

Asfaw Beyene, Andrzej Miller

Instytut Techniki Ciepłej

KRYTYCZNA OCENA METOD OKREŚLANIA STRAT W TURBINOWYCH PALISADACH PROFILI

Dokonano przeglądu metod typu korelacyjnego określenia strat w turbinowych palisadach profilu. Przedstawiono tu również własne zależności. Wyniki obliczeń uzyskane przy pomocy tych metod porównano z wynikami badań eksperymentalnych zaczerpniętych z [13] oraz [1]. Stwierdzono, że w ogólnym przypadku żadna z metod korelacyjnych nie gwarantuje dobrej dokładności wyników.

Oznaczenia

- c - cięciwa profilu
- f - stała
- g - grubość profilu
- h - wysokość łopatki
- i - kąt natarcia
- Ma - liczba Macha
- n - liczba badanych palisad
- Re - liczba Reynoldsa
- t - podziałka palisady
- α - kąt strumienia lub łopatki kierowniczej (jak na rys.1)
- β - kąt strumienia lub łopatki wirującej (jak na rys.1)
- δ - grubość krawędzi spływu
- ξ - straty energii

Indeksy

- 1 - dotyczący wartości na wlocie do palisady
- 2 - dotyczący wartości na wylocie z palisady
- cal - wartość obliczona

- exp - wartość zmierzona
 ∞ - dotyczący strat profilowych
k - dotyczący strat końcowych
max - dotyczący wartości największych
g - dotyczący wielkości geometrycznych

1. WPROWADZENIE

Szeroko stosowanym modelem wieńców łopatek osiowych maszyn wirnikowych jest prosta palisada profili, zestawiona z równoległych, cylindrycznych łopatek o niezmiennym profilu wzdłuż wysokości. Straty w przepływie \bar{z} przez taką palisadę o wysokości h dzieli się zwykle na straty profilowe \bar{z}_{∞} i straty końcowe \bar{z}_k

$$\bar{z} = \bar{z}_{\infty} + \bar{z}_k$$

Straty profilowe są tu traktowane jako straty w palisadzie o nieskończonej wysokości, tj. palisadzie o ściśle dwuwymiarowym przepływie. Do strat końcowych zaliczone są wszystkie pozostałe straty w palisadzie. Straty końcowe (pozaprofilowe) powstają przy ściankach ograniczających wysokość kanału w wyniku przepływów wtórnych (indukowanych). W niniejszej pracy rozpatruje się palisady bez szczelin przy wierzchołku łopatki. U podstaw takiego podziału strat w palisadzie leży stosowana metodyka badań eksperymentalnych i opracowywania ich wyników, zapewniająca możliwość porównywania danych otrzymanych na różnych stanowiskach.

Wśród różnych metod określania strat profilowych wyróżnić można dwie odrębne grupy:

- metody typu "korelacyjnego", np. [6], [1], oparte na analizie wyników badań eksperymentalnych, pozwalające na określenie strat w stosunkowo prosty sposób, w oparciu praktycznie wyłącznie o charakterystyczne parametry palisady (wskazniki), jak geometryczne kąty wlotowy i wylotowy, podziałka itp.;
- metody typu "obliczeniowego", np. [20], [21], związane z wykorzystaniem elektronicznych maszyn cyfrowych dla szczegółowych obliczeń przepływu, przy czym niezbędna jest również

dokładna znajomość geometrii profilu obok parametrów używanych w pierwszej grupie metod.

Podobnie podzielić można też metody określenia strat końcowych.

Pomimo rozwoju metod drugiej grupy, metody typu "korelacyjnego" są nadal niezbędne przy dobieraniu racjonalnej geometrii stopnia turbinowego w początkowych fazach projektowania i są także często stosowane do oceny sprawności turbiny. Natomiast metody "obliczeniowe" używane są zwykle zamiast lub równoległe z badaniami eksperymentalnymi przy określaniu optymalnego kształtu profilu. Istnieje szereg sytuacji, kiedy metody obliczeniowe nie mogą być zastosowane, np. w przypadku niepełnej znajomości kształtu profilu bądź zbyt długiego czasu potrzebnego do otrzymania wyników.

Znanych jest wiele metod korelacyjnych określenia strat w palisadzie profili. Dalej dokonano pewnego przeglądu, porównania i oceny dokładności tych metod. W stosunku do porównań przeprowadzonych przez Dentona [8] i Ameljuszkina [10] dotyczących wyłącznie strat profilowych zbadano także określenie strat końcowych i sumarycznych strat w palisadzie, przy uwzględnieniu większej liczby metod (Denton nie uwzględnił metod radzieckich, a Ameljuszkina części zachodnich). Część wniosków z porównań Dentona i Ameljuszkina nie jest przy tym zgodna, co dodatkowo uzasadniało przeprowadzenie nowego porównania, w szczególności dla palisad profili stosowanych w kraju.

2. PRZEGLĄD METOD KORELACYJNYCH

W wyniku przeglądu dostępnej literatury zebrano 19 metod typu korelacyjnego określenia strat w turbinowych palisadach profili, które przedstawiono dalej. Podano też zależności własne autorów. Wobec obszerności tematu ograniczono się do ogólnej charakterystyki metod odsyłając do odpowiednich źródeł w zakresie szczegółowych zależności.

Podstawą najprostszej systematyki turbinowych palisad profili i strat w nich występujących jest klasyfikacja profili wg

kąta odgięcia strumienia w palisadzie, tj. sumy geometrycznych kątów wlotowego i wylotowego, zaproponowana jeszcze przez A. Stodolę. Wobec prostoty i przejrzystości podejście takie, z pewnymi uzupełnieniami, spotykane jest również w nowszych opracowaniach.

S o d e r b u r g [5] podał zależności analityczne dla określenia strat palisady ζ (bez wyraźnego wyróżnienia składowych ζ_{∞} oraz ζ_k) przy kącie natarcia i bliskim zera, uwzględniając poza kątem odchylenia wpływ liczby Re oraz wysokości palisady.

Metoda T r a u p e l'a [7] oparta jest na znacznie pełniejszym, chociaż nadal stosunkowo prostym modelu przepływu w palisadzie, przy czym teoretyczne wartości strat profilowych skorygowano zgodnie z wynikami eksperymentów. Oprócz geometrycznych kątów wlotowego i wylotowego oraz wysokości palisady uwzględniono, w postaci poprawek, wpływ grubości krawędzi spływu, liczb Ma i Re oraz stopnia turbulencji. Do wyznaczenia strat (wyłącznie przy $i \approx 0$) wykorzystuje się zespół wykresów dotyczących zasadniczo profili "średniej" jakości zestawionych w palisady przy optymalnej wartości podziałki określonej jako funkcja kątów wlotowego i wylotowego.

Szeroko stosowana jest metoda A i n l e y a - M a t h i e s o n a [1] oparta, jak się wydaje, praktycznie całkowicie na wynikach badań eksperymentalnych. Oprócz kątów łopatkowych i wysokości łopatki uwzględniony jest wpływ podziałki palisady, która nie musi przyjmować optymalnej wartości, a także wpływ grubości krawędzi spływu, największej grubości profilu oraz liczb Re i Ma . Ograniczenia stosowalności podanych danych, zależnie od typu palisady, są tu stosunkowo nieznaczące. Poważną zaletą metody jest także możliwość uwzględnienia wpływu zmian kąta natarcia.

Pewne zależności metody Ainleya-Mathiesona zostały uzupełnione przez D u n h a m - C a m e'a [14] a następnie przez K o c k e r - O k a p u u [15].

B o l t e [19] zebrał wiele wyników niemieckich badań eksperymentalnych i próbował znaleźć odpowiednie ich uogólnienia. Pracy tej nie można uznać jednak za w pełni zakończoną.

W pracy Stiepanowa [6], jednej z podstawowych w rozpatrywanym zakresie, dokonano obszernej teoretycznej i eksperymentalnej analizy przepływu i strat w palisadach. Straty profilowe traktowane są jako suma oddzielnie określonych strat tarcia w obrębie kanału oraz strat w śladzie aerodynamicznym (straty krawędziowe). W wyniku przedstawiono metodę oceny strat w palisadzie, w której oprócz czynników rozpatrywanych przez Traupel'a [7] uwzględniono także wpływ zmian podziąki w stosunku do wartości optymalnej i kształtu profilu (poprzez ocenę rozkładu prędkości na profilu). Podano też zależności dla uwzględnienia zmian strat przy zmianach kąta natarcia.

W późniejszych pracach radzieckich wykorzystywano model Stiepanowa z pewnymi uzupełnieniami, jak w pracach Ameljuszina, Niszniewicza i Czerkasowa [17], Aronowa, Żukowskiego i Żurawlewa [16], Żukowskiego, Marczenki i Tierentiewa [10], bądź podejście zasadniczo empiryczne jak w pracy Kopielewa [4]. Uzupełnienia modelu Stiepanowa związane są z problemami uwzględnienia głównie wpływu długości szkieletowej profilu i szerokości palisady. Interesujące są tu szczególnie prace [16], [17] uogólniające dane odnośnie profili turbinowych opracowanych w ZSRR w ostatnim okresie.

G o l s e w i K a d e t o w [9] przedstawili nieco odmienne podejście do uogólnienia zależności na straty profilowe. Odpowiednie wyniki badań były ekstrapolowane do zerowej grubości krawędzi spływu. Choć metoda wydaje się być stosunkowo dokładna, ograniczenia stosowalności stanowią małe zakresy kątów odgięcia strumienia oraz grubości krawędzi spływu, charakterystyczne dla palisad profili wirnikowych.

K o p i e l e w i T i c h o n o w [4] uogólnili szereg wyników badań strat profilowych, traktowanych jako suma straty tarcia i straty krawędziowej. Uzyskane zależności są bardzo proste i wydają się być stosunkowo dokładne.

U podstaw później opracowanej metody B a l j e g o - B i n s l e y a [2] leżą koncepcje zasadniczo zbliżone do podejścia Stiepanowa [6]. Odmiennością, nie spotykaną w innych modelach, jest występowanie w zależnościach obliczeniowych bezwymiarowych charakterystyk warstwy przysciennej, wyrażonych jako funkcje geometrycznych wskaźników profili. Metoda

ta ma najgłębsze podstawy teoretyczne, jednak przyjęty model fizyczny pozostaje nadal znacznie uproszczony.

Jedną z najnowszych jest metoda C r a i g a - C o x a [3] oparta, podobnie jak metoda Ainleya-Mathiesona [1], głównie na wynikach badań eksperymentalnych. Geometria palisady oprócz zwykle wykorzystywanych wskaźników (kąty wlotowy i wylotowy, wysokość, podziałka, grubość krawędzi spływu) charakteryzowana jest ponadto promieniem krzywizny strony grzbietowej w wylotowej części profilu. Przy pomocy tych parametrów systematyzowane są charakterystyki opływu różnych profili i od nich, analogicznie jak w pracach Baljego-Binsleya i Stiepanowa, przechodzi się do sumarycznych wartości strat profilowych. Przewidziano poprawki uwzględniające wpływ zmian kąta natarcia oraz liczb Re i Ma.

Interesująca jest koncepcja metody D e n t o n a [8], gdzie dane eksperymentalne, niezbędne do opracowania metody korelacyjnej, zastąpiono w znacznej części wynikami obliczeń przy wykorzystaniu metod typu "obliczeniowego", tj. symulacji komputerowej. Niestety metoda Dentona nie została opublikowana.

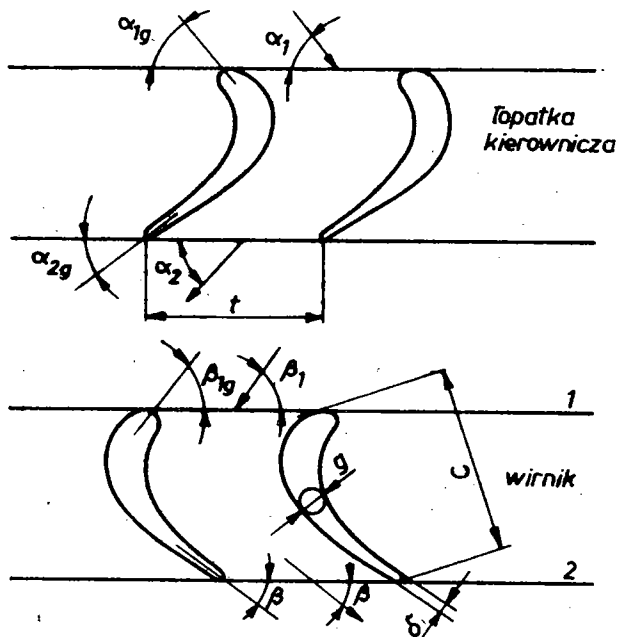
Prace S m i t h a i S w a n a [11] oraz B o j k o [12] stanowią, jak się wydaje, pewne kombinacje wskazanych wyżej podejść.

Na podstawie analizy wyników badań, w zależności od geometrycznych parametrów palisad, zaczerpniętych z prac [1] [13] (wykorzystanych do porównania metod w p.3) autorzy zaproponowali poniższe zależności do określenia strat. Przyjęto, że straty profilowe w palisadzie, przy podziałkach bliskich optymalnej wartości, można przedstawić jako funkcję kątów geometrycznych oraz grubości krawędzi spływu. Postulowano za pracą [1] liniową zależność strat od grubości krawędzi spływu. Postać funkcji dobrano w sposób empiryczny, poszukując możliwie najlepszej korelacji z wynikami badań doświadczalnych [13] [1]. Po doborze postaci zależności nieznanne wartości stałych wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów. Straty profilowe dane są tu zależnością

$$\xi_{\infty} = \frac{\sqrt{|\cos \beta_{1g}|} + \frac{\sin \beta_{1g}}{3} f + \sin \beta_{2g} \frac{\delta}{g_{\max}}}{2 + 2 \sin^2(\beta_{1g} + \beta_{2g})} \quad (2.1)$$

gdzie $f = 0,10 \div 0,14$.

Grubość krawędzi spływu uwzględnia człon δ/g_{\max} . Określenie grubości krawędzi spływu δ oraz maksymalnej grubości krawędzi spływu objaśnia rys.1. Rozpatrywano wartości δ/g_{\max} w zakresie $0,004 \div 0,049$. Większe wartości stałej f przyjmuje się dla profili łopatek kierowniczych.



Rys.1. Geometria palisady

Straty końcowe uzależnione od kątów łopatkowych i względnej wysokości palisady określono wzorem

$$\xi_k = \frac{130 + \beta_{1g} - \beta_{2g}}{5 \cdot 10^3} \frac{\sin \beta_{2g}}{\sin \beta_{1g}} \frac{c}{h} \quad (2.2)$$

Podobnie jak w przypadku wcześniej omówionych metod, rozpatrywano tu wyłącznie palisady bez szczelin przy wierzchołku łopatki.

Zależności powyższe dotyczą przepływów przy zerowym kącie natarcia, w zakresie dużych wartości liczb $Re > 1,5 \div 6,5 \cdot 10^5$ i umiarkowanych wartości liczb $Ma < 0,8$, tj. w zakresie samodelowania.

3. PORÓWNANIE METOD

Wobec znacznej różnorodności metod typu korelacyjnego dla określenia strat w palisadzie profili turbinowych, opartych na różnych szczegółowych koncepcjach i podejściach, interesujące wydawało się porównanie wyników uzyskiwanych przy ich zastosowaniu, z wynikami badań eksperymentalnych.

Wyniki badań i parametry geometryczne palisad zaczerpnięto z pracy CKTI [13] (22 palisady profili kierowniczych oraz 16 palisad profili wirnikowych) oraz z pracy Ainleya i Mathiesona [1] (odpowiednio 4 i 3 palisady), co stanowiło łącznie 45 palisad. Dane odnośnie wyników szeregu innych badań, zawarte w dostępnej autorom literaturze, były często niekompletne, co uniemożliwiło odpowiednie porównania. Profile CKTI [13] ocenić można jako typowe profile turbinowe "średniej" jakości, przy czym są one często stosowane w różnych przebudowach krajowych turbin [18], przez to bardziej interesujące. Profile zaczerpnięte z pracy [1] należą do grupy nietypowych dla turbin energetycznych.

Porównanie wartości wyznaczonych eksperymentalnie strat z wynikami obliczeń uzyskanymi przy pomocy omawianych metod zestawiono na rys.2, 3 i 4. Nie uwzględniono tu metody Boltego [19] Smitha i Swana [11] oraz metod radzieckich [10], [12], gdyż z racji niekompletności opublikowanych informacji nie potrafiono wyznaczyć szeregu wielkości występujących w związanych zależnościach.

Wyniki porównania przedstawiono w postaci zależności

$$\bar{n} = f(\bar{\beta}),$$

gdzie:

$$\bar{n} = \frac{n}{N}$$

$$\bar{\xi} = \frac{\xi_{obl}}{\xi_{eks}}$$

przy czym n oznacza liczbę palisad, dla których stosunek $\bar{\xi}$ strat obliczonych przy pomocy rozpatrywanej metody do strat ξ_{eks} wyznaczonych doświadczalnie zawierał się w określonym przedziale wartości, natomiast N - łączną liczbę badanych palisad.

Porównanie przeprowadzono przy stałych obliczeniowych kątach natarcia, podziałkach palisady zbliżonych do optymalnych, w podzwiekowym zakresie przepływów.

Oceniając wyniki porównania należy zwrócić uwagę na to, że im większa jest maksymalna wartość $\bar{n}(\bar{n}_{max})$, tym mniejszym rozrzutem charakteryzuje się metoda. Oczywiście jest także, że przy \bar{n}_{max} pożądana jest wartość $\bar{\xi}$ możliwie bliska 1. Jeżeli przy \bar{n}_{max} wartość $\bar{\xi}$ różni się w sposób istotny od 1, sądzić można, że metoda charakteryzuje się błędem systematycznym, związanym np. z nieuwzględnieniem lub nieodpowiednim uwzględnieniem jakiegoś istotnego czynnika.

Straty profilowe

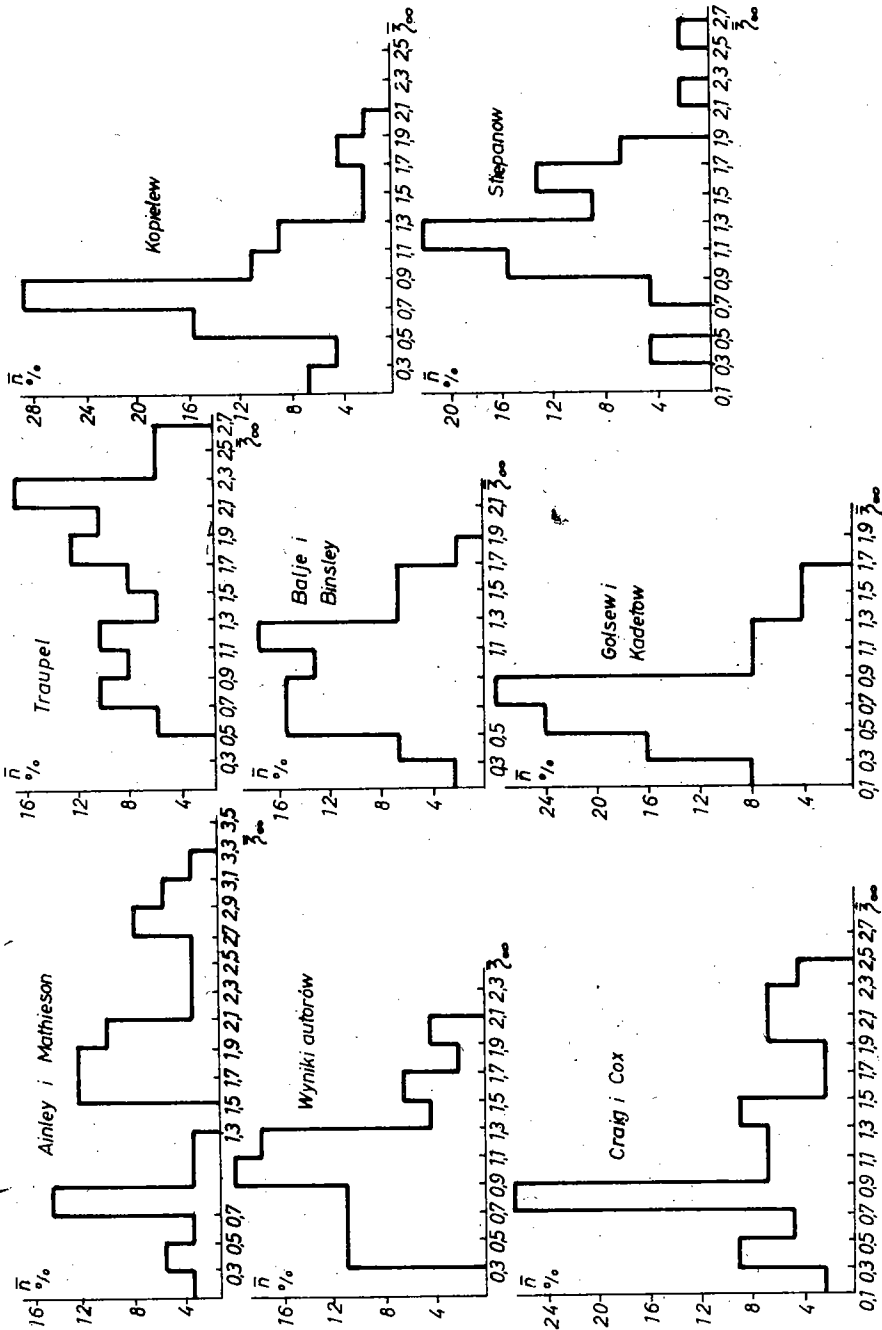
Wyniki porównania (rys.2) zestawić można w trzech grupach:

a) metody Craiga-Coxa, Golsewa-Kadetowa, Kopielewa i Stiepanowa wykazały stosunkowo lepszą dokładność (mniejszy rozrzut wokół wartości średniej), lecz tylko dla palisad profili typu reakcyjnego (przyśpieszających), tj. o mniejszych stratach profilowych;

b) metody Baljego-Binsleya, Traupela oraz autorów dają jednolite wyniki zarówno dla palisad typu reakcyjnego jak i akcyjnego;

c) metoda Ainleya-Mathiesona daje duży rozrzut w przypadku obu typów palisad.

W pierwszej grupie żadna z metod nie dała średniej wartości pokrywającej się z 1, przy czym zasługuje na uwagę, że wartość średnia $\bar{\xi}_{\infty}$ zawiera tu prawie wyłącznie typowe pali-



Rys.2. Porównanie wyników obliczeń strat profilowych z danymi doświadczalnymi

sady typu reakcyjnego. Metoda Stiepanowa daje nieco większy rozrzut niż trzy pozostałe. Metody Kopielewa i Stiepanowa wydają się być najlepszymi w tej grupie.

W drugiej grupie wyniki są bardziej jednolite, przy czym tylko metoda autorów dała średnią wartość \bar{z}_∞ równą jedności, podczas gdy metoda Traupela wykazała zbyt duży rozrzut i zbyt odległą od 1 średnią wartość \bar{z}_∞ .

Metoda Baljego-Binsleya dała zasadniczo te same wyniki jak podejście autorów przy nieco gorszym przebiegu histogramu na lewo od średniej wartości \bar{z}_∞ .

Podkreślić należy, co ilustruje rys.2, że w przypadku wszystkich rozpatrywanych metod oceny strat profilowych wartości \bar{n}_{\max} są niskie i zawierają się w granicach tylko od ok. 15% (Ainley-Mathison) do ok. 29% (Kopielew). Rozrzut wyników jest przy tym bardzo znaczny, skrajne wartości \bar{z}_∞ dochodzą aż do 0,1 oraz do 3,3 (Ainley-Mathieson). Wyniki te nie potwierdzają stwierdzenia Żukowskiego [10], że metody obliczeniowe pozwalają w większości przypadków stosunkowo dokładnie ocenić straty profilowe. Zgodne są natomiast z wnioskiem Dentona [8], że w ogólnym przypadku żadna z metod korelacyjnych nie daje pewności uzyskania dobrej dokładności wyników.

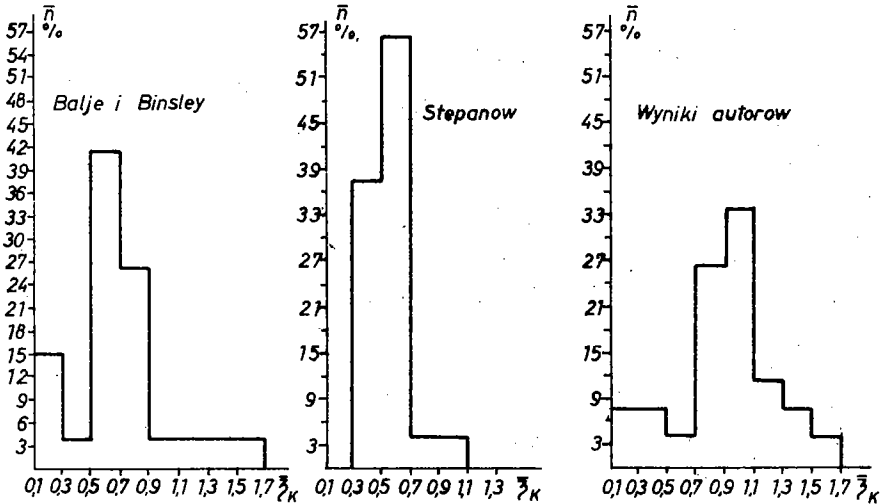
Należy tu jeszcze dodać, że w przypadku istotnie różnych od zera kątów na tarcia, nie optymalnych podziałek i wyższych liczb M_a dokładność obliczeń jest znacznie gorsza niż w warunkach rozpatrywanych w niniejszej pracy [8], [10].

Straty końcowe

Jak wykazał przegląd, liczba prac poświęconych stratom końcowym oraz sumarycznym stratom w palisadzie jest znacznie mniejsza niż w przypadku strat profilowych (w artykule rozpatrzono 9 metod dla strat profilowych, 5 - dla strat sumarycznych oraz 3 - dla strat końcowych).

Niespodziewana jest znacznie lepsza zgodność wyników pomiarów i obliczeń w zakresie strat końcowych, mimo że zjawiska fizyczne w wyniku których powstają te straty są nieporównanie bardziej złożone niż w przypadku strat profilowych. Porównanie na rys.3 wskazuje, że wartość \bar{n}_{\max} zawiera się tu w grani-

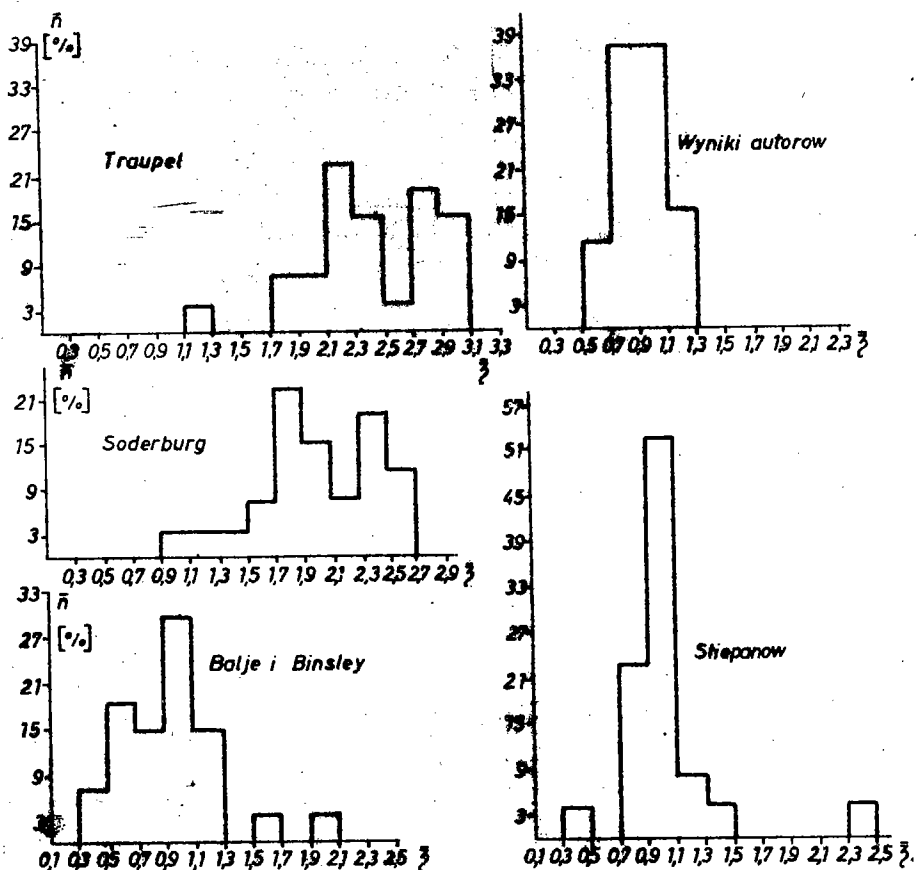
cach od ok. 34% (zależność autorów) do ok. 57% (Stiepanow), a skrajnie wartości $\bar{\xi}_k$ leżą w zakresie 0,3÷1,1 (Stiepanow). Metoda Stiepanowa dała dobry rozkład, lecz z przesuniętą wartością średnią $\bar{\xi}_k$ względem 1.



Rys.3. Porównanie wyników obliczeń strat końcowych z danymi doświadczalnymi

Straty sumaryczne

Poprzednie uwagi odnośnie strat profilowych i końcowych składają się na ocenę strat sumarycznych, które mogą być także przewidywane bezpośrednio, bez odrębnej analizy profilowych i końcowych (jak u Traupela [7] i Soderburga [5]). Niestety obie te metody wykazały nieodpowiednią zgodność z wynikami doświadczeń (rys.4). Z kolei metody dające poprawniejsze wyniki dla strat profilowych w palisadach profili typu reakcyjnego, jak Craiga-Coxa [3] i Koplewewa [4], są niekompletne wobec braku oceny strat końcowych. W tej sytuacji przegląd metod oceny strat sumarycznych wykazał, że tylko 3 z nich wydają się być uzasadnione i porównywalne, tj. Baljego-Binsleya, Stiepanowa oraz autorów. Wszystkie te metody mają wartość średnią równą 1. Metoda Baljego-Binsleya dała największy rozrzut, zależności autorów - najmniejszy, lecz metoda Stiepanowa wydaje się być najlepszą wobec najwyższej wartości



Rys.4. Porównanie wyników obliczeń strat sumarycznych z danymi doświadczalnymi

\bar{n}_{\max} (nieco ponad 50%). Podkreślić tu jednak jeszcze raz należy, że zgodnie z rys. 2, 3 i 4 w ogólnym przypadku żadna z rozpatrywanych metod nie gwarantuje właściwej dokładności oceny strat w palisadzie. Popełnione tu błędy mogą być bardzo znaczne.

4. UWAGI KOŃCOWE

Straty profilowe zależą od wielu czynników, z których część nie jest dokładnie poznana, a inne są bardzo złożone

[6][7][8]. W tym świetle nie wydaje się zaskakujący fakt, że dokładność korelacyjnych metod oceny strat profilowych jest niska. Przy tym jednak rozkłady błędów na rys.2 są gorsze niż można byłoby się spodziewać, a różnice wyników obliczeń między poszczególnymi metodami zbyt znaczne. Świadczyć to może o tym, że podstawowe założenie metod korelacyjnych o zależności strat profilowych przede wszystkim od kątów łopatkowych i stosunkowo nieznacznym na nie wpływie szczegółowego zarysu profili nie jest zadowalająco poprawne.

Jak wiadomo, poszczególne dziedziny (energetyka, lotnictwo itp. a w ich zakresie wiodące wytwórnie turbin dysponują własnymi atlasami profili, między którymi różnice uwarunkowane są zarówno czynnikami obiektywnymi (osobliwości warunków eksploatacji turbiny, właściwości czynnika roboczego i jego parametry itp.) jak i subiektywnymi (tradycje technologiczne, względy prestiżowe, zastrzeżenia patentowe itp.). Wynika stąd istnienie pewnych klas czy typów profili ze względu na zasady tworzenia ich szczegółowego zarysu.

Jak wykazały prace radzieckie [4] [7] oraz Dentona [8], w zakresie odpowiedniej klasy profili możliwe jest opracowanie metod korelacyjnych oceny strat w palisadzie o znacznie podwyższonej dokładności, w stosunku do wyników przedstawionych na rys.2,3,4, wystarczającej przy ocenie strat "a priori" w praktycznych obliczeniach turbin. Potwierdziły to również prace autorów w zastosowaniu do profili CKTI.

BIBLIOGRAFIA

1. Ainley D.G., Mathieson G.C.R.: A method of performance estimation for axial flow turbines. Res Counc. Rep. Memo. 2974, 1951.
2. Balje O.E., Binsley R.L.: Axial turbine performance evaluation. Trans. ASME, J.Eng. for Power, Oct. 1968.
3. Craig H.R.M., Cox H.J.A.: Performance estimation of axial flow turbines. Proc. Inst.Mech. Engrs. 1970-71, vol. 185 32/71.
4. Kopielew S.Z., Tichonow N.P.: Raszczot turbin awiacionnych dwigatielej. Maszynostrojenije, Moskwa 1974.

5. Soderburg C.R. Unpublished note. Gas Turbine Laboratory, Massachusetts Institute of Science and Technology 1949.
6. Stiepanow G. Ju.: Gidromechanika rieszetek turbomaszyn. Fizmatgiz, 1962.
7. Traupel W.: Thermische Turbomaschinen. Springer, Berlin 1977.
8. Denton J.D.: A survey and comparison of methods for predicting the profile loss of turbine blades. Inst.Mech. Engrs. Conference Publication 3, 1973.
9. Golcew W., Kadetow A.: Obobszczennyje eksperymentalnyje zawisimosti dla opriedielenija koeficienta profilnych potier w turbinnych rieszetkach. Trudy CIAM 786/1977.
10. Żukowski G.W., Marczenko Ju. A., Terentew I.K.: Tiepłowyje rasczety parowych i gazowych turbin z pomoszczju EWM. Maszynostrojenije, Leningrad 1983.
11. Smith L., Swan I.: Prediction of profile losses. Trans. ASME, T.83, Ser.D, Nr 3, 1963.
12. Bojko A.W.: Optymalnoje projektirowanije protocznoj czasti osiowych turbin. Wysszaja Szkoła, Charkow 1982.
13. Atlas nowych profilej turbinnych łopatek naprawljajuszczich aparatow i raboczich koles parowych turbin. CKTI, Leningrad 1953.
14. Dunham J., Came P.M.: Improvements, to the Ainley-Mathieson method of turbine performance prediction. Trans. ASME, J.Eng. for Power, Series A, Nr 3, 252/1970.
15. Kocker S.C., Okapuu V.: A mean line prediction method for axial flow turbine efficiency. Trans. ASME, J. Eng. for Power 1/1982.
16. Aroncw B.M., Żukowski M.I., Żurawlew W.A.: Profilirowanije łopatek awiacyjnych gazowych turbin. Maszynostrojenije, Leningrad 1975.
17. Ameljuszkin W.N., Niszniewicz W.I., Czerkasowa N.G.: Profilnyje potieri w rieszetkach parowych i gazowych turbin. Trudy CKTI, wyp. 184, 1981.
18. Pr. zb.: Zagadnienia modernizacji turbin parowych. WPW, Warszawa 1968.
19. Bolte W.: Zur Berechnung und Optimierung des Wirkungsgrades axialer Stromungsmaschinen. VDI Forschungsheft, 501, 1964.
20. Markow N.M.: Calculation of the aerodynamic characteristics of turbine blading. 1958 (Associated Technical Services).
21. Schlichting H.: Application of boundary layer theory in turbomachinery. J. bas. Eng., Trans ASME, December, 1959.
22. Greszaniczenko Ju. W., Nesterenko W.A.: Wtoricznyje tieczeniya w rieszetkach turbomaszyn. Wiszcza Szkoła, Charkow 1983.

КРИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ
В ТУРБИНЫХ РЕШЕТКАХ ПРОФИЛЕЙ

А н н о т а ц и я

Дается обзор методов корреляции при определении потерь в турбинных решетках профилей. Приводятся также зависимости, полученные автором работы. Результаты вычислений, полученные при применении описанного метода, сравниваются с результатами экспериментальных исследований, зачерпнутых в работах [13] и [1]. Показывается, что в общем случае ни один из корреляционных методов не гарантирует хорошей точности результатов.

CRITICAL EVALUATION OF SELECTED METHODS FOR PREDICTING
LOSS IN CASCADES OF TURBINE PROFILES

S u m m a r y

A survey of correlation type methods of predicting loss in cascades of turbine profiles together with variations developed by the authors is presented. Loss results obtained by such methods are compared with test results from [13] and [1]. It has been noted that in a general approach none of the correlation methods ensures good accuracy.