogą być jeszcze niższe.

2. Zdolności ssawne pomp głównego odwadniania seryjnie produkowanych

Zależności $(\Delta h_{cav})_p = f(Q)$ określone na podstawie charakterystyk ssania, dotyczące pomp głównego odwadniania typu OW i OWB [2], przedstawiono na rys. 1 i 2. Na tych samych rysunkach zaznaczono (poprzez zakreskowanie) obszar typowych wartości $(\Delta h_{cav})_s$ układów pompowych. Jak widać, wykresy zmienności $(\Delta h_{cav})_p$ odnoszące się do optymalnych parametrów pracy pomp typu OWB i niektórych typu OW, pokrywają się lub są bardzo bliskie zakresowi zmienności $(\Delta h_{cav})_s$. Wynika z tego, że w szeregu przypadkach praca pomp głównego odwadniania odbywa się w warunkach rozwiniętej kawitacji w pierwszym stopniu pompy. Szczególnie często zdarza się to w przypadku pomp typu OWB odznaczających się gorszymi zdolnościami ssawnymi. Pompy te przy tym są bardzo wrażliwe na kawitację, a zerwanie słupa cieczy w przewodzie ssawnym grozi w ich przypadku poważnym uszkodzeniem pompy [2].

W celu lepszego zobrazowania własności ssawnych omawianych pomp w tablicy 1 zestawiono ich optymalne parametry pracy oraz obliczone wartości kawitacyjnego wyróżnika szybkobieżności [1, 3] określonego wzorem:

$$n_{s\,cav} = \frac{n\,Q^{1/2}}{(\Delta h_{cav})_p^{3/4}} \tag{5}$$

w którym:

Q - wydajność pompy, m^3/sek,

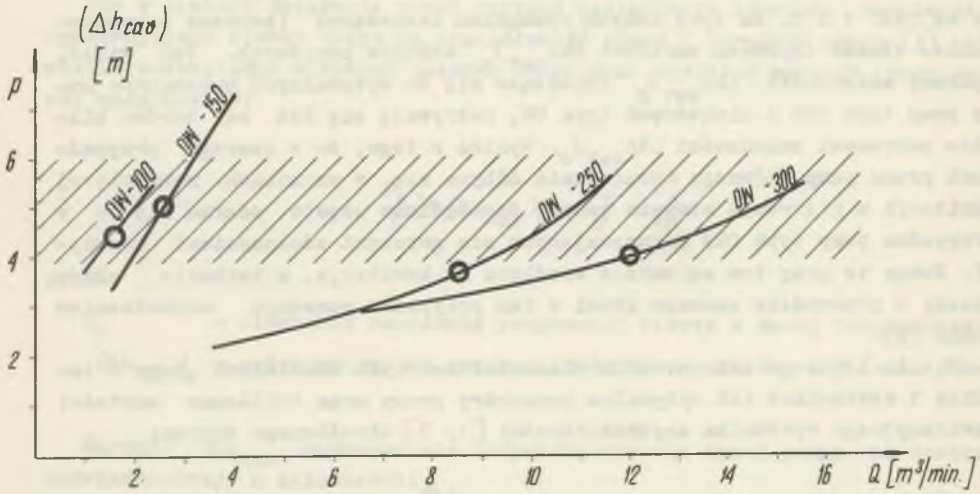
n - prędkość obrotowa, min^{-1}.

W szczególności w tablicy 1 przytoczono również wartości kinematycznego wyróżnika szybkobieżności pompy n_{sQ}. Podane wysokości podnoszenia ΔH odnoszą się do jednego stopnia pompy.

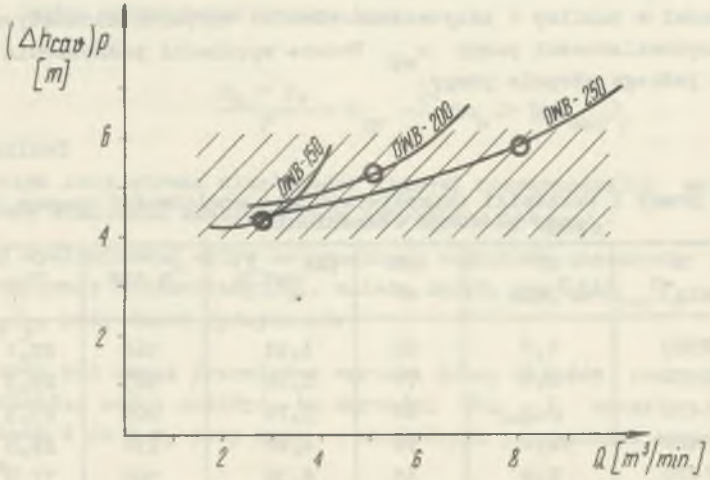
Tablica 1

Parametry pracy i wskaźniki charakteryzujące właściwości ssawne pomp głównego odwadniania

Typ pompy	n min^{-1}	Q m^3/min	ΔH m	$(\Delta h_{cav})_p$ m	$n_{s\,cav}$	n_{sQ}
OW-100	2950	1,8	66	4,41	160	22,1
OW-150	2950	2,6	70	5,00	183	25,3
OW-250	1450	8,9	68	3,70	209	23,5
OW-300	1450	12,0	70	4,02	230	26,8
OWB-150	1450	2,8	49	4,30	106	17,0
OWB-200	1450	5,0	79	5,25	120	15,8
OWB-250	1450	8,0	78	5,78	142	20,1



Rys. 1. Nadwyżki antykawitacyjne pomp typu OW w zależności od wydajności

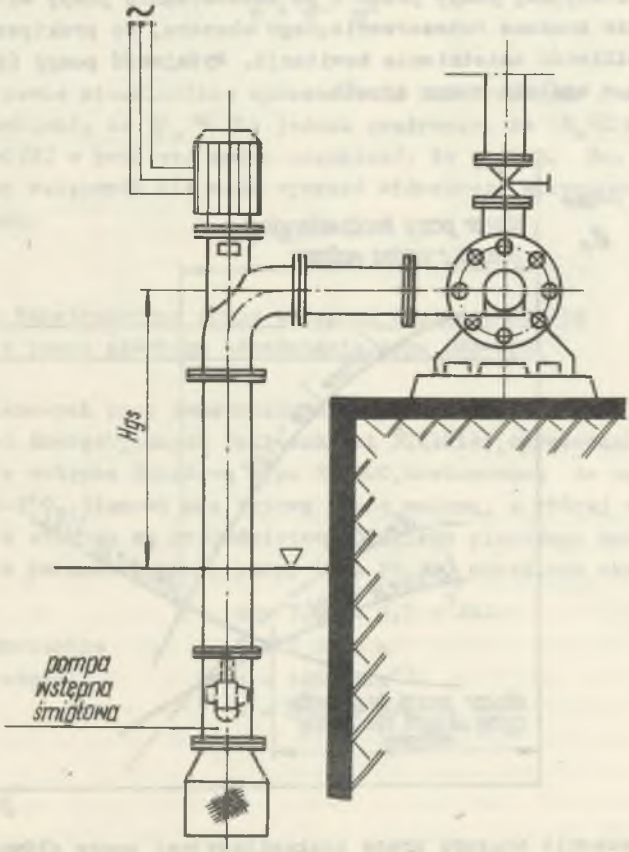


Rys. 2. Nadwyżki antykawitacyjne pomp typu OWB w zależności od wydajności

Jak wynika z powyższych danych pompy typu OW wykazują znacznie lepsze właściwości ssawne. Ich wyróżniki kawitacyjne osiągają skrajnie wysokie wartości [3], dzięki odpowiedniemu ukształtowaniu wirnika pierwszego stopnia pompy. Natomiast wyróżniki kawitacyjne pomp typu OWB są znacznie niższe i odpowiadają typowym pompom z wirnikami o pojedynczej krzywiźnie łopatek.

3. Podniesienie wysokości ssania przez zastosowanie pompy wstępnej

Jak wynika z analizy właściwości ssawnych pomp typu OW, nawet specjalna konstrukcja wirnika pierwszego stopnia pompy (oparta o wyniki badań eksperymentalnych) nie gwarantuje osiągnięcia rezultatów umożliwiających w pełni bezkawitacyjną pracę. Stąd znane zalecenia konstrukcyjne [1, 4, 5] dotyczące wirników odśrodkowych o podwyższonej wysokości ssania, nie stanowią dostatecznie pewnego sposobu poprawy zdolności ssania pomp głównego odwadniania.



Rys. 3. Sposób instalowania pompy wstępnej

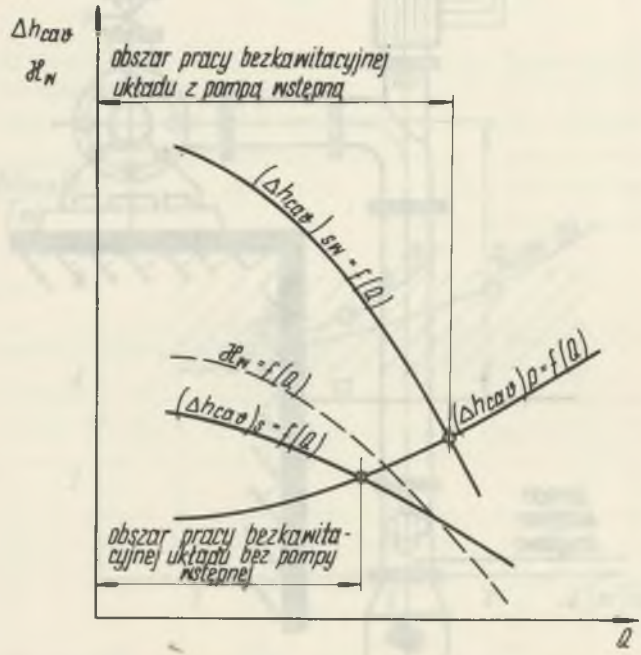
Jednym z radykalnych sposobów poprawy istniejącego stanu rzeczy jest zastosowanie pomp wstępnych podających wodę do pomp głównych.

W charakterze pomp wstępnych najkorzystniej jest stosować pompy śmigłowe (o kilkumetrowych wysokościach podnoszenia), których wirnik pracowałby trwale zanurzony w chodniku wodnym lub w połączonej z nim studzience ssawnej. Sposób zainstalowania pompy wstępnej przedstawiono na rys. 3.

Jeżeli przyjąć, że użyteczna wysokość podnoszenia pompy wstępnej wynosi $H_w = f(Q)$, to wówczas antykawitacyjna nadwyżka układu pompowego po zastosowaniu pompy wstępnej wyniesie:

$$(\Delta h_{cav})_{sw} = \frac{p_d - p_v}{\gamma} + H_w - H_{gs} - \sum \Delta h_s \qquad (5)$$

Aby określić obszar bezkawitacyjnej pracy pompy, należy w układzie współrzędnych nanieść graficznie zależności $(\Delta h_{cav})_p = f(Q)$ i $(\Delta h_{cav})_s = f(Q)$. W zakresie wydajności, w którym $(\Delta h_{cav})_s > (\Delta h_{cav})_p$ występuje teoretycznie obszar pracy bezkawitacyjnej. Na rys. 4 przedstawiono obszar pracy bezkawitacyjnej pompy przed i po zastosowaniu pompy wstępnej. Widoczne jest bardzo znaczne rozszerzenie tego obszaru, co praktycznie w pełni eliminuje możliwość zaistnienia kawitacji. Wydajność pompy (punkt pracy) wyznacza się w ogólnie znany sposób.



Rys. 4. Wyznaczenie obszaru pracy bezkawitacyjnej pompy głównego odwadniania, po zastosowaniu pompy wstępnej

Układ pompy wstępnej i głównej stanowi typowy przypadek układu połączenia szeregowego pomp i sprawność zespołu obu pomp η_z wyniesie

$$\eta_z = \frac{Q\gamma H + Q_w \gamma H_w}{\frac{Q\gamma H}{\eta} + \frac{Q_w \gamma H_w}{\eta_w}} \tag{6}$$

gdzie:

η - sprawność pompy,

w - wskaźnik oznaczający pompę wstępną.

Ponieważ $Q = Q_w$, zatem:

$$\eta_z = \frac{1 + \frac{H_w}{H}}{\frac{1}{\eta} + \frac{1}{\eta_w}\frac{H_w}{H}} \tag{7}$$

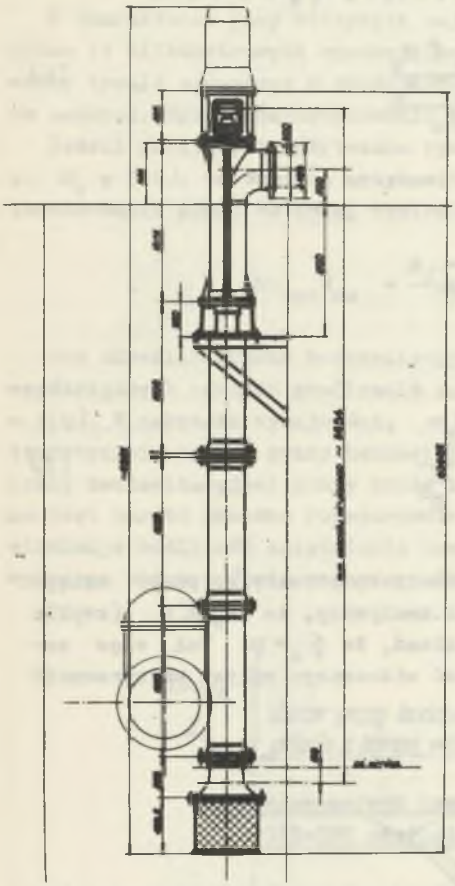
Z uwagi na pewne nieuniknione uproszczenia konstrukcyjne pompy wstępnej należy oczekiwać, że $\eta_w < \eta$; jednak zważywszy, że $H_w \ll H$ (zwykle $H_w = (0{,}01-0{,}02)H$) w praktyce można oczekiwać, że $\eta_z \approx \eta$. Tak więc zastosowanie pomp wstępnych nie może wywrzeć widocznego wpływu na sprawność działania układu.

4. Rozwiązanie konstrukcyjne pompy wstępnej dostosowanej do współpracy z pompą głównego odwadniania typu OWB-250

W wyniku planowych prac konstrukcyjnych prowadzonych w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej, opracowano i skonstruowano pompę wstępną śmigłową typu SW-300, dostosowaną do współpracy z pompą typu OWB-250. Stanowi ona typową pompę wałową, w której wirnik napędzany jest od silnika za pośrednictwem długiego pionowego wału [7].

Obliczeniowe parametry pracy pompy typu SW-300 określono następująco:

- wydajność $Q = 7{,}5$ do $8{,}5\ m^3/min$
- wysokość podnoszenia $H = 4$ do $5\ m$
- prędkość obrotowa $n = 1460\ min^{-1}$
- moc na wale $N = 8$ do $9\ kW$

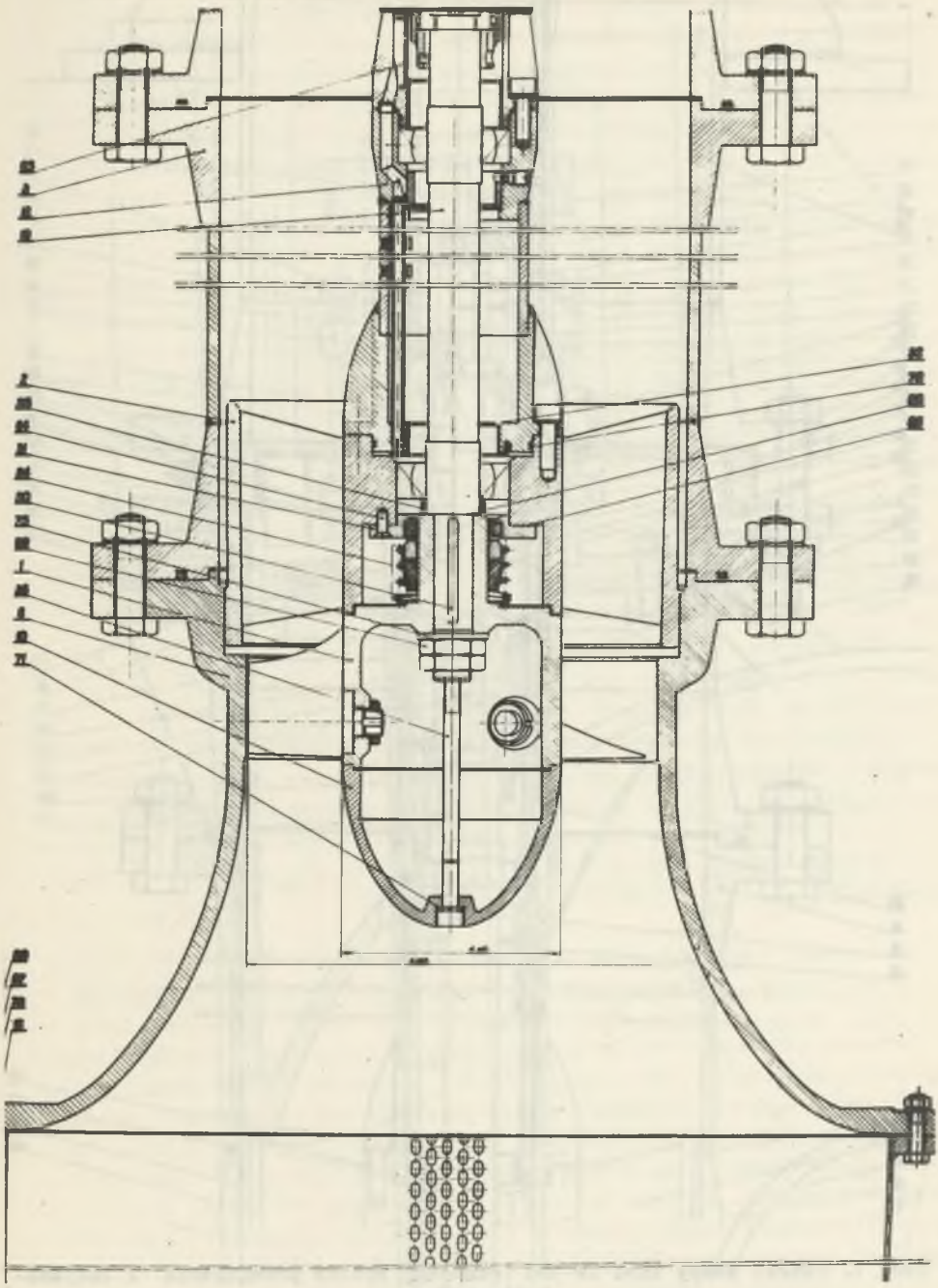


Rys. 5. Pompa wstępna śmigłowa typu SW-300 (w widoku)

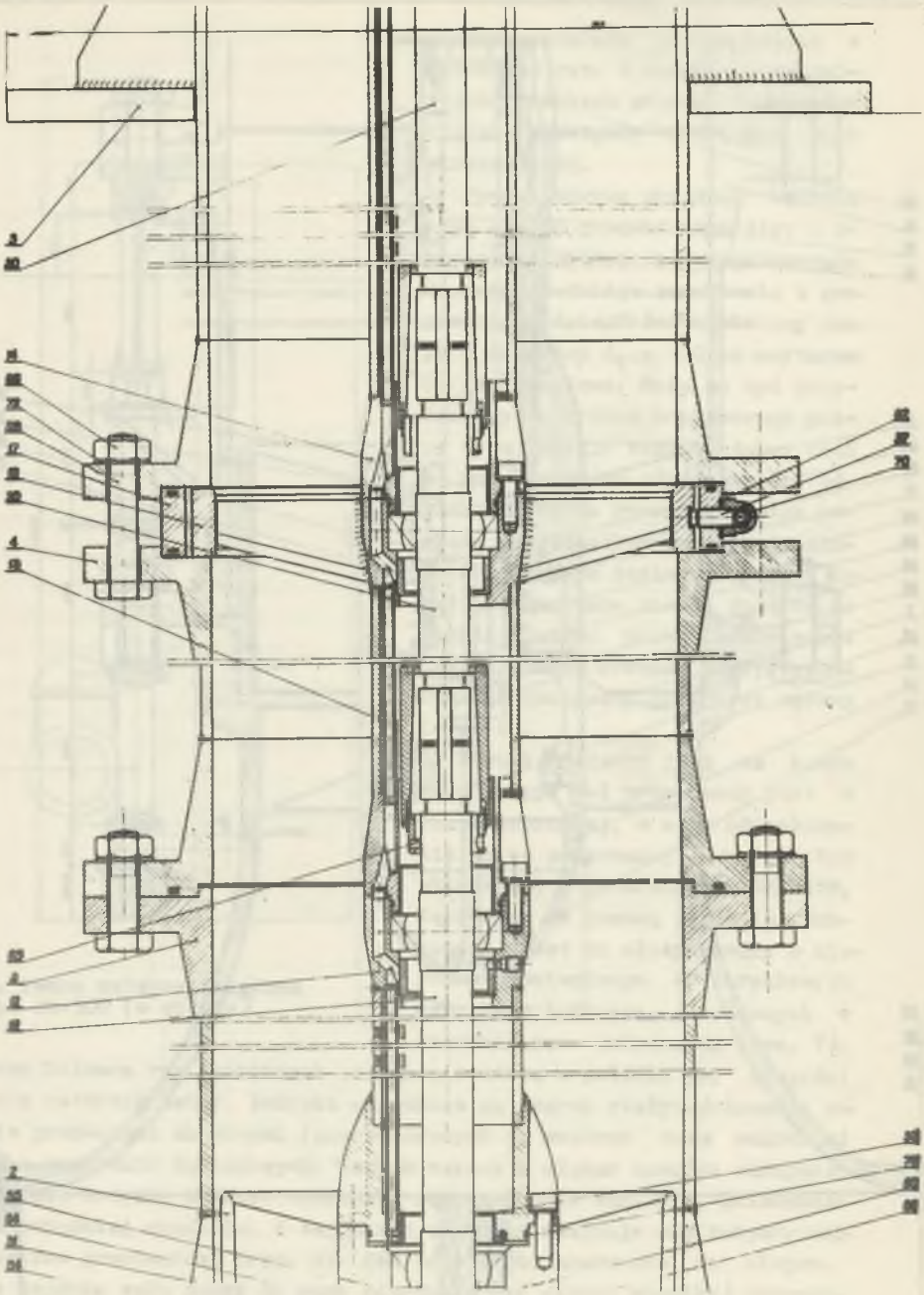
Pompa została przedstawiona w widoku na rys. 5,natomiast na dalszych rysunkach przedstawiono istotniejsze szczegóły rozwiązań konstrukcyjnych.

Pompa wirowa śmigłowa wstępna typu SW-300 przewidziana jest w układzie pionowym i przystosowana do bezpośredniego zanurzenia w pompowanej wodzie.Króciec tłoczny pompy o średnicy d_t = 300 mm usytuowany jest poziomo. Może on być przyłączony do króćca dopływowego pompy typu OWB-250 bezpośrednio, bądź za pośrednictwem odpowiedniego odcinka przewodu rurowego. Pompa posiada trójłopatkowy wirnik śmigłowy o nastawnym kącie pochylenia łopatek. Pompowana ciecz dopływa do wirnika osiowo przez odpowiednio ukształtowany króciec dopływowy,do którego umocowany jest kosz ssawny (rys. 6).

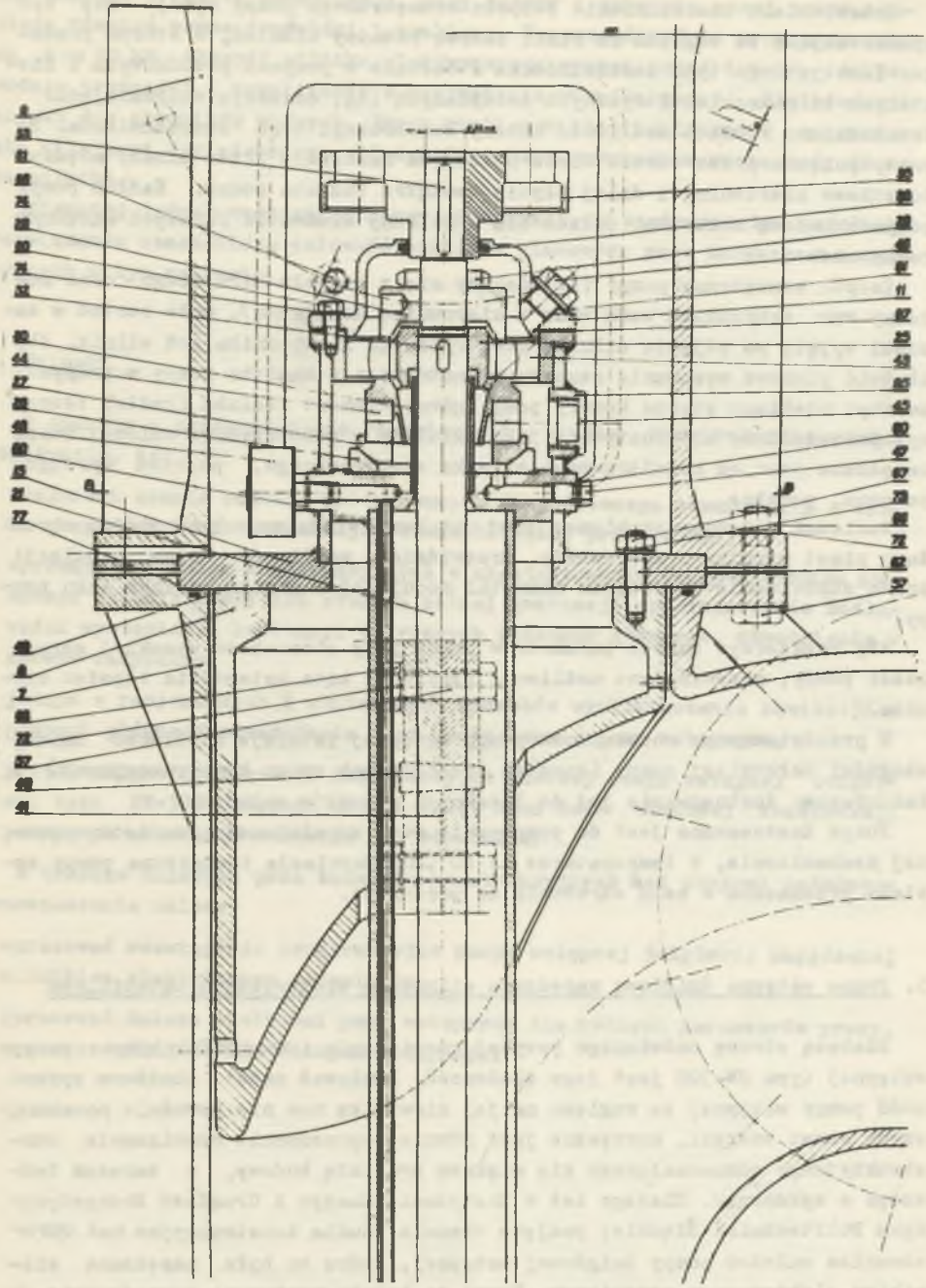
Wirnik osadzony jest na końcu wału pompy. Wał prowadzony jest w rurze ochronnej, w celu odizolowania go od pompowanej cieczy. Wał składa się z oddzielnych odcinków, łączonych za pomocą sprzęgieł łubkowych. Jest on ułożyskowany w kierunku promieniowym w baryłkowych łożyskach tocznych, osadzonych w kolumnie rur ochronnych (rys. 7). Dodatkowo kolumna rur ochronnych podparta została w połowie jej długości za pomocą czterech żeber. Łożyska smarowane są smarem stałym,podawanym oddzielnie przewodami smarowymi (poprowadzonymi we wnętrzu rury ochronnej wału), ze smarownic kapturowych. Nacisk osiowy i ciężar zespołu wirującego przejmuje łożysko kulkowe wzdłużne, zainstalowane wahliwie, umieszczone w odpowiedniej obudowie. W tej samej obudowie znajduje się łożysko kulkowe wahliwe promieniowe (rys. 8). Oba te łożyska smarowane są olejem. Miejsce wejścia wału pompy do rury ochronnej (od strony wirnika) uszczelnione jest czołowym uszczelnieniem ślizgowym produkcji firmy CRANE (Anglia). Uszczelnienie tego typu w trakcie normalnej pracy pompy nie wymaga żadnej obsługi.



Rys. 6. Rozwiązanie konstrukcyjne wirnika pompy typu SW-300



Rys. 7. Kadłub pompy typu SW-300 (widoczny sposób prowadzenia i łożyskowania wału)



Rys. 8. Kadłub tłoczny pompy typu SW-300

Przewidziane uszczelnienie zespołu wewnętrznego pompy wydaje się być wystarczające ze względu na niski zakres różnicy ciśnień, w którym pracuje. Identycznego typu uszczelnienia stosowane w pompach przodkowych i niektórych silnikach elektrycznych zatapianych [6], działają zadowalająco. Przewidziano również możliwość zmiany konstrukcji tego uszczelnienia. Po przepłynięciu przez wirnik ciecz przepływa następnie przez kanały międzyłopatkowe kierownicy i dalej płynie wewnątrz kadłuba pompy. Kadłub pompy posiada budowę członową, składa się z kolumny elementów rurowych łączonych kołnierzowo.

Zespół wewnętrzny pompy (składający się z zespołu wirującego oraz kolumny rur ochronnych wału wraz z kierownicą łopatkową), może zostać w całości wyjęty po zdjęciu silnika elektrycznego i wspornika pod silnik. Aby ułatwić pionowe wysuwanie zespołu wewnętrznego z kadłuba pompy w przypadku zbyt niskiego stropu komory pomp, górny element kadłuba (kadłub tłoczny) przewidziano alternatywnie jako dzielony w płaszczyźnie osiowej. Pompa napędzana jest od kołnierzowego silnika elektrycznego, poprzez sprzęgło palcowe, podatne.

Ponieważ istotnym problemem jest ustalenie właściwego luzu między obrzeżami piast wirnika i kierownicy, przewidziano możliwość jego regulacji przez odpowiednie dokręcenie nakrętki mocującej w górnym odcinku wału pompy.

Aby rozszerzyć zakres parametrów pracy przy stosunkowo wysokiej sprawności pompy, przewidziano możliwość regulacji kąta ustawienia łopatek wirnika.

W przedstawionym rozwiązaniu pompy wstępnej istnieje możliwość zmiany długości całkowitej pompy (kosztem nieznacznych zmian konstrukcyjnych) i każdorazowo dostosowanie jej do lokalnych warunków zabudowy.

Pompa dostosowana jest do pompowania wody kopalnianej zanieczyszczonej mechanicznie, o temperaturze do 40°C. Dokumentacja techniczna pompy została przekazana w celu wdrożenia do produkcji.

5. Pompa wstępna śmigłowa napędzana silnikiem elektrycznym zatapialnym

Słabszą stroną omówionego powyżej rozwiązania konstrukcyjnego pompy wstępnej typu SW-300 jest jego złożoność. Ponieważ nawet obniżona sprawność pompy wstępnej ze względu na jej niewielką moc nie powoduje poważniejszych strat energii, korzystne jest również opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego odznaczającego się większą prostotą budowy, a zarazem tańszego w wykonaniu. Dlatego też w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej podjęto obecnie studia konstrukcyjne nad opracowaniem założeń pompy śmigłowej wstępnej, która by była napędzana silnikiem elektrycznym zatapianym. Pompa ta byłaby montowana bezpośrednio do przewodu ssawnego pompy głównej. Obok bezspornych zalet takich jak: bar-

dzo znaczna prostota konstrukcji, mały ciężar i gabaryty samej pompy, istnieją również pewne trudności i problemy. W szczególności przy mocy rzędu N ≈ 10 kW długość silnika elektrycznego wynosi ponad 1 metr, co powoduje trudności i komplikacje w usytuowaniu wirnika pompy dostatecznie blisko dna chodników wodnych. Innym problemem jest konieczność zapewnienia silnikowi dostatecznego chłodzenia, przez wymuszenie ruchu wody dookoła silnika.

Niemniej jednak ewentualne korzyści wynikłe z zastosowania podobnego rozwiązania uzasadniają celowość podjęcia planowych prac badawczo-konstrukcyjnych w tym zakresie.

6. Wnioski

W oparciu o przeprowadzone rozważania i studia konstrukcyjne, można stwierdzić, że:

- zdolności ssania obecnie produkowanych pomp głównego odwadniania w wielu przypadkach nie gwarantują bezkawitacyjnej pracy pompy,
- wprowadzenie zmian konstrukcyjnych w ukształtowaniu dopływu wirnika pierwszego stopnia pompy nie stwarza pełnej gwarancji wyeliminowania możliwości wystąpienia kawitacji w typowych układach głównego odwadniania w sposób radykalny,
- jednym z racjonalnych i skutecznych sposobów wyeliminowania kawitacji w pompach głównego odwadniania jest zastosowanie pomp wstępnych,
- przedstawione rozwiązanie konstrukcyjne wałowej pompy wstępnej śmigłowej typu SW-300 posiada szereg zalet mimo dość złożonej konstrukcji pompy, co uzasadnia celowość jej wdrożenia.

W trakcie dalszych prac badawczo-konstrukcyjnych nad pompami podobnego przeznaczenia należy:

- opracować rozwiązanie konstrukcyjne pompy wstępnej śmigłowej napędzanej silnikiem elektrycznym zatapianym,
- opracować dalsze wielkości pomp wstępnych dla różnych parametrów pracy, a w szczególności dla różnych wydajności.

LITERATURA

[1] Karjelin W.: Kawitacjonnyje jawlenja w centrobjeżnych i osjewych nasosach, Maszgiz, Moskwa 1963.

[2] Zarzycki M.: Osiągnięcia krajowe w konstrukcji i budowie pomp odwadniających kopalnie węgla, Gliwice 1967, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Energetyka", zeszyt 27.

[3] Łazarkiewicz Sz., Troskolański A.T.: Pompy wirowe, WNT, Warszawa 1968.

[4] Plutecki J., Wajda A.: Wirniki wolnobieżne o podwyższonej odporności na kawitację, Przegląd Mechaniczny, r. 1969, nr 15, Wydawnictwo Czasopism Technicznych NOT, Warszawa.

[5] Dymow W.I.: Powyszjenije antikawitacjonnych swojstw centrobjeżnych stupjenjej nasosow pri pomoszczi osjewych predkljuczjennych koles, Tjepłoenjergietika, 1957, nr 4.

[6] Zarzycki M.: Nowe rozwiązanie konstrukcyjne i wyniki badań pompy wirowej typu P1-A, Gliwice 1969, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, "Energetyka", zeszyt 30.

[7] Zarzycki M., Dębiec J., Grychowski J., Rokita J.: Dokumentacja techniczna pompy śmigłowej typu SW-300, Katedra Maszyn Hydraulicznych i Powietrznych Politechniki Śląskiej, Gliwice 1971.

Praca wpłynęła do Redakcji 11 lutego 1974 roku.

УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫСОТЫ ВСАСЫВАНИЯ НАСОСОВ ГЛАВНОГО ВОДООТЛИВА ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НАСОСОВ ПОДКАЧКИ

Р е з ю м е

Проанализировано условия безкавитационной работы насосов главного водоотлива шахт. Определено всасывающие способности, изготовляемых в настоящее время насосов типа OW и OWB. Указано возможность применения насосов подкачки с целью радикального устранения кавитации в насосах главного водоотлива. Представлено конструктивное решение непогружного осевого насоса подкачки. Определено направления дальнейших работ.

INCREASING OF THE SUCTION LIFT OF MAIN DRAINAGE PUMPS BY MEANS OF APPLYING PRELIMINARY PUMPS

S u m m a r y

The paper analyses the conditions of cavitationless work of main drainage pumps in coal mines. The sucking power of OW and OWB pumps, which just now are in production, has been determined. Possibilities of applying preliminary pumps in order to eliminate radically the cavitation in main drainage pumps have been pointed out. There has also been presented a constructional solution of a preliminary shaft-propeller pump. The trend of further investigations have been suggested.