

Jerzy ROKITA

OCENA ZDOLNOŚCI POMP DO PRZEPUSZCZANIA ZIAREN CIAŁ STAŁYCH
NA PODSTAWIE BEZWYMIAROWEGO WYRÓZNIKA

Streszczenie. Przeanalizowano wyróżniki bezwymiarowe wymiarów liniowych przekrojów przepływowych decydujących o przepuszczaniu ciał stałych przez pompę. Zaproponowano bezwymiarowy wyróżnik przepustowości ciał stałych. Przeanalizowano jego wartości dla odmian konstrukcyjnych pomp stosowanych w instalacjach hydrotransportu. Stwierdzono jego korzystne wartości w przypadku pomp o swobodnym przepływie.

1. Wstęp

W instalacjach hydraulicznego transportu przenoszony jest strumień ciała stałego o określonym składzie granulometrycznym. Pompa zastosowana w instalacji musi oczywiście przyjąć największe ziarna, a więc musi mieć odpowiednio obszerne przekroje przepływowe. W pewnej określonej zależności od przekrojów kanałów przepływowych pozostaje wydajność pompy. Zatem mogą zaistnieć sytuacje, gdy nieliczną udziałem procentowym frakcja grubszych ziaren będzie pośrednio determinować wydajność pompy określonego typu.

Z drugiej strony efektywne ekonomicznie działanie instalacji wymaga dotrzymania wysokich (w sensie względnym) wartości koncentracji objętościowej fazy stałej w mieszaninie. Pożądana ze względów ekonomicznych wartość koncentracji może być niemożliwa do osiągnięcia ze względu na dużą wydajność pompy, uwarunkowaną koniecznością przepuszczenia frakcji grubodyspersyjnej. Stąd konieczna jest ocena zdolności pompy do przepuszczania ziaren ciał stałych.

2. Zdolność pompy do przepuszczania ziaren ciał stałych

Podstawowym warunkiem przepuszczenia przez pompę ziarna ciała stałego o największym wymiarze liniowym l_{max} jest spełnienie nierówności

$$d > l_{max}$$

gdzie:

d - jest najmniejszym wymiarem determinującym przepuszczenie przez pompę ziarna kulistego o identycznej średnicy.

Jednak zwykle ze wzrostem wymiaru determinującego δ zwiększa się i wydajność pompy Q . Ze względu na efektywność działania instalacji w przypadku hydrotransportu grubodispersyjnej fazy stałej często korzystne jest, jeżeli Q jest możliwie małe w stosunku do δ .

Relacja wzajemna między Q i δ jest różna dla różnych odmian konstrukcyjnych pomp wirowych.

W instalacjach hydraulicznego transportu ciał stałych stosowane są zwykle albo pompy krętne odśrodkowe o odpowiedniej konstrukcji albo pompy o swobodnym przepływie [4].

Pompy krętne odśrodkowe do cieczy z ciałami stałymi o większych średnicach ziaren posiadają wirniki o małych liczbach łopatek ($z = 2\pm 4$) i układ odprowadzania cieczy w formie kanału zbiorczego o stałej średnicy lub też spiralnego kanału zbiorczego z początkowym odcinkiem o powiększonych i niezmiennych wzdłuż długości kanału przekrojach. Analiza dostępnych danych z literatury firmowej (katalogi, prospekty) wskazuje, że prawie zawsze wielkością limitującą możliwość przepuszczenia ziaren ciała stałego przez pompę jest szerokość wirnika na wypływie - b_2 . W odniesieniu do średnicy zewnętrznej wirnika - d_2 wartość stosunku b_2/d_2 jest uzależniona od bezwymiarowego wyróżnika szybkobieżności n_{sf} .

W przypadku wirników odśrodkowych o liczbach łopatek $z = 3\pm 4$ analiza danych dotyczących pomp produkcji krajowej i zagranicznej pozwoliła stwierdzić, że w zakresie wyróżników szybkobieżności $n_{sf} = 50$ do 90 wartości stosunku b_2/d_2 wahają się w granicach od 0,08 do 0,15,

W przypadku pomp z wirnikami dwułopatkowymi (potocznie, jakkolwiek nie-
trafnie, zwanych kanałowymi) analiza statystyczna danych dotyczących pomp produkcji krajowej [2] pozwoliła sformułować zależność:

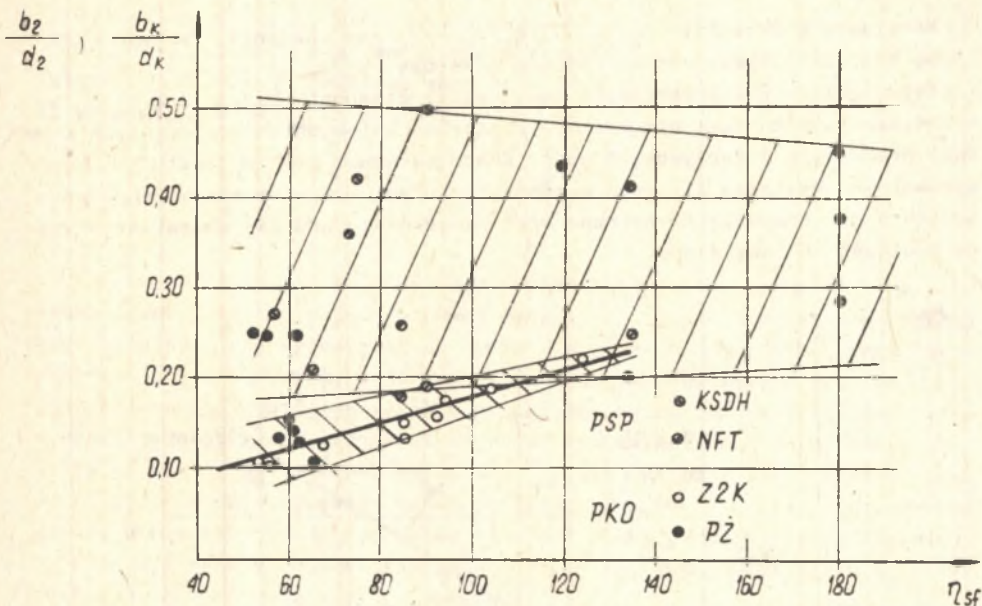
$$\frac{b_2}{d_2} = 0,06 + 0,00135 n_{sf} \quad (1)$$

słuszną w przedziale $n_{sf} = 40$ do 130.

Ze względu na szczególne cechy rozwiązania konstrukcyjnego pomp o swobodnym przepływie, o granicznym wymiarze ziarna ciała stałego decyduje szerokość kadłuba b_k [4]. W zakresie wyróżników szybkobieżności $n_{sf} = 60$ do 120 wartość stosunku b_k/d_w zmienia się w granicach od 0,20 do 0,50 (gdzie d_w jest zewnętrzną średnicą wirnika) [3].

Wartości b_2/d_2 dla pomp krętnych odśrodkowych produkcji krajowej typu Z2K (z wirnikami dwułopatkowymi) i typu PZ (z wirnikami trójłopatkowymi) oraz b_k/d_w dla pomp o swobodnym przepływie na tle wartości odpowiadających im wyróżników szybkobieżności n_{sf} przedstawiono na rysunku 1.

W przypadku pomp o swobodnym przepływie analizowano dane dotyczące typoszeregu NFP (produkcji CSRS) i typoszeregu KSDH (produkcji NRD). Oba te typoszeregi cechują się wirnikiem łopatkowym umieszczonym w osiowo-symetrycznej cylindrycznej wnęce kadłuba.



Rys. 1. Wartości stosunku b_2/d_2 na tle wartości wyróżników szybkobieżności n_{sf} dla pomp krętnych odśrodkowych (PKO) o małych liczbach łopatek $z = 2\frac{2}{3}$ i $b_k/d_w = f(n_{sf})$ dla pomp o swobodnym przepływie (PSP)

O ile w przypadku pomp odśrodkowych potwierdziła się korelacja odpowiadająca zależności (1), to w przypadku pomp o swobodnym przepływie korelacji pomiędzy b_k/d_w i n_{sf} nie stwierdzono. Wynika to z możliwości konstruowania pomp o swobodnym przepływie, o zbliżonych wyróżnikach szybkobieżności, ale dość znacznie różniących się geometrycznymi cechami konstrukcyjnymi [3]. W całym przedziale wyróżników szybkobieżności stosunek b_k/d_w jest znacznie większy od b_2/d_2 (dla wirników odśrodkowych dwu- i trójłopatkowych). Świadczy to, że w stosunku do gabarytów pompy (reprezentowanych przez średnicę zewnętrzną wirnika) wymiar limitujący zdolność pompy do przepuszczania ciał stałych jest w przypadku pomp o swobodnym przepływie zdecydowanie większy.

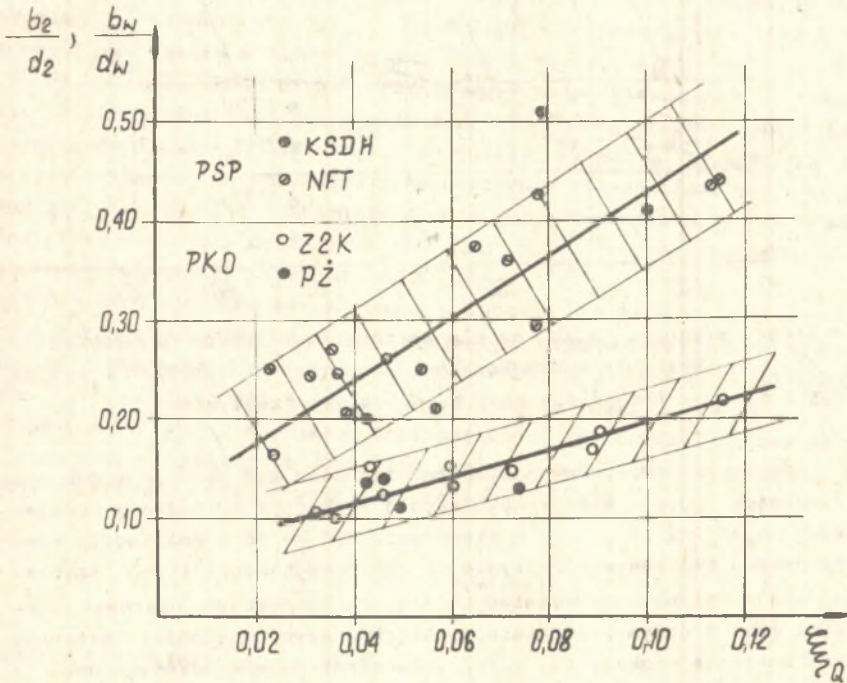
Ponieważ ważny jest ewentualny związek między wydajnością pompy a zdolnością do przepuszczania ciał stałych, przeanalizowano wartości stosunków b_2/d_2 i b_k/d_w na tle wartości bezwymiarowego wyróżnika wydajności pompy ξ_Q określonego wzorem [1]:

$$\xi_Q = \frac{Q}{n d^3} \quad (2)$$

w którym:

- d - jest średnicą zewnętrzną wirnika,
- n - prędkość obrotowa wirnika.

Korelacje w układzie b_2/d_2 i $b_k/d_w - \xi_Q$ są znacznie wyraźniejsze (rys. 2). Jest znamienne, że różnica pomiędzy b_k/d_w i b_2/d_2 wzrasta w miarę zwiększania się wyróżnika wydajności. Stosunki b_2/d_2 lub b_k/d_w są w zasadzie wyróżnikami minimalnych wymiarów liniowych determinujących prześwit przekrojów przepływowych pomp. Charakteryzują one prześwit określony minimalnym wymiarem liniowym w odniesieniu do gabarytów pompy reprezentowanych przez średnicę zewnętrzną wirnika jako najbardziej charakterystyczną wielkość liniową pompy.



Rys. 2. Wartości stosunku b_2/d_2 na tle wartości wyróżników wydajności ξ_Q dla pomp krętnych odśrodkowych (PKO) o małych liczbach łopatek $z = 2+3$ i $b_k/d_w = f(\xi_Q)$ dla pomp o swobodnym przepływie (PSP)

3. Bezwymiarowy wyróżnik przepustowości ciał stałych przez pompe

Operowanie stosunkami b_2/d_2 i b_k/d_w nie daje wyraźnego poglądu na zdolność przepuszczania ciał stałych przez pompę w konfrontacji z jej wydajnością. Natomiast ocena taka jest konieczna, gdyż zdolność przepustowości pompy decyduje wprost o zakresie zastosowań pompy w transporcie grubodispersyjnych ciał stałych.

Można zaproponować bezwymiarowy wyróżnik przepustowości ciał stałych przez pompę. Zakłada się, że istnieje bezwymiarowy związek pomiędzy wielkościami: Q , n i δ . Możliwe jest więc utworzenie bezwymiarowego wyróżnika przepustowości ξ_δ w postaci:

$$\xi_\delta = \frac{Q}{n \cdot \delta^3} \quad (3)$$

Istnieje fizykalna interpretacja wyróżnika ξ_δ . Łatwo zauważyć, że stosunek Q/n jest równy jednostkowej wydajności pompy (mierzonej w jednostkach objętości) przypadającej na jeden obrót wirnika. W homologicznych punktach charakterystyk, odpowiadających różnym prędkościom obrotowym, ta jednostkowa wydajność jest wielkością stałą. Wyróżnik ξ_δ jest równy stosunkowi jednostkowej wydajności do objętości sześcianu o boku równym δ .

Im mniejsza jest wartość wyróżnika ξ_δ , tym większa jest zdolność pompy do przepuszczania ziaren ciała stałego; wówczas, aby przepompowywać ziarna o większej średnicy, można stosować pompę o mniejszej wydajności.

Istnieje prosty związek pomiędzy wyróżnikiem wydajności pompy ξ_Q a wyróżnikiem przepustowości ξ_δ w postaci

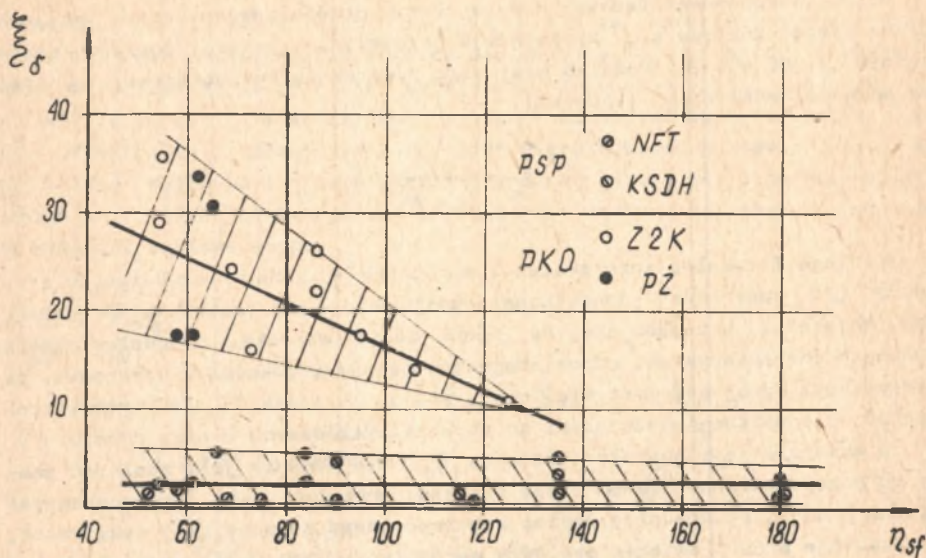
$$\xi_\delta = \xi_Q \left(\frac{d_p}{\delta}\right)^3 \quad (4)$$

Wartość wyróżnika ξ_δ zależy od rodzaju pompy, a zwłaszcza od ukształtowania wirnika. Jest ona więc uzależniona od parametrów pracy pompy, a zatem i od wyróżnika szybkobieżności oraz od wyróżnika wydajności.

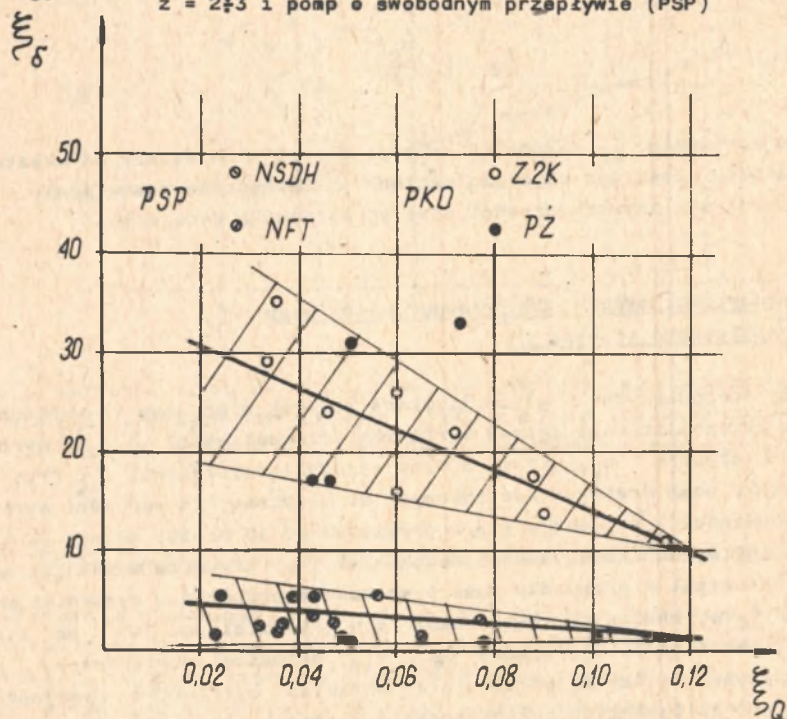
4. Analiza wartości wyróżników przepustowości pomp do hydraulicznego transportu

Dla pomp odśrodkowych o małych liczbach łopatek oraz pomp o swobodnym przepływie przeanalizowano zmiany wyróżnika przepustowości ξ_δ od wyróżnika szybkobieżności n_{sf} (rys. 3) lub wyróżnika wydajności ξ_Q (rys. 4).

W przypadku pomp krętnych odśrodkowych stwierdzono, że wartości wyróżników przepustowości ξ_δ wahają się w granicach od 10 do 35; maleją zarówno ze wzrostem wyróżnika szybkobieżności, jak i ze wzrostem wyróżnika wydajności. Natomiast w przypadku pomp o swobodnym przepływie wyróżniki przepustowości ξ_δ są znacznie niższe, zawarte w przedziale od 0,5 do 6,0. Nie zaobserwowano korelacji między ξ_δ i n_{sf} , natomiast stwierdzono, że wyróżniki przepustowości wolno maleją ze wzrostem wyróżników wydajności ξ_Q . Porównanie zdolności do przepuszczania ziaren ciała stałego pomp krętnych odśrodkowych o małych liczbach łopatek ($z = 2\frac{1}{3}$) oraz pomp o swobod-



Rys. 3. Wartości wyróżników ξ_0 na tle wartości wyróżników szybkobieżności η_{sf} dla pomp krętnych odśrodkowych (PKO) o małych liczbach łopatek $z = 2\div 3$ i pomp o swobodnym przepływie (PSP)



Rys. 4. Wartości wyróżników ξ_0 na tle wartości wyróżników wydajności ξ_q dla pomp krętnych odśrodkowych (PKO) o małych liczbach łopatek $z = 2\div 3$ i pomp o swobodnym przepływie (PSP)

nym przepływie wypada zdecydowanie na korzyść tych ostatnich. Wydajność pompy o swobodnym przepływie, posiadającej zdolność do przepuszczenia ziarna o określonej średnicy, jest w porównaniu z pompą krętną odśrodkową (która przepuści takie samo ziarno) kilkakrotnie (co najmniej dwukrotnie) mniejsza. Zaznacza się to najmocniej w przypadku pomp o małych wyróżnikach szybkobieżności.

W przypadku hydraulicznego transportowania mieszanin grubodispersyjnych ciał stałych w cieczach, w których może wystąpić liczbowo nieliczna frakcja stosunkowo grubych ziaren, zastosowanie pomp o swobodnym przepływie może okazać się szczególnie ekonomiczne. Można wówczas często zastosować pompę o zmniejszonej wydajności w porównaniu z przypadkiem wykorzystania pompy o innej konstrukcji. Niepotrzebne bowiem zwiększenie wydajności pompy Q (przy danej wartości natężenia strumienia fazy stałej) prowadzi do obniżenia koncentracji objętościowej fazy stałej, a to pogarsza efektywność ekonomiczną funkcjonowania instalacji hydrotransportu.

5. Podsumowanie

Wyróżnik przepustowości ciał stałych przez pompę, zaproponowany w niniejszej pracy, pozwala na ocenę zdolności pompy do przepuszczania ciał stałych w stosunku do wydajności pompy (przy danej jej prędkości obrotowej). Osiąga on bardzo różne wartości w zależności od rodzaju i rozwiązania konstrukcyjnego pompy. Wskaźnik ten powinien znaleźć miejsce w teorii konstrukcji pomp do hydraulicznego transportu ciał stałych. Analiza wartości wyróżników przepustowości dla pomp odśrodkowych o małych liczbach łopatek oraz dla pomp o swobodnym przepływie wykazuje szczególne predyspozycje tych ostatnich do przetłaczania mieszanin cieczy z grubodispersyjną fazą stałą o ograniczonych objętościowych natężeniach przepływu.

LITERATURA

- [1] Łazarkiewicz Sz., Troskołański A.T.: Pompy wirowe. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1973.
- [2] Rokita J.: Analiza doboru geometrycznych cech konstrukcyjnych wirników dwułopatkowych pomp odśrodkowych, ZN Pol. Śl. Energetyka nr 54, Gliwice 1976.
- [3] Rokita J.: Zależność geometrycznych cech konstrukcyjnych pomp o swobodnym przepływie od wyróżnika szybkobieżności, ZN Pol. Śl. Energetyka nr 53, Gliwice 1975.
- [4] Wegener G.: Forderung von Ablaufwasser und viskosen Flüssigkeiten, Pumps-Pompes-Pumpen, nr 15, 1967.

Recenzent: Doc. dr inż. Paweł ZWORSKI

Praca wpłynęła do Redakcji w dniu 15 października 1980 r.

Оценка способности насосов к пропусканию зёрен твёрдых тел на основе безразмерного дискриминанта

Р е з ю м е

В статье проведено анализ безразмерных дискриминантов линейных размеров проходных сечений, имеющих решающее значение о пропускании твёрдых тел через насос. Предполагается безразмерный дискриминант пропускания твёрдых тел. Проведено анализ его величины для вариантов конструктивных насосов, применяемых в установках гидротранспорта. Доказываются его полезные величины в случае насосов с свободным течением.

The evaluation of the ability of a pump to pass grains of solids on the ground of nondimensional discriminant

S u m m a r y

There have been analysed nondimensional discriminants of linear dimensions concerning flow sections which determine the passing of solids through a pump. Nondimensional discriminant, of flow capacity of solids has been suggested. Its values have been analysed for constructional variations of pumps used in hydrotransport systems. Its beneficial values in the case of pumps with free flow have been ascertained.