

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

PRACE
INSTYTUTU MASZYN
PRZEPIYWOVYCH

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.

ВИКТОР ПИМСНЕР, НИКОЛЯЭ БЭРАН

Румыния*

Соотношение между конструктивным решением выходной кромки и распределением скоростей на контуре профиля лопатки турбины

Цель работы — это определение, путем аналитического подхода, влияния конструктивной формы выходной кромки лопатки турбины на распределение скоростей на контуре профиля исследуемой лопатки.

Метод интегральных уравнений, принятый в настоящей работе, является одним из известных методов определения распределения скоростей на контуре профилей [1, 2, 3].

Выражение для потенциала течения жидкости через решетку получается из зависимости:

$$\varphi(x_0, y_0) + i\psi(x_0, y_0) = w_m(\cos \beta_m - i \sin \beta_m)(x_0 + iy_0) + \frac{1}{2\pi i} \int_L w(\sigma) \log \sin \frac{\pi}{t} (\zeta - z_0) d\sigma, \quad (1)$$

где обозначают (рис. 1): $z_0 = z_0(x_0, y_0)$ — точка в области течения, $\zeta = \zeta(\xi, \eta)$ — подвижная точка на контуре профиля, σ — криволинейная координата подвижной точки, w_m — модуль средней векторной скорости, β_m — угол отклонения потока в решетке, t — шаг решетки.

Предполагая, что в уравнении (1) выделяется реальная часть от мнимой, для реальной части получается:

$$\varphi(x_0, y_0) = w_m(x_0 \cos \beta_m + y_0 \sin \beta_m) + \frac{1}{2\pi} \int_L w(\sigma) \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{th} \frac{\pi}{t} (\eta - y_0)}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{t} (\xi - x_0)} d\sigma. \quad (2)$$

Циркуляция скорости на контуре профиля получается из зависимости:

$$\Gamma = \int_L w(\sigma) d\sigma = \varphi_B - \varphi_0, \quad (3)$$

где $\varphi_B - \varphi_0$ — скачок потенциала скорости по длине всего контура профиля.

* Политехнический институт им. Г. Георгиу Дэжа, Бухарест.

Пользуясь равенством $w(\sigma) d\sigma = d\varphi$ уравнение (2) получает форму:

$$\varphi(x_0, y_0) = w_m(x_0 \cos \beta_m + y_0 \sin \beta_m) + \frac{1}{2\pi} \int_L \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{th} \frac{\pi}{t} (\eta - y_0)}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{t} (\xi - x_0)} d\varphi. \quad (4)$$

При расчете неопределенного интеграла правой части уравнения (4) получается:

$$\varphi(x_0, y_0) = w_m(x_0 \cos \beta_m + y_0 \sin \beta_m) + \frac{1}{2} \Gamma \theta_B(x_0, y_0; x_B, y_B) - \frac{1}{2\pi} \int_L \varphi(\sigma) \frac{d\theta(x_0, y_0; \xi, \eta)}{d\sigma} d\sigma, \quad (5)$$

где обозначают:

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{th} \frac{\pi}{t} (\eta - y_0)}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{t} (\xi - x_0)}, \quad \theta_B = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{th} \frac{\pi}{t} (y_B - y_0)}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{t} (x_B - x_0)},$$

x_B, y_B — координаты выходной кромки профиля.

В случае, когда точка $z_0(x_0, y_0)$ в области течения (рис. 1) приближается к точке $z(x, y)$ на контуре профиля, уравнение (5) в предельных условиях принимает форму:

$$\varphi(x, y) = w_m(x \cos \beta_m + y \sin \beta_m) + \frac{\Gamma}{2\pi} \theta_B(x, y; x_B, y_B) - \frac{1}{2} \lim_{\substack{x_0 \rightarrow x \\ y_0 \rightarrow y}} \int_L \varphi(\sigma) \frac{d\theta(x_0, y_0; \xi, \eta)}{d\sigma} d\sigma. \quad (6)$$

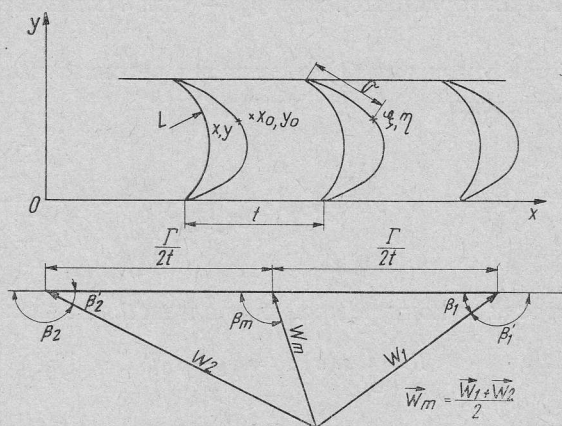


Рис. 1. Плоское течение через решетку профилей

Для расчета предела интеграла уравнения (6) определяется в первой очереди значение производной $d\theta/d\sigma$, а во второй — исключая неопределенность, появляющуюся в случае пользования правилом Хоспитала, получается:

$$\varphi(x, y) = w_m(x \cos \beta_m + y \sin \beta_m) + \frac{\Gamma}{2\pi} \theta_B(x, y; x_B, y_B) -$$

$$- \left[\frac{1}{2\pi} \int \varphi(\sigma) \frac{d\theta(x, y; \xi, \eta)}{d\sigma} d\sigma - \frac{\varphi(x, y)}{2} \right]$$

или

$$\varphi(s) = 2w_m(x \cos \beta_m + y \sin \beta_m) + \frac{\Gamma}{\frac{1}{4}\pi} \theta_B(s, s_B) - \frac{1}{\pi} \int_L \varphi(\sigma) \frac{d\theta(s, \sigma)}{d\sigma} d\sigma, \quad (7)$$

где s — криволинейная координата, соответствующая неподвижной точке на контуре профиля, $z(x, y)$.

Пользуясь обозначениями:

$$K = \frac{1}{\pi} \theta(s, \sigma) = \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{th} \frac{\pi}{t} (\eta - y)}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{t} (\xi - x)}, \quad K_B = \frac{1}{\frac{1}{4}\pi}, (s, s_B) = \frac{1}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{th} \frac{\pi}{t} (y_B - y)}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{t} (x_B - x)}$$

уравнение (7) получает форму:

$$\varphi(s) = 2w_m(x \cos \beta_m + y \sin \beta_m) + \Gamma K_B - \int_L \varphi(\sigma) \frac{dK(s, \sigma)}{d\sigma} d\sigma. \quad (8)$$

Уравнение (8) является интегральным уравнением второго порядка, типа Фредгольма; из вышеуказанного уравнения получается значение потенциала скорости в точке на контуре профиля с криволинейной координатой s .

Интегральное уравнение (8) после деления на $tw_m \sin \beta_m$ получает форму:

$$\frac{\varphi(s)}{tw_m \sin \beta_m} = 2 \frac{x}{t} \operatorname{ctg} \beta_m + 2 \frac{y}{t} + \frac{K_B \Gamma}{tw_m \sin \beta_m} - \int_L \frac{\varphi(\sigma)}{tw_m \sin \beta_m} \frac{dK(s, \sigma)}{d\sigma} d\sigma.$$

Обозначая:

$$\bar{x} = \frac{x}{t}, \quad \bar{y} = \frac{y}{t}, \quad \bar{\Gamma} = \frac{\Gamma}{tw_m \sin \beta_m}, \quad \bar{\varphi} = \frac{\varphi}{tw_m \sin \beta_m},$$

получается интегральное уравнение:

$$\bar{\varphi}(s) = 2\bar{x} \operatorname{ctg} \beta_m + 2\bar{y} + \bar{\Gamma} K_B - \int_L \bar{\varphi}(\sigma) \frac{dK(s, \sigma)}{d\sigma} d\sigma, \quad (9)$$

высшее общее решение:

$$\bar{\varphi}(s) = \varphi^{(x)}(s) \operatorname{ctg} \beta_m + \varphi^{(y)}(s) + \bar{\Gamma} \varphi^{(\Gamma)}(s), \quad (10)$$

где обозначают $\varphi^{(x)}$ — потенциал скорости продольного обтекания решетки параллельно оси решетки, $\varphi^{(y)}$ — потенциал скорости поперечного обтекания параллельно нормали на ось решетки, $\varphi^{(r)}$ — потенциал скорости чисто циркуляционного обтекания решетки, φ — потенциал скорости результирующего обтекания решетки.

Решение интегрального уравнения (9) выполняется с приближением при замене его системой, состоящей из трех уравнений, а именно:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_i^{(x)} + \sum_{(j)} A_{i,j} \varphi_j^{(x)} &= 2\bar{x}_i, \\ \varphi_i^{(y)} + \sum_{(j)} A_{i,j} \varphi_j^{(y)} &= 2\bar{y}_i, \\ \varphi_i^{(r)} + \sum_{(j)} A_{i,j} \varphi_j^{(r)} &= K_{i,B}, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где $A_{i,j} = K_{i,j+1} - K_{i,j-1}$ ($i = 1, 3, \dots, 2n-1$, $j = 1, 3, \dots, 2n-1$), n — число точек размещенных на контуре профиля, i — точки, в которых будут найдены значения скорости на контуре профиля.

Любое уравнение системы (11) является системой n уравнений с n неизвестными; решение данной системы легко проводится методом К. Ф. Гаусса [4], с вычислениями на ЭЦВМ.

Путем решения системы (11) получают значения неизвестных, т.е. значения функций $\varphi^{(x)}$, $\varphi^{(y)}$, $\varphi^{(r)}$ во всех точках i .

Общее решение интегрального уравнения (9) для i точек расчета скорости принимает форму:

$$\bar{\varphi}_i = \varphi_i^{(x)} \operatorname{ctg} \beta_m + \varphi_i^{(y)} + \bar{\Gamma} \varphi_i^{(r)}. \quad (12)$$

Неизвестными в данном уравнении являются: $\bar{\Gamma}$, $\operatorname{ctg} \beta_m$, $\bar{\varphi}_i$.

Значение циркуляции скорости на контуре профиля в решетке получается по [1], а именно:

$$\bar{\Gamma} = \frac{\Delta \varphi_{2n-1,1}^{(x)} \operatorname{ctg} \beta_1 + \Delta \varphi_{2n-1,1}^{(y)}}{1 - \Delta \varphi_{2n-1,1}^{(r)} + \frac{1}{2} \Delta \varphi_{2n-1,1}^{(x)}}, \quad (13)$$

где:

$$\Delta \varphi_{2n-1,1}^{(x)} = \varphi_{2n-1}^{(x)} - \varphi_1^{(x)}, \quad \Delta \varphi_{2n-1,1}^{(y)} = \varphi_{2n-1}^{(y)} - \varphi_1^{(y)}, \quad \Delta \varphi_{2n-1,1}^{(r)} = \varphi_{2n-1}^{(r)} - \varphi_1^{(r)}.$$

Из [1] следует, что:

$$\bar{\Gamma} = \operatorname{ctg} \beta_1 - \operatorname{ctg} \beta_2. \quad (14)$$

Если известно значение входного угла потока в решетке (β_1), тогда из (14) получается значение $\operatorname{ctg} \beta_2$, а также значение угла выхода потока из решетки (β_2).

Значение второй неизвестной уравнения (12) определяется из зависимости [1]:

$$\operatorname{ctg} \beta_m = \frac{1}{2}(\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2). \quad (15)$$

Если известны значения $\bar{\Gamma}$ и $\operatorname{ctg} \beta_m$ тогда можно найти из уравнения (12) значение потенциала результирующего обтекания решетки в n точках.

Значение скорости в i точках получается путем дифференцирования потенциала скорости с использованием формул численного дифференцирования Ньютона и Стир-

линга. С помощью вышеуказанных формул получается значение производной потенциала скорости, т.е. скорости в точке i в зависимости от значений потенциала скорости в точках по соседству к точке i . Учитывается, что контур профиля является интервалом, состоящим из n равных участков длиной Δs ; предполагается, что в каждом участке значение $\bar{\varphi}$ постоянно и получает значение, которое функция $\bar{\varphi}$ имеет в точке i , размещенной по середине данного участка.

Для точек i в начале интервала используется формула Ньютона „вперед”, имеющая общий вид:

$$\left(\frac{d\varphi}{ds}\right)_{s=s_0} = \frac{1}{12\Delta s} (-22\varphi_0 + 36\varphi_1 - 18\varphi_2 + 4\varphi_3). \quad (16)$$

Отмечается, что в уравнении (16), для расчета значения производной φ в точке абсциссы $s=s_0$, необходимо узнать значение функции φ в следующих трех точках, т.е. значения $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$.

Для точек i в конце интервала используется формула Ньютона „назад”, имеющая общий вид:

$$\left(\frac{d\varphi}{ds}\right)_{s=s_0} = \frac{1}{12\Delta s} (-4\varphi_{-3} + 18\varphi_{-2} - 36\varphi_{-1} + 22\varphi_0). \quad (17)$$

В последнем уравнении, для получения значения производной φ необходимы значения функции φ в трех точках, размещенных до точки расчета, т.е. значения $\varphi_{-1}, \varphi_{-2}, \varphi_{-3}$.

Для расчета скорости в точках i , размещенных по середине интервала возможно использование как формулы Ньютона, так и формулы Стирлинга:

$$\left(\frac{d\varphi}{ds}\right)_{s=s_0} = \frac{1}{12\Delta s} (\varphi_{-2} - 8\varphi_{-1} + 8\varphi_1 - \varphi_2). \quad (18)$$

Из уравнения (18) следует, что для получения значения скорости в точке абсциссы $s=s_0$, необходимы значения функции φ для 2 точек по одной и 2 точек по другой стороне точки расчета.

Формулы (16), (17), (18) могут быть применены отдельно для выпуклой и вогнутой частей профиля; значение Δs в этом случае различно для выпуклой части (Δs_E) и для вогнутой (Δs_I).

На основании вышеуказанного разработан расчетный алгоритм (рис. 2), используемый для разработки программы на языке ФОРТРАН.

Применяя разработанную вычислительную программу получается распределение скоростей на контуре профиля T_1 (рис. 3); таким образом были определены значения скорости в 50 точках, размещенных на контуре профиля, среди которых 29 точек на выпуклой и остальные 21 — на вогнутой стороне профиля.

На рис. 3 отмечается удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных [1].

Из расчета получено значение выходного угла потока $\beta'_2 = 15,32^\circ$. Это значение близко экспериментальному $\beta'_{2эк} = 16^\circ$.

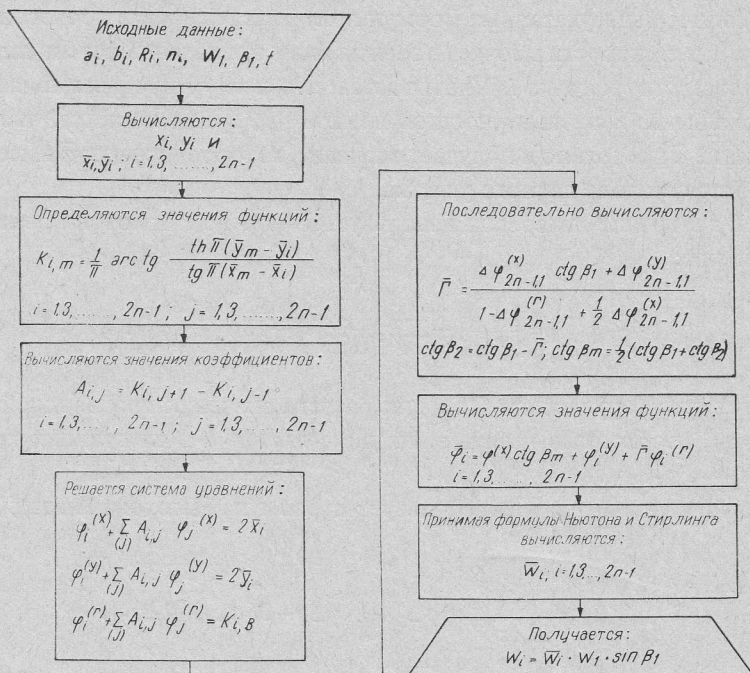


Рис. 2. Упрощенная схема расчетного алгоритма для определения распределения скоростей на контуре профилей путём применения метода интегральных уравнений

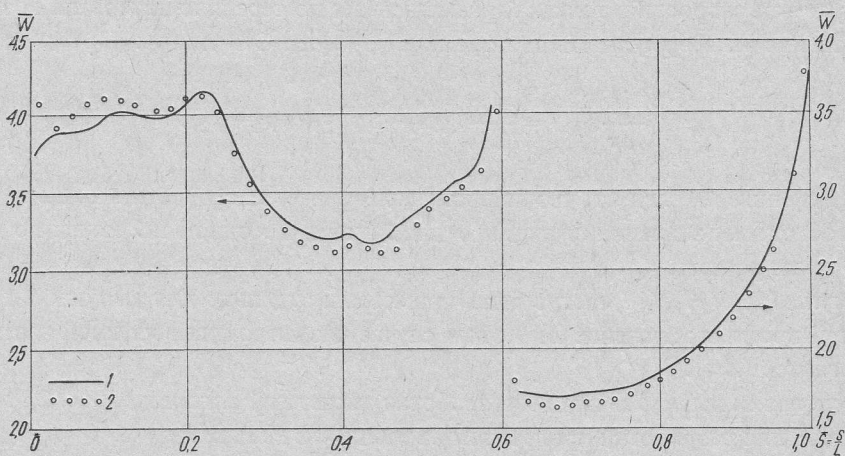


Рис. 3. Распределение скоростей на контуре профиля T_1 для: $\bar{t} = 0,646$, $\beta'_1 = 160^\circ$
 1 — результаты расчета, $\beta'_2 = 15,32^\circ$, 2 — экспериментальные данные, $\beta'_2 \text{ экс} = 16^\circ$

Зная конфигурацию решетки, контур профиля, скорость жидкости на входе в решетку (w_1), угол входа потока в решетку (β_1) и применяя вышеуказанный метод, можно определить с удовлетворительной точностью как распределение скоростей на контуре профиля в решетке, так и значение угла выхода потока (β'_2) из решетки. Отмечается, что форма контура профиля получается либо путем уточнения ко-

ординат (a_i, b_i) центров кругов или их радиусов (R_i), которые служили конструкции, либо пользуясь располагаемым рядом точек на контуре изучаемого профиля.

Применение быстрого метода расчета позволило перейти к изучению влияния формы выходной кромки на распределение скоростей на контуре профиля; данное влияние косвенно отражается в значениях профильных потерь и к.п.д. решетки.

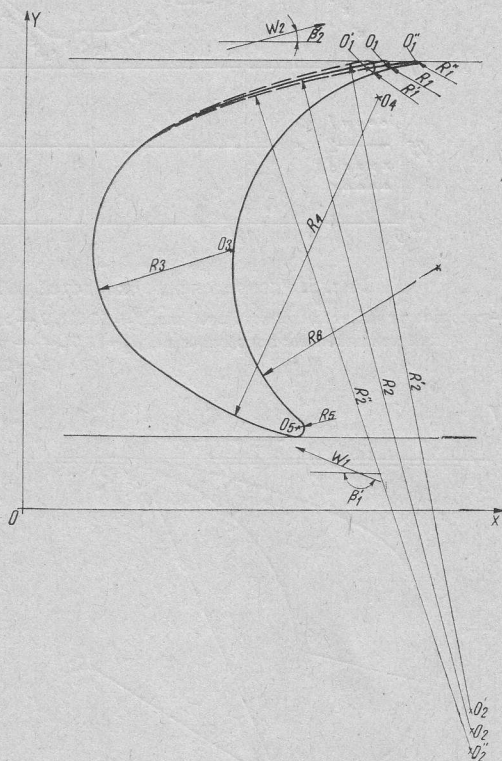


Рис. 4. Выполнение нового типа выходной кромки путём модификации формы выпуклой части профиля

Пользуясь известными в литературе практическими методами [5] разработаны различные конструктивные формы выходной кромки турбинной лопатки. Данные формы получены путём:

- а) модификации формы выпуклой части профиля,
- б) модификации хорды профиля,
- в) модификации формы вогнутой части профиля.

Форма выпуклой части профиля вблизи выходной кромки модифицирована путём замены радиуса кривизны выпуклой части и сохранения постоянной формы вогнутой части и постоянной ширины решетки.

Таким образом, для начального радиуса кривизны R_2 выпуклой части профиля (рис. 4) применились два значения R'_2 и R''_2 .

Для $R'_2 < R_2$ и центра круга радиусом R'_2 , который выбран с возможностью повышения толщины выходной кромки, получилась новая форма выходной кромки (рис. 4); в этом случае распределение скоростей на выпуклой части профиля сильно изменяется (рис. 5). Значение угла β'_2 повышается от $15,32^\circ$ до $18,5^\circ$.

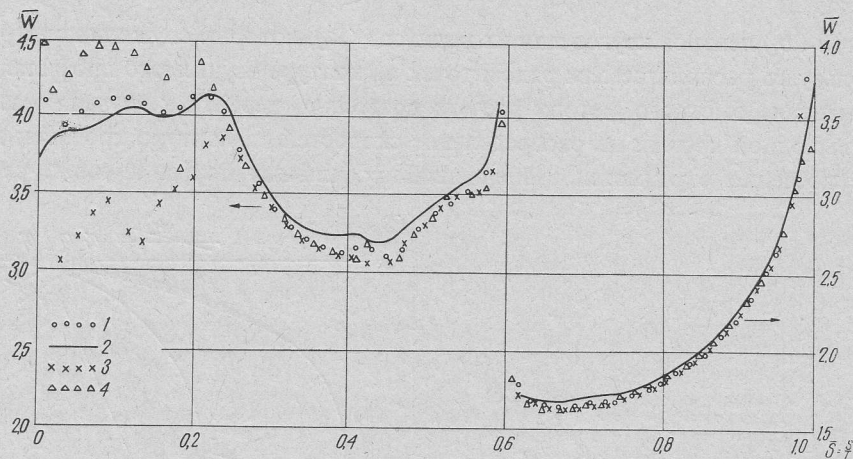


Рис. 5. Распределение скоростей на контуре T_1 для: $\bar{t} = 0,646$, $\beta'_1 = 160^\circ$

1 — результаты расчета исходного профиля, $\beta'_2 = 15,32^\circ$, 2 — экспериментальные данные, $\beta'_2 \text{ экс} = 16^\circ$, 3 — профиль с большей толщиной выходной кромки, $\beta'_2 = 18,5^\circ$, 4 — профиль с меньшей толщиной выходной кромки, $\beta'_2 = 13,86^\circ$

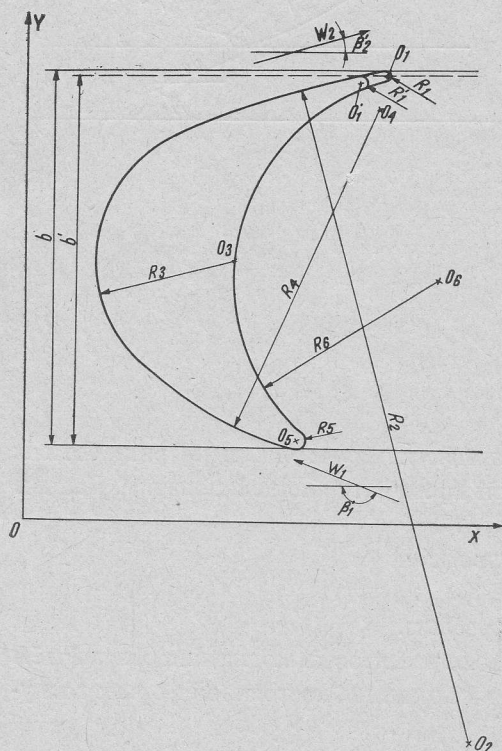


Рис. 6. Выполнение нового типа выходной кромки путём модификации ширины решетки профилей

Для $R'_2 > R_2$ и центра круга радиусом R'_2 , который выбран таким образом, чтобы толщина выходной кромки была меньше чем толщина исходного профиля, скорость на выпуклой части профиля повышается значительно (рис. 5); угол β'_2 уменьшается от $\beta'_2 = 15,32^\circ$ до $13,86^\circ$.

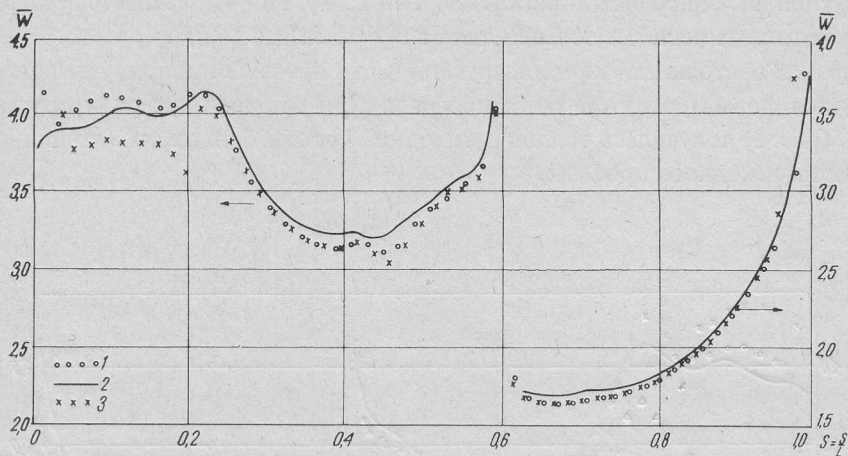


Рис. 7. Распределение скоростей на контуре профиля T_1 для: $\bar{t} = 0,646$, $\beta'_1 = 160^\circ$

1 — результаты расчета исходного профиля, $\beta'_2 = 15,32^\circ$, 2 — экспериментальные данные, $\beta'_2 \text{ экс} = 16^\circ$, 3 — профиль с уменьшенной хордой (ширина решетки уменьшена), $\beta'_2 = 16,67^\circ$

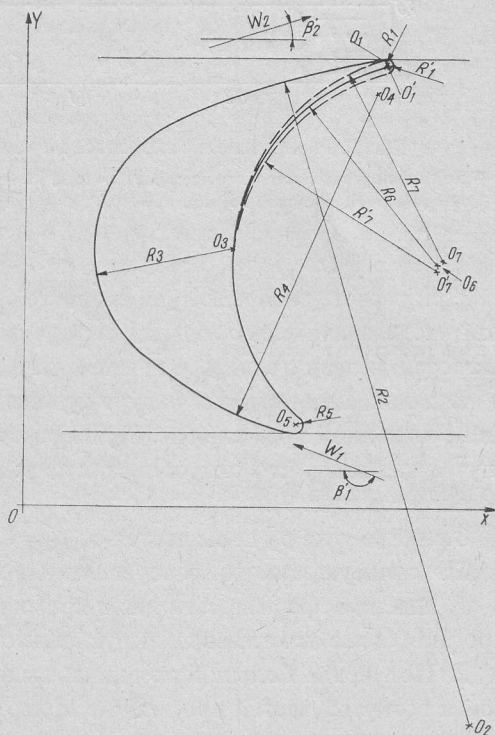


Рис. 8. Выполнение нового типа выходной кромки путём модификации вогнутой части

Модификация хорды профиля с поддержанием приблизительно постоянных форм выпуклой и вогнутой частей профиля приводит к модификации ширины лопаточной решетки (рис. 6). В этих условиях уменьшение ширины решетки приводит к повышению толщины выходной кромки; вследствие вышеуказанного скорость

на выпуклой части профиля понижается, а на вогнутой — повышается (рис. 7). Угол выхода потока из решетки повышается от $\beta'_2 = 15,32^\circ$ до $16,67^\circ$.

Сохраняя постоянные формы выпуклой части профиля и ширину решетки, модифицируется форма вогнутой части профиля. При выборе двух радиусов кривизны R'_7 и R'_1 (рис. 8) получилась толщина выходной кромки больше, чем толщина выходной кромки исходного профиля.

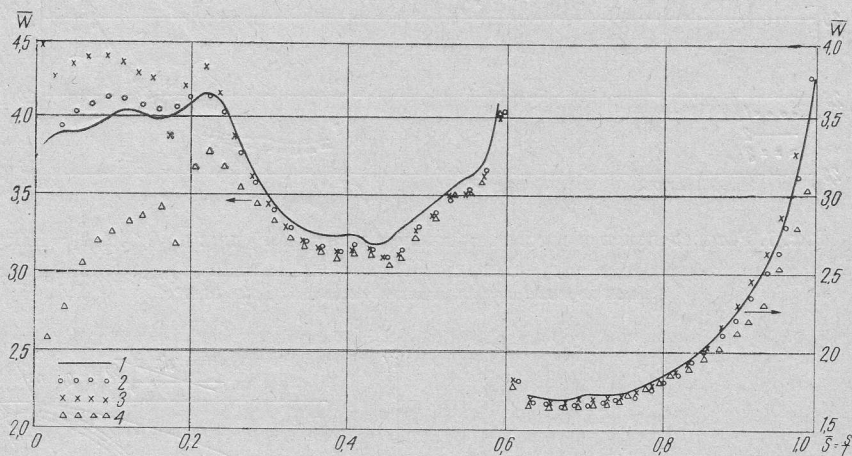


Рис. 9. Распределение скоростей на контуре профиля T_1 для: $\bar{t} = 0,646$, $\beta'_1 = 160^\circ$

1 — результаты расчета исходного профиля, $\beta'_2 = 15,32^\circ$, 2 — экспериментальные данные, $\beta'_{2 \text{ экс}} = 16^\circ$, 3 — профиль с большей толщиной выходной кромки, $\beta'_2 = 14,43^\circ$, 4 — профиль с меньшей толщиной выходной кромки, $\beta'_2 = 19,43^\circ$

При расчете распределения скоростей (рис. 9) отмечается, что скорость на выпуклой части значительно повышается, в то время как на вогнутой части изменения скорости незначительны. Значение угла β'_2 уменьшается от $\beta'_2 = 15,32^\circ$ до $14,43^\circ$.

В дальнейшем выбран радиус кривизны R_7 , соответствующий наименьшей толщине выходной кромки (рис. 8); из рассчитанного распределения скоростей в этом случае вытекает, что скорость, как на выпуклой части профиля, так и на вогнутой, понижается (рис. 9).

Значение угла β'_2 повышается от $\beta'_2 = 15,32^\circ$ до $19,43^\circ$.

Из вышеуказанного распределения скоростей вытекают следующие выводы:

1. Влияние формы выходной кромки на распределение скоростей на контуре профиля более отчетливо на выпуклой части и менее — на вогнутой.
2. Получение большой толщины выходной кромки путём модификации выпуклой и вогнутой частей профиля не приводит к одинаковому распределению скоростей, а наоборот, получаются очень отличающиеся распределения скоростей, а также отличающиеся значения угла выхода потока из решетки.
3. Форма выходной кромки лопатки заметно влияет на распределение скоростей на контуре профиля лопатки; данное влияние оказывается отчетливым также и в структуре пограничного слоя профиля, т.е. и в профильных потерях.

Зная распределения скоростей для различных конструктивных форм выходной кромки можно, на основе теории пограничного слоя, более точно определить влияние формы выходной кромки на величины, характерные для пограничного слоя профиля, и на значение профильных потерь решеток лопаток турбомашин.

Литература

- [1] М. И. Жуковский, *Аэродинамический расчет потока в осевых турбомашинах*. Машиностроение, Ленинград 1967.
- [2] W. Albring, *Angewandte Strömungslehre*. Theodor Steinkopf, Dresden 1966.
- [3] А. Н. Шерстюк, *Расчет течений в элементах турбомашин*. Машиностроение, Москва 1967.
- [4] A. D. Myskis, *Introductory Mathematics for Engineers — Lectures in Higher Mathematics*. Mir Publishers, Moscow 1972.
- [5] М. Е. Дейч, Г. А. Филиппов, Л. Я. Лазарев, *Атлас профилей решеток осевых турбин*. Машиностроение, Москва 1965.

Залежność pomiędzy konstrukcją krawędzi wylotowej i rozkładem prędkości na obwodzie profilu łopatki turbinowej

Streszczenie

Celem niniejszej pracy jest określenie wzajemnej zależności pomiędzy rozwiązaniem konstrukcyjnym krawędzi wylotowej i rozkładem prędkości na obwodzie profilu łopatki turbinowej dla określenia sprawności danej palisady.

Uwzględniając przepływ potencjalny przez palisadę i znając strukturę palisady, kształt profilu łopatki, prędkość czynnika roboczego na wlocie do palisady i kąt wlotowy strumienia można określić, na podstawie rozpracowanej metody obliczeń, rozkłady prędkości na obwodzie profilu w palisadzie i wartości kąta wypływu strumienia z palisady.

Metodologię obliczeń rozkładów prędkości na obwodzie profilu oparto na metodzie równań całkowych; na obwodzie profilu wybrano 50 punktów (29 punktów na stronie wypukłej i 21 na stronie wklęsłej), w których obliczono wartości potencjału prędkości przepływu przez palisadę. W wyniku przeprowadzonego numerycznego różniczkowania potencjału prędkości otrzymano wartości prędkości w danych punktach. Obliczeniowy rozkład prędkości zgodny jest z danymi eksperymentalnymi.

Opierając się danej metodologii obliczeń opracowano algorytm i program w języku FORTRAN na maszynie cyfrową.

Dzięki zastosowaniu szybkiego sposobu liczenia rozkładu prędkości na obwodzie profilu łopatki możliwe było rozeznanie wpływu kształtu krawędzi wylotowej na rozkład prędkości na obwodzie profilu.

Różne kształty krawędzi wylotowej łopatki turbinowej osiągnęto drogą:

- a) modyfikacji kształtu części wypukłej profilu,
- b) modyfikacji szerokości palisady,
- c) modyfikacji kształtu części wklęsłej profilu.

Dla każdego kształtu konstrukcyjnego krawędzi wylotowej obliczono rozkład prędkości na obwodzie profilu i wartość kąta wypływu strumienia z palisady. Z obliczeń rozkładów prędkości wynikają następujące wnioski:

— wykonanie krawędzi wylotowej o grubości większej lub mniejszej niż grubość danego profilu oraz modyfikacji części wypukłej lub wklęsłej profilu prowadzi do nowych rozkładów prędkości i do nowych wartości kątów wypływu strumienia z palisady, wyraźnie różniących się między sobą,

- rozwiązanie konstrukcyjne krawędzi wylotowej łopatki wpływa na rozkład prędkości na obwodzie profilu; wpływ ten jest silniejszy na części wypukłej profilu,
- przyjmując rozkład prędkości na obwodzie profilu jako znany dla różnych rozwiązań konstrukcyjnych krawędzi wylotowej, można opierając się na teorii warstwy przyściennej, określić wpływ krawędzi wylotowej na strukturę i wielkości charakterystyczne warstwy przyściennej, tj. na sprawność danej palisady.

A Relationship Between the Constructional Form of an Outlet Edge and the Velocity Distribution on a Turbine Blade Curvature

Summary

This paper is aimed at determination of a relationship between the constructional form of an outlet edge and the velocity distribution on a turbine blade curvature in order to determine the efficiency of a blade cascade.

The potential flow has been taken into account. On the basis of the development method it was possible to determine the velocity distribution on the profile curvature and the outlet angle, when the cascade structure, the profile of a blade, the inlet velocity and the angle of the fluid stream were assumed as known.

A method of integral equations has been assumed as a basis of the velocity distribution calculations. To this end 50 points have been selected on the profile curvature (29 of them on the convex side and 21 on the concave one) for which the calculations of the overall cascade flow velocity potential values have been carried out. Numerical differentiation of the above mentioned velocity potential gave the velocity values in the selected points. The computed velocity distribution is in a good agreement with experimental data.

The presented approach formed a basis to set-up an algorithm and a computer program in the FORTRAN language. The application of this fast method of computing the velocity distribution on the blade curvature enabled an investigation of the influence of an outlet edge form into the velocity distribution.

Various forms of the outlet edge have been realised by the modifications as follows:

- a) modification of the form of a convex part of the profile,
- b) modification of the cascade width,
- c) modification of the form of a concave part of the profile.

The velocity distribution and the outlet angle have been computed for every constructional form of the outlet edge. An analysis of the obtained results leads to following conclusions:

- the outlet edge thicker or thinner than that of an original profile realised by modification of a convex or concave part of the profile results in new types of the velocity distribution and in new outlet angles, essentially differing one from another,
- the constructional type of the outlet edge influences the velocity distribution on the profile curvature; this influence appears to be stronger on the convex side of a profile,
- it is possible to determine the influence of the outlet edge on the structure and characteristics of a boundary layer, i.e. the cascade efficiency, for various constructional types of the outlet edge. This is based on the boundary layer theory and the adopted velocity distribution on the profile curvature,