ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: ENERGETYKA z. 72 Nr kol. 604

Joachim J. OTTE

Instytut Maszyn
i Urządzeń Energetycznych

ZASTOSOWANIE WSPÓŁCZESNYCH METOD OBLICZENIOWYCH MECHANIKI PRZEPŁYWÓW W PROCESIE PROJEKTOWANIA WENTYLATORÓW

Streszczenie. W pracy rozpatrzono zagadnienie zastosowania nowoczesnych metod obliczeniowych mechaniki przepływu w procesie projektowania wentylatorów. Podano model przepływu, opisano zestaw programów obliczeniowych i przedstawiono wybrane przykłady obliczeń przepływu w wentylatorach.

1. Wstęp

Jakkolwiek pogląd, że wentylatory należą do maszyn nie wymagających takiej pieczołowitości przy projektowaniu i wykonaniu jak inne maszyny wirnikowe, stracił już rację bytu, to jednakże w procesie projektowania w dalszym ciągu nie wykorzystuje się tu pełnych możliwości, jakie podsuwają nam nowoczesne metody numerycznego modelowania przepływów. Obecny stan rozwoju elektronicznej techniki obliczeniowej zezwala na symulowanie zjawisk przepływu w oparciu o coraz ogólniejsze i dokładniejsze ich modele.

Wnioski wynikające z aktualnych tendencji w komputeryzacji prac inżynierskich, skłaniają - w dziedzinie projektowania wentylatorów - do opracowania nowych metod analizy konstrukcji oraz do tworzenia kompleksowych metod syntezy konstrukcji. Wdrożenie takich metod opartych na ogólnych modelach przepływu daje efekty szczególnie widoczne w zakresie optymalizacji konstrukcji maszyn wirnikowych, w tym także i wentylatorów.

W niniejszym referacie przedstawiono zarys prac i niektóre wyniki z zakresu kompleksowych metod analizy i syntezy przepływu płynu w maszynach wirnikowych, ze szczególnym uwzględnieniem wentylatorów.

2. Model przepływu

Obecnie stosowane w praktyce konstruktorskiej metody i algorytmy obliczeniowe w dużej mierze bazują na uproszczonych (najczęściej jednowymiarowych) modelach przepływu, przy czym ich skuteczność, jakkolwiek poprawiana stale przez badania empiryczne, jest jednak ograniczona.

Nowe perspektywy tak w zakresie "trafności" projektowania jak i uzyskiwania układów przepływowych o coraz większej doskonałości stwarza wdrożenie do praktyki quasi-trójwymiarowego modelu analizy przepływu [1]. Podstawowa idea tego modelu to wyróżnienie w przepływie dwóch obszarów. Jeden z nich to obszar warstw przyściennych, gdzie płyn uważa się jako lepki, drugi zaś to obszar strumienia głównego, gdzie rozpatruje się płyn jako nielepki. Następnie wykorzystuje się koncepcję rozwiązania tego zagadnienia, polegającą na podziale całego problemu na dwa zadania:

- przepływu płynu przy założeniu jego osiowej symetrii (przepływ na powierzchni S_2'),
- opływu palisady profili na obrotowych powierzchniach prądu (powierzchnie typu S_1'), uzyskanych w wyniku rozwiązania zadania poprzedniego.

Przedstawiony model obliczeniowy dotyczy przede wszystkim rozwiązania zadań analizy przepływu. Poszerzenie go na zagadnienia syntezy w postaci dostosowanej do potrzeb praktyki konstrukcyjnej maszyny wirnikowej [2], wynika z faktu, że zagadnienie syntezy nie ma jednoznacznego sformułowania, gdyż żądane parametry przepływu mogą być zrealizowane najczęściej przez wiele układów o różnych geometriach. Obliczenia według przedstawionego na rys. 1 kompleksowego modelu, obejmującego zagadnienia analizy i syntezy, prowadzi się na drodze iteracyjnej (i, j, k, l - są numerami kolejnych iteracji).

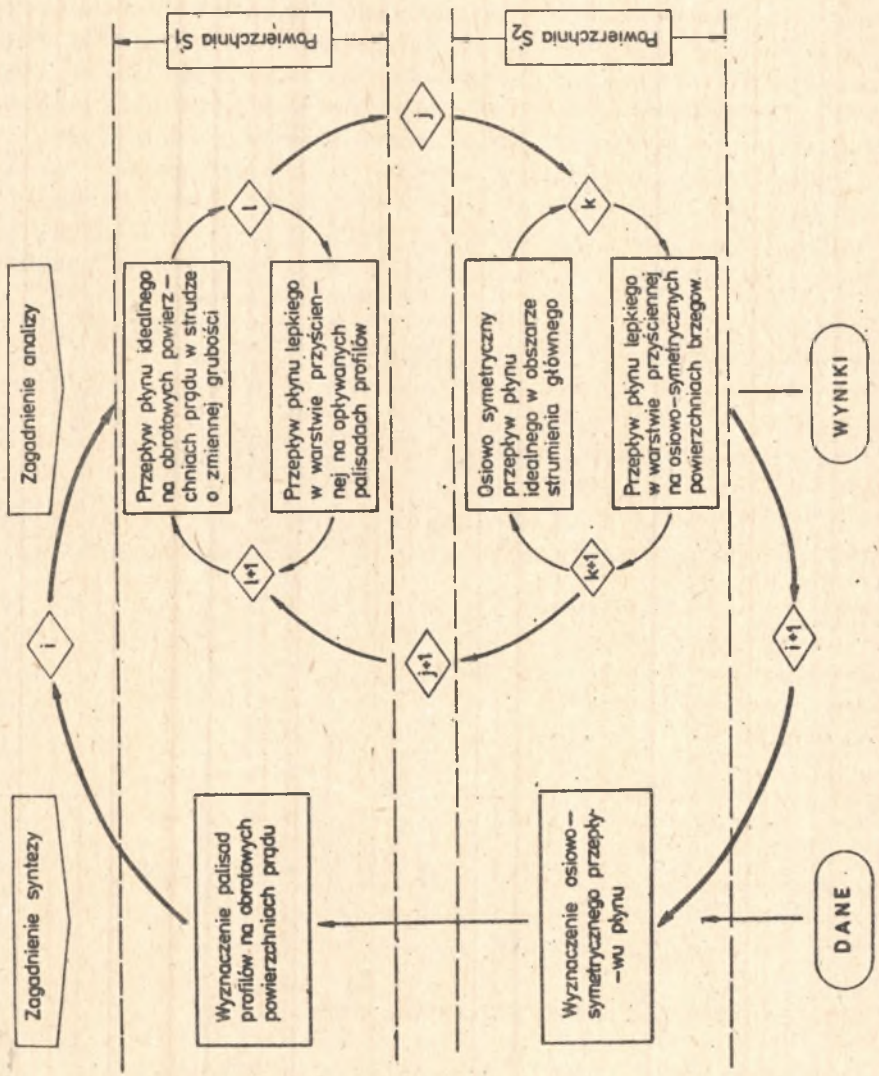
Przedstawione poniżej wyniki dotyczyć będą zasadniczej jego części, to jest quasi-trójwymiarowego modelu przepływu w obrębie strumienia głównego na powierzchniach typu S_1' i S_2'. Wykorzystując pojęcie funkcji prądu, równania opisujące przepływ na tych powierzchniach można przedstawić w następującej postaci:

$$A \frac{\partial^2 \psi}{\partial q_1^2} + 2B \frac{\partial^2 \psi}{\partial q_1 \partial q_2} + C \frac{\partial^2 \psi}{\partial q_2^2} + D \frac{\partial \psi}{\partial q_1} + E \frac{\partial \psi}{\partial q_2} = F, \qquad (1)$$

gdzie odpowiednikiem pary współrzędnych (q_1, q_2) dla powierzchni typu S_1' są współrzędne (φ, m), zaś dla powierzchni typu S_2' - współrzędne (r, z).

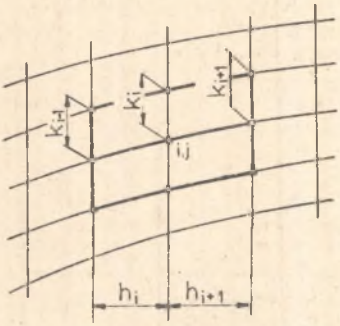
3. Uwagi o numerycznej realizacji modelu przepływu

Rozwiązanie równań typu (1) uzyskano przy zastosowaniu metody siatek (różnic skończonych). Sprowadza się ona do tego, że w obszarze, w którym poszukiwane jest rozwiązanie wyróżnia się zbiór punktów, które są punktami węzłowymi pewnej siatki, następnie zaś równania różniczkowe zastępuje się w tych węzłach odpowiednimi równaniami różnicowymi, które w oparciu o warunki brzegowe służą do wyznaczenia poszukiwanych wartości równania przybliżonego.



Rys. 1. Ogólny schemat kompleksowego programu obliczeń przepływu w maszynach wirnikowych

W metodzie tej jedną z głównych trudności jest obranie odpowiedniej siatki obliczeniowej. Dotychczas w tym względzie korzystano z siatek prostokątnych, co praktycznie uniemożliwiało stosowanie jej dla obszarów różnych od prostokątnych. Opracowanie procedury obliczeń dla siatki krzywoliniowej (rys. 2) spowodowało, że można ją z pełnym powodzeniem stosować dla obszarów o dowolnej konfiguracji.

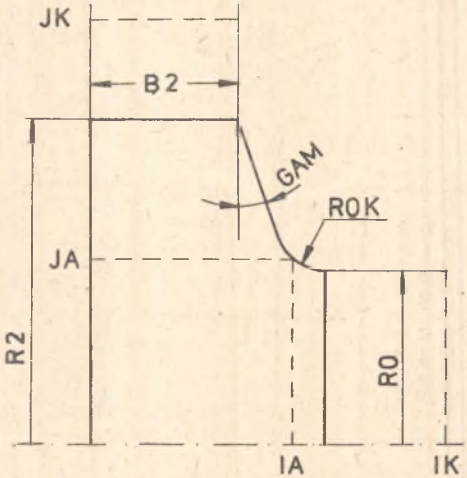


Rys. 2. Gwiazda punktów krzywoliniowej siatki obliczeniowej

Przy opracowywaniu programów obliczeniowych na EMC przyjęto koncepcję zrealizowania zestawu programów dla poszczególnych zagadnień obliczeniowych co prowadzi do lepszego ich wykorzystania i znacznie łatwiejszego operowania nimi.

4. Wybrane przykłady numerycznej realizacji modelu przepływu

Dla rozwiązania zagadnienia analizy na powierzchniach typu S_2' opracowano programy: ANWIR-10 dotyczący przepływu przez bezłopatkowy kanał wirni-

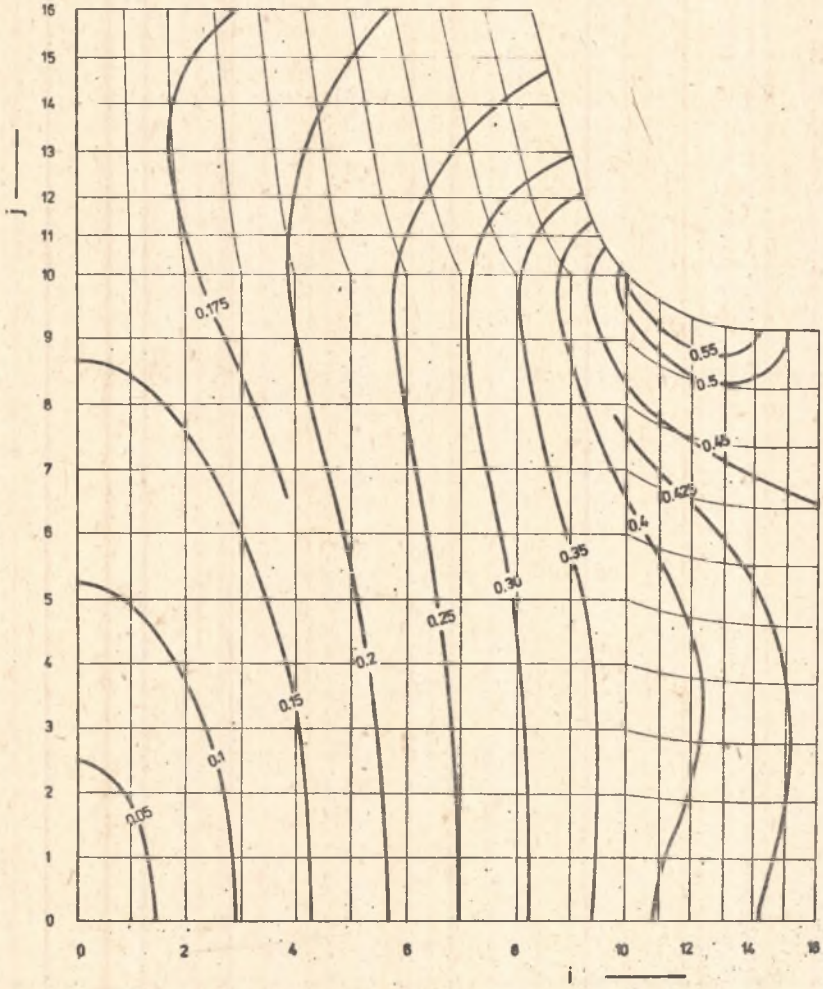


Rys. 3. Zestaw danych do programu ANWIR-10

Dane: Promień zewnętrzny wirnika R2 = 300,00, Szerokość wirnika na wylocie B2 = 150.00, Kąt nachylenia tarczy GAM = 15.940, Promień wlotowy wirnika RO = 195.00, Promień wyoblenia ROK = 60,00, Liczba przedziałów na wlocie N1 = 5, Liczba przedziałów na wylocie N2 = 5, Liczba przedziałów obszaru obliczeniowego JA = 10, Brzegowa wartość funkcji prądu PSZ = 100, Liczba iteracji maksymalna IXK = 30, Dokładność iteracji EPS1 = 0,010, Stopień wielomianu aproksymacyjnego NK = 7.0, Liczba wydajności FI = 0.190

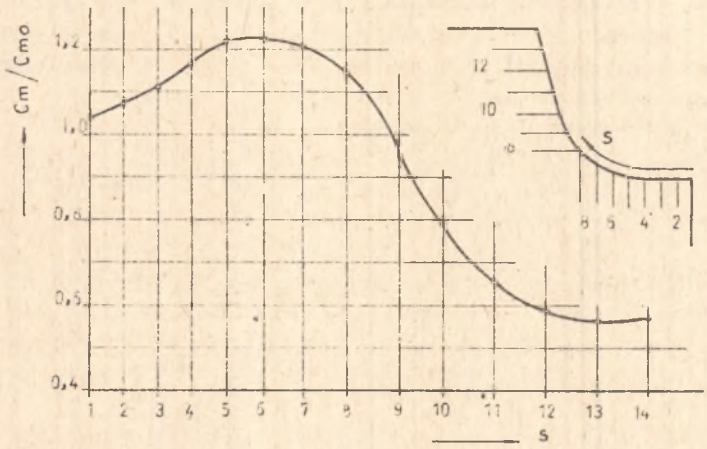
nika promieniowego, ANWIR-20 dotyczący przepływu przez bezłopatkowy kanał wentylatora diagonalnego oraz ANSTO-10, dotyczący przepływu w stopniu osiowym składającym się z wirnika i kierownicy. Zagadnienie analizy przepływu przez palisady profili (przepływ na powierzchni S_1') rozwiązują programy: ANPAL-10 dotyczący przepływu przez płaską palisadę prostoliniową, ANPAL-30 rozwiązujący opływ palisady profili rozmieszczonych na dowolnej powierzchni obrotowej strugą płynu o zmiennej grubości oraz ANPAL-60 dotyczący przepływu przez płaską palisadę kołową (promieniową).

Przy opracowaniu powyższych programów dążono do tego, by jak najbardziej ograniczyć wszystkie czynności przygotowawcze, szczególnie czynności przygotowania danych do obliczeń. Przykładowo na rys. 3 przedstawiono zestaw danych potrzebnych do programu ANWIR-10 wraz z odpowiednim szkicem obszaru analizy przepływu.

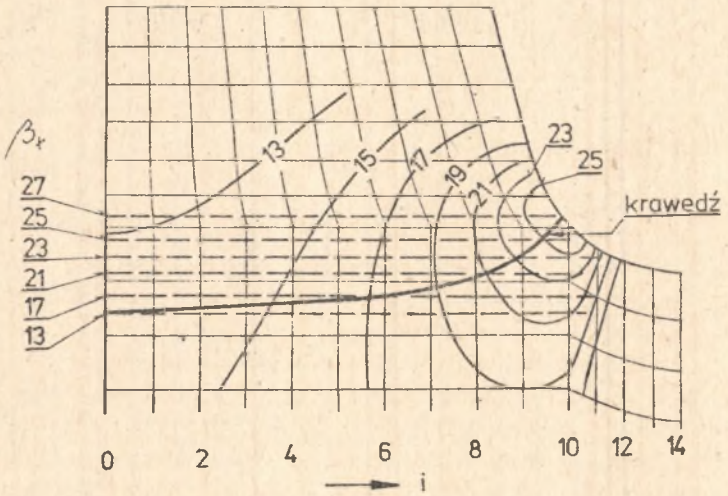


Rys. 4. Rozkład linii c_m = const

Jednym z wyników otrzymanych za pomocą programu ANWIR-10 jest rozkład prędkości merydionalnych (wyrażonych bezwymiarowo względem prędkości obwodowej na średnicy zewnętrznej wirnika), który dla przykładu przedstawiono na rys. 4. Rozkład ten stanowić może podstawę do dalszego projektowania łopatek wirnika. Jednocześnie można już na tym etapie prowadzić pewną optymalizację kształtu tarczy nakrywającej, analizując rozkład prędkości wzdłuż jej powierzchni. Jeden z takich rozkładów pokazano na rys. 5.



Rys. 5. Rozkład prędkości merydionalnej wzdłuż tarczy nakrywającej wirnika wentylatora promieniowego



Rys. 6. Rozkład kątów wlotowych strugi, kątów łopatkowych i przebieg krawedzi wlotowej

Znając rozkład kątów wlotowych w wirniku wentylatora można wyznaczyć optymalny przebieg krawędzi wlotowej łopatki, co przedstawiono na rys. 6. Kąt łopatkowy na wlocie, obliczany według klasycznej metody postępowania, wynosił tu 21°, co prowadziło do tego, że nawet dla obliczeniowego punktu pracy otrzymywało się znaczne wartości kątów natarcia i zwiększone straty "uderzenia".

Przykładem rozkładu uzyskanego za pomocą programu ANSTO-10 jest rozkład przyrostów ciśnienia statycznego ujętych w formie bezwymiarowej

$$\Delta \bar{p} = \frac{2(p - p_o^*)}{\rho u_z^2}$$

w stopniu wentylatora osiowego (rys. 7). Wprowadzając do tego programu dane odnośnie kształtowania się strat w poszczególnych punktach pracy stopnia, otrzymać można m.in. obliczeniową charakterystykę stopnia.

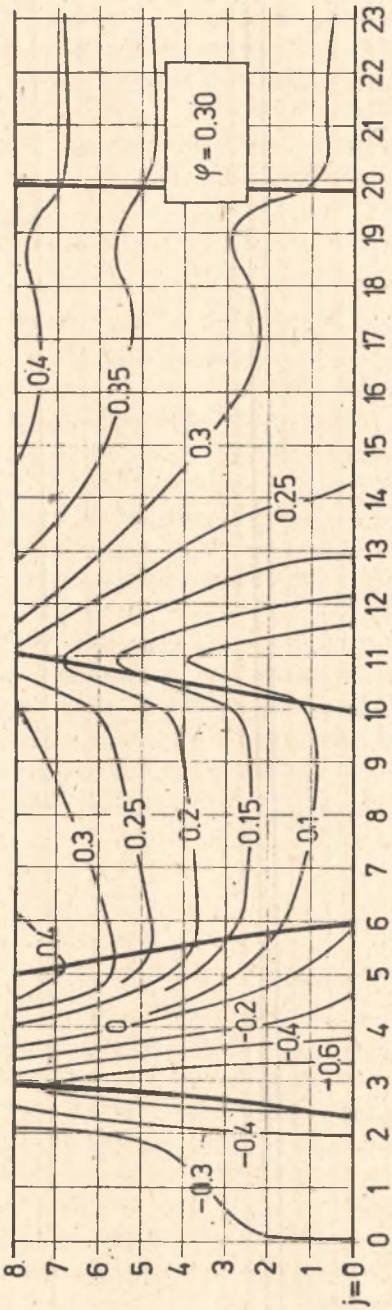
Wiele istotnych problemów przepływu rozwiązują programy ANPAL. Między innymi pozwalają one wyznaczyć rozkłady parametrów (prędkości, ciśnienia, kąty) tak wzdłuż konturów, jak i w całym analizowanym obszarze, przy czym w tych programach kąt strugi na wylocie ϑ_2 można przyjąć jako dany, co jednak ze względów fizykalnych jest niesłuszne lub też można żądać jego wyznaczenia. Tym samym otrzymuje się tu tak ważne w procesie projektowania palisady profili wielkości, jak kąty odchylenia δ.
Szczególnie ważna jest możliwość analizowania mechaniki przepływu przez palisasy rozmieszczone na dowolnych powierzchniach obrotowych w strudze o zmiennej grubości, jak to ma miejsce na przykład w wentylatorach diagonalnych i akcyjnych (z merydionalnym przyspieszeniem strumienia).

Testowym przykładem potwierdzającym poprawność uzyskiwanych wyników jest porównanie obliczonego rozkładu współczynnika ciśnienia

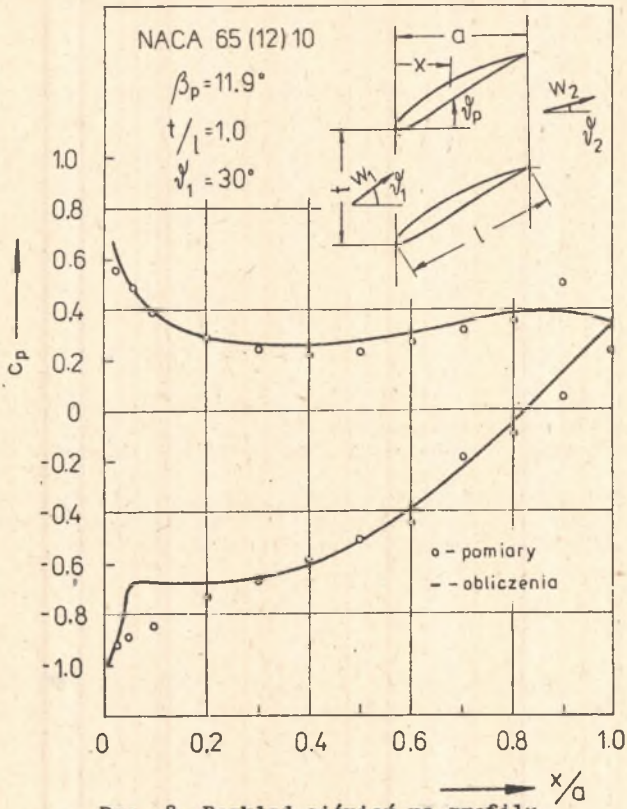
$$c_p = \frac{2(p - p_1)}{\rho w_1^2}$$

z punktami pomiarowymi (rys. 8).

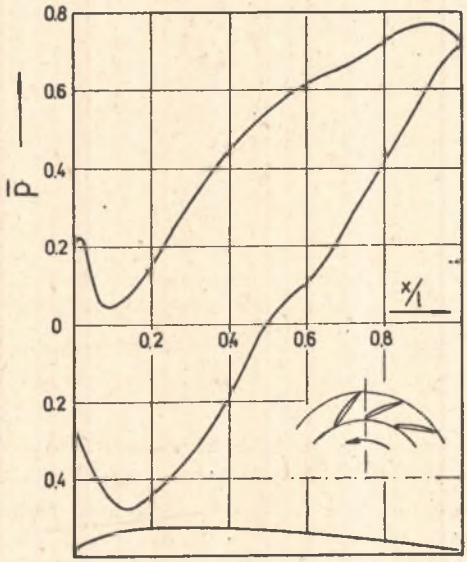
Jeżeli chodzi o palisady promieniowe to trzeba tu zaznaczyć, że inne - od proponowanej tutaj - metody rozwiązania są bardzo żmudne i utrudnione, a niekiedy wręcz ograniczone do profili cienkich i palisady płaskiej. Metoda funkcji prądu zdaje natomiast doskonale egzamin. Jako przykład przedstawiono rozkład współczynniki ciśnienia wzdłuż konturów profili palisady wentylatora promieniowego (rys. 9). Należy tu mieć na uwadze, że przepływ w palisadach wentylatorów promieniowych charakteryzuje się oderwaniami strug, wobec czego samo zbadanie przepływu bezoderwaniowego jest pierwszym etapem badań, do którego należy dołączyć zagadnienie przepływu w warstwie przyściennej.



Rys. 7. Linie stałych przyrostów ciśnienia $\Delta \bar{p}$ = const



Rys. 8. Rozkład ciśnień na profilu



Rys. 9. Rozkład ciśnienia statycznego na powierzchni łopatki wentylatora promieniowego

5. Uwagi końcowe

Przedstawione przykładowe wyniki obliczeń świadczą o szerokich możliwościach opracowanych programów. Wykorzystanie ich w procesie projektowania wentylatorów stwarza nową jakość w tej dziedzinie. Pozwala na odrzucenie szeregu niejasnych i wątpliwych do tej pory teorii i hipotez obliczeniowych i stanowi podstawę do uzyskania maszyn o większej doskonałości przepływowej.

LITERATURA

[1] Otte J.J.: Modele przepływu w zagadnieniach projektowania wysokosprawnych wentylatorów osiowych. Zbiór prac z konferencji naukowo-technicznej "Wentylatory Przemysłowe", Gliwice-Wisła, listopad 1974, ss. 201-217.

[2] Otte J.J.: Numeryczne modelowanie quasi-trójwymiarowego przepływu płynu w maszynach wirnikowych. Zbiór prac IV konferencji naukowo-technicznej "Technologia przepływowych maszyn wirnikowych", Rzeszów, listopad 1978.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТЕЧЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Р е з ю м е

В работе рассмотрено проблемы использования современных численных методов расчета течений в процессе проектирования вентиляторов. Представлено модель течения.

В работе кратко излагается вопросы реализации численных методов. Приводятся сведения о составе вычислительных программов на ЭВМ. Представлены тоже некоторые результаты аэродинамических расчетов вентиляторов.

DESIGNING OF FANS WITH THE APPLICATION OF THE NUMERICAL METHODS OF FLUID MECHANIC

S u m m a r y

Designing problems of the fans with the application of fluid mechanic numerical methods has been presented. The paper present also a flow model of calculation method and the adequatic computer program. Some results of calculations have been given.