

Lech BOBOWSKI
Janusz PLUTECKI

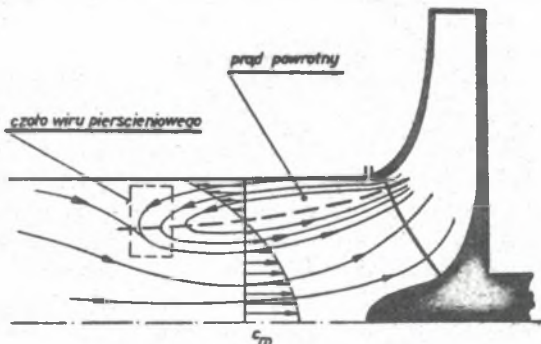
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Politechniki Wrocławskiej

ANALIZA PRZEPŁYWU W RURZE SSAWNEJ POMPY WIROWEJ PRZY WYDAJNOŚCIACH MNIIEJSZYCH OD NOMINALNEJ

Streszczenie: W pracy wykazano sprzeczności w podstawowych teoriach opisujących zjawiska, takie jak: prerotacja i prądy powrotne, występujące w pompach przy wydajnościach mniejszych od nominalnej. Wykorzystując wyniki własnych badań przedstawiono mechanizm zawirowania cieczy w rurze ssawnej wywołany przez prądy powrotne wypływające z wirnika.

1. Wstęp

Przepływ w rurze ssawnej przed wirnikiem pompy wolnobieżnej podczas pracy przy małych wydajnościach jest inny niż w pobliżu nominalnego punktu pracy. Występuje zawirowanie cieczy dopływającej do wirnika (tzw. prerotacja) oraz prądy powrotne tworzące tzw. wir pierścieniowy - rys.1.



Rys.1. Struktura przepływu przed wlotem wirnika przy wydajnościach bliskich zero

Zjawiska te wpływają istotnie na proces przekazywania energii w pompie i dlatego są przedmiotem intensywnych badań.

2. Relacja między prerotacją i prądami powrotnymi

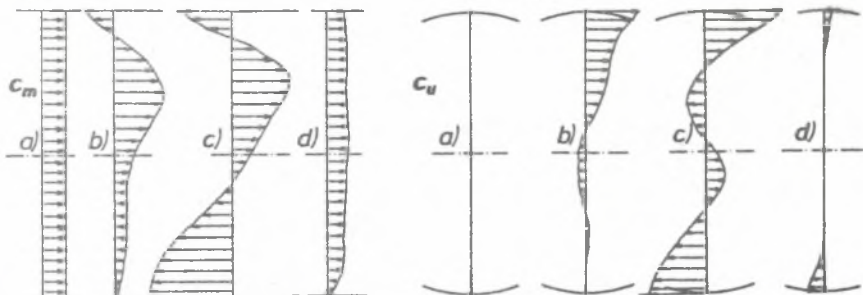
Jednym z zasadniczych, kontrowersyjnych problemów w tym temacie jest to, czy prerotacja jest zjawiskiem pierwotnym w stosunku do prądów powrotnych, czy też jest odwrotnie. Przy rozwiązaniu tego problemu część autorów [3,10] korzysta z różnych postaci zasady najmniejszego oporu, wykazując, iż prerotacja jest zjawiskiem pierwotnym w stosunku do prądów powrotnych. Uważają oni, że cząstki płynu poruszają się po liniach gradientu ciśnienia. Przy wydajnościach mniejszych od nominalnej musi pojawić się zawirowanie cieczy w rurze ssawnej, ponieważ w przeciwnym razie ciecz wchodziłaby na łopatki z gwałtowną zmianą kierunku, co jest w rzeczywistości niemożliwe. Mechanizm zawirowania jest następujący: Wirnik wytwarza strefy niskiego ciśnienia w liczbie równej liczbie łopatek i obracające się z prędkością wirnika. Linie gradientu ciśnienia przedstawione są jako wiązka spiralnych rurek prądu, spełniających rolę kierownicy. Wirujące strefy niskiego ciśnienia obracają się w kierunku obrotów wirnika. Nie tłumaczy to zatem pojawienia się zawirowania cieczy w stronę przeciwną, co ma miejsce przy wydajnościach większych od nominalnej. Według Stepanoffa [10] prerotacja wywołuje w pobliżu wirnika wzrost ciśnienia odpowiadający sile odśrodkowej, co powoduje począwszy od pewnej wydajności odwrócenie przepływu-powstaje w ten sposób prąd powrotny. Przytoczone wyniki doświadczeń wskazują, że prerotacja i prądy powrotne pojawiają się przy zmniejszaniu wydajności w sposób nagły i jednocześnie. Oznaczać to może jednak, że to prądy powrotne są przyczyną zawirowania. Pogląd taki prezentowany jest w pracach [6,7,12]. Między innymi Pfeleiderer [6] uważa, że prąd powrotny jest wywoływany przede wszystkim wyrzuceniem do przestrzeni ssawnej cieczy z obszaru zastoju tworzącego się po stronie biernej łopatek przy napływie niestycznym i oderwaniu strugi. Zjawisko to wywołuje znaczne zmniejszenie uderzenia w strudze czynnej oraz przy spadku wydajności niewielkie zmiany składowej merydionalnej prędkości bezwzględnej c_{m1} . Przed wirnikiem prąd powrotny silnie zawirowuje ciecz w stronę obrotów wirnika. Prąd powrotny występuje jednocześnie z obracającymi się strefami oderwań. Tłumaczone jest to tym, iż przy zmniejszaniu się wydajności zwiększa się kąt natarcia cieczy na łopatki wirnika. Gdy zostanie osiągnięta granica oderwań, struga odrywa się w jednym kanale wskutek niedokładności wykonania łopatek i nierównomierności napływu na łopatki. Powoduje to miejscowe zwiększenie oporów danego kanału międzyłopatkowego i zmniejszenie natężenia przepływu cieczy przez niego i zwiększenie natężenia przepływu przez kanały sąsiednie. Wywołuje to zwiększenie kąta natarcia na łopatkach leżących względem zablokowanych kanałów w kierunku przeciwnym do ruchu wirnika oraz powstawania tam oderwań i następnie ich blokady. Natomiast na łopatkach leżących z drugiej strony zablokowanych kanałów kąt natarcia ulega zmniejszeniu i strefy oderwań tam zanikają.

W ten sposób strefa oderwań wędruje w ruchu względem wirnika w kierunku przeciwnym do jego obrotu. Prędkość tego ruchu nie przekracza prędkości wirnika i dlatego w ruchu bezwzględnym ma on ten sam kierunek co wirnik, a jego prędkość obrotowa wynosi ok. 20-50% prędkości wirnika. Przy wydajnościach mniejszych liczba obrotujących się stref oderwań zwiększa się.

Wyniki najnowszych badań [5,8] zdają się potwierdzać opinię, że to prąd powrotny zawirowuje ciecz w rurze ssawnej. W tych pracach rozkłady prędkości mierzone były ze pomocą prędkościomierzy pięttrzących, a więc mierzono prędkości miejscowe średnie. Należy zwrócić przy tym uwagę, iż przy pomiarze prędkości średniej oscylacje długości wiru pierścieniowego mogą spowodować pozorne wykazanie istnienia prerotacji bez występowania w tym miejscu prądu powrotnego. Oderwanie strug wewnątrz wirnika i blokadę kanałów międzyłopatkowych obserwowano w badaniach wizualizacyjnych [2,4,9,11]. W najnowszych publikacjach łączy się oderwanie strug z prądami powrotnymi zawirowującymi ciecz [8,11]. Zwraca się uwagę na niestacjonarność tych zjawisk. Z uwagi na duże trudności pomiaru rozkładu prędkości chwilowych, obecnie do badania tych zjawisk stosuje się przede wszystkim metody wizualizacyjne, dające głównie wyniki jakościowe.

3. Badania własne

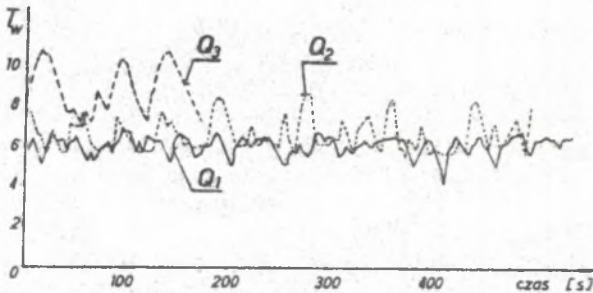
W celu zbadania zjawisk przepływowych na wlocie wirnika w Instytucie Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej opracowano metodę wizualizacyjną pozwalającą na obserwację i pomiar wszystkich składowych prędkości wielu profili prędkości chwilowych jednocześnie [1]. Za jej pomocą mierzono rozkłady prędkości chwilowych w rurze ssawnej modelowej pompy promieniowej. Przekroje pomiarowe znajdowały się w odległościach: 0,3; 1,4; 2,9; 4,0; 5,4; 6,7 średnic rury ssawnej. Pomiarów dokonywano przy pięciu wydajnościach. Metodą tą mierzono rozkłady prędkości chwilowych co 0,1 sekundy. Zbadano zjawiska przepływowe w rurze ssawnej - prądy powrotne i prerotację. Na rys.2 przedstawiono przykładowe rozkłady chwilowych prędkości merydionalnych i obwodowych w obszarze czoła wiru pierścieniowego. Obrazują one mechanizm zmian długości wiru pierścieniowego w czasie oraz zawirowanie cieczy.



Rys.2. Rozkłady chwilowych prędkości merydionalnych i obwodowych w rurze ssawnej pompy. Pomiaru a, b, c, d wykonywano co ok. 5 sek. Odległość od wirnika 6,7 średnic rury ssawnej

Na rys.2a widać, że prędkość merydionalna m_e w całym przekroju stałą wartością i nie ma zawirowania cieczy. Rys.2b pokazuje dotarcie do tego miejsca czoła wiru pierścieniowego - pojawia się prąd powrotny przy ścianie rury ssawnej i rosną wartości prędkości w środkowej części przekroju, pojawia się składowa obwodowa prędkości. Trwa to kilka, kilkanaście sekund (rys.2c), po czym czoło wiru pierścieniowego cofa się, prąd powrotny zanika, a rozkład prędkości staje się znowu równomierny. Należy w tym miejscu zauważyć, że zawirowanie cieczy nie powstaje, dopóki do danego przekroju nie uotrze prąd powrotny. Podważa to twierdzenie o tym, że prerotacja może powstać bez udziału prądów powrotnych [10]. Nie wykluczają takiej możliwości uzyskane profile prędkości średnich.

Oscylacje długości wiru pierścieniowego są dotychczas nie zbadaną właściwością zjawisk przepływowych w rurze ssawnej. Dlatego też stały się przedmiotem osobnych badań. Widmo tych oscylacji jest przedstawione na rys.3.



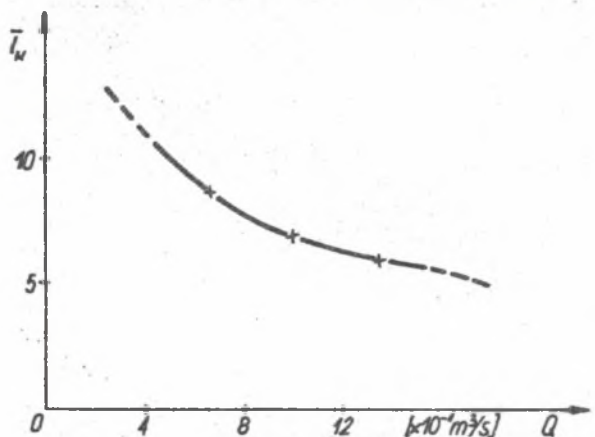
Rys.3. Oscylacje długości wiru pierścieniowego przy różnych wydajnościach $Q_1 > Q_2 > Q_3$
 l_w - długość wiru w średnicach rury ssawnej

Na podstawie wyników pomiaru można stwierdzić, że:

- a) widmo oscylacji długości wiru pierścieniowego składa się z dwóch elementów:
 - oscylacje o dużej częstotliwości (ok. 1 Hz) i małej amplitudzie (ok. 2 cm);
 - oscylacje o małej częstotliwości (ok. 0,07 Hz) i dużej amplitudzie (12-25 cm);
- b) amplituda oscylacji rośnie przy spadku wydajności;
- c) średnia długość wiru pierścieniowego zwiększa się ze spadkiem wydajności (rys.4).

Stwierdzono podobny charakter oscylacji ciśnienia na wlocie do wirnika.

Powyższe fakty świadczą o okresowym wytwarzaniu prądów powrotnych. Jest prawdopodobne, że główną rolę odgrywają w tym obracające się strefy oderwań. Dokładnej odpowiedzi na temat sposobu powstawania prądów powrotnych mogą dostarczyć badania przepływu w kanałach wirnika.



Rys.4. Zależność średniej długości wiru pierścieniowego od wydajności

4. Podsumowanie

W teoriach tłumaczących przebieg zjawisk na wlocie wirnika (prerota-cja, prądy powrotne) nie ma zgodności opinii, które z nich uznać za pierwotne, a które za wtórne. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzo-no, że prądy powrotne powodują zawirowanie cieczy dopływającej do wirnika (prerotację). W części rury ssawnej, do której prądy nie dotarły, za-wirowanie nie występuje. Przy wydajnościach bliskich zeru przepływ w ru-rze ssawnej jest niestacjonarny. Występują oscylacje długości wiru pier-ścieniowego, o okresie kilkunastu sekund, co świadczy o cyklicznym pow-stawaniu intensywniejszych prądów powrotnych. Jest prawdopodobne, że zja-wisko prądów powrotnych związane jest z obracającymi się strefami oder-wań. Amplituda oscylacji i długości wiru pierścieniowego rosną wraz ze zmniejszeniem wydajności pompy. Dokładne poznanie i wyjaśnienie tych zjawisk możliwe będzie po przeprowadzeniu badań rozkładów chwilowych prędkości przepływu w wirniku.

Literature

- [1] Bobowski L.: "Badanie zjawisk przepływających na wlocie pompy promie-niowej" V Krajowa Konferencja Mechaniki Cieczy i Gazów, 1982, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej, nr 22, str.23-29.
- [2] Fister W.: "Sichtbarmachung der Stromungen in Radialverdichter-stufen, besonders der Relativstromung in rotierenden Laufrädern, durch Funke-nblitze". Brennstof-Wärme-Kraft, 18, 1966, nr 9, s.425-429.
- [3] Grianko L.P., Zimnicki V.A.: "Teoretical Determination of the Meridional Velocity in Hub Flow at the Inlet of a Pump Impeller" Mech.-Sov. Res., 5,4, Jul., Aug., 1976, s.94-98.
- [4] Lenneman E., Howard J.H.G.: "Unsteady Flow Phenomena in Rotating Cen-trifugal Impeller Passages". Trans. of ASME, 1970, nr 92, s.65-72.

- [5] Kurakami M., Heya N.: "Swirling Flow in Suction Pipe of Centrifugal Pumps, 1st Report: Distribution of Velocity and Energy". Bulletin of JSME, 1966, nr 34, s.328-329.
- [6] Pfeleiderer-Petermann: "Stromungsmaschinen". Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1964.
- [7] Polikovski V.I., Levin A.A.: "Issledovanie raboty nassosov i vozduchoduvnykh mašin na režimech ponižennykh počec". Teploenergetika, 1966, nr 3, s.49-53.
- [8] Sen M., Breugelmanns F., Schiavello B.: "Reverse Flow, Prerotation and Unsteady Flow in Centrifugal Pumps". Proc. NEL Fluid Mechanics Silver Jubilee Conf. East Kilbride, U.K.: Nov.27-29, 1979, Nat.Engng. Lab. Paper 3.1.
- [9] Senoo Y.M., Yamaguchi, M., Nischi M.: "A Fotografic Study of the Three-Dimensional Flow in a Radial Compressor" Trans-ASME, Ser.A 80, 1968, nr 3, s.237-244.
- [10] Stepanoff A.J.: "Pumps and Blowers - Two Phase Flow". 1966, J.Willey Sons, New York.
- [11] Toyokura T., Kubota N.: "Studies on Backflow Mechanism of Turbomachines Bulletin of JSME, 11, 1968, nr 43, s.147-156.
- [12] Zimnicki V.A.: "O pričinach vzniknovenie protivotokov v gidromašinach na režimech malých raschodov". Energomašinstrojenie, 1968, nr 11, s.21.

АНАЛИЗ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ ВО ВСАСЫВАЮЩЕЙ ТРУБЕ
ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ПРИ ЧАСТИЧНОЙ НАГРУЗКЕ

Р е з ю м е

При частичной нагрузке во входе центробежного насоса выступают также явления как закрутка потока и вторичные течения, которые имеют большое влияние на рабочий процесс, происходящий в насосе. В работе обнаружены противоречия в основных теоремах, описывающих эти явления. Используя результаты своих исследований представлен авторами механизм закрутки потока во всасывающей трубе насоса вызванный вторичным течением вытекающим из рабочего колеса.

FLOW ANALYSIS IN THE SUCTION PIPE OF THE CENTRIFUGAL PUMP
AT THE CAPACITIES LOWER THAN THE NOMINAL ONES

S u m m a r y

Back flows and prerotation take place in the centrifugal pump inlet at capacities lower than the nominal ones. These phenomena exert a significant influence on the pump work process. The evidence of the discrepancies within basic theories describing these phenomena is given in the paper. Based on the results of the authors experimental work the origin of fluid prerotation in the suction pipe resulting from back flows from the pump rotor have been described.