

УДК 621.165

**ЛАПУЗІН О. В.^{1*}, СУБОТОВИЧ В. П.², ЮДІН Ю. О.³,
НАУМЕНКО С. П.⁴, МАЛИМОН І. І.⁵**

АНАЛІЗ РІВНЯ КІНЕМАТИЧНИХ ВТРАТ У СОПЛОВИХ РЕШІТКАХ ПАРОВИХ І ГАЗОВИХ ТУРБІН

¹ к.т.н., доцент, доцент кафедри турбінобудування, НТУ «ХП», м. Харків, Україна.

² д.т.н., старший науковий співробітник, професор кафедри турбінобудування, НТУ «ХП», м. Харків, Україна.

³ к.т.н., доцент, професор кафедри турбінобудування, НТУ «ХП», м. Харків, Україна.

⁴ старший викладач кафедри турбінобудування, НТУ «ХП», м. Харків, Україна.

⁵ аспірант, НТУ «ХП», м. Харків, Україна.

* e-mail: alexlapuzin14@gmail.com.

Вступ. Аеродинамічна досконалість решіток турбомашин визначається багатьма параметрами, головним з яких є коефіцієнт втрат кінетичної енергії. Але застосування тільки цього коефіцієнта в теплових розрахунках турбін не є достатнім для знаходження коефіцієнта корисної дії турбіни.

Мета роботи. Виконати аналіз результатів газодинамічних досліджень структури потоку перегрітої пари за сопловою решіткою останнього ступеня частини низького тиску тихохідних парових турбін виробництва АТ «Турбоатом», а також структуру потоку повітря за сопловою решіткою ступеня високого тиску газової турбіни.

Визначити тангенціальну нерівномірність усіх параметрів потоку та рівень радіальної складової швидкості за сопловою решіткою та оцінити вплив цих факторів $\cos\bar{\gamma}$, який характеризує рівень кінематичних втрат у сопловій решітці.

Загальна частина. Останній ступінь парових турбін характеризується високим рівнем радіальної складової швидкості у верхній частині міжвінцевого зазору, що суттєво зменшує економічність цієї зони [1]. Наявність перед робочим колесом радіальної складової швидкості C_r зменшує колову складову швидкості C_u у $\cos\gamma$ разів, де γ – кут між вектором швидкості і його проекцією на циліндричну поверхню. Якщо за ступенем потік осьовий ККД ступеня зменшується у $\cos\gamma$ разів.

В тихохідних турбінах АТ «Турбоатом» локальний кут $\gamma = \arcsin C_r / C$ зменшується у верхній третині останнього ступеня з 10° до 25° , тому на номінальному режимі ККД окремих струмінок течії зменшується на 1,5 %–10 % відносно. Тангенціальна нерівномірність параметрів потоку у цій зоні достатньо висока ($\Delta\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min} = 5^\circ - 8^\circ$, $\Delta\gamma = \gamma_{\max} - \gamma_{\min} = 5^\circ - 10^\circ$, $C_{\max}/C_{\min} = 1,12 - 1,17$, $K_p = 0,12 - 0,2$, $K_p^* = 0,22 - 0,3$), але це практично не

Тези доповідей XVIII Міжнародної науково-технічної конференції

«Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування», 13–14 грудня 2022 р.

впливає на коефіцієнт кінематичних втрат $\cos\bar{\gamma}$, який майже не 100 % визначається рівнем локальних кутів γ на тому чи іншому радіусі міжвінцевого зазору. У периферійній зоні $\cos\bar{\gamma} \approx 0,95$.

У кореневій третині останнього ступня парової турбіни вплив радіальної складової швидкості набагато менше, тому тут рівень кінематичних втрат визначається усіма чинниками: рівнем кутів γ , а також тангенціальною нерівномірністю усіх параметрів потоку, яка суттєво збільшується при переході від верхніх поясів соплової решітки до нижніх і на відстані 7 % від кореневої границі складає: $\Delta\alpha = 14^\circ$, $\Delta\gamma \approx 22^\circ$, $C_{\max}/C_{\min} = 1,6$, $K_p \approx 0,4$, $K_p^* \approx 0,9$ (коефіцієнти K_p і K_p^* характеризують рівень тангенціальної нерівномірності тиску і тиску гальмування в долях від динамічного тиску). В кореневій зоні коефіцієнт кінематичних втрат $\cos\bar{\gamma} = 0,972$, коефіцієнт втрат кінетичної енергії $\bar{\zeta} = 0,142$, коефіцієнт повних втрат $\bar{\zeta}_{\Pi} = 1 - (1 - \bar{\zeta})\cos^2\bar{\gamma} = 0,1894$, відношення $\bar{\zeta}_{\Pi}/\bar{\zeta} = 1,34$.

В результаті дослідження роботи соплової решітки першого ступня малорозмірної авіаційної газової турбіни визначено, що на відстані 7 % від кореневої границі $\cos\bar{\gamma} = 0,992$ (кут γ = на цьому радіусі не вимірювався), $\bar{\zeta} = 0,132$, $\bar{\zeta}_{\Pi} = 0,146$, $\bar{\zeta}_{\Pi}/\bar{\zeta} = 1,1$, тобто вплив кінематичних втрат на економічність соплової решітки незначний. При переході до середнього радіуса коефіцієнт кінематичних втрат не змінюється, але зменшення до 0,045 коефіцієнта втрат кінематичної енергії суттєво збільшує $\bar{\zeta}_{\Pi}/\bar{\zeta}$ до 1,34.

Висновки. Таким чином, кінематичні втрати, обумовлені тангенціальною нерівномірністю параметрів потоку у міжвінцевому зазорі і наявністю радіальної складової швидкості, суттєво зменшують економічність соплової решітки і характеризуються на кожному її радіусі параметром $\cos\bar{\gamma}$. Коефіцієнти кінематичних втрат $\cos\bar{\gamma}$ і коефіцієнт втрат кінетичних енергій $\bar{\zeta}$ визначають коефіцієнт повних втрат соплової решітки $\bar{\zeta}_{\Pi}$, який по аналогії з коефіцієнтом повних втрат дифузора запропоновано використовувати для оцінки якості соплової решітки.

Список літератури:

1. Лапузін О. В. Дослідження впливу тангенціальної нерівномірності параметрів потоку на газодинамічні характеристики соплових решіток турбомашин / О. В. Лапузін, В. П. Суботович, Ю. О. Юдін, С. П. Науменко, І. І. Малимон // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – 2022. – № 1–2(9–10). – 23–31 с. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-774X (print). – ISSN 2707-7543 (on-line). – <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2022.01.03>.