ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLASKIEJ

Seria: ENERGETYKA z. 91

1985

Nr kol. 856

Tadeusz PAJAK

Instytut Maszyn Górniczych, Przeróbczych i Automatyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie

ANALIZA STRUKTURY PRZEPŁYWU W KANALE ŁOPATKOWYM PROMIENIOWEGO KOŁA WIRNIKOWEGO

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu zmiennych warunków przepływu oraz parametrów geometrycznych wirnika na rozmiary warstwy przyściennej w kanale żopatkowym promieniowego koża wirnikowego. Jako parametry reprezentujące rozmiary warstwy przyściennej przyjęto wielkość śladu przepływu na wypływie z koża wirnikowego oraz pożożenie punktu oderwania strumienia. Wykazano graficznie oraz w postaci formuż empirycznych zależność tych parametrów od warunków przepływu i geometrii kanażu żopatkowego.

1. Wstep

Rozpoznanie i opis struktury rzeczywistego przepływu w kanale łopatkowym promieniowego koła wirnikowego ma podstawowe znaczenie dla uściślenia teoretycznych metod rozwiązania przepływu przez promieniowe wieńce sprężające. Informacje o przepływie rzeczywistym są warunkiem niezbędnym dla rozwijanych obecnie metod rozwiązania przepływu-będących kompilacją rozwiązania przepływu potencjalnego z wielkościami eksperymentalnymi opisującymi charakter przepływu w warstwie przyściennej kanału żopatkowego [1],[2],[3]. Do wielkości tych należą głównie aerodynamiczny ślad przepływu za kołem wirnikowym oraz położenie punktu oderwania strumienia.

Złożona, trójwymiarowa struktura turbulentnej warstwy przyściennej powoduje, że uzyskanie rozwiązania przepływu z uwzględnieniem warstwy przyściennej w chwili obecnej możliwe jest jedynie w prostych przypadkach. Ograniczenia te są również wynikiem niepełnych informacji odnośnie struktury przepływu w kanale łopatkowym. Przytoczone poniżej wyniki badań śladu przepływu na wypływie z koła wirnikowego oraz analiza położenia punktu oderwania strumienia dla grupy kół wirnikowych o określonej geometrii mają za cel poszerzenie informacji o podstawowych parametrach określających warstwę przyścienną w kanale łopatkowym.

2. Opis podstawowych parametrów charakteryzujących warstwę przyścienną w kanale żopatkowym

Warstwa przyścienna w kanale kopatkowym promieniowego kołu wirnikowego występuje szczególnie silnie na podciśnieniowej, tylnej stronie kopatki. W stosowanych modelach przepływu ma ona snaczenie podstawowe i przyj-

(1)

muje się, że jest zasadniczym efektem przepływu czynnika lepkiego pomijając jednocześnie występującą w niektórych warunkach warstwę przyścienną po stronie przedniej żopatki. Kumulacja warstwy przyściennej na podciśnieniowej stronie żopatki jest zjawiskiem złożonym, zależnym głównie od warunków napływu na krawędź wlotową żopatki, geometrii kanału międzyłopatkowego i lepkości czynnika. Narastanie warstwy przyściennej i przekroczenie przez nię warunków separacji powoduje jej oderwanie od powierzchni żopatki. Oderwanie warstwy przyściennej charakteryzuje się szybkim przyrostem jej grubości i reprezentowane jest na wypływie z kanału przez ślad przepływu, czyli strumień o prędkości względnej znacznie niższej od prędkości strumienia głównego. Schemat tak interpretowanego przepływu w kanale żopatkowym przedstawia rysunek 1. Istniejące różnice w prędkościach względnych śladu przepływu i strumienia głównego są powodem silnego zróżnicowania czynnika wypływejącego z koła wirnikowego.

112



Rys. 1. Kanał żopatkowy z uwzględnieniem warstwy przyściennej.

Miarą obszaru oderwania warstwy przyściennej w przekroju wylotowym wirnike jest wielkość śladu przepływu \mathcal{E} . Definiuje się ją stosunkiem liniowej długości obszaru śladu przepływu l $_{\mathcal{E}}$, mierzonej po podziałce zewnętrznej i odnosi do podziałki łopatek t $_2$ na wylocie z wirnika lub jak to uczyniono w pracy [4] do długości łopatki 1. Zatem wielkość śladu przepływu można określić zależnościami

 $\mathcal{E}_{t} = \frac{\mathbf{1}_{\varepsilon}}{\mathbf{t}_{2}}, \quad \mathcal{E}_{1} = \frac{\mathbf{1}_{\varepsilon}}{\mathbf{1}}$

między którymi istnieje prosty swiązek,

Analiza struktury przepływu...

 $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_t \frac{t_2}{1}$

Drugim obok wielkości śladu przepływu podstawowym parametrem charakteryzującym obszar warstwy przyściennej jest punkt określający początek oderwania strumienia od powierzchni tylnej ≥opatki. Położenie tego punktu opisuje się promieniem separacji - r_{sep} i uzależnia od wzajemnej relacji prędkości względnych w odpowiednich punktach po obu stronach żopatki.

Wyniki badań serodynamicznego śladu przepływu na wypływie z koła wirnikowego

Anelizując zagadnienie występowania oderwania strumienia w kanałach żopatkowych wirnika stwierdzono, że jest ono wynikiem istnienia kilku złożonych zjawisk zachodzących w przepływie przez promieniowe kożo wirnikowe. W niniejszej pracy za podstawowe parametry, których wynikiem jest oderwanie strumienia uwidocznionego przez ślad przepływu przyjęto zmienne warunki napływu na palisadę oraz zmienną geometrię kanału żopatkowego. Zakres badań obejmował szeroko zróżnicowaną pod względem geometrii grupę kół wirnikowych-stanowiących modele wentylatorów promieniowycha szczegóżowy sposób pomiaru wielkości śladu przepływu przedstawiono w pracy [4].

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów sporządzono dla każdego koła wirnikowego wyjściową dla delszych analiz i porównań podstawową charskterystykę śladu przepływu ujmującą tę wielkość w funkcji liczby wydajności \mathcal{Q} . Przykładem tak przyjętych charakterystyk dla wirników o stosunku średnic $D_1/D_2 = 0.7$ i kąta żopatkowego β_1 równego w przybliżeniu 15° są wykresy przedstawione na rysunku 2. Podobne charakterystyki lecz dla wirników o stosunku średnic $D_1/D_2 = 0,6$ ilustrują wykresy na rysunku 3. Przedstawione na rysunkach 2 i 3 charakterystyki śladu są wynikiem obserwacji śladu przepływu dla średniej odległości pomiędzy tarczą przednią i tylna przekroju wylotowego wirnika. Rysunek 4 ilustruje wpływ szerokości względnej wirnika na przebieg obserwacji śladu przepływu. Widoczny tu jest efekt nakładania warstw przyściennych tarczy, tarczy przedniej i tylnej wirnika na wynik końcowy pomiaru. Rysunek 5 prezentuje otrzymane dla punktu optymalnej sprawności przepływu wyniki wielkości śladu przepływu w funkcji kąta żopatkowego /3 dla podstawowej grupy badanych kóż wirnikowych.

Na podstawie przeprowadzonych badań, których wybrane wyniki przedstawiono na rysunkach 2-5 otrzymano wzór, który dla kóż wirnikowych o stosunku średnic $D_1/D_2 = 0.71$ kąta żopatkowego $\beta_1 = 25^{\circ}$ wiąże wielkość śladu z parametrami przepżywowymi i geometrycznymi wirnika. Wzór ten ma postać

$$\mathcal{E}_{1} = 0.647 \cdot 10^{11} \, \varepsilon^{*} \left(\frac{\mathcal{G}_{n}}{\mathcal{G}} \right) \tag{3}$$

gdzie & stanowi geometryczną liczbę wielkości śladu wyrażoną jako

(2)



T. Pajęk













Rys.5. Zależność wielkości śladu przepływu \mathcal{E}_{t} od kąta kopatkowego β_{2} dla kół wirnikowych o stosunku średnic $D_{1}/D_{2} = 0,7$ oraz $D_{1}/D_{2} = 0,6$.

Analiza struktury przepływu...

$$\mathcal{E}^{*} \left(\operatorname{Re} \right)^{-2} \cos^{5} / \beta_{2} \operatorname{S}^{2}$$

$$(4)$$

przy czym Re określa się na podstawie długości kopatki l i prędkości obwodowej u, w następujący sposób

$$Re = \frac{u_2 1}{\sqrt{2}}$$
, (5)

a S stanowi liczbę wirnika [5], stałą zależną od geometrii koła wirnikowego.

Podobną empiryczną zależność otrzymano dla kóż wirnikowych o stosunku średnic $D_4/D_5 = 0.66$. Zależność tę wyraża związek

$$\mathcal{E}_{1} = 0,773 \cdot 10^{5} \varepsilon^{*} (\mathcal{Y}_{n}/\mathcal{G})$$
 (6)

gdzie geometryczną liczbę wielkości śladu opisuje zależność

$$\mathcal{E}^{*} = (\operatorname{Re})^{-1} \cos \beta_2 S . \tag{7}$$

Otrzymane wzory pozwalają na określenie wielkości śladu przepływu w szerokim zakresie parametrów geometrycznych wirnika i w dowolnym punkcie pracy koła wirnikowego, co stanowi niezbędną informację dla metod podejmujących rozwiązanie rzeczywistego przepływu przez kanał łopatkowy.

4. Określenie położenia punktu separacji strumienia

Šciske określenie zależności położenia punktu oderwania strumienia od warunków napływu na palisadę i geometrii wirnika jest zagadnieniem złożonym i trudnym od strony pomiarowej do zrealizowania. Podstawową informację w tym kierunku daje praca [6], której wyniki stosuje wielu autorów. W precy tej podano na podstawie bedań doświadczalnych kryterium na określenie oderwania strumienia na tylnej stronie żopatki. W oparciu o to kryterium oraz przy wykorzystaniu odpowiednio obliczonych ilorazów różnicy prędkości względnej po stronie tylnej i przedniej żopatki do wartości średniej tych predkości wyznaczono wartości promienia separacji.

Obliczone wartości stosunku r_{gep}/r_2 przedstawiono graficznie na rysunkach 6 i 7 w zależności od podstawowych parametrów geometrycznych wirnika oraz na rysunku 8 w zależności od doświadczalnie wyznaczonych wartości śladu przepływu.

5. Podsumowanie

Prezentowane w pracy wyniki badań doświadczelnych stanowią wycinek badań podstawowych z zakresu opisu występowania warstwy przyściennej w kanałach łopatkowych promieniowych kół wirnikowych. Dokonana analiza badań wpływu zmiennych warunków przepływu i zmiennych parametrów geometrycznych wirnika na rozmiary warstwy przyściennej w kanale łopatkowym wskazuje na duże możliwości wykorzystania otrzymanych wyników i formuł empirycznych w dziedzinie rozwijania opisu przepływu rzeczywistego przez promieniowe wieńce sprężające. Publikowane wyniki mogą być także wyko-

117





Rys.6. Przebieg wartości r_{gep}/r_2 w funkcji kąta żopatkowego β_2 dla kóż wirnikowych o stosunku średnic $D_4/D_2 = 0.7$.









118

Analiza struktury przepływu...

rzystane w dziedzinie kojsrzeń związków hałasu pochodzenia turbulencyjnego z charakterem przepływu na wypływie z promieniowego koła wirnikowego.

Literatura

- Senoo Y., Maruyama S., Koizumi T., Nakase Y.: Viscous Effects on Slip Factor of Centrifugal Blowers. Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Power, January 1974, s.59-65.
- [2] Piątkowski R.: Badanie przepływu przez promieniowe koło sprężarkowe. Praca doktorska. Politechnika Poznańska, Poznań 1977.
- [3] Pająk T.: Ujęcie strat przepływu promieniowego koła wirnikowego z uwzględnieniem warstwy przyściennej kanału łopatkowego. Zeszyty Naukowe AGH, Mechanika /przygotowane do druku/.
- [4] Pająk T.: Badanie przepływu gazu przez promieniową palisadę łopatkową. Praca doktorska. Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 1981.
- [5] Sentek J.: Influence of Geometrical Parameters Upon the Sound Power Level of Centrifugal Fans. Journal of Sound and Vibration, No 3, 1978, s.383-389.
- [6] Balje O.E.: Loss and Flow Path Studies on Centrifugal Compressors
 Part I. Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Power, July 1970, s.275-286.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak

Wpłynężo do redakcji maj 1985 r.

анализ структуры течения в лопастной канаве Радиального, Роторного колеса

Резюме

В работе представлены результаты испытаний влияния переменных условий течения, а также геометрических параметров ротора на величину настенного слоя в лопастной канаве радиального, роторного колеса.

Параметрами представляющими размеры настенного слоя, принята величина следа течения на истечении из радиального колеса, а также положение точки отрыва потока.

Графически представлены и в виде эмпирических формул, зависимости этих параметров от условий течения и геометрии лопастной канавы.

ANALYSIS OF THE FLOW STRUCTURE IN THE BLADE CHANNEL OF A RADIAL ROTOR WHEEL

Summary

The paper brings the results of investigations of the effect of variable flow conditions and of the geometric parameters of the rotor on the dimensions of the boundary layer in the blade channel of a radial rotor wheel. As the parameters representing the dimensions of the boundary layer - the wake of the outlet of the radial rotor and the position of the separation point of the jet have been assumed. The depedence of these parameters on the flow conditions and on the geometry of the blade channel has been demonstrated graphically and by means of empirical formula.