ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: ENERGETYKA z. 91 Nr kol. 856

Joachim J. OTTE

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechniki Śląskiej

PROBLEMATYKA MATEMATYCZNEGO MODELOWANIA CHARAKTERYSTYK PRACY WENTYLATORÓW PROMIENIOWYCH

Streszczenie. Rozpatrzono problematykę modelowania charakterystyk pracy wentylatorów promieniowych. Dokonano przeglądu metod obliczeniowych. Przedstawiono metodykę modelowania charakterystyk pracy wentylatorów promieniowych. Przytoczono przykładowe wyniki obliczeń.

1. Wstęp

Globalna informacja o energetycznych efektach pracy wentylatora zawarta jest w jego charakterystykach statycznych, do których zalicza się trzy zależności

$$\left.\begin{aligned} \Delta p &= f(\dot{V}) \\ N &= f(\dot{V}) \\ \eta &= f(\dot{V}) \end{aligned}\right|_{n,\rho,\vartheta,D_2} \tag{1}$$

W postaci bezwymiarowej, szczególnie przydatnej konstruktorom i projektantom, wyrażone są one jako

$$\left.\begin{aligned} \psi &= f(\varphi) \\ \lambda &= f(\varphi) \\ \eta &= f(\varphi) \end{aligned}\right|_{Re} \tag{2}$$

Jest rzeczą bezsporną, że podstawowym kierunkiem działań w zakresie aerodynamiki maszyn wirnikowych (wentylatorów, pomp, sprężarek, turbin) jest rozwiązanie pełnego tzw. zadania analizy, tzn. określenie związku pomiędzy geometrią maszyny i jej przepływowo-energetycznymi efektami pracy.

Znajomość tego związku, czyli inaczej mówiąc znajomość modelu matematycznego wentylatora jest konieczna do racjonalnego wykorzystania jego własności. Dysponując modelem w postaci zbioru funkcji

$$F = \left\{ \psi, \lambda, \eta \right\} \tag{3}$$

można prowadzić badania symulacyjne, które mają charakter zbliżony do badań doświadczalnych. Szczególnie istotnych efektów można oczekiwać w zakresie prac projektowych przy tworzeniu nowych konstrukcji.

Jeżeli chodzi o modelowanie charakterystyk pracy wentylatorów promieniowych, to mimo znacznych postępów tak w zakresie doświadczalnych jak i teoretycznych badań aerodynamiki przepływu, zagadnienie to w dalszym ciągu należy do pierwszoplanowych tematów badawczych. Można przy tym nawet napotkać sądy wątpiące o możliwościach odpowiednio dokładnego rozwiązania problemu.

W tym miejscu godzi się przypomnieć, że model jest pewnym pojęciem abstrakcyjnym utworzonym na podstawie ustalonych z góry założeń upraszczających rzeczywisty obiekt badań. Model jest więc zawsze "prawdziwy" jako pojęcie matematyczne, natomiast dyskusji podlega jego adekwatność do rzeczywistości. Sytuacja jest więc taka, że dla jednego obiektu badań jakim w tym przypadku jest układ przepływowy wentylatora promieniowego można utworzyć wiele modeli matematycznych.

Mając na uwadze złożoność problemu jak i żądania odpowiednio wysokiej dokładności modelu, jest sprawą oczywistą, że koncepcja modelowania charakterystyk pracy wentylatora promieniowego nie może być oparta o klasyczne sposoby postępowania, np. przez badanie wpływu jednego czynnika. Konieczne jest w tym przypadku wykorzystanie metody systemowej z jej podstawowym narzędziem jakim jest maszyna cyfrowa.

Inspiracją do podjęcia prac dotyczących obliczania charakterystyk wentylatorów promieniowych było zlecenie OBR BAROWENT w ramach problemu węzłowego 10.1.23 [6]. Obecnie w dalszym ciągu w Instytucie Maszyn i Urządzeń Energetycznych kontynuowane są prace nad zwiększeniem dokładności metody obliczenia charakterystyk, przy czym ogólny tok postępowania oparty jest na koncepcji przedstawionej w pracy [5].

2. Krótki przegląd literatury

Analizując przedstawione w literaturze metody wyznaczania charakterystyk pracy wentylatorów promieniowych wyróżnić można kilka grup metod różniących się sposobem teoretyczno-doświadczalnego ujęcia zagadnienia, dokładnością modelu i zakresem zastosowania. Do najbardziej prostych należę metody wykorzystujące tzw. uogólnione charakterystyki sprawności podane najczęściej w formie wykresu jako zależność

$$\frac{\eta}{\eta_{zn}} = f\left(\frac{\dot{V}}{\dot{V}_{zn}}\right) \tag{4}$$

gdzie indeks "zn" dotyczy warunków znamionowych.

W metodach tych najpierw prowadzi się obliczenia dla punktu znamionowego, a następnie za pomocą zależności (4) dochodzi się do charakterystyk rzeczywistych. Przykładem może tu być praca TULISZKI [11]. Trochę dalej idzie metoda zaproponowana przez BYCZKOWA (cytowana w [10]), który na podstawie analizy statystycznej dla obszaru użytkowego charakterystyki opracował następujący wzór:

$$\psi = 1 + 3\frac{\pi\varphi}{4HB} - \left(\frac{\varphi}{\varphi_{zn}}\right)^{x} \tag{5}$$

gdzie:

$x = 0{,}9 + 0{,}5\psi_{zn}$.

Następna grupa metod, wywodząca się z prac PELEIDERERA [7], [8], opiera się na przyjęciu parabolicznego modelu dla charakterystyki rzeczywistej

$$\psi = \psi_t(\varphi) - k_u(\varphi - \varphi_{zn})^2 - k_f\varphi^2 \tag{6}$$

Współczynnik k_u dotyczy wyrażenia ujmującego straty uderzenia, natomiast k_f - wyrażenia ujmującego straty tarcia. Współczynniki te wyznacza się dla określonej geometrycznie grupy wentylatorów. Mogą one po części uwzględniać również geometryczne cechy wirnika [12]. W powyższym równaniu $\psi_t(\varphi)$ jest charakterystyką teoretyczną wyznaczoną z uwzględnieniem współczynnika zmniejszenia mocy.

Biorąc pod uwagę realne możliwości obliczeniowe, najwięcej oczekiwać można od metod, w których każdy element układu przepływowego rozpatruje się osobno pod względem jego udziału w ogólnym bilansie strat. Innymi słowy wykorzystuje się tu zasadę dekompozycji, polegającą na rozbiciu modelu na zagadnienia cząstkowe. Idea ta legła u podstaw prac ECKERTA [3], ECKA [2], BOMMESA [1] i RADWAŃSKIEGO [9]. Jednym z mankamentów wymienionych prac jest stosowanie w całym zakresie charakterystyki formuł, których użyteczność potwierdzona jest tylko w punkcie znamionowym. Mając na uwadze odzwierciedlenie charakteru zmian poszczególnych wielkości, zachodzących w użytecznym zakresie charakterystyk, KUCZEWSKI [4] zaproponował metodę wykorzystującą własne formuły na określenie kąta odchylenia strugi na wylocie z wirnika i straty przepływu w wirniku. W dążeniu do prostoty i elegancji sformułowania, zawiera ona zbyt mało zmiennych, co powoduje, że nie zapewnia dobrej dokładności. Świadczą o tym przykłady obliczeniowe przytoczone w książce [4].

Jest w literaturze przedmiotu szereg jeszcze pozycji, w których w sposób cząstkowy rozpatrywane są zagadnienia obliczania charakterystyki wentylatorów promieniowych, ogólnie można jednak stwierdzić, że brak jest w dostępnej literaturze metody w pełni zweryfikowanej, o wyraźnie określonym przedziale ważności, w którym wyniki uzyskane na drodze obliczeń mieściłyby się w zakresie dokładności pomiarów charakterystyk.

3. Modelowanie charakterystyk pracy wentylatorów promieniowych

Dwie graniczne sytuacje wyznaczają zakres możliwości tworzenia modeli matematycznych. Pierwsza z nich to sytuacja, gdy model matematyczny tworzony jest wyłącznie na drodze analitycznej w oparciu o podstawy teoretyczne zjawisk związanych z danym obiektem badań. Druga sytuacja krańcowo przeciwstawna ma miejsce, gdy model ten tworzony jest bez znajomości podstaw teoretycznych zachodzących zjawisk, jedynie w oparciu o wyniki eksperymentu. Należy tu podkreślić, że model utworzony tylko na podstawie badań doświadczalnych często odzwierciedla jedynie przypadkową korelację statystyczną a nie rzeczywistą zależność przyczynowo-skutkową. Im bardziej obiekt badań jest złożony, tym bardziej metoda ta stosowana musi być ostrożnie.

Przechodząc w dziedzinę modelowania charakterystyk pracy wentylatorów promieniowych stwierdzić można, że wyznaczenie modelu wyłącznie na drodze analitycznej (np. na bazie w miarę ogólnego opisu zjawisk aerodynamiki równaniami Naviera-Stokesa) jest w najbliższym horyzoncie czasowym nierealne. Jednocześnie nie ma potrzeby przerzucania się w drugą skrajność. W odniesieniu do maszyn wirnikowych mamy do czynienia z pewnym stanem pośrednim, tzn. znajomość różnych szczegółowych aspektów zagadnienia przepływu jest bardzo duża, brak natomiast spójności w globalnym ujęciu energetycznym tych cząstkowych zagadnień, stąd też niezbędne jest wykonanie uzupełniających badań eksperymentalnych, które z jednej strony służą do przeprowadzenia identyfikacji modelu, z drugiej zaś strony stanowią podstawę do jego weryfikacji. Ciągle jednak trzeba mieć na uwadze, że im lepsze będzie rozpoznanie istoty przepływu w poszczególnych elementach układu przepływowego, z tym większą trafnością będzie można zamodelować charakterystyki pracy wentylatora promieniowego.

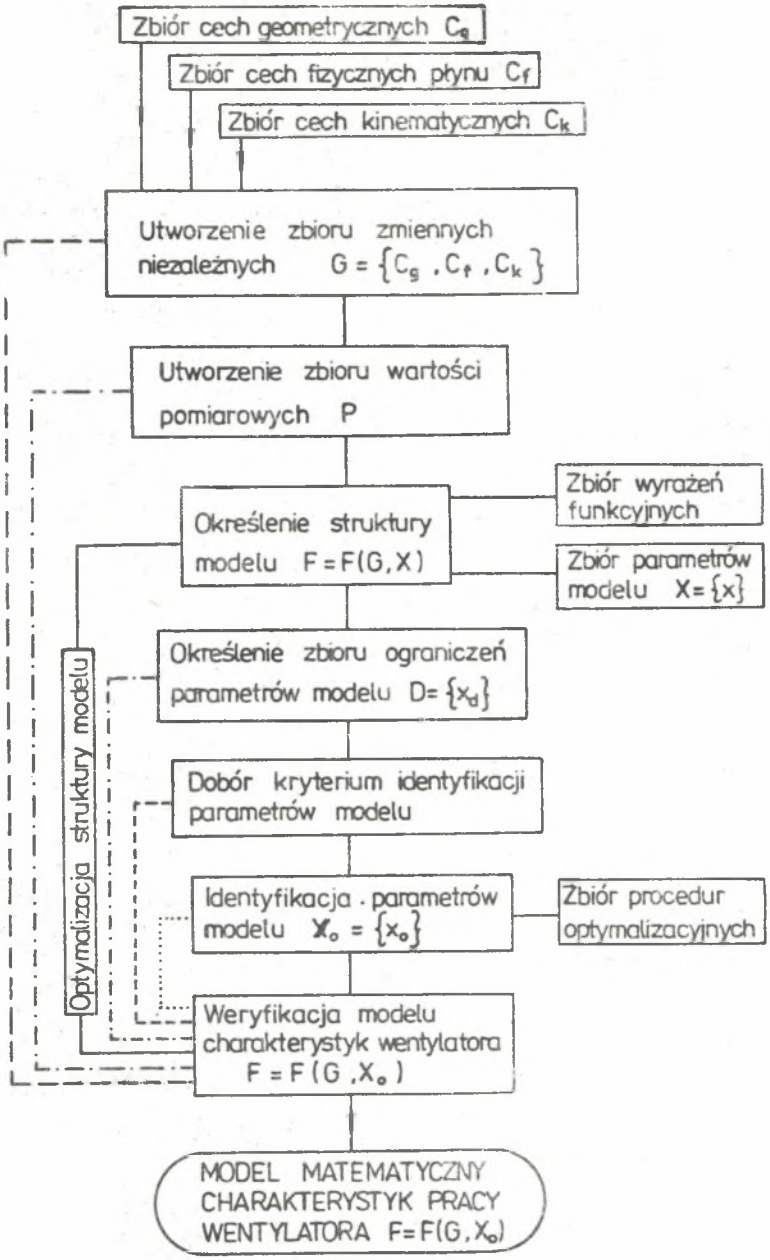
Ogólną koncepcję modelowania charakterystyk statycznych wentylatorów promieniowych

$$\begin{aligned} \psi &= \psi(\varphi) \\ \eta &= \eta(\varphi) \end{aligned} \tag{7}$$

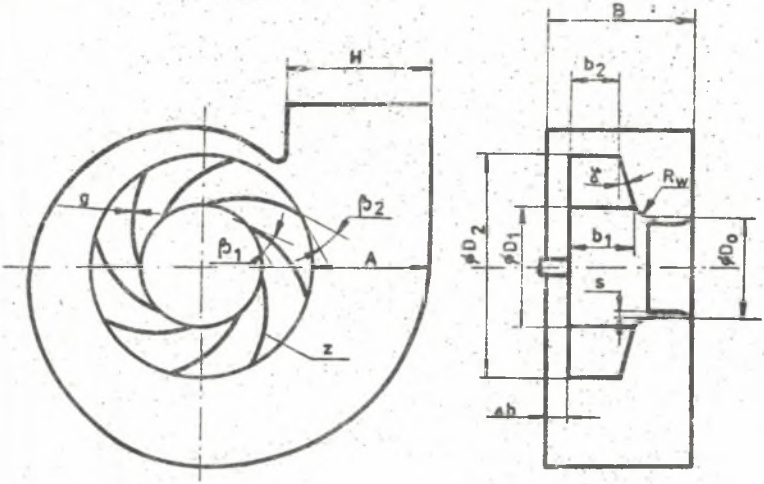
przedstawiono w pracy [5]. (należy tu zauważyć, że trzecią charakterystykę $\lambda = \lambda(\varphi)$ można uzyskać, ze związku $\lambda = (\varphi\psi)/\eta$). Schemat postępowania prowadzący według tej koncepcji do określenia modelu matematycznego charakterystyk pracy przedstawiono na rys. 1. Poniżej rozpatrzono poszczególne elementy tego schematu.

3.1. Zbiór zmiennych niezależnych

Analizując geometrię układu przepływowego wentylatora promieniowego można wyszczególnić zbiór 15 zmiennych niezależnych cech geometrycznych



Rys. 1. Ogólny schemat kreacji modelu matematycznego charakterystyk pracy wentylatora promieniowego



Rys. 2. Układ przepływowy wentylatora promieniowego. Zbiór cech geometrycznych wentylatora promieniowego:

D_o - średnica wlotowa wirnika; D_1, D_2 - średnica krawędzi wlotowych i wylotowych łopatek; b_1, b_2 - szerokość wirnika na wlocie i wylocie; γ - kąt nachylenia tarczy nakrywającej; R_w - promień wyoblenia tarczy nakrywającej; β_1, β_2 - kąt wlotowy i wylotowy łopatki; z - liczba łopatek; s - wysokość szczeliny przywlotowej; g - grubość łopatki; A - rozwarcie spirali; B - szerokość spirali zbiorczej; H - wysokość okna wylotowego spirali zbiorczej; Δb - odległość wirnika od tylnej ściany spirali

(rys. 2). Uwzględnić należy tu fakt, że wielkość b_1 jest związana zależnościami z wielkościami b_2, γ i R_w.

Jeżeli chodzi o cechy fizyczne płynu, to brana jest tu pod uwagę jego lepkość kinematyczna ν oraz gęstość ρ.

Wśród cech kinematycznych wyróżnić można liczbę obrotów n oraz wydajność wentylatora $\dot{V}$.

Po przeprowadzeniu analizy wymiarowej i sprowadzeniu wszystkich wielkości do postaci bezwymiarowej otrzymuje się ostateczny zbiór 16 zmiennych niezależnych:

$$G = \left\{ \bar{D}_o,\ \bar{D}_1 \bar{b}_2,\ \bar{R}_w,\ \gamma,\ \beta_1,\ \beta_2,\ z,\ \bar{g},\ \bar{s},\ \Delta\bar{b},\ \bar{A},\ \bar{B},\ \bar{H},\ Re_u,\ \varphi \right\}$$

Liczba obrotów występuje tu pod postacią liczby Reynoldsa

$$Re_u = \frac{u_2 D_2}{\nu},$$

wydajność zaś ujęta jest bezwymiarowo jako liczba wydajności φ.

Należy zwrócić uwagę, że są również czynniki, które nie dadzą się formalnie ująć w zbiór wielkości zmiennych, a które mogą mieć wpływ na charakterystyki pracy. Do takich czynników należy postać konstrukcyjna szczeliny przywlotowej, gdzie nawet niewielkie zmiany w ukształtowaniu szczeliny powodują nieproporcjonalnie większe zmiany w przebiegu charakterystyki.

3.2. Zbiór wartości pomiarowych charakterystyk pracy

Zbiór ten tworzony jest na podstawie wyników pomiarów charakterystyk

$$\psi = \psi(\varphi)\big|_G \qquad \eta = \eta(\varphi)\big|_G$$

przy każdorazowo określonym zbiorze G. Charakterystyka poszczególnego wentylatora reprezentowana jest w zbiorze P dyskretnie przez pewną liczbę punktów. Wykorzystany w niniejszej pracy zbiór dotyczący 39 wentylatorów obejmował 224 punkty pomiarowe. Wynika stąd, że jedna charakterystyka ψ, η reprezentowana była przez 5-6 punktów pomiarowych leżących w całym zakresie pracy wentylatora. Pomiary przeprowadzono bardzo starannie tak, aby błąd pomiaru był jak najmniejszy. Oszacowanie przeprowadzone w pracy [6] wykazały, że średni błąd kwadratowy jest rzędu 1,5%.

Ponieważ zakres ważności opracowanego modelu wyznaczony jest przez przebadany zbiór wielkości G, stąd też należy każdorazowo jasno go sprecyzować. Model matematyczny charakterystyk opracowany w ramach niniejszej pracy posiada następujący zakres ważności:

- stosunek średnic $D_1/D_2 = 0{,}4-0{,}52$,
- kąt wlotowy łopatek $\beta_1 = 24-40^0$ (łopatki nieprofilowane,
- kąt wylotowy łopatek $\beta_2 = 24-52^0$ o zarysie kołowym),
- liczba łopatek $z = 6-16$,
- szerokość wirnika $\bar{b}_2 = 0{,}07-0{,}2$,
- liczba Reynoldsa $Re_u = (1{,}84-3{,}66)10^6$,
- szerokość spirali $\bar{B} = 0{,}22-0{,}38$,
- rozwarcie spirali $\bar{A} = 0{,}44-0{,}7$.

3.3. Struktura modelu

Dobór odpowiedniej postaci funkcji aproksymującej lub, używając innego określenia, wybór struktury modelu w dużym stopniu przesądza o dokładności modelu matematycznego.

Gdyby odrzucić dotychczas nagromadzoną wiedzę dotyczącą zjawisk przepływu w maszynach wirnikowych i podejść do zagadnienia modelowania formalnie, wyłącznie od strony matematycznej, to przy założeniach o gładkości funkcji aproksymującej można by przedstawić charakterystykę $\psi = \psi(\varphi)$, $\eta = \eta(\varphi)$ w postaci wielomianu algebraicznego odpowiednio wysokiego stopnia. I tak przy liczbie zmiennych niezależnych $m = 16$ (pkt 3.1) liczba

N współczynników wielomianu w zależności od przyjętego stopnia k wynosiłaby:

m = 16 k = 1 N = 17

m = 16 k = 2 N = 154

Jest sprawą oczywistą, że wielomian pierwszego stopnia z góry należy odrzucić, już chociażby ze względu na przebieg krzywej sprawności. W przypadku wielomianu drugiego stopnia liczba współczynników podlegających identyfikacji przekracza rozsądne granice. Stąd też, biorąc powyższe pod uwagę, funkcje aproksymujące charakterystyki pracy należy budować w oparciu o aktualny stan wiedzy w dziedzinie maszyn wirnikowych. Wiele wnosi tu analiza przepływu płynu lepkiego.

Ważnym problemem jest odpowiednio dokładne powiązanie geometrii układu przepływowego z wielkością strat. W niniejszej pracy uczyniono to przez dekompozycję całego zagadnienia wyznaczania strat przepływu na zagadnienia cząstkowe dające się empirycznie zbadać (lub przynajmniej opisać i oszacować). Już sam fakt, że układ przepływowy wentylatora promieniowego składa się z jednoznacznie wyodrębnionych elementów, pozwala przyjąć, że każdy z nich wnosi swój własny wkład w bilans strat energii. I jakkolwiek istnieją przesłanki, że ma miejsce pewne wzajemne oddziaływanie strat w poszczególnych elementach układu przepływowego, to jednak założenie, że efekty tego oddziaływania są małe pozwala stosować zasadę superpozycji przy globalnej ocenie strat przepływu i traktować poszczególne straty składowe jako wielkości niezależne.

W strukturze modelu wyróżniono następujące straty przepływu:

- strata nieszczelności,
- strata brodzenia koła wirnikowego,
- strata w kanałach wlotowych wentylatora,
- straty wirnika:
  - wlotowa wirnika (zmiany kierunku przepływu),
  - niestycznego napływu na krawędzie wlotowe łopatek,
  - tarcia,
  - dyfuzorowości przepływu,
  - przepływów wtórnych (indukowanych),
  - mieszania,
- straty spirali zbiorczej:
  - strata "uskoku" na przejściu z wirnika do spirali zbiorczej,
  - tarcia,
  - turbulentnego mieszania strumieni,
  - energii cyrkulacji poprzecznej,
  - dyfuzorowego przepływu w odcinku wylotowym spirali.

Powstaje tu problem wyboru odpowiedniej formuły spośród kilku różnych opisujących daną cząstkową stratę przepływu. W zależności od możliwości

obliczeniowych można tego dokonać w trakcie procedury modelowania przy użyciu EMC, jak i oprzeć się na intuicji badacza. Celem uzgodnienia udziału poszczególnych strat jak i przebiegu charakterystyki teoretycznej $\psi_t = \psi_t(\varphi)$ przy każdym wyrażeniu może być postawiony współczynnik korekcyjny należący do zbioru parametrów modelu X. Poprzez współczynniki korekcyjne można ingerować w wewnętrzną strukturę danego wyrażenia. Przykładowo dla określenia straty tarcia zaproponowano następujące wzory:

$$\Delta\psi = x_8 \frac{0{,}316}{Re^{0{,}25}} \frac{\bar{s}_L}{\bar{D}_{hw}} \bar{w}_s^2 \quad \text{gdy} \quad w_2 \geq w_1$$

$$\Delta\psi = x_8 \frac{0{,}316}{Re^{0{,}25}} \frac{\bar{s}_L}{D_{hw}} \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^{x_9} \bar{w}_s^2 \quad \text{gdy} \quad w_2 < w_1 \tag{8}$$

We wzorze tym s_L jest długością łopatki, $\bar{D}_{hw}$ - równoważną średnicą hydrauliczną kanału międzyłopatkowego, $\bar{w}_s$ - prędkością średnią, $\bar{w}_1$ i $\bar{w}_2$ - prędkościami na wlocie i wylocie. Czynnik (w_1/w_2) wprowadzono do klasycznego wzoru jako poprawkę dla uwzględnienia zaburzeń, jakie mają miejsce na stosunkowo krótkim odcinku przepływu. Współczynniki korekcyjne x_8 i x_9 są parametrami modelu, które należy wyznaczyć. W niniejszej pracy określono zbiór $\{x\}$ liczący 28 parametrów.

3.4. Określenie zbioru ograniczeń

Wobec wielości różnych formuł, chcąc nie dopuścić do utraty fizykalnej interpretacji poszczególnych wyrażeń, narzucono na poszczególne współczynniki korekcyjne ograniczenia od dołu i od góry. Wartości zbioru ograniczeń wyznaczone są arbitralnie przy uwzględnieniu dostępnych informacji odnośnie okoliczności sformułowania poszczególnych wzorów i ich dokładności.

Dla przykładu przyjęto następujące ograniczenia współczynników korekcyjnych występujących w wyrażeniu na straty tarcia wirnika (pkt 3.3):

$$0{,}88 \leq x_8 \leq 1{,}1$$

$$0 \leq x_9 \leq 2$$

3.5. Kryterium identyfikacji parametrów modelu

Ogólną wytyczną całej procedury modelowania, aby wyniki pomiarów różniły się jak najmniej od wyników obliczeń według modelu matematycznego, należy sformułować w postaci kryterium - funkcji celu. Najczęściej stosowanym kryterium jest suma kwadratów odchyleń odpowiadających sobie wielkości ze zbioru wartości pomiarowych $P = \{\psi_j, \eta_j\}$ i obliczeniowych F.

W niniejszej pracy funkcję celu przyjęto w następującej postaci:

$$S = \sum_{1}^{k}\left[\psi_j - \psi(G_j, X)\right]^2 + \sum_{1}^{k}\left[\eta_j - \eta(G_j, X)\right]^2 \tag{9}$$

3.6. Identyfikacja parametrów modelu

Zagadnienie identyfikacji zbioru parametrów X sprowadza się do rozwiązania zadania programowania nieliniowego z ograniczeniami. Inaczej mówiąc rozwiązuje się tu zadanie optymalizacji polegające na tym, aby ze zbioru parametrów modelu

$$X \in D \tag{10}$$

wyznaczyć podzbiór wartości X_o spełniający warunek

$$S(X_o) = \min \tag{11}$$

Przy 28 parametrach modelu powyższe zadanie stanowi dosyć trudny problem matematyczny i obliczeniowy. Bardzo długi czas obliczeń (ok. 2 h "czystego" czasu maszynowego) powoduje, że istotnym jest tu dobór właściwej procedury optymalizacyjnej i maksymalne zoptymalizowanie programu obliczeniowego.

Jako wynik obliczeń optymalizacyjnych otrzymuje się zestaw optymalnych wartości współczynników korekcyjnych X_o do wzorów występujących w algorytmie obliczeniowym. Dla przykładu, optymalne wartości współczynników wzoru (8) wynoszą:

$$x_{8\ opt} = 0{,}886$$

$$x_{9\ opt} = 1{,}987$$

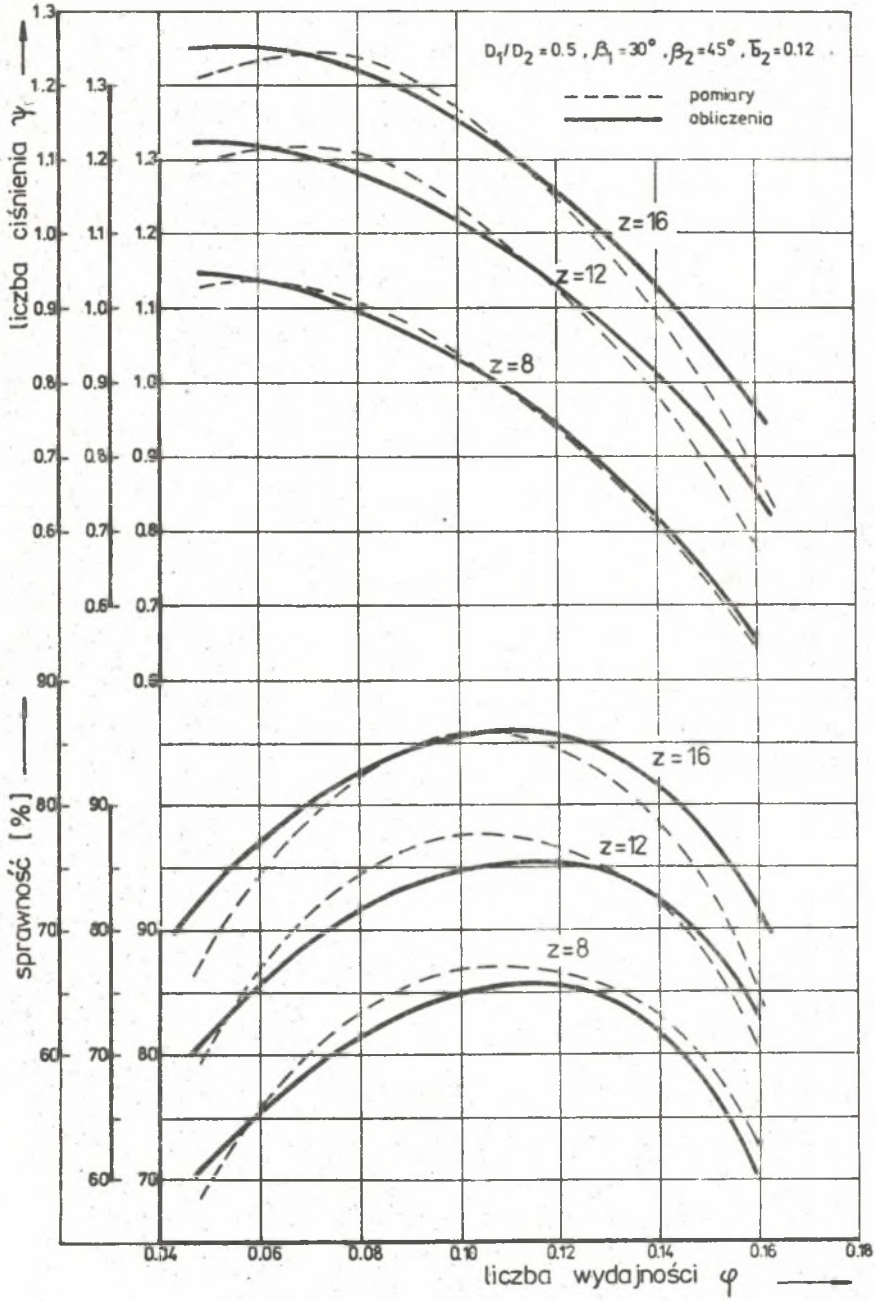
3.7. Weryfikacja modelu matematycznego charakterystyk pracy wentylatora promieniowego

Weryfikacji modelu dokonuje się przede wszystkim w oparciu o analizę błędów. Stosownie do analizy przeprowadzonej w pracy [6] można napisać, że na błąd δM metody obliczeń charakterystyki składają się:

- δTM - błąd modelu matematycznego,
- δGM - błąd wykonawstwa maszyny modelowej (odchyłki technologiczne),
- δPM - błąd pomiaru charakterystyk wentylatorów modelowych.

Czyli, że

$$\delta M = \delta TM + \delta GM + \delta PM$$



Rys. 3. Porównanie charakterystyk pracy uzyskanych z pomiarów i obliczeń trzech wentylatorów różniących się jedynie liczbą łopatek wirnika

Zgodnie z[6] można przyjąć, że $\delta GM = 0,5\%$, $\delta PM = 1,5\%$. Ideałem do którego należy dążyć przy opracowaniu modelu matematycznego charakterystyk pracy jest, aby

$$\delta TM << \delta GM + \delta PM.$$

W niniejszej pracy w wyniku modelowania uzyskano dla optymalnego zestawu parametrów modelu średniokwadratowe odchylenie wyników obliczeń i pomiarów $\delta M = 4,7\%$.

Jako przykład wyników przedstawiono na rys. 3 charakterystyki trzech wentylatorów promieniowych pomierzone i obliczone według otrzymanego modelu. Wirniki tych wentylatorów różniły się jedynie liczbą łopatek, co zaznaczono na wykresie.

4. Uwagi końcowe i wnioski

W niniejszym artykule przedstawiono metodykę modelowania charakterystyk pracy wentylatorów promieniowych. Można ją jeszcze rozszerzyć rozpatrując pętle iteracyjne pokazane na rys. 1, co wykracza jednak poza ramy niniejszego opracowania. Otrzymany w wyniku modelowania model matematyczny już jako metoda obliczania charakterystyk wentylatorów promieniowych z powodzeniem może być zaprogramowana na szeroko obecnie stosowanych komputerach personalnych.

Jeżeli chodzi o dalszą poprawę dokładności, to należy się jej doszukiwać w strukturze modelu. Zastosowanie w pełny sposób teorii warstwy przyściennej oraz metod analizy przepływu pozwala oczekiwać na poprawę dokładności.

Posiadanie dokładnej metody obliczeń dla szerokiego zakresu parametrów geometrycznych jest zadaniem tak ważnym, że kontynuacja prac w tym kierunku wydaje się konieczna.

Literatura

[1] Bommes L.: Über den Einfluss der Schaufelzahl auf die Kennlinie eines Radialventilators mit rückwärts gekrummten Schaufeln. HLM 1963, nr 5, 6, 7.

[2] Eck B.: Ventilatoren, Springer Verlag, 1972.

[3] Eckert B., Schnell E.: Axial- und Radialkompressoren, Springer Verlag, 1961.

[4] Kuczewski S.: Wentylatory. WNT, Warszawa 1978.

[5] Otte J.J.: Nowe ujęcie zagadnienia modelowania charakterystyk pracy maszyn wirnikowych przedstawione na przykładzie wentylatora promieniowego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Energetyka 83, 1983.

[6] Otte J.J.: Metoda obliczania charakterystyk rzeczywistych układu przepływowego wentylatora promieniowego, Praca N8-361-RME2-81 wykonana w IMiUE Politechniki Śląskiej, Gliwice 1984.

[7] Pfleiderer C.: Die Kreiselpumpen für Flüssigkeiten und Gase, Springer Verlag, 1961.

[8] Pfleiderer C., Petermann H.: Stromungsmaschinen, Springer Verlag, 1972.

[9] Radwański J.: Przybliżona metoda obliczenia charakterystyki przepływowej wentylatora promieniowego. Opracowanie ZD Fabryki Wentylatorów w Chełmie Śląskim, 1975.

[10] Sołomachowa T.S.: Centrobieżnyje wientiljatory. Moskwa 1975.

[11] Tuliszka E.: Sprężarki, dmuchawy i wentylatory. WNT, Warszawa 1976.

[12] Wajda A.: Algorytm obliczenia charakterystyki przepływu jednostopniowej wolnobieżnej pompy wirowej, Zbiór prac IV Konferencji naukowo-technicznej "Technologia Maszyn Przepływowych", Rzeszów 1978.

Recenzent: doc. dr inż. Jan Radwański

Wpłynęło do redakcji, maj 1985

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Р е з ю м е

В настоящей статье представлено разработку математической модели центробежного вентилятора. Проведено корсткий обзор литературы по данной теме. Идентьфикация параметров математической модели проводится в итоге решения задач оптимализации на основе множества измерительных данных. Представлено результаты моделирования 39 вентиляторов.

THE MODELLING OF THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF CENTRIFUGAL FANS

S u m m a r y

A modelling method of centrifugal fan performance characteristic is presented. A survey of modelling methods is given. The essential problems in the proposed method lie in a proper choice of approximation functions for performance characteristics according to physical phenomena of flow. Model parameters identification is based on a solution of the optimization problems using observation data. The results of investigations are presented.