

P O L S K A A K A D E M I A N A U K
INSTYTUT MASZYN PRZEPIYWOYCH

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPIYWOYCH

TRANSACTIONS
OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

70-72

WARSZAWA-POZNAŃ 1976
PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE

PRACE INSTYTUTU MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

poświęcone są publikacjom naukowym z zakresu teorii i badań doświadczalnych w dziedzinie mechaniki i termodynamiki przepływów, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki maszyn przepływowych

*

THE TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF FLUID-FLOW MACHINERY

exist for the publication of theoretical and experimental investigations of all aspects of the mechanics and thermodynamics of fluid-flow with special reference to fluid-flow machinery

KOMITET REDAKCYJNY – EXECUTIVE EDITORS
KAZIMIERZ STELLER – REDAKTOR – EDITOR
JERZY KOŁODKO · JÓZEF ŚMIGIELSKI
ANDRZEJ ŻABICKI

REDAKCJA – EDITORIAL OFFICE
Instytut Maszyn Przepływowych PAN.
ul. Gen. Józefa Fiszer 14, 80-952 Gdańsk, skr. pocztowa 621, tel. 41-12-71

Copyright
by Państwowe Wydawnictwo Naukowe
Warszawa 1976

Printed in Poland

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE – ODDZIAŁ W POZNANIU

Wydanie I. Nakład 630+90 egz. Ark. wyd. 63,25 Ark. druk. 49,25 Papier druk.
sat. kl. V. 65 g., 70×100. Oddano do składania 4 VII 1975 r. Podpisano do druku
w czerwcu 1976 r. Druk ukończono w czerwcu 1976 r. Zam. 528/118. H-16/245.
Cena zł 190,–

DRUKARNIA UNIWERSYTETU IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU

III KONFERENCJA NAUKOWA

na temat

TURBINY PAROWE WIELKIEJ MOCY

Gdańsk, 24 - 27 września 1974 r.

*

IIIrd SCIENTIFIC CONFERENCE

on

STEAM TURBINES OF GREAT OUTPUT

Gdańsk, September 24 - 27, 1974

*

III НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

на тему

ПАРОВЫЕ ТУРБИНЫ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ

Гданьск, 24 - 27 сентября 1974 г.

TADEUSZ TARNOWSKI

Poland*

An Experimental Study of the Flow Pattern Behind the Row of Turbine Blades with the Mass-Injection Through Their Trailing Edges

1. Introduction

The injection of additional mass stream into the main flow through the blading of turbo-machines is intended to cool gas turbine blades operating in elevated temperatures, or to heat working medium of turbines for wet or slightly overheated steam. In wet steam turbine stages the injection of additional mass-flow — especially with the enthalpy higher than that of the main flow — has a positive effect of increasing the degree of the steam dehydration, causing besides the erosion decrease by disintegrating the condensated droplets.

The previous theoretical and experimental investigations [1, 2, 4, 5] concerned mainly the injection through slots in blade trailing edges or in their direct vicinity. They dealt with the flow losses determination and the influence of edge geometry upon the turbine stage efficiency.

The present experimental data supplement the results of other authors. They were obtained during the examination of stator blade cascade while injecting additional mass-flow through blade trailing edges.

2. Experimental procedure

The experiments have been carried out in a subsonic wind tunnel at the Institute of Heat Machinery of Technical University of Częstochowa. The cascade of profiles TPL-1 (Fig. 1) with the thickened trailing edges has been examined.

The cascade walls had holes connecting the inside of each blade with collectors situated at both its sides. Through these holes an additional mass-flow was injected from an external source. A control of the source capacity allowed to obtain a change of the injection coefficient φ defined by the expression

$$\varphi = \frac{U_w}{U_s}, \quad (1)$$

* Technical University, Częstochowa.

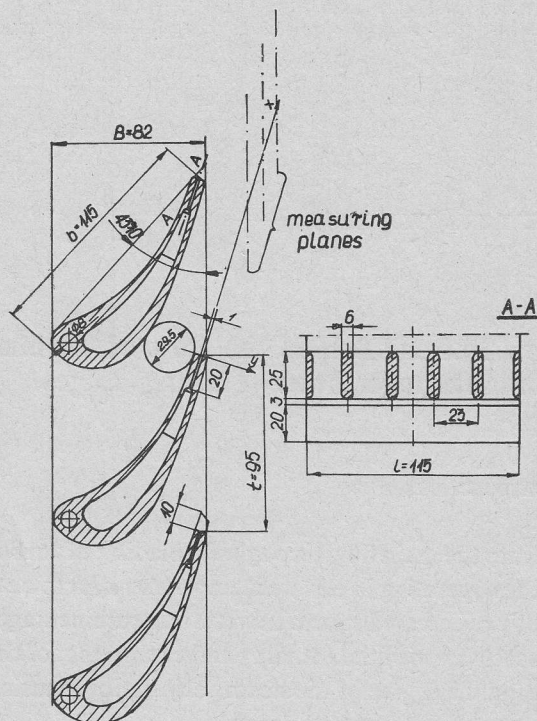


Fig. 1. The investigated blade cascade

where U_w — the velocity of additional mass-flow injected through the slots of blade trailing edges, U_s — the velocity of isentropic expansion of the main flow. The investigations were carried out in a number of planes parallel to the cascade blades in a range of the co-ordinate $x = (1 \div 4) t$ (Fig. 1).

3. Experimental data

The experiment has pointed out that the position of the wake axis defined by the angle $(\alpha_1)_{y=0}$ is practically independent of the injection coefficient φ (see Fig. 2). The angle $(\alpha_1)_{y=0}$ is also independent of the initial turbulence intensity, which is in agreement with the results reported by Elsner [3].

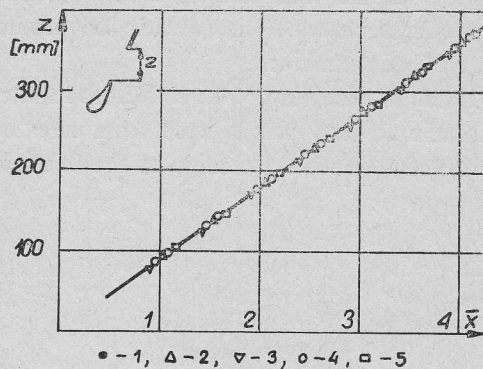


Fig. 2. The wake axis for different values of injection coefficient

1 — $\varphi=0$, 2 — $\varphi=0.6$, 3 — $\varphi=1.04$, 4 — $\varphi=1.63$, 5 — $\varphi=2.04$

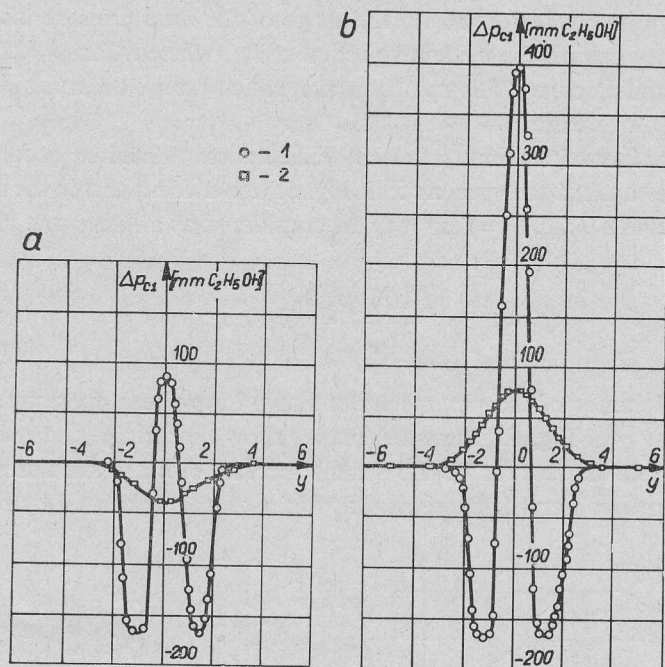


Fig. 3. Total pressure profile a) for $\varphi = 1.5$, b) for $\varphi = 2.0$ determined in the planes $1 - \bar{x} = 0.01$, $2 - \bar{x} = 0.201$

The evolution of the flow pattern in the downstream direction as well as the process of the decay of additional mass-flow were experimentally studied with the aid of a total pressure probe in a number of control planes perpendicular to the wake axis.

The data obtained for the two different values of the injection coefficient $\varphi = 1.5$ and

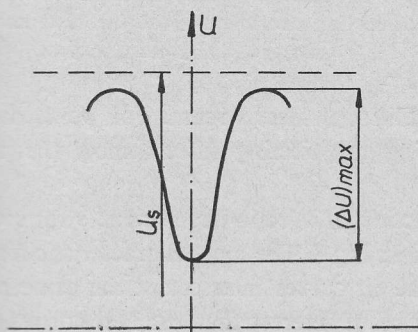


Fig. 4. The method of pressure distribution reduction

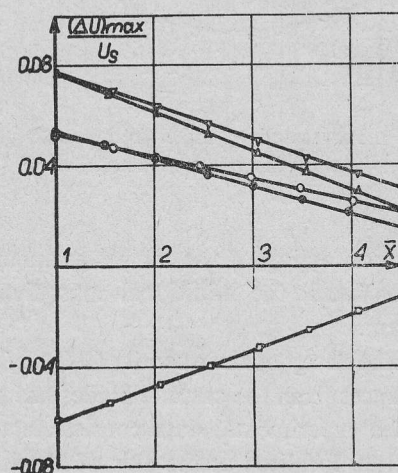


Fig. 5. The relative velocity difference as a function of $\bar{x}$ (values of φ according to Fig. 2)

$\varphi=2.0$ are shown in Fig.3. For $\varphi=1.5$ the shape of the total pressure distribution across the wake does not exhibit the evident injection effect, whereas for $\varphi=2.0$ the stream injected through trailing edges "fills up" the wake, which can be observed even for the large values of the $\bar{x}$ co-ordinate.

The relative values of maximum velocity differences, calculated according to Fig. 4, have been plotted against the variable $\bar{x}$ in Fig. 5. It is evident that in the investigated flow range the function $(\Delta U)_{\max}/U_s = f(\bar{x})$ may be considered as a linear one and expressed by the relation

$$\frac{(\Delta U)_{\max}}{U_s} = m\bar{x} + n. \quad (2)$$

Experimental values of the parameters m and n have been expressed in terms of injection coefficient φ in Fig. 6. Presented curves show that for $\varphi < 1$ the both parameters are nearly constant, whereas for $\varphi > 1.5$ a rapid increase of n and simultaneous decrease of m parameter can be observed. It seems that for $\varphi < 1$ this is caused by the simultaneous

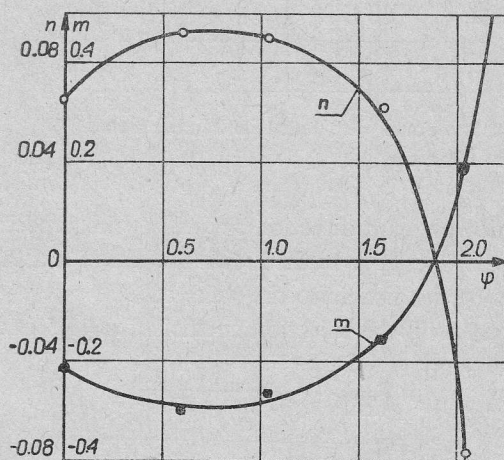


Fig. 6. Parameters m and n from eq. (2) plotted against the injection coefficient φ

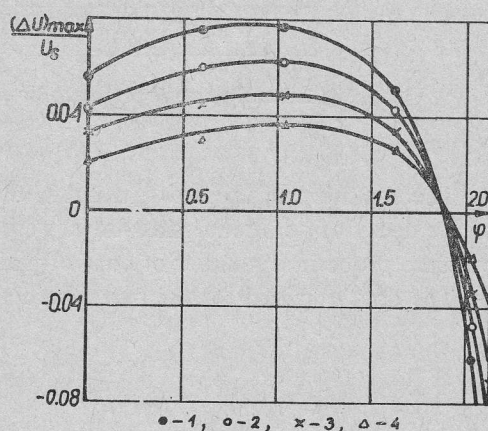


Fig. 7. The relative velocity difference in terms of injection coefficient φ at the distances $1-\bar{x}=1$, $2-\bar{x}=2$, $3-\bar{x}=3$, $4-\bar{x}=4$

injection action of the main stream upon the additional mass stream. For $\varphi > 1$, on the other hand, the additional mass-flow is causing an ejecting effect upon the main stream.

The decay of the quantity $(\Delta U)_{\max}/U_s$ as a function of injection coefficient φ for several distances from the cascade blades has been shown in Fig.7. The most characteristic feature of the experimental data consists in the fact that all curves intersect at the same point $\varphi \cong 1.90$ localised at the axis of abscissa. It may be of interest that $\varphi \cong 1.90$ corresponds approximately to the value for which the both parameters m and n from eq. (2) are equal to zero.

4. Final remarks

The experimental data presented above permit to formulate the following conclusions:

- in the range of injection coefficient $\varphi < 1.0$ its influence upon the shape of pressure and velocity distribution in the wake behind the cascade blade is negligibly small,
- the wake is "filled up" with the additional mass-flow not until the injection coefficient reaches its critical value $\varphi = 1.90$,
- for the given geometry of a cascade blade the mass-flow injection does not change the localization of the wake axis determined by the angle $(\alpha_1)_{y=0}$.

Acknowledgment. The author wishes to express his sincere thanks to J. W. Elsner for many valuable suggestions and his continued guidance in all phases of this work.

References

- [1] E. N. Bogomolov, *K voprosu o vlijanii na effektivnost' gazovoj turbiny vypuska v ee protočnuju čast' ochładzajuščego vozducha iz lopatok*. Iz. VUZ. Aviacionnaja tehnika No. 2, 1966.
- [2] E. N. Bogomolev, *Ob učetie kromočnych javlenij pri opriedelenii effektivnosti turbinnych rešetok imiejuščich vozdušnoje ochładzdenije s vypuskom ochładzajuščego vozducha iz vychodnych kromok lopatok*. Iz. VUZ. Aviacionnaja tehnika No. 2, 1969.
- [3] J. Elsner, *Influence of the initial turbulence of flow on the evolution of wakes behind cascade blades*. Archiwum Budowy Maszyn No. 3, 1968.
- [4] L. J. Lazarev, *Issledovanije vlijanija formy vychodnoj kromki na effektivnost' ochładzajemych profilej sopłowych i rabočich rešetok*. Iz. VUZ. Aviacionnaja tehnika No. 1, 1973.
- [5] V. D. Venediktov, *Issledovanije turbinnoj stupieni pri vypuskie ochładzajuščego vozducha na vognutoj povierchnosti sopłowych lopatok*. Teploenergetika No. 7, 1972.

Doświadczalne badanie przepływu za palisadą profili przy wydmuchu czynnika przez krawędzie spływu łopatek

Streszczenie

Wydmuch dodatkowego strumienia masy do kanału przepływowego maszyn wirnikowych, mający na celu chłodzenie łopatek w turbinach gazowych lub podgrzewanie roboczego medium w turbinach na parę mokrą, był przedmiotem szeregu teoretycznych i doświadczalnych prac badawczych.

Przedstawiony w referacie materiał doświadczalny uzyskano podczas badań prowadzonych w tunelu aerodynamicznym, przy wydmuchu dodatkowego strumienia masy poprzez szczeliny w krawędziach spływu łopatek badanej palisady modelowej. Dodatkowy strumień masy doprowadzony do wnętrza łopatek poprzez specjalne kolektory z zewnętrznego źródła dmuchu — był określany za pomocą współczynnika wydmuchu $\varphi = U_w/U_s$, który jako podstawowy parametr zmienny był zawarty w trakcie doświadczenia w przedziale $\varphi = 0 \div 2$. Pomiaru pola prędkości były prowadzone w równoległych do palisady płaszczyznach kontrolnych w zakresie odległości $x = (1 \div 4)t$.

Przytoczony materiał doświadczalny pozwala wysnuć następujące wnioski końcowe:

- w szerokim zakresie wartości współczynnika φ , strumień dodatkowej masy jest w przepływie za krawędzią łopatki stosunkowo szybko rozmywany,
- wydmuch nie powoduje zauważalnej zmiany kąta spływu strumienia,
- „wypełnianie” śladu krawędziowego występuje przy wartościach $\varphi > 1.9$.

Экспериментальное исследование течения за решеткой профилей при выпуске среды через выходные кромки лопаток

Резюме

Выпуск добавочного потока массы в проточный канал роторных машин, который применяется в газовых турбинах с целью охлаждения лопаток, а во влажнопаровых турбинах с целью подогрева рабочей среды, являлся предметом ряда теоретических и экспериментальных исследований.

Экспериментальный материал, представленный в докладе, накоплен во время исследований, проведенных в аэродинамической трубе при выхлопе добавочного потока массы через щели в выходных кромках исследуемой модельной решетки. Добавочный поток массы, подаваемый во внутреннюю полость лопаток из внешнего источника через специальные коллекторы, определялся при помощи коэффициента выпуска $\varphi = U_w/U_s$, который, являясь основным переменным параметром, заключался в пределах $\varphi = 0 \div 2$. Измерения поля скоростей проводились в параллельных к решетке контрольных плоскостях в диапазоне расстояний $x = (1 \div 4) t$.

На основе представленного экспериментального материала можно сделать следующие заключительные выводы:

- в широком диапазоне значений коэффициента φ добавочный поток массы быстро размывается в потоке за выходной кромкой лопатки,
- выпуск не причиняется к заметному изменению выходного угла потока,
- „заполнение” кромочного следа происходит при значениях $\varphi > 1,9$.