

Jerzy Rokita
Instytut Maszyn i Urządzeń
Energetycznych

ZALEŻNOŚĆ GEOMETRYCZNYCH CECH KONSTRUKCYJNYCH POMP O SWOBODNYM PRZEPŁYWIE OD WYRÓZNIKA SZYBKOBIEŻNOŚCI

Streszczenie: Przeanalizowano wpływ szerokości łopatek wirnika i kadłuba pompy o swobodnym przepływie na jej parametry, a w szczególności na wartość wyróżnika szybkobieżności pompy. Wykazano, że nawet znaczniejsze zmiany geometrycznych cech konstrukcyjnych pompy wywierają mały wpływ na zmiany wyróżnika szybkobieżności. Rezultaty badań uogólniono zależnościami empirycznymi. Przedstawiono zalecenia umożliwiające określenie geometrycznych cech konstrukcyjnych pompy o swobodnym przepływie na zadane parametry.

Wstęp

W Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach przeprowadzono badania nad wpływem geometrycznych cech konstrukcyjnych na parametry pracy pompy o swobodnym przepływie, których celem było uzyskanie wytycznych umożliwiających określanie głównych cech geometrycznych pomp na zadane parametry pracy. Wyniki tych badań szczegółowo omówiono w pracy [5], a częściowo również w odmiennym ujęciu w pracy [6]. Jednakże w obu tych pracach nie zajmowano się uzależnieniem geometrycznych cech konstrukcyjnych pompy od wyróżnika szybkobieżności, co z kolei stało się celem niniejszej pracy.

W ramach tej pracy przeanalizowane zostaną wyniki badań pompy eksperymentalnej, przy czym ich zakres ogranicza się do wirników o liczbie łopatek $z = 10$, która uznana została za optymalną. Wszelkie oznaczenia i pojęcia nie wyjaśnione bliżej w tekście zostały szczegółowo omówione w pracy [5].

1. Bezwymiarowy wyróżnik szybkobieżności

Wyróżnik szybkobieżności pompy jest wielkością bezwymiarową, której równość w przypadku geometrycznie podobnych pomp krętnych stanowi kryterium podobieństwa dynamicznego przepływów w obu pompach. Dlatego też istnieje tendencja, aby uzależniać inne wyróżniki charakteryzujące parametry pracy pompy i jej geometryczne cechy konstrukcyjne od wyróżnika szybkobieżności pompy. Najbardziej zalecane jest stosowanie bezwymiarowego wyróżnika szybkobieżności pompy [3], określonego wzorem:

$$n_{sf} = 1000 \frac{HQ^{1/2}}{(gH)^{3/4}} \quad (1)$$

gdzie wielkości:

Q - wydajność pompy,

H - użyteczna wysokość podnoszenia pompy,

n - prędkość obrotowa,
 g - przyspieszenie siły ciężkości,

podaje się w dowolnym, spójnym układzie jednostek.

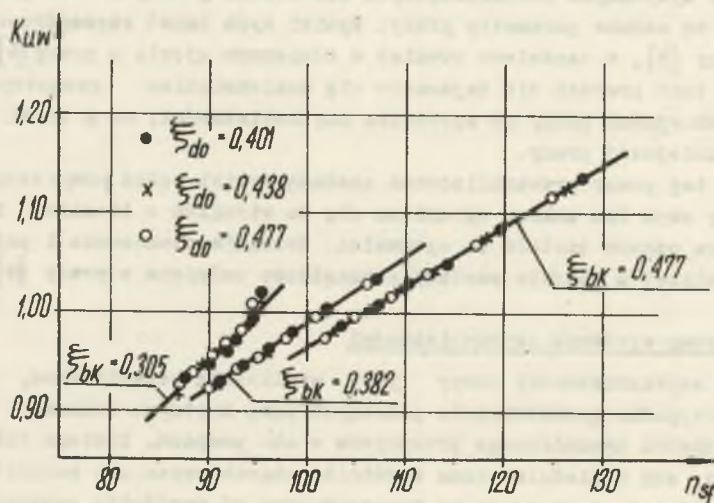
Bezwymiarowy wyróżnik szybkobieżności może zostać wykorzystany w badaniach pomp o swobodnym przepływie.

2. Zależność średnicy zewnętrznej wirnika d_w od wyróżnika szybkobieżności

Analizując wyniki pomiarów przy niezmiennych szerokościach kadłuba, a zmieniających się wielkościach b_w i d_o , każdorazowo obliczono dla optymalnych parametrów pracy pompy wyróżnik szybkobieżności n_{sf} oraz wyróżnik prędkości obwodowej wirnika, określony wzorem:

$$K_{uw} = \frac{u_w}{\sqrt{2gH}} \quad (2)$$

w którym u_w oznacza prędkość obwodową na średnicy zewnętrznej wirnika. Uzyskane w ten sposób dane zestawiono na rys. 1, gdzie widać, że zależności $K_{uw} = f(n_{sf})$ mają charakter liniowy.



Rys. 1. Zależność wyróżnika prędkości obwodowej wirnika od wyróżnika szybkobieżności (przy $z = 10$)

Współczynniki empirycznych równań liniowych obliczono metodą najmniejszych kwadratów, a równania podano poniżej osobno dla każdego z badanych kadłubów, przytaczając każdorazowo wartość współczynnika korelacji r , przedział ufności współczynnika regresji na poziomie istotności 0,05 oraz przedział wartości wyróżnika n_{sf} , w którym dane równanie empiryczne jest słuszne:

- dla kałużba o szerokości $b_k = 80 \text{ mm}$ ($\xi_{bk} = 0,305$)

$$K_{uw} = 0,024 + 0,0103 n_{sf} \quad (3)$$

słuszne w przedziale $n_{sf} = 87$ do 96 ,

$$r = 0,965,$$

przedział ufności współczynnika regresji $0,0103$ wynosi: $0,0088$ do $0,0118$

- dla kałużba o szerokości $b_k = 100 \text{ mm}$ ($\xi_{bk} = 0,382$)

$$K_{uw} = 0,325 + 0,0066 n_{sf} \quad (4)$$

słuszne w przedziale $n_{sf} = 90$ do 108 ,

$$r = 0,999,$$

przedział ufności współczynnika regresji $0,0066$ wynosi: $0,0065$ do $0,0067$

- dla kałużba o szerokości $b_k = 125 \text{ mm}$ ($\xi_{bk} = 0,477$)

$$K_{uw} = 0,351 + 0,0061 n_{sf} \quad (5)$$

słuszne w przedziale $n_{sf} = 100$ do 130 ,

$$r = 0,999,$$

przedział ufności współczynnika regresji $0,0061$ wynosi: $0,0060$ do $0,0062$.

Na podstawie uzyskanych zależności stwierdza się, że wraz ze wzrostem wyróżnika szybkobieżności pompy dla osiągnięcia tej samej wysokości podnoszenia, konieczne jest zwiększenie prędkości obwodowej wirnika, a więc występuje pewna analogia w stosunku do konwencjonalnych pomp krętnych.

3. Zależność szerokości łopatek wirnika b_w od wyróżnika szybkobieżności pompy

Szerokość łopatek wirnika b_w wywiera zasadniczy wpływ na wartość użytecznej wysokości podnoszenia pompy, a wobec niezmiennej w tym przypadku wydajności optymalnej, pośrednio i na wyróżnik szybkobieżności pompy.

Zestawiając wyniki badań otrzymane w pracy [5] na rys. 2 przedstawiono zależności $\xi_{bw} = f(n_{sf})$ w odniesieniu do każdego z badanych kałużbów.

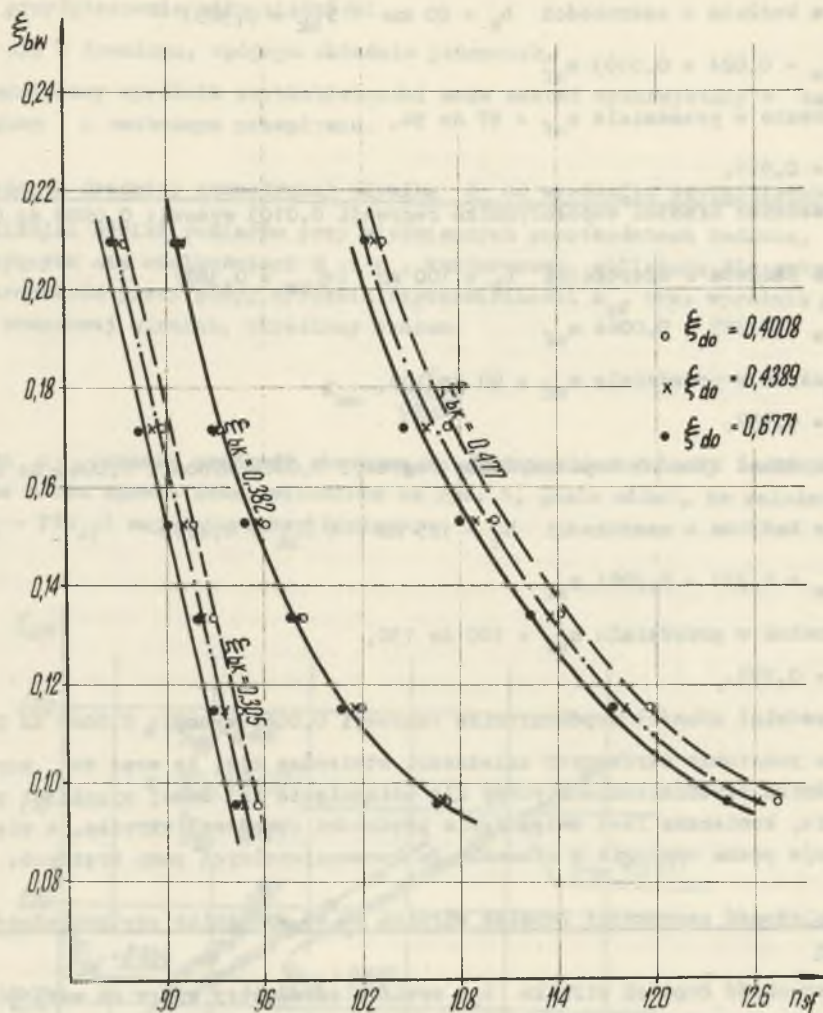
Analityczny opis zależności $\xi_{bw} = f(n_{sf})$ doprowadził do następujących związków:

- dla kałużba o szerokości $b_k = 80 \text{ mm}$ ($\xi_{bk} = 0,305$)

$$\xi_{bw} = 1,592 - 0,146 n_{sf} - 0,253 \xi_{do} \quad (6)$$

słuszny w zakresie $n_{sf} = 87$ do 96 i $\xi_{do} = 0,40$ do $0,48$,

$$r = 0,995,$$



Rys. 2. Zależność wyróżnika szerokości łopatek wirnika od wyróżnika szybkości (przy $z = 10$)

przedział ufności współczynnika regresji $(-0,146)$ na poziomie istotności $0,05$ wynosi: $-(0,138 \text{ do } 0,155)$,
 przedział ufności współczynnika regresji $(-0,253)$ na poziomie istotności $0,05$ wynosi: $-(0,182 \text{ do } 0,324)$,

- dla kałuża o szerokości $b_k = 100 \text{ mm}$ ($\xi_{bk} = 0,382$)

$$\xi_{bw} = 7745 \left(\frac{n_{sf}}{10}\right)^{-4,79} \quad (7)$$

słuszny w zakresie $n_{sf} = 90$ do 108 ,

$$r = 0,987,$$

przedział ufności współczynnika regresji $(-4,79)$ na poziomie istotności $0,05$ wynosi: $-(4,38 \text{ do } 5,20)$,

- dla kałuża o szerokości $b_k = 125 \text{ mm}$ ($\xi_{bk} = 0,477$)

$$\xi_{bw} = 2453 \left(\frac{n_{sf}}{10}\right)^{-3,783} \quad (10 \xi_{do})^{-0,413} \quad (8)$$

słuszny w zakresie $n_{sf} = 100$ do 130 ,

$$r = 0,989,$$

przedział ufności współczynnika regresji $(-3,783)$ na poziomie istotności $0,05$ wynosi: $-(3,48 \text{ do } 4,09)$,

przedział ufności współczynnika regresji $(-0,413)$ na poziomie istotności $0,05$ wynosi: $-(0,123 \text{ do } 0,703)$.

Z uzyskanych zależności wynika, że ze wzrostem wyróżnika szybkoobrotowości pompy o swobodnym przepływie zmniejsza się wyróżnik szerokości łopatkii a więc wpływ ten ma charakter przeciwny w porównaniu z konwencjonalnymi pompami krętymi.

4. Związek średnicy dopływu kałuża d_o z wyróżnikiem szybkoobrotowości pompy

Geometryczną cechą konstrukcyjną pompy, która w badanym zakresie zmienności nie wywiera istotnego wpływu na parametry pracy pompy o swobodnym przepływie, jest średnica dopływu kałuża d_o [5,7], którą pośrednio można określić granicznymi wartościami wyróżnika prędkości dopływu cieczy do kałuża, K_{co} , określonego wzorem:

$$K_{co} = \frac{c_o}{\sqrt{2gH}} \quad (9)$$

Graniczne wartości wyróżnika K_{co} odpowiadają zakresowi badanych wartości średnic d_o .

Uzależniając wartości wyróżników K_{co} uzyskane z badań, których wyniki podano w pracy [5], uzyskano następujące zależności:

- dla kałuża o szerokości $b_k = 80 \text{ mm}$ ($\xi_{bk} = 0,305$)

$$K_{co} = 0,17 \text{ do } 0,25$$

(w tym przypadku zrezygnowano ze ścisłego uzależniania wartości ekstremalnych K_{co} do n_{sf}),

słuszną w przedziale $n_{sf} = 87$ do 96 ,

- dla kadłuba o szerokości $b_k = 100$ mm ($\xi_{bk} = 0,382$)

$$K_{co} = (0,0093 \text{ do } 0,0132)n_{sf}^{2/3} \quad (10)$$

słuszną w przedziale $n_{sf} = 90$ do 108 ,

- dla kadłuba o szerokości $b_k = 125$ mm ($\xi_{bk} = 0,477$)

$$K_{co} = (0,0098 \text{ do } 0,0139)n_{sf}^{2/3} \quad (11)$$

słuszną w przedziale $n_{sf} = 100$ do 130 .

5. Problem określenia głównych geometrycznych cech konstrukcyjnych pomp o swobodnym przepływie

Ze względu na niedostatecznie rozebraną teorię działania pomp o swobodnym przepływie problem określenia ich geometrycznych cech konstrukcyjnych w celu uzyskania zadanych parametrów pracy nastrocza znaczne trudności. Istniejące poglądy na sposób obliczeń tych pomp nasuwają poważne i uzasadnione wątpliwości.

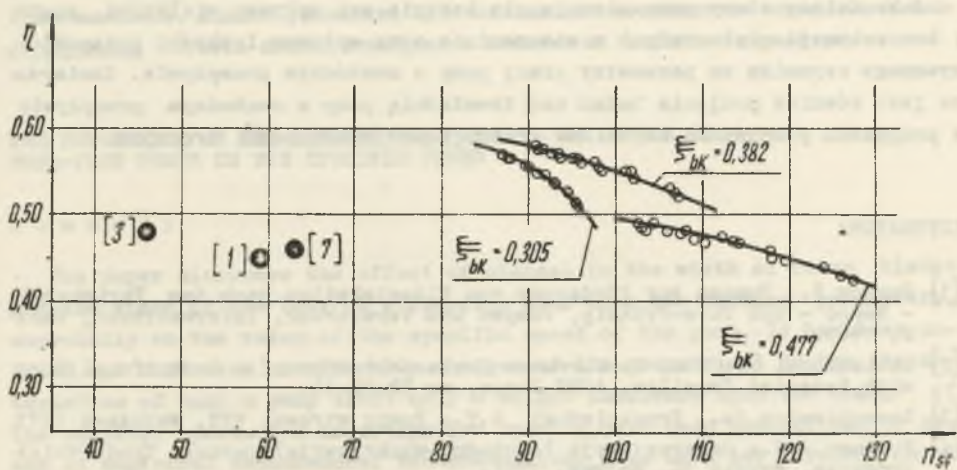
W szczególności dyskusyjne wydaje się zaadaptowanie dla potrzeb pomp o swobodnym przepływie klasycznej teorii jednowymiarowej Pflaiderera, słusznej dla pomp krętnych [7]. W procesie działania pompy o swobodnym przepływie strata związana z procesem wymieszania cieczy (strumień krążący i ciecz wirująca w swobodnej przestrzeni przepływowej pompy), ma poważną wartość i nie może być ujęta analitycznie w teorii klasycznej. Słuszniejszy wydaje się sposób ujęcia tego zagadnienia w pracy [4], jednak nie jest on poparty szerszymi badaniami, co pozbawia go znaczenia praktycznego.

W związku z powyższym pewniejszą wskazówką mogą być wyniki badań modelowych, które następnie mogą zostać uogólnione przez wykorzystanie teorii podobieństwa pomp wirowych.

Przedstawione rezultaty badań doświadczalnej pompy o swobodnym przepływie mogą zostać wykorzystane do ustalenia głównych geometrycznych cech konstrukcyjnych pomp o swobodnym przepływie na zadane parametry pracy. Jednakże możliwość wykorzystania podanych zależności ogranicza się w praktyce do stosunkowo wąskiego przedziału wyróżników szybkobieżności $n_{sf} \approx 85 - 110$ w którym badana pompa doświadczalna rozwinęła stosunkowo wysoką sprawność powyżej $0,5$.

Jest znamienne (co wynika z badań doświadczalnych), że stosunkowo znaczne zmiany geometrycznych cech konstrukcyjnych [5] wywołują relatywnie mniejsze zmiany wyróżnika szybkobieżności pompy - oczywiście w zakresie stosunkowo wysokiej sprawności. Wynika stąd, że zakres możliwości konstruowa-

nia pomp o swobodnym przepływie o relatywnie wysokiej sprawności jest ograniczony do stosunkowo wąskiego zakresu zmienności n_{sf} . Badania pompy doświadczalnej dowiodły, że zwłaszcza wzrost wyróżnika szybkobieżności uzyskiwany przez zwiększenie szerokości kadłuba b_k powoduje szybki spadek sprawności pompy. Zmniejszenie wyróżnika szybkobieżności pompy głównie drogą zmniejszenia szerokości kadłuba pompy nie powoduje już tak wyraźnego obniżania sprawności pompy, jednak osiągane sprawności wykazują zauważalną tendencję malejącą. Powyższe stwierdzenia ilustruje rys. 3, na który nanieśiono również dane wynikające z prac [4,8].



Rys. 3. Wpływ wyróżnika szybkobieżności na sprawność pompy o swobodnym przepływie

Pewne możliwości określania geometrycznych cech konstrukcyjnych pomp o swobodnym przepływie dają wytyczne zawarte w pracy [1]; jednak dane te charakteryzują się bardzo znacznymi rozrzutami wartości i nie uwzględniają zmian sprawności.

Interesujące rezultaty badań nad wpływem geometrycznych cech konstrukcyjnych na wartość wyróżnika szybkobieżności pompy o swobodnym przepływie zamieszczone są w pracy [2]. Ponieważ jednak dotyczą one pompy o stosunkowo małej szerokości kadłuba $\hat{S}_{bk} \approx 0,166$, przeto nie mogą być bezpośrednio konfrontowane z wynikami badań pomp o znacznie większych szerokościach kadłubów. Z danych tych jednak również wynika, że wzrost szerokości łopatek wirnika powoduje w wąskim zakresie zmniejszenie się wyróżnika szybkobieżności pompy. Wyniki badań przedstawionych w pracy [2] mogą również okazać się przydatne w trakcie doboru geometrycznych cech konstrukcyjnych pomp o swobodnym przepływie.

6. Uwagi końcowe

W związku z perspektywami wykorzystania w wielu dziedzinach przemysłu pomp o swobodnym przepływie w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej będzie się kontynuować prace badawcze nad pompami o swobodnym przepływie, przy współpracy Zakładu Doświadczalnego Maszyn Przepływowych przy Zabrzeńskiej Fabryce Maszyn Górniczych w Zabrzu.

Najbliższym zamierzeniem będzie przeprowadzenie badań nad możliwością polepszenia sprawności pompy poprzez wysunięcie wirnika z wnęki kadłuba do obszaru przepływowego. Badania wstępne [7,8] wskazują na korzystny wpływ takiego usytuowania wirnika.

Jako dalsze etapy prac planuje się badania nad wpływem wielkości ziarna i koncentracji ciał stałych w mieszaninie oraz wpływem lepkości przepompowywanego czynnika na parametry pracy pomp o swobodnym przepływie. Zamierzone jest również podjęcie badań nad trwałością pomp o swobodnym przepływie w przypadku pompowania czynników wykazujących właściwości erozyjne.

LITERATURA

- [1] Grabow G.: Pumpen zur Förderung von Flüssigkeiten nach dem Peripheral - Wemco - und Turo-Prinzip, Pumpen und Verdichter, Informationen, Heft 2, 1965.
- [2] Lubieniecki Y.: Some Performance Characteristics of a Centrifugal Pump with Recessed Impeller, ASME Paper, nr 72-FE-10.
- [3] Łazarkiewicz Sz., Trokolewski A.T.: Pompy wirowe, WNT, Warszawa 1973.
- [4] Presman Ł.S.: Smjerczjewyje (swobodno-wichrjewyje) nasosy, Trudy Wnigdromasza, Wypusk 36, Moskwa, 1967.
- [5] Rokita J.: Wpływ geometrycznych cech konstrukcyjnych na parametry pracy pomp o swobodnym przepływie, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej ENERGETYKA z. 53 (w druku).
- [6] Rokita J.: Wpływ szerokości łopatek wirnika i kadłuba na parametry pracy pomp o swobodnym przepływie, Konferencja HYDROFORUM 73, Materiały konferencyjne, Gdańsk, 1973.
- [7] Rüttschi C.: Die Arbeitsweise von Freistrompumpen, Schweizerische Bauzeitung, Heft 32, 1968.
- [8] Zarzycki M., Rokita J., Morzyński St.: Badania pompy o swobodnym przepływie produkowanej seryjnie, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej GCR-NICTWO (w druku).

Praca wpłynęła do Redakcji w dniu 4 marca 1974 roku.

ЗАВИСИМОСТЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ КОНСТРУКТИВНЫХ СВОЙСТВ
НАСОСА СВОБОДНОГО ТЕЧЕНИЯ ОТ УДЕЛЬНОЙ ВЫСТРОХОДНОСТИ

Р е з ю м е

Обсуждается влияние ширины рабочих лопастей и цилиндра насоса свободно течения на его параметры работы, в особенности, на величину удельной быстроходности насоса. Указывается, что даже значительные изменения геометрических конструктивных свойств насоса оказывают небольшое влияние на изменение удельной быстроходности. Обобщаются результаты исследований эмпирическими зависимостями. Даются указания, предоставляющие возможности определения конструктивных свойств насоса свободного течения на заданные параметры.

THE DEPENDENCE OF THE GEOMETRICAL FEATURES OF DESIGN OF
FREE-FLOW PUMPS ON THE SPECIFIC SPEED

S u m m a r y

The paper discusses the effect of changes in the width of rotor blades and the width of the body of a freeflow pump upon its working parameters, especially on the value of the specific speed of the pump. It has been pointed out that even considerable changes of the geometrical design characteristics of such a pump exert only a slight influence upon the change of the specific speed. The investigation results have been generalized by means of empirical dependences. Recommendations have been put forward which would facilitate the determination of the constructional features of free-flow pumps having the required parameters.