

К АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОЧИХ КОЛЕС СВЕРХЗВУКОВЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТУПЕНЕЙ

В работе рассматривается актуальный вопрос уменьшения вычислительных затрат при аэродинамической оптимизации лопаточных венцов осевых компрессоров, когда для расчета функции цели используется численное моделирование течения на основе полных осредненных уравнений Навье–Стокса. Целью работы является проверка работоспособности предлагаемой авторами экономичной методики аэродинамической оптимизации рабочих колес сверхзвуковых компрессорных ступеней. Методика предполагает применение достаточно “грубых” расчетных сеток при численном моделировании пространственного турбулентного потока воздуха в рабочих колесах. Эти сетки должны, однако, выбираться так, чтобы сохранять чувствительность результатов расчета к изменению геометрических параметров лопаточного венца. Критерии качества формулируются как осредненные по расходу воздуха величины энергетических характеристик рабочего колеса. Поиск оптимальных геометрических параметров лопаток проводится с использованием точек равномерно распределенных последовательностей в пространстве параметров. Для расчетных исследований по проверке работоспособности методики было выбрано рабочее колесо Rotor-37 сверхзвуковой компрессорной ступени. На примере указанного высоконагруженного рабочего колеса показано, что уже при сравнительно небольшом числе точек равномерно распределенной последовательности могут быть выбраны улучшенные по сравнению с прототипом сочетания варьируемых геометрических параметров лопаток колеса. Достоверность этого вывода подтверждена последующим расчетом энергетических характеристик исходного и оптимизированного колеса на подробной расчетной сетке. Полученные результаты могут быть использованы при аэродинамической оптимизации геометрических параметров лопаточных венцов компрессорных ступеней.

Ключевые слова: аэродинамическая оптимизация, рабочее колесо компрессорной ступени, численное моделирование, равномерно распределенная последовательность.

1. *Chang Luo* Multiobjective optimization approach to multidisciplinary design of a three-dimensional transonic compressor blade / *Chang Luo, Liming Song, Jun Li, Zhenping Feng* // Proc. of ASME TURBO EXPO 2009. – Orlando, Florida (USA), 2009. – 10 p.
2. *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.
3. *Chaolei Zhang* Aerodynamic shape design optimization for turbomachinery cascade based on discrete adjoint method / *Chaolei Zhang, Zhenping Feng* // Proc. of ASME TURBO EXPO 2011. – Vancouver, British Columbia (Canada), 2011. – 10 p.
4. *Jinguang Yang* Multi-row inverse method based on the adjoint optimization / *Jinguang Yang, Xiuquan Huang, Hu Wu* // Proc. of ASME TURBO EXPO 2011. – Vancouver, British Columbia (Canada), 2011. – 11 p.
5. *Hong Wu* Optimization of highly loaded fan rotor based on throughflow model / *Hong Wu, Qiushi Li, Sheng Zhou* // Proc. of ASME TURBO EXPO 2007. – Montreal (Canada), 2007. – 11 p.
6. Framework for multidisciplinary optimization of turbomachinery / *M. G. Turner, K. Park, K. Siddappaji, S. Dey, D. P. Gutzwiller, A. Merchant, D. Bruna* // Proc. of ASME TURBO EXPO 2010. – Glasgow (UK), 2010. – 9 p.
7. *Mengistu T.* Aerodynamic shape optimization of turbine blades using a design-parameter-based shape representation / *T. Mengistu, W. Ghaly, T. Mansour* // Proc. of ASME TURBO EXPO 2007. – Montreal (Canada), 2007. – 10 p.
8. *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.
9. *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.
10. *Demeulenaere A.* Application of multipoint optimization to the design of turbomachinery blades / *A. Demeulenaere, A. Ligout, C. Hirsch* // Proc. of ASME TURBO EXPO 2004. – Vienna (Austria), 2004. – 8 p.
11. *Cravero C.* A Navier-Stokes based strategy for the aerodynamic optimisation of a turbine cascade using a genetic algorithm / *C. Cravero, A. Satta* // Proc. of ASME TURBO EXPO 2001. – New Orleans, Louisiana (USA), 2001. – 8 p.
12. *Shahpar S.* Application of the FAITH linear design system to a compressor blade / *S. Shahpar, D. Radford* // Proc. of XIV Int. Symp. on Airbreathing Engines. – Florence (Italy), 1999. – 12 p.
13. *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.

14. Sivashanmugam V. K. Aero-structural optimization of an axial turbine stage in three-dimensional flow / V. K. Sivashanmugam, M. Arabnia, W. Ghaly // Proc. of ASME TURBO EXPO 2010. – Glasgow (UK), 2010. – 14 p.
15. Burguburu S. Numerical optimization for turbomachinery blades aerodynamic design using a gradient method coupled with a Navier-Stokes solver / S. Burguburu, C. Toussaint, G. Leroy // Proc. of XV Int. Symp. on Air Breathing Engines. – Bangalore (India), 2001. – 7 p.
16. Sanz J. M. A neural network aero design system for advanced turbo-engines / J. M. Sanz // Proc. of XIV Int. Symp. on Airbreathing Engines. – Florence (Italy), 1999. – 7 p.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Кваша Ю. А. Расчет пространственного турбулентного потока в межлопаточных каналах сверхзвуковых компрессорных ступеней / Ю. А. Кваша // Техническая механика. – 1999. – №1. – С. 9 – 13.
21. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика / Г. Н. Абрамович. – М. : Наука, 1969. – 824 с.
22. Крайко А. А. Разработка эффективных прямых методов в задачах построения оптимальных аэродинамических форм / А. А. Крайко // Модели и методы аэродинамики : Девятая международная школа-семинар : сб. докладов и тезисов. – М. : МЦНМО, 2009. – С. 109 – 110.
23. Кваша Ю. А. О рациональном выборе расчетной сетки при аэродинамической оптимизации формы межлопаточных каналов компрессорных ступеней на основе численного моделирования турбулентных потоков / Ю. А. Кваша, С. В. Мелашич, Е. Ю. Ямполь // Техническая механика. – 2009. – № 4. – С. 57 – 67.
24. 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.
25. Соболев И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И. М. Соболев, Р. Б. Статников. – М. : Наука, 1981. – 110 с.
26. Мелашич С. В. Обоснование целесообразности применения стохастических методов при решении задач аэродинамической оптимизации формы компрессорных венцов газотурбинных двигателей / С. В. Мелашич // Техническая механика. – 2015. – № 3. – С. 39 – 45.