

## РОЗРАХУНКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРОТУРБІННИХ ВИХЛОПНИХ ПАТРУБКІВ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ШИРОКОРЕЖИМНОГО ДЕФЛЕКТОРУ

*І. І. Малимон<sup>1</sup>, Ю. О. Юдін<sup>2</sup>, М. І. Малимон<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> аспірант кафедри турбінобудування, НТУ «ХПІ», Харків, Україна*

*<sup>2</sup> доцент, професор кафедри турбінобудування, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна*

*<sup>3</sup> студент кафедри турбінобудування, НТУ «ХПІ», Харків, Україна  
[sevcrimea13@gmail.com](mailto:sevcrimea13@gmail.com)*

Вступ. Питання дослідження роботи вихлопних патрубків разом з останніми ступенями турбін на режимах знижених об'ємних витрат є досить актуальним, оскільки на даний час велика кількість потужних паротурбінні блоки тривалий час працюють на нерозрахункових режимах [1]. На даних режимах спостерігається нестійкий характер потоку з відривними течіями та циркуляційними зонами, що значно впливає на ефективність вихідної частини турбіни і надійність лопаткового апарату останнього ступеня. Покращення аеродинамічних характеристик вихідних паротурбінних патрубків є одним із шляхів підвищення ефективності турбомашин. Для вивчення тривимірного потоку в дифузорах проводяться дослідження роботи вихідного відсіку «останній ступінь + вихідний патрубок» парової турбіни [2, 3, 4]. Відомості про течію у вихідних патрубках в умовах роботи на режимах знижених навантажень дозволили розробити ряд конструкцій з нерухомими елементами для більш ефективного управління потоком в широкому діапазоні режимів. У доповіді представлено порівняння результатів розрахункових і експериментальних досліджень вихідних патрубків парової турбіни при використанні широкорежимного дефлектору.

Мета роботи. Виконання розрахункових досліджень вихідних паротурбінних патрубків різних конструкцій на змінних режимах роботи з метою визначення розрахункової моделі, що дозволяє задовільно відобразити картину течії в вихідних дифузорах.

Постановка задачі. За допомогою програмного комплексу ANSYS Fluent побудовано чотири розрахункові моделі вісерадіальних дифузоров парової турбіни типу К-300, а саме: варіант 1 – вихідна модель дифузора турбіни К-325-23,5 з торовим дефлектором, в варіанті 2 дефлектори відсутні, у варіанті 3 моделі дифузора присутній тільки широкорежимний дефлектор, а в модернізованому варіанті 4 встановлено два дефлектори – широкорежимний та торовий. В розрахункових моделях виконано прямокутну сітку зі згущенням поблизу стінок, використано модель турбулентності К- $\epsilon$ . Для моделювання розподілу параметрів за останнім ступенем вхідний переріз дифузоров розділено на 11 ділянок. Периферійна 11 ділянка моделює наявність бандажа та радіального зазора. Відповідно до режиму роботи останнього ступеня турбіни, на вході в дифузор було задано розподіл повної температури та тиску, а також кутів потоку  $\alpha_2$  і кутів скошу потоку в меридіональній площині  $\delta$ . Для моделювання перетікання робочого тіла через радіальний зазор у відповідному перетині збільшено тиск гальмування. Розподіл кутів  $\alpha_2$  і  $\delta$  на відповідних режимах роботи взято з експериментальних даних, що було отримано на кафедрі турбінобудування НТУ «ХПІ» під час дослідження турбінного відсіку «останній ступінь + вихідний патрубок» на стенді повітряної турбіни [5]. Моделі дифузоров досліджено на трьох режимах роботи останнього ступеня турбіни з відносною об'ємною витратою робочого тіла  $\overline{GV}_2 = 1; 0,75; 0,5$ .

Результати. Виконано порівняння результатів розрахункового дослідження дифузоров з експериментальними даними. На режимі  $\overline{GV}_2 = 1$  течія на виході з останнього ступеня має майже осьовий напрям і є безвідривною в усіх варіантах. При

встановленні широкорежимного дефлектора в варіанті 3 внутрішні втрати збільшуються, але втрати з вихідною швидкістю зменшуються. В модернізованому варіанті 4 широкорежимний дефлектор дещо покращує розподіл течії в дифузорі. На режимі  $\overline{GV_2} = 0,75$  в варіантах 1 і 2 з'являється відривний потік, що супроводжується циркуляційною течією із залученням до 1,5% витрати робочого тіла. Встановлення широкорежимного дефлектора (варіант 3) не призводить до суттєвих змін в характері течії робочого тіла, оскільки цей режим характеризується виходом потоку з останнього ступеня під кутами скосу в меридіональній площині, близькими до куту розкриття дефлектора, і практично однаковими коефіцієнтами втрат у порівнюваних варіантів. На режимі  $\overline{GV_2} = 0,5$  характер течії в вихідному варіанті 1 дифузора з тороподібним дефлектором та в варіанті 2 дифузора без дефлекторів майже не відрізняється. Присутня циркуляційна зона, яка займає біля половини дифузорного каналу, в циркуляційний рух залучено до 25% витрати робочого тіла. Швидкість течії біля поверхні зовнішнього обводу дифузора в 1,5 рази вище, ніж в інших зонах, за рахунок підтискання та зміни кривизни потоку. В варіантах 3 і 4 дифузорові з широкорежимним дефлектором суттєво зменшилися коефіцієнт повних втрат (~ 1,5 рази), розміри циркуляційної зони (~ 2,5 рази) і витрата робочого тіла (~ 5 рази), що залучено до неї.

Висновки. За результатами порівняння розрахункових та експериментальних даних визначено, що розрахункові моделі дозволяють задовільно моделювати течію для широкого діапазону режимів роботи, враховуючи режими з відривами потоку та розвиненими циркуляційними зонами. Встановлено, що використання широкорежимного дефлектора позитивно впливає на течію в дифузорі практично на всіх досліджених режимах роботи. На режимах знижених навантажень така модернізація призводить до зниження нерівномірності параметрів потоку в проточній частині, зменшення розмірів й інтенсивності циркуляційних течій в зоні внутрішнього обводу вихідного патрубку. Вперше встановлено, що позитивний ефект від використання широкорежимного дефлектору має місце й для вихлопних патрубків, що мають тороподібний дефлектор, який крім аеродинамічної функції є елементом системи жорсткості вихлопного патрубка.

#### Список літератури:

1. Зайцев М.В. Модернизация ЦНД турбин К-300-240 электростанций Украины / М.В. Зайцев, О.Н. Слабченко // Энергетика и электрификация. – 1996. - №4. – С. 6-9.
2. Зарянкин А.Е. Исследование и аэродинамическое совершенствование выхлопного патрубка цилиндра низкого давления паровой турбины / А.Е. Зарянкин, Е.Ю. Григорьев, А.Н. Рогалев, И.В. Гаранин // Вестник ИГЭУ. – 2017. №2. – С. 18-26.
3. Юдин Ю. А. Расчетное аэродинамическое исследование выхлопного диффузора мощной паровой турбины в широком диапазоне режимов работы / Ю.А. Юдин, В.П. Субботович, А.В. Лапузин, И.И. Малимон // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2020. – №1(3). – 5 С.
4. Hoznedl M. Experimental investigation on flow in diffuser of 1090 MW steam turbine / Hoznedl M, Sedlák K, Mrózek L, Bednář L, Kalista R // AIP Conference Proceedings – 2016. – №1746(1).
5. Юдин Ю. А. Повышение эффективности выхлопных патрубков ЦНД паровых турбин с помощью широкорежимного дефлектора / Ю.А. Юдин, А.В. Лапузин // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – 2005. – №6. – С. 60–64.