ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1982
Seria: Energetyka z. 91 Nr kol. 856

Ryszard PIĄTKOWSKI
Janusz WALCZAK
Instytut Techniki Cieplnej i Silników Spalinowych
Politechniki Poznańskiej

UOGÓLNIENIE OBLICZEŃ RÓWNOLEGŁOTARCZOWEGO DYFUZORA BEZŁOPATKOWEGO

Streszczenie: W pracy przedstawiono uogólnienie obliczeń równoległotarczowego dyfuzora bezłopatkowego dla płynu nieściśliwego według metody zawartej w pracy [1] . Cztery zmienne początkowe - liczbę Reynoldsa, względną szerokość dyfuzora, kąt przepływu na wlocie do dyfuzora oraz względny promień wylotu dyfuzora - zastąpiono jedną zmienną uogólnioną. Ułatwia to obliczenie dyfuzora, jego optymalizację, analizę współzależności poszczególnych zmiennych początkowych oraz ich wpływ na współczynnik strat.

1. Wstęp

W pracy [1] przedstawiono metodę obliczania /strat, przyrostu ciśnienia, zmiany kąta strumienia.../ równoległotarczowego dyfuzora bezłopatkowego dla płynu nieściśliwego. W metodzie tej nie uwzględnia się strat mieszania śladu aerodynamicznego koła wirnikowego, które wliczone są do strat koła wirnikowego. Stosując taką metodykę obliczeń określa się stan termodynamiczny gazu tuż za kołem wirnikowym, gdzie przepływ staje się osiowo-tryczny i stacjonarny. Dyfuzor zatem obarcza się jedynie stratami powstającymi przy przepływie osiowo-symetrycznym.

Badania wykazują [2] ,że przepływ w dyfuzorze bezłopatkowym, w całym zakresie od wlotu do wylotu, ma charakter przepływu z trójwymiarowymi warstwami przyściennymi, w pełni rozwiniętymi, na ściankach powstają oderwania, a rozkłady prędkości są na ogół niesymetryczne po szerokości kanału. Do obliczeń przyjęto model teoretyczny zbliżony do rzeczywistego, a więc z zachowaniem charakteru rozkładu prędkości i kątów ale z symetrycznymi rozkładami prędkości i kątów po szerokości kanału i bez oderwań. Z porównania strat dla tego modelu teoretycznego z wynikami badań można uchwycić wpływ struktury strumienia dolotowego i oderwań na wzrost strat.

Na podstawie badań opracowano funkcje rozkładów prędkości dla składowej promieniowej i obwodowej prędkości, które łącznie z formułą Ludwiega i Tillmanna pozwoliły na określenie naprężeń stycznych na ściance czy lokalnego współczynnika tarcia. Obliczone wielkości wykorzystano w metodzie obliczania strat oraz zmiany średniego kąta przepływu dla modelu teoretycznego. Danymi wyjściowymi do obliczeń są trzy parametry na wlocie - liczba Reynoldsa Re_1, średni kąt przepływu $\bar{\alpha}_1$ i względna szerokość dyfuzora $\bar{b} = b/r_1$ oraz promienia dyfuzora $\bar{r} = r/r_1$. Obliczenia przeprowadzono w zakresie $Re_1 = 2\bar{c}_1 b_1/\nu = 10^4 \div 10^7$, $\bar{\alpha}_1 = 5^\circ \div 90^\circ$, $\bar{b} = 0{,}04 \div 0{,}20$ oraz $\bar{r} = 1 \div 2{,}4$. Wyniki obliczeń z maszyny cyfrowej zebrane są na tabulogramach oraz przedstawione na wykresach, które przykładowo przedstawiono na

rys.1.

Korzystanie z wyników obliczeń tej metody /tabulogramów,wykresów/, dla takich celów jak optymalizacja stopnia czy samego dyfuzora lub analizy wpływów poszczególnych parametrów wyjściowych Re_1, $\bar{\alpha}_1$, $\bar{b}$, $\bar{r}$ jest utrudnione. Zaistniała potrzeba takiego uogólnienia wyników obliczeń dyfuzora aby przeprowadzenie analiz i optymalizacji było bardziej operatywne. W niniejszej pracy przedstawiono próbę takiego uogólnienia oraz podejście innych autorów do tego zagadnienia. Wyniki obliczeń teoretycznych współczynnika strat porównano z wynikami badań własnych [2] oraz Sörgela [3] ,co umożliwia określenie współczynnika poprawkowego do wyznaczania strat rzeczywistych.

2. Uogólnienie metody obliczeń dyfuzora bezłopatkowego

Analiza wyników obliczeń według metody zawartej w pracy [1] pozwoliła stwierdzić, że występują takie zbiory danych początkowych Re_1, $\bar{\alpha}_1$, $\bar{b}$, $\bar{r}$, dla których współczynnik strat przyjmuje te same wartości. Sposób poszukiwania współzależności między zmiennymi zależy od przyjętej postaci zmiennej uogólnionej. Z dwóch postaci funkcji uogólnionej, addytywnej lub multiplikatywnej, wybrano pierwszą postać, kierując się efektywnością poszukiwań.

Zmienna uogólniona

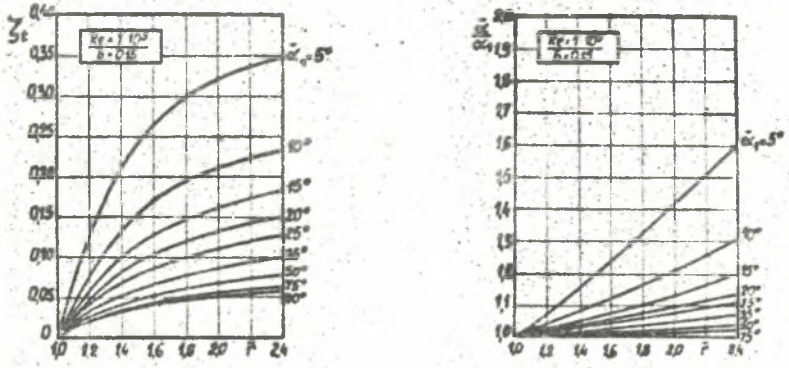
$$X = X_{Re_1} + X_{\bar{b}_1} + X_{\bar{\alpha}_1} + X_{\bar{r}} \tag{1}$$

jest sumą zmiennych składnikowych

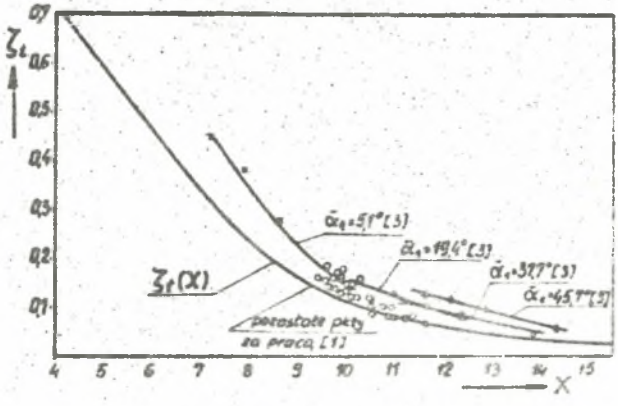
$$\begin{aligned}
X_{Re} &= f(Re_1,\ \bar{b}_1 = 0{,}04\ ,\ \bar{\alpha}_1 = 5^\circ\ ,\ \bar{r} = 2) \\
X_{\bar{b}} &= f(\bar{b},\ Re_1 = 1\ ,\ \bar{\alpha}_1 = 5^\circ\ ,\ \bar{r} = 2) \\
X_{\bar{\alpha}} &= f(\bar{\alpha}_1,\ Re_1 = 1\ ,\ \bar{b}_1 = 0{,}04\ ,\ \bar{r} = 2) \\
X_{\bar{r}} &= f(\bar{r},\ Re_1 = 1\ ,\ \bar{b}_1 = 0{,}04\ ,\ \bar{\alpha}_1 = 5^\circ)
\end{aligned} \tag{2}$$

Wartości stałe dla każdej ze zmiennych składnikowych dobrane zostały tak, aby wzrostowi wartości zmiennej początkowej odpowiadał wzrost wartości zmiennej składnikowej, a więc i zmiennej uogólnionej. Temu zaś wzrostowi odpowiadał spadek wartości współczynnika strat ζ_t . Na rys.2 przedstawiono zmienność współczynnika strat ζ_t od uogólnionej zmiennej X. Rys.3. przedstawia funkcje zmiennych składnikowych. Dla celów obliczeniowych wygodniej jest korzystać z rys.4. Przedstawione na rys.3 funkcje opisano prostymi przybliżonymi zależnościami.

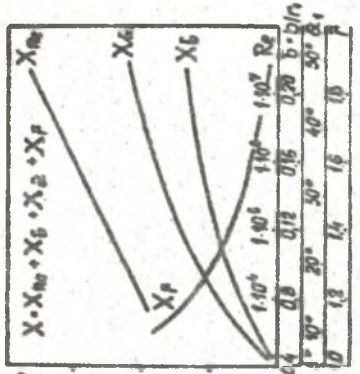
$$\begin{aligned}
X_{Re_1} &= \frac{\ln Re_1}{2{,}3026} && \text{dla } Re = (10^4 \div 10^7) \\
X_{\bar{b}_1} &= \frac{\bar{b}_1 - 0{,}04}{0{,}209(\bar{b} - 0{,}04) + 0{,}0275} && (\bar{b}_1 = 0{,}04 \div 0{,}20) \\
X_{\bar{\alpha}_1} &= 0{,}41(\bar{\alpha}_1 - 5)^{0{,}64} && (\bar{\alpha}_1 = 5^\circ \div 35^\circ) \\
X_{\bar{r}} &= \exp(5{,}15 - 3{,}69\bar{r}) && (\bar{r} = 1 \div 1{,}8)
\end{aligned} \tag{3}$$



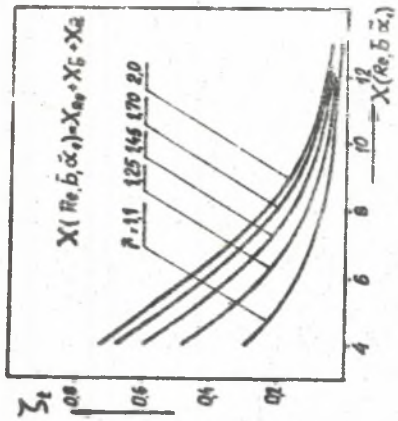
Rys. 1. Przebieg teoretycznego współczynnika strat tarcia ζ_t i stosunku $\bar{\alpha}/\bar{\alpha}_1$ w funkcji promienia $\bar{r}$ i średniego kąta napływu $\bar{\alpha}_1$

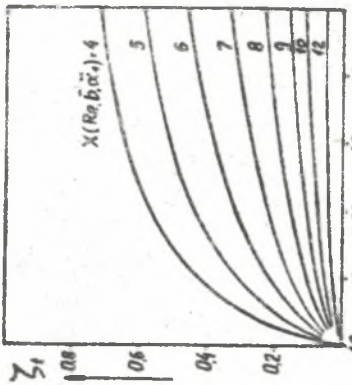


Rys. 2. Zależność współczynnika strat ζ_t od zmiennej uogólnionej X i porównanie z wynikami badań

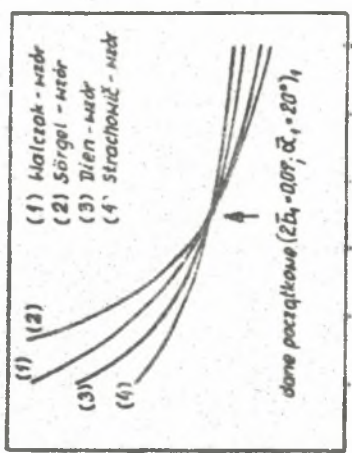


Rys. 3. Zmiana funkcji składnikowych zmiennej uogólnionej X





Rys. 4. Zależność współczynnika strat w dyfuzorze równoległotarczowym od X (Re, $\bar{b}$, $\bar{\alpha}_1$) i $\bar{F}$



Rys. 5. Porównanie współzależności między zmiennymi początkowymi b_2 i α_2 przy ustalonych Re i $\bar{F}$ wg różnych autorów

Ważność proponowanych zależności (3) ograniczone jest dla zakresu zmienności tych liczb spotykanego w stopniach sprężarkowych. W oparciu o te zależności, dla ustalonych np. wartości Re_1 i $\bar{r}$, można zapisać

$$\frac{\bar{b}_1 - 0{,}04}{0{,}209(\bar{b}_1 - 0{,}04) + 0{,}0275} + 0{,}41(\bar{\alpha}_1 - 5)^{0{,}64} = idem \qquad (4)$$

Z prac [1,3] zaczerpnięto dane eksperymentalne i naniesiono je na rys. 2. Są to wyniki badań, dla których w przekroju wlotowym dyfuzora przepływ jest osiowo-symetryczny, to znaczy nastąpił zanik śladu aerodynamicznego koła wirnikowego. Z rys.2 widoczna jest jakościowa zgodność przebiegu ζ_t z wynikami badań, co świadczy o poprawności metody obliczeń dla modelu teoretycznego oraz użyteczności proponowanej zmiennej uogólnionej X. W oparciu o przedstawione porównanie teorii i eksperymentu można wyznaczyć stosunek strat rzeczywistych do teoretycznych. W pracy [1] stosunek ten określono w funkcji tylko średniego kąta przepływu

$$k = \frac{\zeta_{t,n}}{\zeta_t} = \frac{2{,}5}{\bar{\alpha}_1^{0{,}215}} \qquad (5)$$

Zmienna uogólniona X opisuje również funkcję zmienności średniego kąta przepływu wzdłuż promienia dyfuzora - $\bar{\alpha}/\bar{\alpha}_1 = f(X)$.

Przedstawione uogólnienie pozwala wybierać wartości zmiennych początkowych Re_1, $\bar{\alpha}_1$, $\bar{b}_1$, $\bar{r}$, w taki sposób aby wartość zmiennej uogólnionej pozostała niezmienna, co powoduje, że i wartość ζ_t lub $\zeta_{t,n}$ nie ulega zmianie.

Poszukiwanie podobnych współzależności między zmiennymi początkowymi czynione były również przez innych autorów [3,4,5,6]. G.N. Dien w pracy [4] podaje zależność na rzeczywisty współczynnik strat $\zeta_{t,n}$ w równoległotarczowym dyfuzorze bezłopatkowym w funkcji zastępczego, równoważnego kąta rozwarcia dyfuzora

$$tg\,\frac{\vartheta_m}{2} = 2\,\frac{\sqrt{\bar{b}_1/2}}{\sqrt{\bar{r}}+1}\,\sin\bar{\alpha}_1 \qquad (6)$$

W oparciu o tę funkcję proponuje się współzależność między zmiennymi początkowymi

$$\sqrt{\bar{b}_1/2}\cdot\sin\bar{\alpha}_1 = idem \qquad (7)$$

ważną dla względnego promienia $\bar{r} = 1{,}665$, dla którego były wykonane badania.

W oparciu o zależność K.J.Strochowiča [5] współzależność między zmiennymi początkowymi można zapisać w postaci

$$\frac{\sqrt{\bar{b}_1/2}\cdot\sin^{3/2}\bar{\alpha}_1}{\sqrt{\bar{r}}+1} = idem \qquad (8)$$

Natomiast Sörgel [3] proponuje zależność

$$\frac{\bar{b}_1\cdot\sin\bar{\alpha}_1}{\bar{r}} = idem \qquad (9)$$

Na rysunku 5 przedstawiono porównanie współzależności między zmiennymi początkowymi $\bar{b}_1$ i $\bar{\alpha}_1$ w przekroju wlotowym dyfuzora bezłopatkowego, równoległotarczowego - przy ustalonych wartościach liczb Re_1 i $\bar{r}$ - według różnych autorów.

LITERATURA

[1] Walczak J.: Metoda obliczania przepływu czynnika nieściśliwego w równoległotarczowym dyfuzorze bezłopatkowym dla modelu z rozwiniętymi warstwami przyściennymi, Politechnika Poznańska, s.Rozprawy Nr 93, Poznań 1978.

[2] Walczak J., Cichoń L.: Rozkłady prędkości w trójwymiarowej rozwiniętej warstwie przyściennej w promieniowym dyfuzorze równoległotarczowym. Problem Nr. 1-10/76. Temat 2.1.1. opracowanie wewnętrzne Instytutu Techniki Cieplnej i Silników Spalinowych Politechniki Poznańskiej, Poznań 1977.

[3] Sörgel G.: Untersuchungen am schaufellosen und beschaufelten Diffusor einer Radialgebläsestufe, Maschinenbautechnik 17/1968/ Heft 11.

[4] Dien G.N.: Wlijanije otnositielnoj szirriny protočnoj časti na rabotu centrobieżnoj stupieni z bezłopatočnym diffuzorom, Energomašinostrojenije 1960, No 11, s. 20-23.

[5] Strachowič K.I.: Centrobieżnyje kompressornyje maszziny, L-M, Maszgiz, 1940.

[6] Ris W.F.: Centrobieżnyje kompressornyje maszziny, L-M, Izd. Maszinostrojenije, 1964, s. 78-79.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Chmielniak

Wpłynęło do redakcji maj 1985 r.

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА ПАРАЛЛЕЛЬНО-ДИСКОВОГО, БЕЗЛОПАСТНОГО ДИФФУЗОРА

Р е з ю м е

В работе представлено обобщение результатов расчёта параллельно-дискового, безлопастного диффузора для несжимаемой жидкости по методу, содержащемуся в работе [1]. Четыре начальных переменных - числа Рейнольдса, относительную ширину диффузора, угол течения на входе диффузора, а также относительный радиус на выходе диффузора - заменено одной обобщённой переменной. Это облегчает расчёт диффузора, его оптимизацию, анализ взаимозависимостей, а также их влияние на коэффициент потерь.

GENERALIZATION OF CALCULATION RESULTS OF A PARALLEL-DISK VANELESS DIFFUSER

S u m m a r y

In this paper, the generalization of calculation results for a parallel-disk vaneless diffuser for incompressible fluid flow is given based on the method discribed in the work [1]. Four initial variables - Reynold's number, relative width of the diffuser, the angle of the flow in the inlet and relative radius of the outlet-are replaced by one generalized variable. This makes easier the calculation of the diffuser, his optimization, the analysis of the correlation between initial variables and analysis of the diffuser losses.