УДК 519.6:621.51

Ю. А. КВАША, Н. А. ЗИНЕВИЧ

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧИХ КОЛЕС ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРНЫХ СТУПЕНЕЙ

Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,
ул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: yukv@i.ua; zinevich7385@gmail.com

Работа посвящена развитию подходов к оптимальному аэродинамическому проектированию центробежных компрессорных ступеней, что обусловлено практикой их применения в компрессорах современных авиационных газотурбинных двигателей и энергоустановок. Цель работы – построение и проверка работоспособности методики аэродинамического совершенствования рабочих колес центробежных компрессорных ступеней. В качестве основного метода применяется численное моделирование пространственных турбулентных газовых течений в центробежных колесах на основе полных осредненных уравнений Навье–Стокса и двухпараметрической модели турбулентности. Особенностями используемого подхода к оптимизации являются: варьирование пространственной формы лопасти центробежного колеса при неизменном положении ее входного и выходного участка для минимизации влияния варьирования на рабочий диапазон изменения расхода воздуха через колесо и параметры течения на выходе из колеса; формулировка критериев качества как осредненных по расходу воздуха величин энергетических характеристик рабочего колеса; поиск рациональных значений геометрических параметров лопасти центробежного колеса путем систематического просмотра области независимых переменных в точках, образующих равномерно распределенную последовательность. В результате проведенного исследования расчетным путем показано, что применение предлагаемой методики позволяет заметно увеличить степень сжатия в центробежном колесе при сохранении величины его адиабатического коэффициента полезного действия (КПД) в рабочем диапазоне изменения расхода воздуха через колесо. Данный вывод получен при использовании достаточно “грубой” расчетной сетки, сохраняющей, однако, чувствительность результатов расчета к изменению формы лопасти центробежного колеса. Достоверность этого вывода подтверждена последующим расчетом энергетических характеристик исходного и модифицированного колеса на более подробной расчетной сетке. В целом продемонстрировано, что изменение формы только средней части лопасти центробежного колеса представляет собой достаточно сильное воздействие, существенно влияющее на степень сжатия воздуха в колесе и практически не сказывающееся на его КПД. Полученные в работе результаты могут быть использованы при аэродинамической оптимизации центробежных ступеней авиационных газотурбинных двигателей.

Ключевые слова: *аэродинамическое совершенствование, рабочее колесо, пространственная форма лопасти, центробежная компрессорная ступень, численное моделирование, энергетические характеристики.*

1. *Benini E., Giacometti S.* Design, manufacturing and operation of a small turbojet-engine for research purposes. Applied Energy. 2007. Vol. 84. P. 1102–1116.
2. *Рекстин А. Ф., Галеркин Ю. Б.* Особенности первичного проектирования малорасходных центробежных компрессорных ступеней. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2018. Т. 20. № 2. С. 43–54.
3. *Poursadegh F., Hajilouy A., Nili M.* A novel quasi-3d design method for centrifugal compressor impeller on the blade-to-blade plane. Proc. of ASME TURBO EXPO 2011. (Vancouver, June 6–10, 2011). Vancouver, British Columbia (Canada), 2011. 8 p.
4. *Xiaomin Liu, Wenbin Zhang.* Two schemes of multi-objective aerodynamic optimization for centrifugal impeller using response surface model and genetic algorithm. Proc. of ASME TURBO EXPO 2010. (Glasgow, June 14–18, 2010). Glasgow (UK), 2010. 13 p.
5. *Jin-Hyuk Kim, Jae-Ho Choi, Kwang-Yong Kim.* Design optimization of a centrifugal compressor impeller using radial basis neural network method. Proc. of ASME TURBO EXPO 2009. (June 8–12, 2009). Orlando, Florida (USA), 2009. 9 p.
6. *Васильев Ю. С, Галеркин Ю. Б., Солдатова К. В.* Оптимизация проточной части турбомашин (на примере центробежных компрессоров). Проблемы энергетики. 2011. № 9–10. С. 105–117.
7. *Noll B.* Evaluation of a Bounded High-Resolution Scheme for Combustor Flow Computations. AIAA J. 1992. Vol. 30. № 1. P. 64–69.
8. *Рублевский Е. Ю., Плакущий Д. А., Письменный В. И., Кваша Ю. А.* Численное исследование двухступенчатого вентилятора. Вестник двигателестроения. 2013. № 2. С. 169–176.
9. *Письменный В. И., Кваша Ю. А.* Расчет трехмерного турбулентного потока воздуха в центробежной ступени компрессора. Техническая механика. 2004. № 2. С. 94–99.
10. *Соболь И. М., Статников Р. Б.* Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Наука, 1981. 110 с.

11. *Кваша Ю. А., Зиневич Н. А.* К выбору расчетных сеток при численном моделировании пространственных турбулентных течений в рабочих колесах сверхзвуковых компрессорных ступеней. Техническая механика. 2013. № 3. С. 34–41.
12. *Кваша Ю. А., Зиневич Н. А.* К интерполяции целевой функции при оптимизации технических систем. Техническая механика. 2018. № 2. С. 71–78.

Получено 15.02.2019,
в окончательном варианте 04.03.2019