ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1993
Seria: ENERGETYKA z. 118 Nr kol. 1221

Jolanta STACHARSKA–TARGOSZ
Politechnika Krakowska

UKŁAD PRZEPŁYWOWY WENTYLATORA POPRZECZNEGO – METODA PROJEKTOWANIA

Streszczenie. Przedstawiono zasady pracy wentylatora poprzecznego. Opisano koncepcje konstrukcyjne wentylatorów i rozwój ich konstrukcji. Na podstawie własnych doświadczeń oraz danych literaturowych opracowano metodę projektowania wentylatorów poprzecznych.

DESIGNING METHOD OF CROSS – FLOW FANS

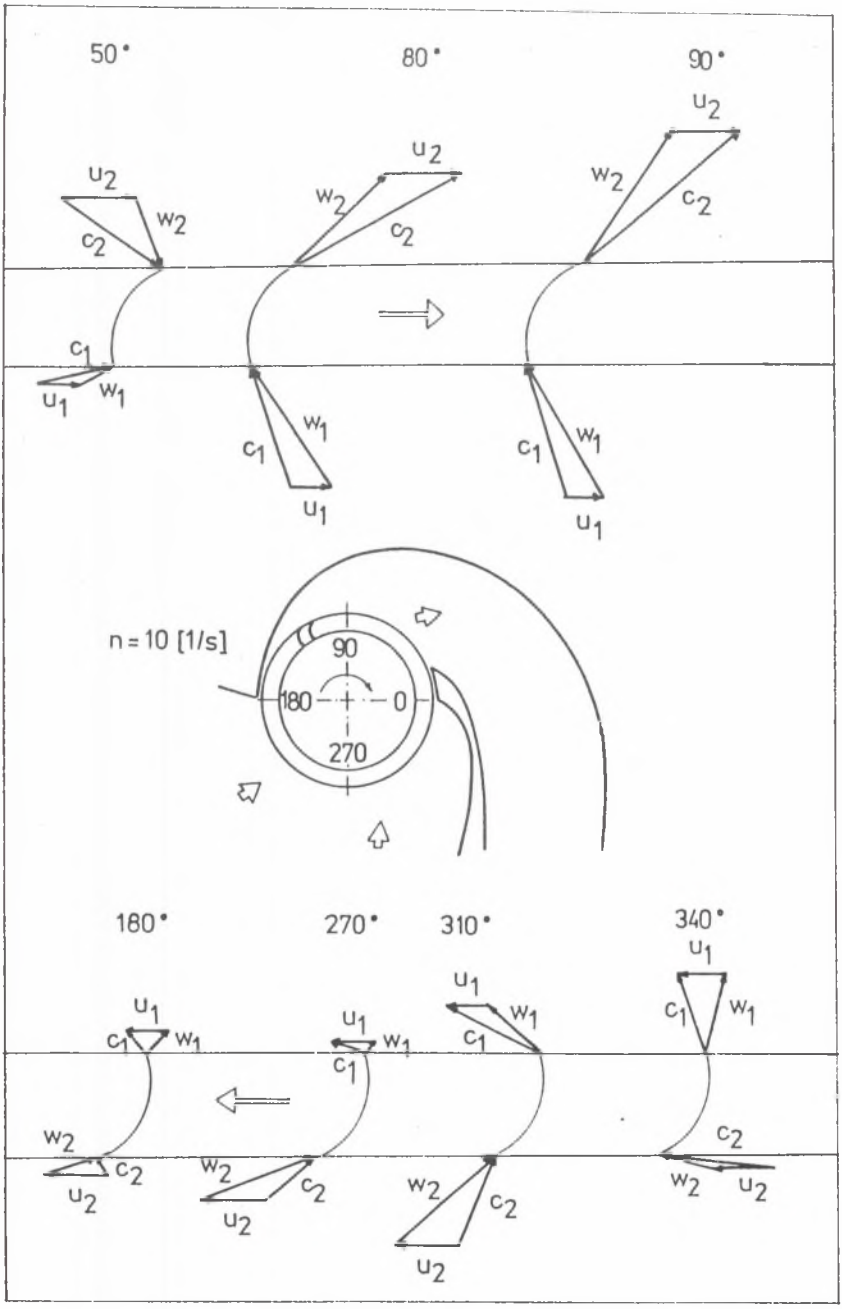
Summary. Principle of work of cross flow fan has been presented. Development of constructions and constructional ideas has been described. Basing an own researches and literature cross flow fans designing method has been developed.

STRÖMUNGSYSTEM DES QUERSTROMVENTILATORS – KONSTRUKTIONSMETHODE

Zusammenfassung. Das Arbeitsprinzip des Querstromventilators wurde dargestellt. Die Konstruktionskonzepte von Ventilatoren und Konstruktionsentwicklung wurde beschrieben. Auf der Basis von eigenen Erfahrungen die Methode des Querventilatoren–Konstruieren wurde entwickelt.

1. WPROWADZENIE

Wentylatory poprzeczne należą do dwustopniowych maszyn przepływowych charakteryzujących się dośrodkowo – odśrodkowym przepływem powietrza poprzecznym do osi cylindrycznego, ułopatkowanego wirnika umieszczonego wewnątrz wyprofilowanej obudowy.



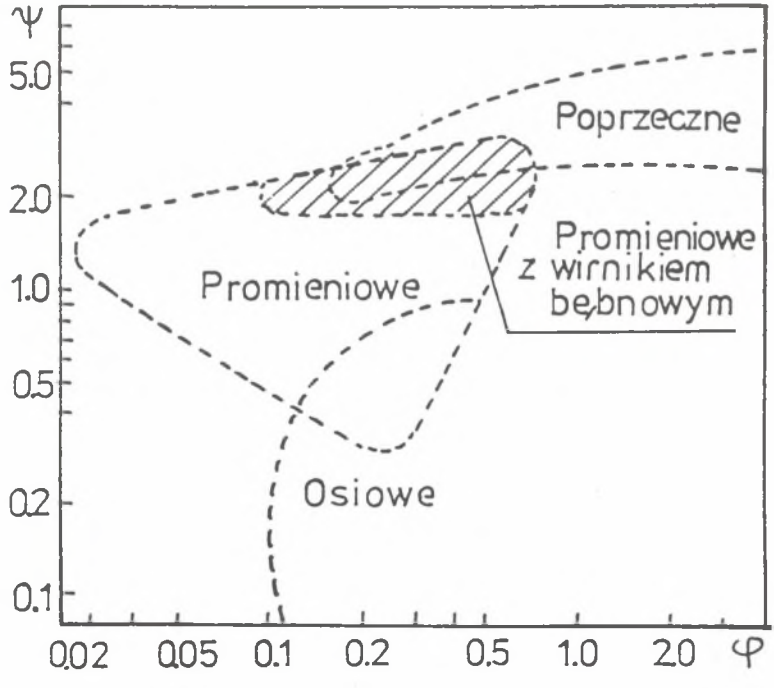
Rys. 1. Trójkąty prędkości dla wybranych punktów pomiarowych rozmieszczonych na obwodzie wieńca łopatkowego

Fig. 1. Velocity triangles for some measure points on blade ring

Pierwsze rozwiązanie konstrukcyjne wentylatora poprzecznego było przedmiotem patentu z 1892 roku francuskiego inżyniera Paula Mortiera, który zastosował tego typu wentylator w systemie wentylacyjnym kopalni. Zapomniany niemal przez pół wieku, powrócił na deski konstruktorów i do laboratoriów, początkowo amerykańskich badaczy projektujących przemysłowe nagrzewnice powietrza (Anderson), a następnie europejskich – przystosowujących konstrukcję wentylatora poprzecznego do użycia w urządzeniach klimatyzacyjnych oraz w wentylatorowych systemach grzewczych (Ackeret, Sprenger, Dätwyler, Coester z Istytutu Aerodynamicznego Politechniki Federalnej w Zurichu). Opatentowany w 1953 roku przez Ecka kształt obudowy stanowił podstawę do dalszych udoskonaleń tej maszyny przepływowej kontynuowanych przez Lainga.

Sukcesem współpracujących ze sobą naukowców i konstruktorów niemieckich oraz angielskich okazała się miniaturyzacja wentylatora poprzecznego przystosowująca go do działania w ręcznych suszarkach do włosów.

Proces projektowania tego typu wentylatorów w ciągu stuletniego okresu opierał się głównie na udoskonalaniu znanych rozwiązań przystosowujących



Rys. 2. Pola typoszeregów wentylatorów różnych typów [1]

Fig. 2. Series of types for different fans

je do wymagań stawianych przez konkretne zastosowania, a następnie przeprowadzeniu kosztownych, weryfikacyjnych badań doświadczalnych.

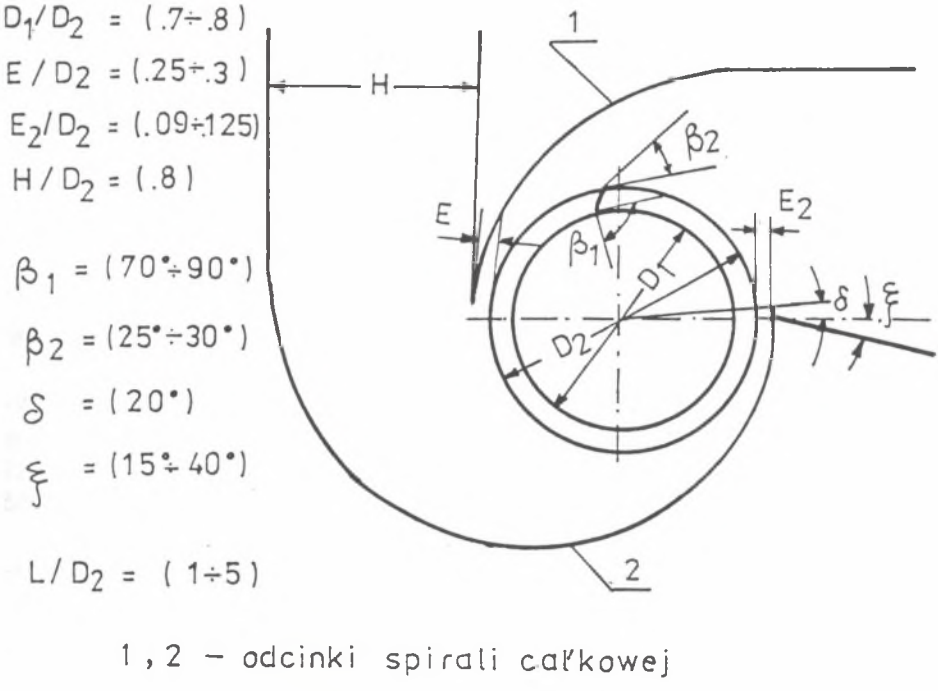
Braku ogólnej metody obliczania wentylatorów poprzecznych należy upatrywać w niezwykle złożonej strukturze przepływu powietrza. Niewielkie zmiany geometrii oraz zewnętrznych warunków (dławienie) wpływają w sposób istotny na wielkość i lokalizację dających się wyodrębnić stref przepływów recyrkulacyjnych, silnej turbulencji oraz wiru głównego. Niestacjonarność przepływu przez cały obwód wirującego wieńca łopatkowego, ujawniająca się zmiennością trójkątów prędkości przedstawionych na rys. 1 dla wybranych punktów pomiarowych, rozmieszczonych po obu stronach wieńca w możliwie najmniejszej od niego odległości, jest charakterystyczną cechą wentylatorów poprzecznych.

Dwukrotny przepływ strugi powietrza przez wieniec łopatkowy, odpowiadający dwom stopniom sprężania, umożliwia wytworzenie przez tego typu wentylator znacznie wyższych spiętrzeń niż przez wentylatory osiowe lub promieniowe. Porównanie wartości wskaźników spiętrzenia uzyskiwanych przez różne jednowirnikowe wentylatory przedstawiono w formie graficznej na rys. 2.

2. ZOPTYMALIZOWANY PRZEKRÓJ WENTYLATORA POPRZECZNEGO

Podejmowane przez szereg badaczy próby analitycznego opisu rzeczywistych pól przepływu w wentylatorach poprzecznych nie przyniosły oczekiwanych rezultatów w postaci adekwatnego modelu matematycznego. Niezgodność co do natury pola przepływu polegała na zakładaniu występowania w tych samych strefach przepływowych ruchu potencjalnego [2] lub wirowego o wirowości stałej [3] czy zmiennej [4]. Założenia upraszczające analizę teoretyczną i pomijające szereg zjawisk przepływowych uwidaczniających się podczas wodnej wizualizacji [5] w znacznym stopniu powodowały oddalenie rozważań teoretycznych od rzeczywistych warunków przepływowych. Każdy z proponowanych modeli posiadał zasadniczą wadę polegającą na konieczności korzystania z wyników badan doświadczalnych, co w znacznym stopniu ograniczało możliwości uogólnienia i tym samym wykorzystania do opracowania metody obliczania wentylatorów poprzecznych.

Analiza wyników badań przeprowadzonych w celu określenia wpływu kształtu obudowy i geometrii wirnika, zdeterminowanych tzw. parametrami konstrukcyjnymi, pozwala na sporządzenie zoptymalizowanego przekroju poprzecznego tej maszyny przepływowej, przedstawionego na rys. 3.



Rys. 3. Zoptymalizowany przekrój wentylatora poprzecznego [5]

Fig. 3. Optimized fan's cross–section

Zmienność wartości parametrów, w zakresach uznanych za optymalne [6, 7] lub akceptowalne dla poszczególnych badanych modeli, wynika z trudności konstrukcyjnych, spowodowanych koniecznością uwzględnienia wzajemnego oddziaływania tych parametrów podczas projektowania nowych geometrii. Wytyczne do projektowania geometrii wentylatora poprzecznego, zamieszczone na rys. 3, mogą być użyteczne po wcześniejszym określeniu średnicy zewnętrznej wirnika, uzależnionej od konkretnego zastosowania. Kształt

obudowy pozwala na uzyskiwanie zwartych konstrukcji, a możliwość bezpośredniego połączenia wentylatora i urządzenia współpracującego, poprzez dobór adekwatnych prostokątnych przekrojów poprzecznych, znacznie obniża straty przepływu. Wydłużanie wymiaru osiowego wirnika, ograniczone względami wytrzymałościowymi, pozwala na zwiększanie strumienia objętości w sposób charakterystyczny jedynie dla wentylatorów poprzecznych.

3. OBLICZANIE ŚREDNICY ZEWNĘTRZNEJ WIRNIKA

Nominalne wartości spiętrzenia statycznego Δp_s, strumienia objętości $\dot{V}$ oraz ich rozrzut przewidywany w czasie eksploatacji wynikają z wymogów stawianych przez konkretne zastosowanie wentylatora poprzecznego.

Zakładając wartość wskaźnika spiętrzenia statycznego ψ_s (uznaną za optymalną) oraz przynależną mu wartość wskaźnika przepływu φ, określające punkt leżący na krzywej $\eta = f(\varphi)$, odpowiadającej maksymalnej sprawności (rys. 4), można wyznaczyć średnicę zewnętrzną wirnika D_2 oraz częstość obrotów n.

W wyniku przekształcenia wzorów definiujących wskaźnik spiętrzenia statycznego i wskaźnik przepływu otrzymuje się zależności pozwalające na obliczenie:

– średnicy zewnętrznej wirnika

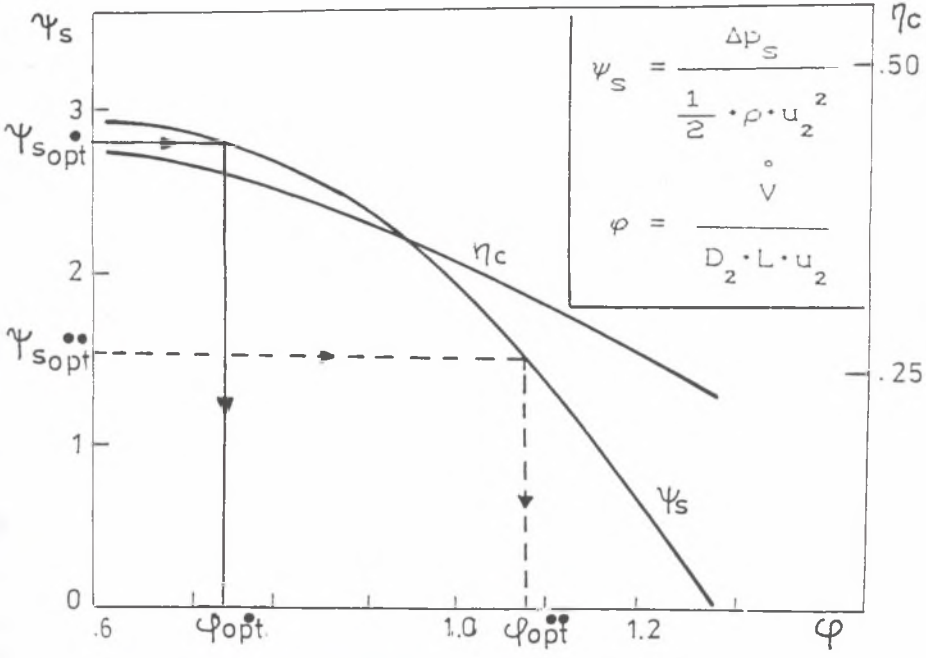
$$D_2 = \left(\frac{\dot{V}}{z\varphi}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{\psi_s \cdot \rho}{2\Delta p_s}\right)^{1/4} \tag{1}$$

oraz

– częstości obrotów wirnika

$$n = \frac{1}{\pi}\left(\frac{z\varphi}{\dot{V}}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{2\Delta p_s}{\psi_s \cdot \rho}\right)^{3/4} \tag{2}$$

Wartość występującej we wzorach wielkości „z", określonej jako stosunek długości wirnika do średnicy zewnętrznej ($z = L/D_2$), wynika ze stojącej do dyspozycji przestrzeni do zabudowy wentylatora w urządzeniu. W przypadku gdy $z > 3$, należy sięgnąć do specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych ułopatkowanego wirnika, gdyż mogą pojawić się problemy dynamiczne i wytrzy-



Rys. 4. Charakterystyki bezwymiarowe sporządzone przy ustalonej częstości obrotów

Fig. 4. Nondimensichal characteristics for determined velocity

małościowe. Należy sprawdzić, czy przewidywany rozrzut mieści się w polu pracy wentylatora i w przypadku negatywnego wyniku konieczne jest powtórzenie obliczeń przy przyjęciu innych wyjściowych wartości ψ_s *i* φ.

4. OKREŚLENIE PODSTAWOWYCH WYMIARÓW NA PODSTAWIE DIAGRAMU CORDIERA

Diagram Cordiera używany jest we wstępnym etapie projektowania maszyn wirnikowych, w których nie występuje zmiana gęstości płynu w procesie przenoszenia energii. Sporządzony dla wentylatorów osiowych i promieniowych, celem ilustracji ich optymalnego działania, uogólniony został na wentylatory poprzeczne w formie krzywej korelacyjnej pomiędzy dwiema wielkościami nazywanymi parametrem kształtu K_N oraz parametrem wymiaru K_D, definiowanymi odpowiednio:

$$K_N = \frac{\Phi^{1/2}}{\Psi_c^{3/4}} \cdot \left(\frac{L}{D_2}\right)^{1/2} \tag{3}$$

oraz

$$K_D = \frac{\Psi^{1/4}}{\Phi^{1/2}} \cdot \left(\frac{L}{D_2}\right)^{-1/2} \tag{4}$$

Przedstawiony na rys. 5 graficzny obraz funkcji $K_N = f(K_D)$ pozwala na określenie wartości parametrów dla założonego a priori stosunku długości wirnika do jego średnicy.

Wykorzystując związki pomiędzy wielkościami występującymi we wzorach (3) i (4) a wskaźnikiem spiętrzenia całkowitego i wskaźnikiem przepływu:

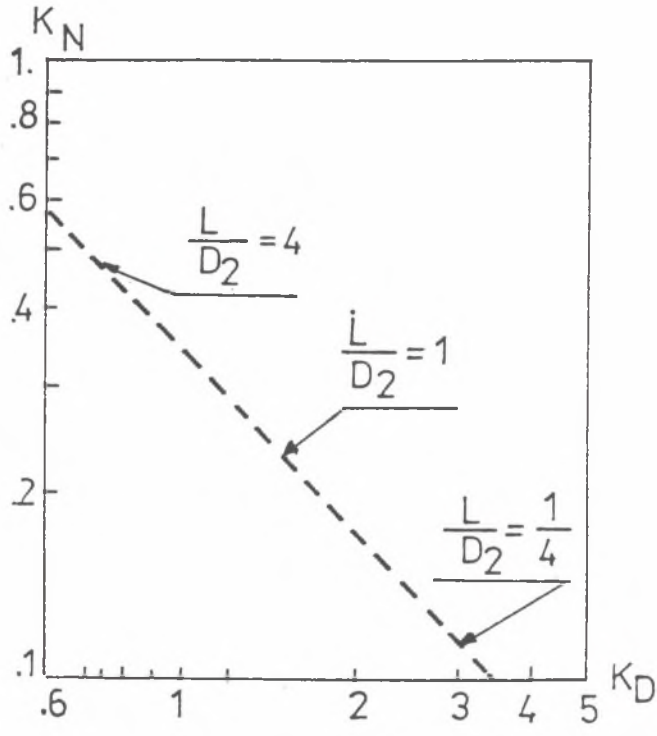
$$\Phi = \pi \cdot \varphi \tag{5}$$

$$\Psi_c = \frac{\pi^2}{2} \cdot \psi_c \tag{6}$$

można obliczyć wartości ψ_c oraz φ.

Dla wentylatora poprzecznego o stosunku długości wirnika do średnicy $L/D_2 = 2$ określono na podstawie diagramu Cordiera wartości parametrów $K_N = 0{,}29$ i $K_D = 1{,}1$. Obliczone wartości wskaźników spiętrzenia całkowitego oraz wskaźnika przepływu wynosiły odpowiednio: $\psi_c = 2{,}68$ i $\varphi = 0{,}48$.

Otrzymane wyniki porównano z rezultatami badań przeprowadzonych dla wentylatora poprzecznego wyprodukowanego przez niemiecką firmę LTG o wymiarach: $D_2 = 200$ [mm] i $L = 400$ [mm], a zatem o stosunku $L/D_2 = 2$,



Rys. 5. Diagram Cordiera uogólniony na wentylatory poprzeczne

Fig. 5. Cordier diagram for diametral fans

wykonanymi przy częstości obrotów $n = 20$ [1/s]. Wskaźnik spiętrzenia całkowitego wynosił $\psi_c = 2{,}686$, wskaźnik przepływu $\varphi = 0{,}48$. Wartości te uzyskano w warunkach pracy wentylatora z maksymalną sprawnością $\eta_{max} = 0{,}39$.

Porównanie powyższych wyników wskazuje na użyteczność diagramu Cordiera przy określaniu podstawowych wymiarów wentylatorów poprzecznych posiadających zoptymalizowany przekrój prostopadły do osi wirnika.

5. PODSUMOWANIE

Niezwykle skomplikowany charakter rzeczywistego przepływu w wentylatorach poprzecznych wynikający z przechodzenia wieńca łopatkowego przez środek wiru, występowania przepływów recylkulacyjnych, a także z konieczności uwzględnienia wpływu wielu elementów obudowy i wirnika nie pozwoliły na stworzenie akceptowalnej metody projektowania. Przedstawione w niniejszej pracy propozycje określania podstawowych wymiarów oraz wytyczne do konstruowania geometrii wentylatora poprzecznego stanowią próbę uogólnienia znanych i stosowanych dla innych typów wentylatorów obliczeń – na tę dwustopniową maszynę przepływową.

LITERATURA

[1] Korovkin A.: Osobiennosti diametralnych wentilatorow i oblasti ich raboty, Wodosnabżenije i sanitarnaja technika, nr 11, 1968.

[2] Ilberg H., Sadeh W.Z.: Flow Theory and Performance on Tangentia Fans. Proc. Institute of Mechanical Engineers, Vol. 180, No. 19, 1965 – 1966.

[3] Hardoff G.J., Willson D.R.: Cross–Flow Propulsion Fan Experimental Development and Finite–Element Modelling, J. Aircraft, vol. 18, No. 4, 1981.

[4] Lajos T., Szlivka F.: A Simplified Method for Dimensioning of Cross Flow Fans. Proc. of the VII–th Conference on Fluid Machinery, Budapest 1980.

[5] Stacharska–Targosz J.: Identyfikacja przepływów w wentylatorach poprzecznych metodą eksperymentu sekwencyjnego, Monografia 117, Kraków 1991.

[6] Allen D.J.: The Effect of Rotor and Casing Design on Cross Flow Fan Performance, Int. Conference on Fan Design and Applications, J2, Guildford, England 1982.

[7] Porter A.M., Markland E.: A Study of the Cross Flow Fan, Journal Mechanical Engineering Science, Vol. 12, No. 6, 1970.

[8] Clayton B.R.: A Review and Appraisal of Crossflow Fans, Building Services Engineer, Vol. 42, 1975.

Abstract

The principle of work of the cross–flow fan has been presented. Development of constructions and constructional ideas were described. On the basis of experiments carried out and literature the designing method of cross–flow fans was developed.

In this method, basing on the defined formulas of static pressure and flow indicators the following formulas were derived:

full diameter (formula (1))

rotor velocity (formula (2))

The value of rotor length to diameter ratio (z) follows from the fan free installation space. If $z > 3$ special bladed rotor should be used, becouse of strength problems. CORDIER diagram was generalized for cross–flow fans. Correlation curve is created for shape indicator – K_n (formula (3)) and dimension indicator – K_d (formula (4)).

Function $K_n = f(K_d)$ (fig. 5) allows the definition of the parameters for assumed rotor length to diameter ratio.