ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1978

Seria: ENERGETYKA z. 66 Nr kol. 562

Jan RADWAŃSKI
OBR "BAROWENT" Katowice

STABILNOŚĆ CHARAKTERYSTYK WENTYLATORÓW PROMIENIOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono rezultaty badań charakterystyk wentylatorów promieniowych uwzględniając ciągłość przebiegu krzywej ciśnienia $\psi(\varphi)$. Wyniki badań uporządkowano wg wielkości liczby Rosby'ego (Ro), która to liczba na wpływ na strukturę przepływu w kanale międzyłopatkowym. Badano wirniki ze zmienną liczbą łopatek oraz wirnik o różnej szerokości (b_2). Wyniki badań wskazują na istnienie granicznej liczby Ro, po przekroczeniu której charakterystyka wentylatora staje się nieciągła. Zbadano wpływ łopatek pomocniczych na stabilność charakterystyki wybranego wentylatora promieniowego.

Ważniejsze oznaczenia

a - szerokość płaskiego kanału międzyłopatkowego (m)
b - szerokość łopatki (m)
n - normalna do względnego kierunku przepływu (-)
p - spiętrzenie wentylatora (N/m^2)
R - promień zakrzywienia toru (m)
Ro - liczba Rosby'ego (-)
t - podziałka łopatek (m)
w - prędkość względna przepływu (m/s)
z - liczba łopatek wirnika (-)
β - kąt łopatki na promieniu R (^{o})
ϱ - gęstość czynnika (kg/m^3)
φ - wskaźnik wydajności wentylatora (-)
ψ - wskaźnik spiętrzenia wentylatora (-)
η - sprawność (-)
ω - prędkość kątowa (s^{-1})
σ - wyróżnik szybkobieżności (-)
(1) - wielkości fizyczne i geometryczne na wewnętrznym promieniu koła łopatkowego
(2) - wielkości fizyczne i geometryczne na zewnętrznym promieniu koła łopatkowego
Δ - przyrost.

1. Wprowadzenie

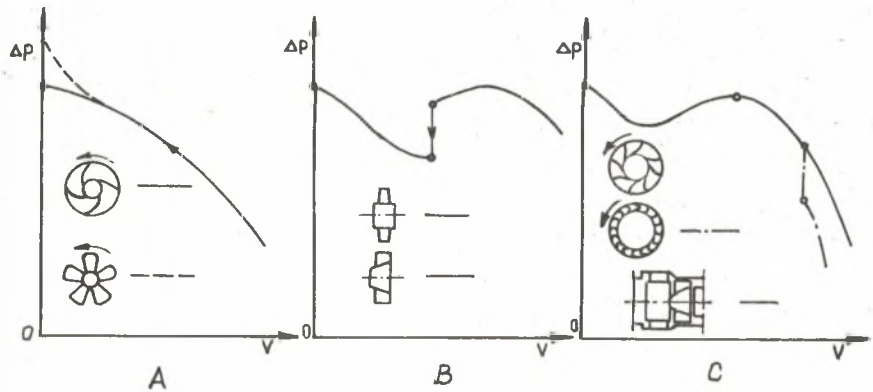
Przebieg krzywej ciśnienia, mocy i sprawności wentylatora jest zależny od schematu aerodynamicznego jego części przepływowej.

Zarówno w wentylatorach promieniowych jak i osiowych wyróżnić można trzy charakterystyczne przebiegi przyrostu ciśnienia $\Delta p = f(\dot{V})$ lub w postaci bezwymiarowej $\Psi = f(\varphi)$:

A. Charakterystyka o przebiegu monotonicznym.

B. Charakterystyka ze zrywem (nieciągłością).

C. Charakterystyka z punktem o maksymalnym ciśnieniu.



Rys. 1

Na rys. 1 pokazano typowe przebiegi charakterystyk obowiązujące zarówno wentylatory i dmuchawy typu promieniowego i osiowego oraz osiowe z przyspieszeniem merydionalnym.

Wentylatory promieniowe o łopatkach zagiętych silnie do tyłu posiadają charakterystyki monotoniczne ciągle opadające i spełniające warunek w dowolnym punkcie charakterystyki ciśnienia $\Psi = f(\varphi)$:

$$\frac{d\Psi}{d\varphi} < 0; \quad \frac{d^2\Psi}{d\varphi^2} < 0$$

Charakterystyki z maksymalnym ciśnieniem posiadają z reguły wentylatory promieniowe o dużych kątach wylotowych β_2. W niektórych typach wentylatorów typu bębnowego z wirnikami o łopatkach zagiętych do przodu ($\beta_2 > 90^o$) z dużą liczbą łopatek zryw może występować w końcu charakterystyki ciśnienia.

Jeżeli więc występują w przebiegu krzywej ciśnienia obszary nieciągłości, charakteryzując się gwałtownym spadkiem lub znaczną pulsacją ciśnienia, charakterystykę taką nazywać będziemy niestabilną.

Przyczyną powstawania obszarów nieciągłości charakterystyk wentylatorów promieniowych nie jest dostatecznie zbadana.

W miarę zadławienia przepływu przez wentylator wzrasta obszar oderwania przepływu w kanałach międzyłopatkowych i wówczas przebieg charakterystyki jest stabilny, zaś z chwilą pojawienia się oderwania w jednym z kanałów międzyłopatkowych oderwanie to przemieszcza się z pewną prędkością przeciwnie do ruchu obrotowego wirnika. Oderwanie to zwane wirującym, znane w literaturze anglosaskiej "rotating stall" [1], jest jedną z przyczyn powstawania obszarów nieciągłości charakterystyki wentylatorów promieniowych.

Pogląd, że zaburzenia w wentylatorach promieniowych rozprzestrzeniają się we wszystkich kanałach międzyłopatkowych równocześnie, nie jest słuszny; wskazują na to między innymi badania struktury przepływu w kanałach międzyłopatkowych wykonane metodą jonizacji gazów przez F. Fistera [2]. Wykonane zdjęcia struktury przepływu dla częściowego obciążenia wskazują wyraźnie na fenomen oderwania wirującego w wirnikach typu promieniowego. Należy więc w strukturze przepływu przez promieniowy kanał międzyłopatkowy szukać przyczyn pojawienia się nieciągłości charakterystyki wentylatorów promieniowych.

2. Rozkład prędkości względnych w kanale międzyłopatkowym

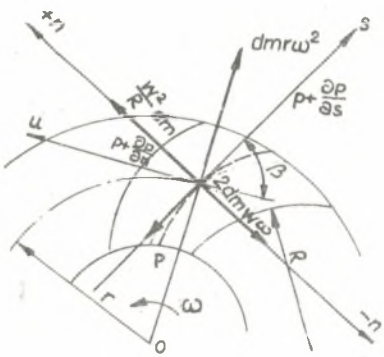
Rozpatrując warunki równowagi sił działających na element płynu w wirującym kanale międzyłopatkowym wentylatora promieniowego dla cieczy doskonałej - pole prędkości i ciśnienie będą zależne od kształtu tego kanału (rys. 2). Otrzymujemy zatem:

dla łopatek wirnika o łopatkach zagiętych do tyłu [3]

$$\frac{\partial w}{\partial n} = 2\omega - \frac{w}{R} \qquad (1a)$$

dla łopatek wirnika o łopatkach wygiętych do przodu

$$\frac{\partial w}{\partial n} = -2\omega - \frac{w}{R} \qquad (1b)$$

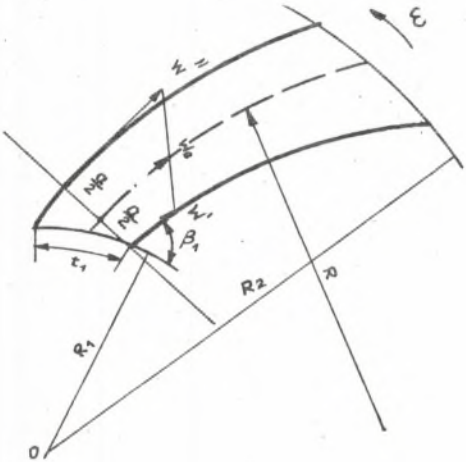


Rys. 2

Krzywizny torów cząstek są różne R(n), a zatem dla rozpatrywanego przekroju płaskiego kanału otrzymamy całkę szczególną w postaci:

$$w = w_s \cdot e^{\int_{-\frac{q}{2}}^{+\frac{q}{2}} \frac{dn}{R(n)}} + 2\omega e^{\int_{-\frac{q}{2}}^{+\frac{q}{2}} \frac{dn}{R(n)}} \int_{-\frac{q}{2}}^{+\frac{q}{2}} e^{\int \frac{dn}{R(n)}} dn \qquad (2)$$

Przyjmując w celu uproszczenia zadania, że promień krzywizny toru będzie taki sam jak dla łopatek oraz warunek, że średnia prędkość względna będzie leżała na torze środkowym, otrzymamy:



Rys. 3

$$W = (w_s - 2\omega R)e^{-\frac{n}{R}} + 2\omega R \qquad (3)$$

wprowadzając pierwsze dwa człony szeregu funkcji

$$e^{-\frac{n}{R}} = 1 - \frac{n}{R} + \frac{n^2}{2!R^2} - \frac{n^3}{3!R^3} + \ldots$$

otrzymamy na krawędziach przekroju kanału następujące stosunki prędkości (rys. 3):

$$\left.\begin{aligned} \frac{w'}{w_s} &= \left(1 - \frac{a}{2R}\right) - \frac{1}{Ro} \\ \frac{w''}{w_s} &= \left(1 - \frac{a}{2R}\right) + \frac{1}{Ro} \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

gdzie

$$Ro = \frac{w_s}{a \cdot \omega}$$

lub

$$Ro = \frac{w_s}{\omega \cdot t \sin.\beta} \qquad (5)$$

Liczba Rosby'ego Ro (4), (5) przedstawia nam stosunek sił bezwładności do siły Coriolisa. Im mniejsza jest liczba Ro, tym większe oddziaływanie na przepływ w kanale międzyłopatkowym wywiera ruch obrotowy. Wielkość tej liczby obliczonej dla wybranego przekroju kanału międzyłopatkowego (np. na wlocie) ma wpływ na profil prędkości.

Interesujące zatem jest zbadanie wpływu tej liczby na charakter przebiegu charakterystyki ciśnienia w wentylatorach promieniowych z punktu widzenia stabilności, tj. pojawienia się obszarów nieciągłości.

3. Badanie serii kół wirnikowych

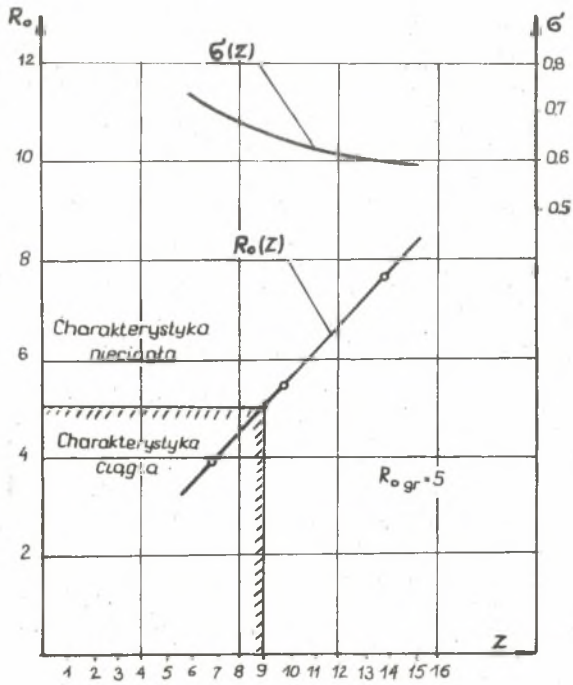
Model wentylatora typu WP-40/1,4 zbadano na stanowisku do automatycznego pomiaru charakterystyk przepływowych APCHW [6]

$$\left.\begin{aligned} \psi &= f(\varphi) \\ \eta &= f(\varphi) \end{aligned}\right| \; n = const$$

Podstawowe wymiary geometryczne wirnika przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Nr wirn.	D_2/D_1	b_2/D_1	b_1/D_1	β_1	β_2	Liczba łopatek
27	1,4	0,232	0,3142	19°	36°	7, 9, 10, 14

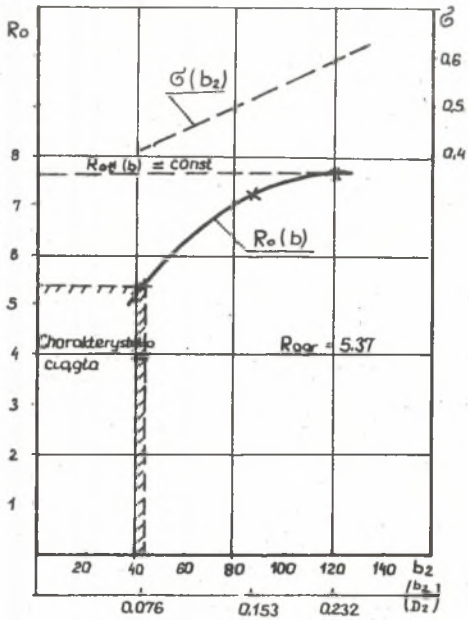


Rys. 4

a) Charakterystyka dla optymalnej liczby łopatek z = 10 posiada przebieg niestabilny. Postanowiono uzmiennić liczbę łopatek wirnika i ocenić przebieg charakterystyki ciśnienia. Wyniki obliczeń liczby Ro dla nominalnych parametrów przepływowych oraz jej wpływu na charakter przebiegu krzywej ciśnienia przedstawiono na rys. 4. Graniczna liczba Ro, powyżej której charakter przebiegu krzywej ciśnienia jest niestabilny, wynosi $Ro_{gr} \sim 5$.

b) Druga seria badań dotyczyła wpływu zmiany szerokości wirnika na stabilność. Zmiana sze-

rokości wirnika wentylatora promieniowego b_2 wpływa na zmianę parametrów przepływowych. Można przyjąć, że wydajność jest proporcjonalna do szerokości wirnika przy stałym spiętrzeniu Δp [7].



Rys. 5

Jak łatwo wykazać, teoretyczna liczba Rosby'ego nie zmienia się przez zmianę szerokości wirnika

$$Ro_t = f(b) = const.$$

Wirnik o geometrii wyjściowej jak w tablicy 1 zbadano dla następujących szerokości

$$b_2 = 130,\ 86,\ 43$$

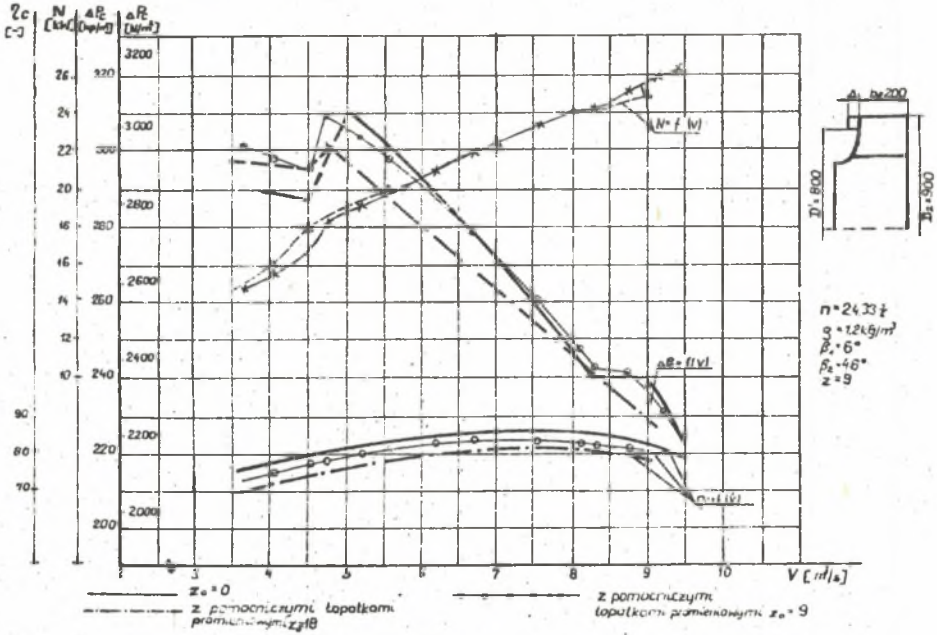
zachowując stałą liczbę łopatek $z = 14$.

Wirnik o wymiarach wyjściowych wg tablicy 1 i szerokości $b_2 = 130$ posiadał charakterystykę niestabilną. Wyniki badań zestawiono na rys. 5.

Graniczna liczba Rosby'ego, powyżej której otrzymano charakterystykę nieciągłą wynosi: $Ro_{gr} = 5,37$.

c) Z serii produkowanych wentylatorów w zakładach Zjednoczenia "Klimawent" wybrano do badań wentylator promieniowy typu WWOax-63 nr fabr 5777 o zdecydowanie niestabilnej charakterystyce ciśnienia. Liczba Rosby'ego dla ww. wentylatora obliczona dla nominalnych parametrów przepływowych i zadanej geometrii wirnika wynosi Ro = 43,18, zatem znajduje się poza obszarem granicznej liczby uzyskanej z przedstawionych wyżej badań $Ro_{gr} \sim 5$. Na pokrywie wirnika umieszczono pomocnicze łopatki promieniowe, które zdecydowanie zmieniły charakter przebiegu krzywej ciśnienia, wpływając stabilizująco - obszary nieciągłe zostały usunięte.

Sprawność wentylatora spadła o niecałe 3%. Wyniki badań pokazano na rys. 6.



Rys. 6

4. Wnioski

Stabilność charakterystyki wentylatora promieniowego zależy od struktury przepływu w kanale międzyłopatkowym a, zatem jest zależna między innymi od liczby Rosby'ego Ro obliczonej dla umownego przekroju kanału międzyłopatkowego. Wg dotychczasowych badań jako graniczną liczbę przyjąć można $Ro_{gr} \sim 5$.

Stabilną charakterystykę wentylatora promieniowego można uzyskać przez odpowiedni dobór szerokości wirnika oraz liczby łopatek.

Stwierdzono także, że umieszczenie na pokrywie wirnika na średnicy zewnętrznej pomocniczych łopatek wpływa stabilizująco na charakterystykę wentylatora promieniowego.

Wyłania się konieczność przeprowadzenia szerszych badań eksperymentalnych, które pozwolą na wyjaśnienie i zdefiniowanie liczbowego kryterium stabilności charakterystyk wentylatorów typu promieniowego.

LITERATURA

[1] Petermann H.: Einführung in die Strömungsmaschinen. Springer Verlag 1974.

[2] Fister W.: Sichtbarmachung der Strömungen in Radialverdichterstufen besonders der Relativströmungen in rotierenden Laufrädern durch Funkenblitze. Konstruktion Nr 9/1966.

[3] Eckert B.: Sprężarki osiowe i promieniowe. PWN, Warszawa 1959.

[4] G.N.A. Cole - Fluid Dynamics Spottiwoode, Ballantyne Colld 1962.

[5] Hackeschmidt M.: Grundlagen der Strömungstechnik VEB. Leipzig 1969.

[6] Radwański J.: Zastosowanie automatycznego przelicznika charakterystyk wentylatorów w badaniach modelowych wentylatorów przemysłowych Wyd. SIMP, Katowice 1976.

[7] Eck B.: Ventilatoren. Springer Verlag 1960.

СТАБИЛЬНОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Р е з ю м е

Представлены результаты исследований характеристик радиальных вентиляторов с учётом постоянства прохождения кривой давления $\Psi(\varnothing)$. Результаты исследований упорядочены согласно величине числа Росси, которое влияет на структуру течения в межлопаточном канале. Исследовались роторы с разным количеством лопаток, а также ротор различной ширины (b_2). Результаты исследований указывают на существование предельного числа Ro после превышения которого характеристика вентилятора становится непостоянной.

Исследовано также влияние вспомогательных лопаток на стабильность характеристики избранного радиального вентилятора.

STABILITY OF RADIAL-FLOW FANS CHARACTERISTICS

S u m m a r y

Presented are test results of the radial-flow fans characteristics regarding the pressure curve's continuity $\Psi(\varnothing)$. The findings are arranged according to the quantity of Rosby's number, which has an influence on the flow structure in the blade passage. Radial-bladed impellers with variable number of blades and an impeller of variable width (b_2) were tested.

The findings point to the limiting number of Ro beyond which the fan's curve is discontinuous.

It also was the influence of auxiliary blades on the characteristic's stability of a selected radial-flow fan that was tested.