ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985
Seria: Energetyka z. 91 Nr kol. 856

Jan Radwański

OBR"BAROWENT"

MOMENT AERODYNAMICZNY W OSIOWYCH APARATACH KIEROWNICZYCH WENTYLATORÓW PROMIENIOWYCH

Streszczenie : Do obliczeń sił potrzebnych do przesterowania osiowego aparatu kierowniczego używanego do regulacji wentylatorów promieniowych oprócz momentów tarcia występujących w łożyskach łopatek kierowniczych przegubów i pierścienia prowadzącego mechanizm regulacji potrzebny jest moment aerodynamiczny działający na łopatki. Podano sposób obliczenia wskaźnika momentu oraz jego wartość w zależności od kąta ustawienia łopatek aparatu kierowniczego.
Ponadto podano i sprawdzono zależność momentu aerodynamicznego od obrotów wentylatora.

Ważniejsze oznaczenia

M_{Ao}	- moment aerodynamiczny odniesiony do osi obrotu kierownicy	[Nm]
C_{Mo}	- wskaźnik momentu odniesiony do osi obrotu kierownicy	[-]
ρ_o	- gęstość czynnika na wlocie do aparatu kierowniczego AK	[kg/m^3]
C_o	- prędkość osiowa przelotowa odniesiona do pierścieniowego przekroju AK	[m/s]
f_k	- pole powierzchni ograniczonej obrysem kierownicy	[m^2]
S	- średnia cięciwa profilu łopatki kierowniczej w połowie jej rozpiętości	[m]
L	- rozpiętość kierownicy	[m]
z_A	- liczba łopatek AK	[m]
D_o	- średnica wewnętrzna cylindrycznej obudowy AK	[m]
Q_{Vo}	- wydajność objętościowa wentylatora odniesiona do warunków panujących na wlocie do AK wentylatora	[m^3/s]
n	- obroty wirnika wentylatora	[1/s]
α_A	- kąt ustawienia kierownicy AK	[°]
d*	- maksymalna grubość profilu kierownicy	[m]

1. Wstęp

Najczęściej stosowanym urządzeniem regulacji parametrów przepływowych wentylatorów promieniowych jest osiowy aparat kierowniczy.
Zadaniem aparatu kierowniczego jest nadanie strudze czynnika odpowiedniego zawirowania wstępnego zgodnego lub przeciwnego z kierunkiem obrotu wirnika wentylatora.
W konstrukcjach obecnie stosowanych wszystkie łopatki aparatu kierowniczego przestorowywane są o taki sam kąt obrotu $\Delta\alpha_A$ od położenia całkowitego otwarcia $\alpha_A = 0^0$ do całkowitego zamknięcia $\alpha_A = 90^0$.
Celem nadania wszystkim łopatkom aparatu kierowniczego odpowiedniego kąta położenia w czasie ruchu wentylatora potrzeba odpowiednich sił przenoszonych przez układ dźwigni stosując do tego celu różnego typu siłowniki systemu pneumatycznego, hydraulicznego lub elektromechanicznego.
Wielkość siłownika zależna jest od wielkości wentylatora oraz od jego parametrów przepływowych. Moment potrzebny do wywołania zmiany położenia łopatek kierowniczych wynosi:

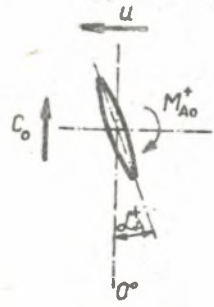
$$M_p = \sum M_T + \sum M_A \qquad [1]$$

gdzie $\sum M_T$ – suma momentów tarcia w łożyskach kierownic, dźwigniach oraz pierścienia sterującego /zależnie od konstrukcji mechanizmu aparatu kierowniczego/,

$\sum M_A$ – suma momentów aerodynamicznych działających na łopatki aparatu kierowniczego.

2. Moment aerodynamiczny działający na łopatkę osiowego aparatu kierowniczego.

Łopatki aparatu kierowniczego obracane są w czasie pracy wentylatora w kierunku zgodnym z kierunkiem wirowania wirnika. Kąt zawarty między cięciwą profilu łopatki kierownicy a głównym kierunkiem osiowej prędkości wlotowej jest dodatni α_A +. W wyjątkowych przypadkach stosowany jest nieznaczny kąt ujemny /zawirowanie przeciwbieżne/ w granicach $\alpha_A = -(5 - 10^0)$. Na kierownicę znajdującą się w przepływie działa moment aerodynamiczny usiłujący obrócić łopatkę wokół osi obrotu b z położenia neutralnego $\alpha_A = 0^0$ [Rys.1] do położenia całkowicie zamkniętego



Rys. 1

Moment aerodynamiczny odniesiony do osi obrotu "O" łopatki kierownicy wynosi:

$$\boxed{M_{Ao} = C_{Mo} \cdot \frac{\varrho_o}{2} \cdot C_o^2 \cdot f_k \cdot \bar{s}} \qquad [2]$$

Znajomość wielkości wskaźnika momentu C_{Mo} oraz przebieg w zależności od kąta położenia kierownicy α_A pozwala na obliczenie wielkości momentu aerodynamicznego a tym samym na wyznaczenie wielkości siłownika potrzebnego do przesterowywania łopatek aparatu kierowniczego.
Z zależności [2] otrzymamy:

$$\boxed{C_{Mo} = \frac{2\, M_{Ao}}{C_o^2 \cdot f_k \cdot \bar{s} \cdot \varrho_o}}$$

a uwzględniając zależności wg rys. [2]

$$f_K = \frac{\pi}{4\, z_k}\left(D_o^2 - d_o^2\right) \qquad F_o = \frac{\pi}{4}\left(D_o^2 - d_o^2\right) \qquad \bar{s} \sim \frac{\pi\, D_{śr}}{z_k}$$

gdzie:

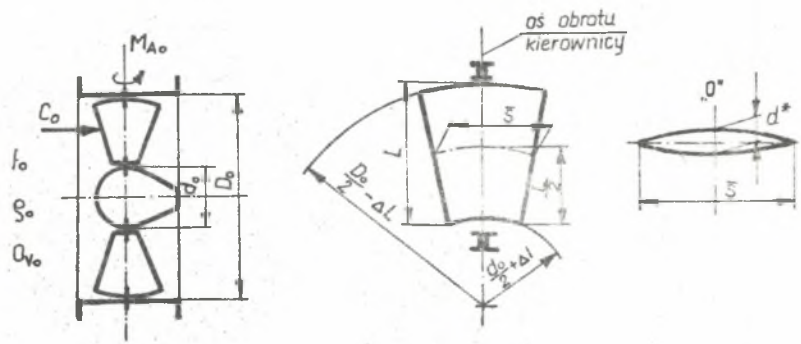
$$D_{śr} = \frac{D_o + d_o}{2} \qquad F_o \cong z_k \cdot f_K \qquad C_o = \frac{Q_{Vo}}{F_o}$$

otrzymamy więc:

$$\left.\begin{aligned} C_{Mo} &= \frac{2\, f_k\, z_k}{\bar{s}} \; \frac{M_{Ao}}{\varrho_o\, Q_{Vo}^2} \\ &= K_A \frac{M_{Ao}}{\varrho_o\, Q_{Vo}^2} \end{aligned}\right\} \qquad [3]$$

K_A jest stałe dla danego aparatu kierowniczego, zaś M_{Ao}, ϱ_o, Q_{Vo} wynika z pomiarów tych wielkości na stanowisku badawczym wentylatora.

3. Zmiana momentu aerodynamicznego od obrotów i wielkości wentylatora



Rys. 2

Zakładając, że wskaźnik momentu C_{Mo} nie zmienia się w pewnym zakresie prędkości przelotowej C_o zależnej od obrotów wirnika wentylatora, dla zmienionych obrotów wirnika z n_1 na n_2 korzystając z zależności [2]

$$M_{Ao1} = C_{Mo1} \cdot \frac{\varrho_{o1}}{2} \cdot C_{o1}^{2} \cdot f_1 \cdot \bar{S}_1 \qquad \text{dla } n = n_1$$

$$M_{A82} = C_{Mo2} \cdot \frac{\varrho_{o2}}{2} \cdot C_{o2}^{2} \cdot f_2 \cdot \bar{S}_2 \qquad \text{dla } n = n_2$$

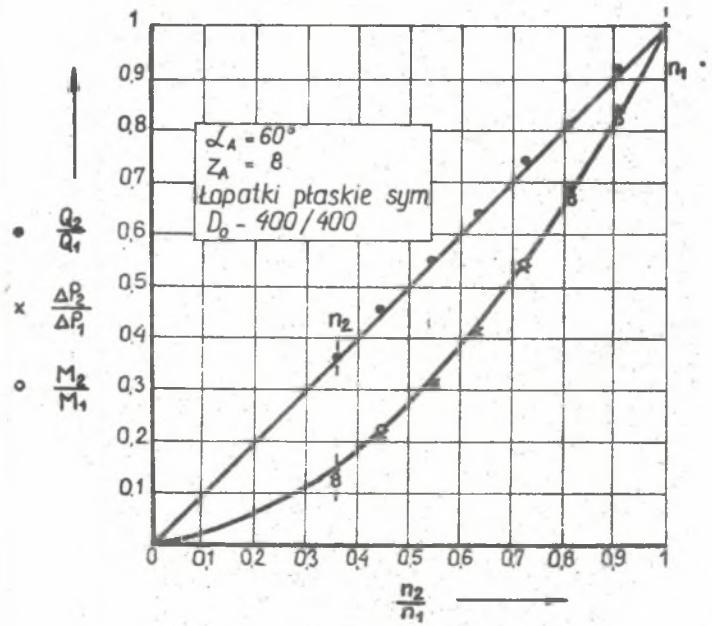
ponieważ $C_{Mo1} = C_{mo2} = \text{const}$
otrzymamy dla geometrycznie podobnych wentylatorów:

$$\boxed{M_{Ao2} = M_{Ao1} \cdot \frac{\varrho_{o2}}{\varrho_{o1}} \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5} \qquad [4]$$

Stąd moment aerodynamiczny kierownicy jest proporcjonalny do kwadratu stosunku obrotów wirnika wentylatora

$$\boxed{M_{Ao2} = M_{Ao1} \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2} \qquad [4a]$$

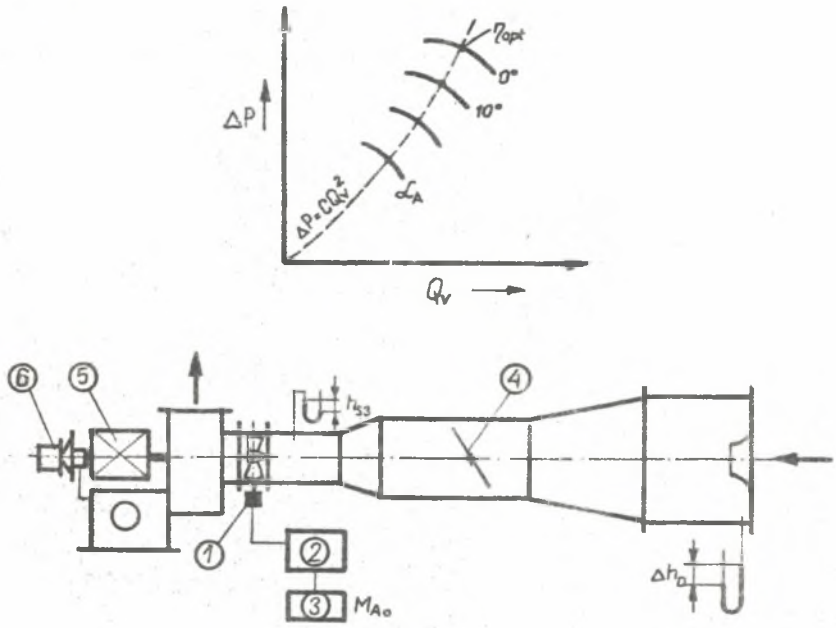
Doświadczalne potwierdzenie słuszności tej zależności pokazano na rys. 3



Rys. 3

4. Pomiar momentu aerodynamicznego

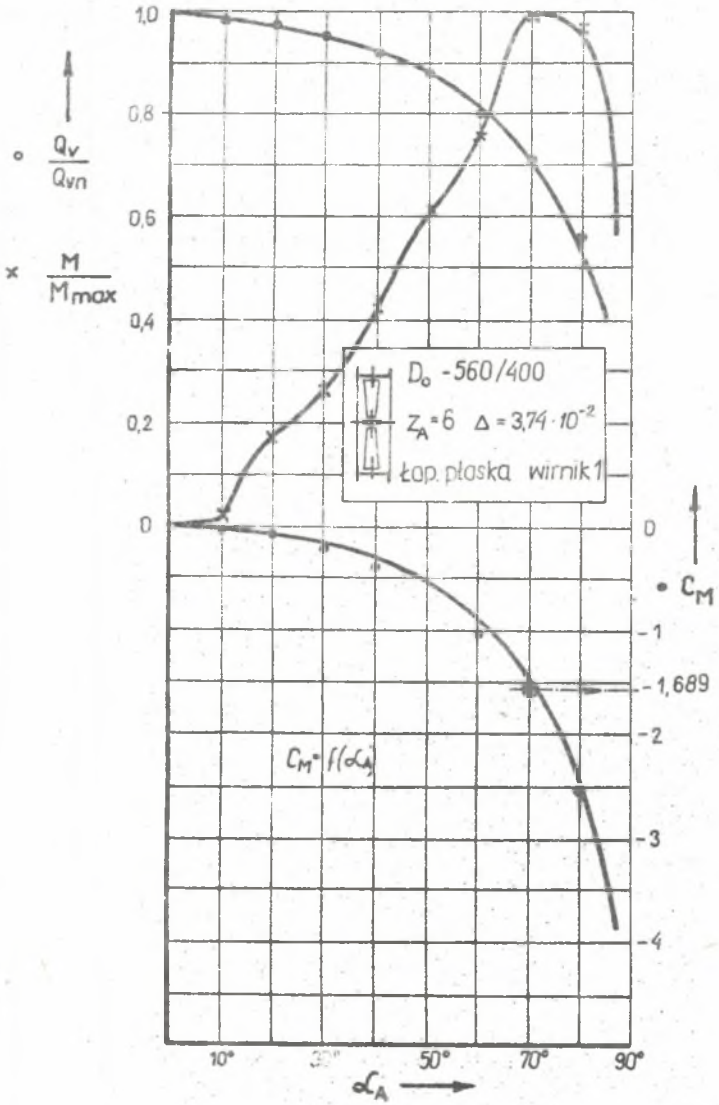
Pomiar momentu aerodynamicznego na jednej łopatce aparatu kierowniczego wykonano za pomocą tensometrów [1] mostkiem tensometrycznym [2] f-my Brüel-Kjaer typu 1516 połączonego z woltomierzem cyfrowym [3]. Przy stałym zadławieniu modelowego wentylatora przepustnicą [4] wzdłuż optymalnej krzywej oporów $\Delta P = CQ_v^2$ zmieniano kąty ustawienia kierownicy $\Delta\alpha_A = 10^0$ w zakresie $\alpha_A = 0 \div 90^0$.
Jednoczesny pomiar parametrów przepływowych wentylatora wykonany był na stanowisku pomiarowym w układzie ssącym z wydmuchem w wolną przestrzeń rys. 4.
Do napędu wentylatora zastosowano kołyskę pomiaru mocy z silnikiem prądu stałego [5] z możliwością płynnej zmiany obrotów wirnika w zakresie 13,3 1/s - 36,6 1/s [6].



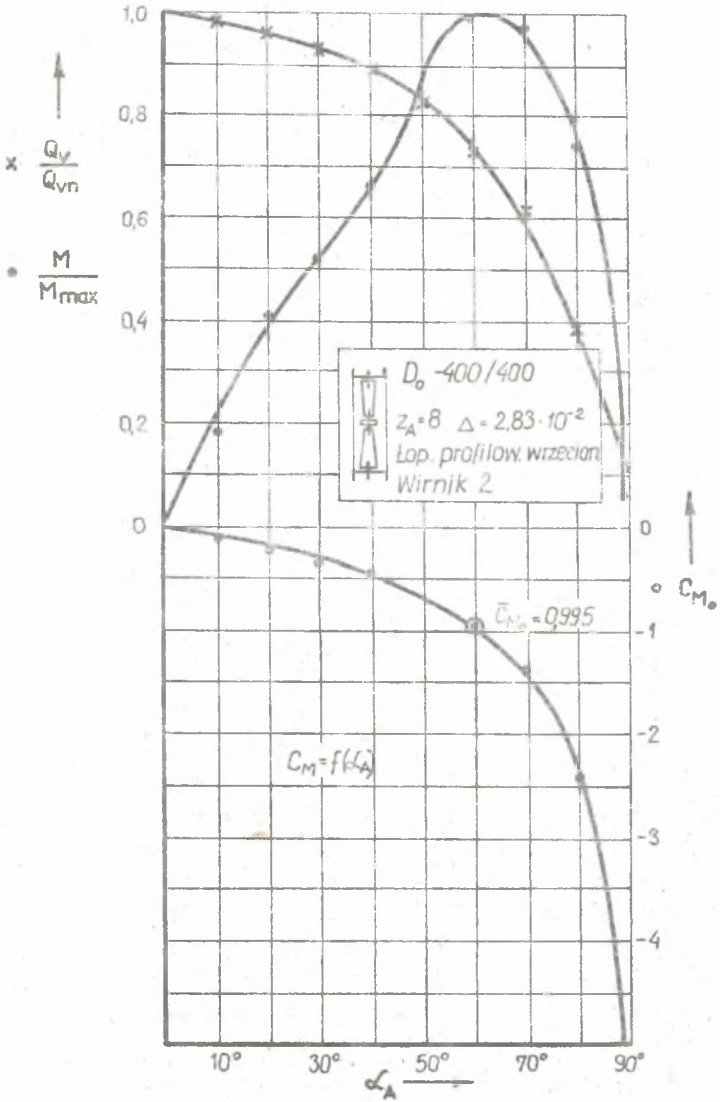
Rys. 4

5. Wyniki pomiarów na modelach.

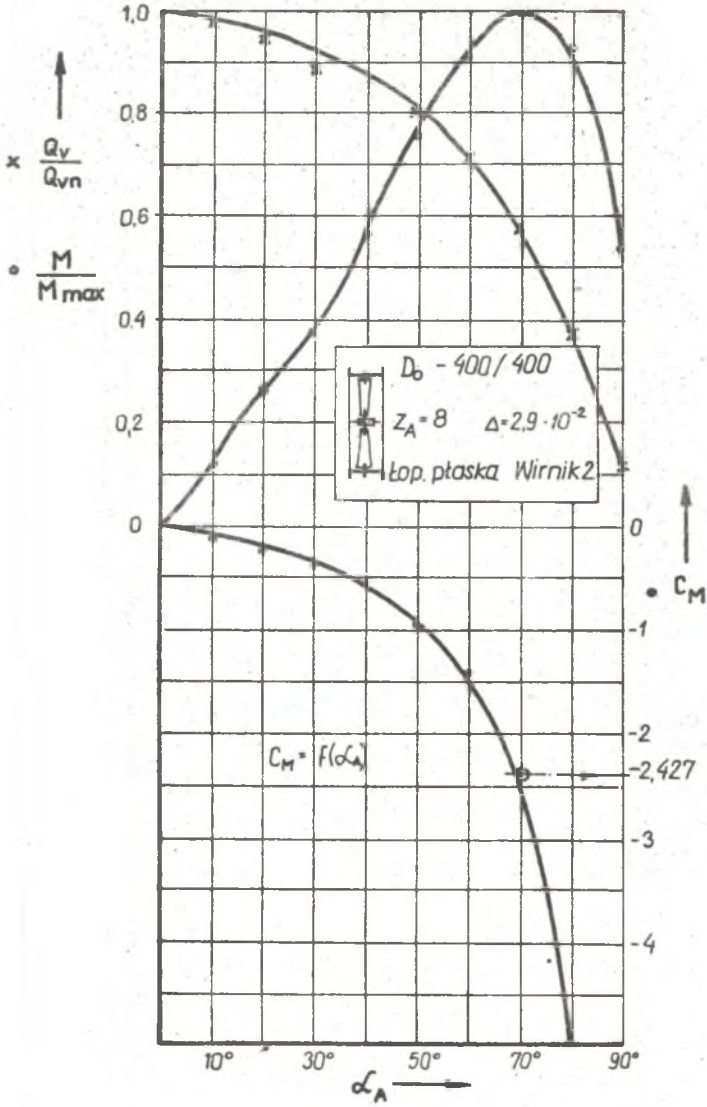
Pomiary wielkości mechanicznych oraz przepływowych przeprowadzono na wentylatorze promieniowym jednostronnie ssącym wyposażonym w aparat kierowniczy osiowy o średnicy D_0 = 400 mm oraz D_0 = 560 mm.
Aparaty kierownicze wyposażone były w różne ilości kierownic symetrycznych profilowanych oraz płaskich.
W tablicy Nr I podano podstawowe parametry geometryczne AK oraz typu wirników.


1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
o $\frac{Q_v}{Q_{vn}}$
x $\frac{M}{M_{max}}$
D_o -560/400
Z_A=6 Δ = 3,74·10⁻²
Łop. płaska wirnik 1
0
• C_M
-1
-1,689
-2
-3
-4
$C_M = f(\alpha_A)$
10°
30°
50°
70°
90°
α_A

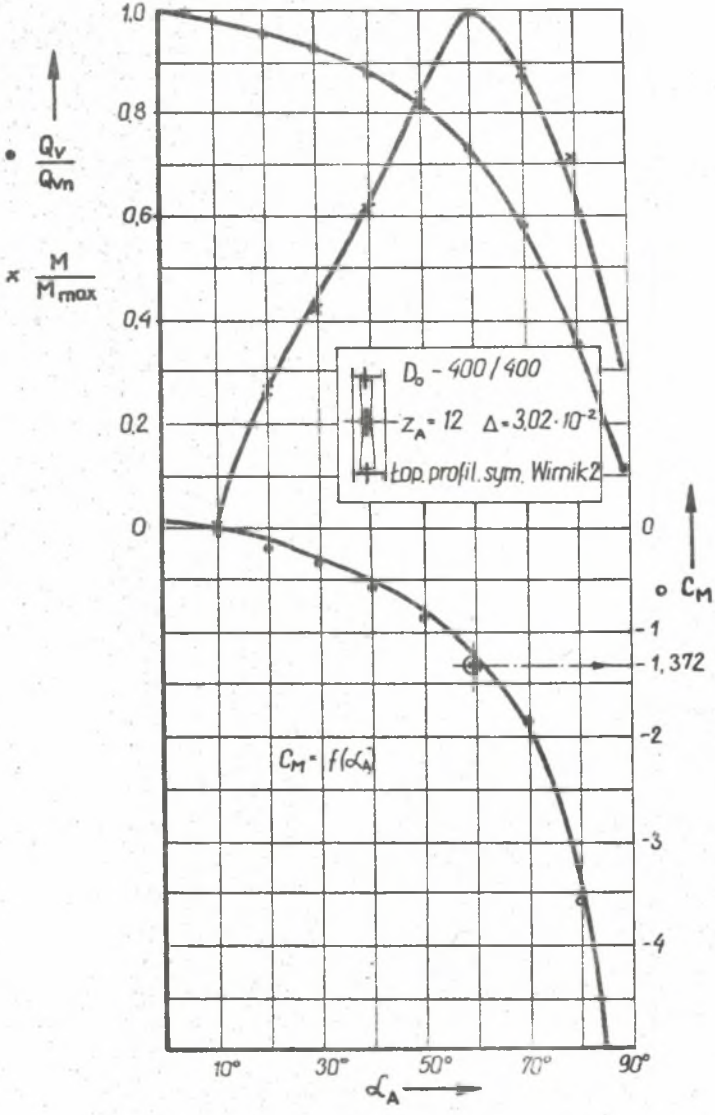
Rys. 5


1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
x $\frac{Q_v}{Q_{vn}}$
• $\frac{M}{M_{max}}$
D_o -400/400
z_A=8 Δ = 2,83·10⁻²
Łop. profilow. wrzecion.
Wirnik 2
$\bar{C}_{M_o}$ = 0,995
$C_M = f(\alpha_A)$
0
-1
-2
-3
-4
o C_{M_o}
10°
30°
50°
70°
90°
α_A

Rys. 6


1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
x $\frac{Q_v}{Q_{vn}}$
• $\frac{M}{M_{max}}$
D_o - 400/400
Z_A = 8
Δ = 2,9 · 10⁻²
Łop. płaska Wirnik 2
0
-1
-2
-2,427
-3
-4
• C_M
$C_M = f(\alpha_A)$
10°
30°
50°
70°
90°
α_A

Rys. 7


1,0
0,8
0,6
0,4
0,2
0
• Qv/Qvn
x M/Mmax
D0 - 400/400
zA = 12 Δ = 3,02·10⁻²
łop. profil. sym. Wirnik 2
0
o CM
-1
-1,372
-2
-3
-4
CM = f(αA)
10°
30°
50°
70°
90°
αA

Rys. 8

Tablica 1

Nr AK	Srednica przelotowa D_0	Srednica wewnętrzna d_0	Liczba łopatek z_A	Profil	Wirnik	
					Typ	Nr
1	560	38	6	płaski prostokątny	WPW-1,4	1
2	400	38	8	NACA	FK-1,4	2
3	400	38	8	płaski prostokątny	FK-1,4	2
4	400	38	12	NACA	FK-1,4	2

Wskaźnik momentu aerodynamicznego obliczono wg zależności [3] wykorzystując uzyskane z pomiarów wielkości momentu M_A, wydajności Q_{Vo} i gęstości ρ_o wyniki w postaci:

$$C_M = f(\alpha_A) \quad \frac{Q_V}{Q_{Vn}} = f(\alpha_A) \quad \text{oraz} \quad \frac{M}{M_n} = f(\alpha_A)$$

przedstawiono na rys.5, 6, 7 i rys.8.

6. Wnioski końcowe

Na łopatki osiowego aparatu kierowniczego w warunkach przepływu czynnika przez wentylator działa moment aerodynamiczny zamykający przepływ. Wielkość momentu aerodynamicznego zależna jest od kształtu łopatki AK oraz kąta ustawienia α_A łopatek w stosunku do głównego kierunku przepływu przez AK.

Na podstawie pomiarów i dokonanych obserwacji na łopatkę symetryczną w odniesieniu do jej osi obrotu działa moment zamykający $-M_A$ w całym zakresie kątów ustawienia $0 < \alpha_A < 90^0$.

W zbadanych AK maksymalny moment działający na łopatkę występuje dla kątów położenia $\alpha_A = 60 - 70^0$. Profilowanie łopatek aparatu kierowniczego zmniejsza działający na nie moment aerodynamiczny oraz straty ciśnienia w AK.

Ponieważ maksymalny moment aerodynamiczny dla danego kąta α_A kierownicy występuje zawsze dla maksymalnej wydajności, co może prowadzić do przewymiarowania siłownika dla średnich i dużych wentylatorów promieniowych znajdujących, np. zastosowanie w energetyce i górnictwie oraz hutnictwie należy kierować się maksymalnym momentem występującym wzdłuż projektowanej krzywej oporów.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak

Wpłynęło do redakcji, maj 1985 r.

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ МОМЕНТ В ОСЕВЫХ НАПРАВЛЯЮЩИХ АППАРАТАХ РАДИАЛЬНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Р е з ю м е

Для того чтобы вычислить силы которые нужные для переставления направляющего аппарата надо определить момент трения а также аэродинамический момент. В работе представлено метод определения аэродинамического момента в зависимости от угла уставления лопаток направляющего аппарата.

MOMENT OF AERODYNAMIC FORCES IN THE AXIAL COUTIOL APPARATUS OF RADIAL FANS

S u m m a r y

In order to computer forces needed to re-operate the axial coutiol apparatus that is used to regulate radial fans, one needs, besides moments of friction accuring in the bearings of blades in coutiol joints and the ring in charge of regulation mechanism, also moment of aerodynamic forces effecting the blades. The way to compute the moment index and its value according to the angle of blade's position in the control apparatus has been given. Moreover, the interdependence between moment of aerodynamic forces and faris revolutions has been supplied and checked.