

АЕРОДИНАМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОСТОРОВОЇ ФОРМИ ЛОПАТКИ РОБОЧОГО КОЛЕСА НАДЗВУКОВОГО КОМПРЕСОРНОГО СТУПЕНЯ

Роботу присвячено аеродинамічній оптимізації високонавантаженого робочого колеса надзвукового компресорного ступеня. Як основний інструмент використовується числове моделювання течії в колесі на основі повних осереднених рівнянь Нав'є–Стокса й двопараметричної моделі турбулентності. Особливостями використовуваного підходу до оптимізації є: застосування досить “грубих” розрахункових сіток, що зберігають, однак, чутливість результатів розрахунку до зміни форми лопатки; формулювання критеріїв якості як осереднених по витраті повітря величин енергетичних характеристик робочого колеса; застосування досить простого способу варіювання просторової форми лопатки колеса; пошук оптимальної просторової форми лопатки з використанням точок рівномірно розподілених послідовностей у просторі змінних. У результаті проведеного дослідження обрано два варіанти просторової форми лопатки колеса, що забезпечують збільшення значень його енергетичних характеристик у порівнянні із прототипом (у першому випадку отримано тільки підвищення адиабатичного ККД, у другому – підвищення ККД і ступеня стиску колеса). Обґрунтованість даного вибору підтверджено наступним розрахунком енергетичних характеристик робочого колеса з вихідною й оптимізованою лопатками на детальній розрахунковій сітці. У цілому продемонстровано, що на основі запропонованого раціонального вибору порівняно невеликого числа параметрів, застосовуваних для варіювання просторової форми лопатки колеса, може бути істотно підвищено його ступінь стиску при одночасному збільшенні адиабатичного ККД. Отримані в роботі результати можуть бути використані при аеродинамічній оптимізації просторової форми лопаток нерухомих і обертових лопаткових вінців компресорів.

Ключові слова: аеродинамічна оптимізація, робоче колесо компресорного ступеня, числове моделювання, просторова форма лопатки, енергетичні характеристики.

1. Ashihara K. Turbomachinery blade design using 3-D inverse design method, CFD and optimization algorithm / K. Ashihara, A. Goto // Proc. of ASME TURBO EXPO 2001. – New Orleans, Louisiana (USA), 2001. – 9 p.
2. Chan-Sol Ahn. Aerodynamic design optimization of an axial flow compressor rotor / Chan-Sol Ahn, Kwang-Yong Kim // Proc. of ASME TURBO EXPO 2002. – Amsterdam (The Netherlands), 2002. – 7 p.
3. Sivashanmugam V. K. Aero-structural optimization of an axial turbine stage in three-dimensional flow / V. K. Sivashanmugam, M. Arabia, W. Ghaly // Proc. of ASME TURBO EXPO 2010. – Glasgow (UK), 2010. – 14 p.
4. Ершов С. В. Аэродинамическая оптимизация пространственной формы лопаток паровых и газовых турбин / С. В. Ершов, В. А. Яковлев // Авиационная космическая техника и технология. – 2008. – № 7. – С. 66 – 70.
5. Меньяйлов А. В. Применение эволюционных методов для решения задач оптимизации компрессоров газотурбинных двигателей / А. В. Меньяйлов, А. А. Трончук, Е. М. Угрюмова // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 5. – С. 59 – 65.
6. Jinguang Yang. Multi-row inverse method based on the adjoint optimization / Jinguang Yang, Xiquan Huang, Hu Wu // Proc. of ASME TURBO EXPO 2011. – Vancouver, British Columbia (Canada), 2011. – 11 p.
7. Xiang X. Optimum initial design of centrifugal compressor stage with genetic algorithm / X. Xiang, X. L. Zhao // Proc. of XV Int. Symp. on Air Breathing Engines. – Bangalore (India), 2001. – 6 p.
8. Oksuz O. Turbine cascade optimization using an Euler coupled genetic algorithm / O. Oksuz, I. S. Akmandor // Proc. of XV Int. Symp. on Air Breathing Engines. – Bangalore (India), 2001. – 9 p.
9. Rongye Zheng. Blade geometry optimization for axial flow compressor / Rongye Zheng, Jianhua Xiang, Jinju Sun // Proc. of ASME TURBO EXPO 2010. – Glasgow (UK), 2010. – 12 p.
10. Xu C. A turbine airfoil aerodynamic design process / C. Xu, R. S. Amano // Proc. of ASME TURBO EXPO 2001. – New Orleans, Louisiana (USA), 2001. – 10 p.
11. Мелашич С. В. Способ параметрического описания профилей компрессорных решеток / С. В. Мелашич // Техническая механика. – 2012. – № 2. – С. 77 – 82.
12. Кваша Ю. А. К аэродинамической оптимизации рабочих колес сверхзвуковых компрессорных ступеней / Ю. А. Кваша, Н. А. Зиневич // Техническая механика. – 2016. – № 2. – С. 55 – 63.
13. Design and Overall Performance of Four Highly Loaded, High-Speed Inlet Stages for an Advanced High-Pressure-Ratio Core Compressor : NASA Technical Paper 1337. – 1978. – 132 p.
14. Кваша Ю. А. Расчет пространственного турбулентного потока в межлопаточных каналах сверхзвуковых компрессорных ступеней / Ю. А. Кваша // Техническая механика. – 1999. – №1. – С. 9 – 13.
15. Численное исследование двухступенчатого вентилятора / Е. Ю. Рублевский, Д. А. Плакущий, В. И. Письменный, Ю. А. Кваша // Вестник двигателестроения. – 2013. – № 2. – С. 169 – 176.

16. *Кваша Ю. А.* К выбору расчетных сеток при численном моделировании пространственных турбулентных течений в рабочих колесах сверхзвуковых компрессорных ступеней / *Ю. А. Кваша, Н. А. Зиневич* // *Техническая механика*. – 2013. – № 3. – С. 34 – 41.
17. *Соболь И. М.* Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / *И. М. Соболь, Р. Б. Статников*. – М. : Наука, 1981. – 110 с.

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і
Державного космічного агентства України,
Дніпро

Одержано 19.09.2016,
в кінцевому варіанті 19.09.2016