

УДК 621.515

## Покращення енергетичних характеристик високонапірного відцентрового компресора проектуванням геометрії у програмному продукті Ansys Vista CCD

Роговий А.С., Азаров А.С., Савенков Д.А.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

*Розроблено високонапірний відцентровий компресор за допомогою САПР програми проектування Ansys Vista CCD з лопатевим дифузором, а також виконано аналіз потоків газу в дифузорі із різними кутами нахилу лопатей для визначення оптимального значення кута. Покращено енергетичні характеристики високонапірного відцентрового компресора. Задача вирішувалася шляхом числового моделювання, використовуючи осереднені за Рейнольдсом рівняння Нав'є-Стокса разом із рівнянням нерозривності та моделлю турбулентності SST. Адекватність запропонованої методики підтверджено шляхом порівняння отриманих картин течії модельного компресора з експериментальними даними. Розроблене робоче колесо показало підвищення ефективності на 5%. Зміни конструкції робочого колеса вимагали проектування нового радіального дифузора для оптимізації характеристик потоку. Отримано рівняння регресії для ККД компресора в залежності від кута нахилу лопаті лопатевого радіального дифузора.*

*Ключові слова: відцентровий компресор; числовий розрахунок; автоматизоване проектування; математична модель; лопатевий дифузор*

Дослідження високонапірних відцентрових компресорів пов'язані з широким застосуванням їх у різних галузях, таких як енергетика, авіаційна техніка, хімічна промисловість та інші сфери, де потрібні надійні й ефективні рішення для стиснення газів [1]. Особливий інтерес становить підвищення ефективності таких компресорів, розширення діапазону їх стабільної роботи та зниження енергетичних втрат. Високонапірні компресори відзначаються складністю конструкції та наявністю таких проблем, як відрив потоку, втрати енергії та нестабільність роботи на низьких витратах [2]. Актуальним є розвиток математичних моделей, які дозволяють оптимізувати геометрію проточних частин компресорів і передбачати їх поведінку під різними умовами експлуатації [3].

Сучасне математичне моделювання на основі числових методів, що використовується разом з сучасним програмним забезпеченням шляхом вирішення осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса дозволяє значно прискорити проектування та оптимізацію характеристик таких пневматичних машин, як відцентрові компресори. Течія в них достатньо складна та відривна, що значно ускладнює отримання якісних та точних характеристик застосуванням одно- та двовимірних методів проектування. Сучасне програмне забезпечення Ansys дозволяє не тільки спроектувати відцентровий компресор, а й провести моделювання тривимірної течії та оптимізацію конструкції й характеристик для забезпечення умов енергоефективності [4].

Ansys Vista CCD – це спеціалізований інструмент, інтегрований в середовище Ansys Workbench, призначений для попереднього проектування турбомашин, включаючи відцентрові та змішані насоси. Його основна функція полягає в тому, щоб дозволити інженерам швидко переходити від концептуальних проектів до 3D-геометрії, готової для детального аналізу методами обчислювальної гідрогазодинаміки (CFD) [5]. Ключові особливості Ansys Vista CCD є можливість інтеграції з іншими програмними продуктами Ansys BladeModeler для безперешкодного експорту проекту й створення оптимальних для

моделювання гексагональних сіток та подальшого їх експорту в Ansys CFX для моделювання течії й характеристик [6].

Дослідження складалося з чотирьох етапів: на першому етапі проведено числовий розрахунок модельного компресора [7]. На другому етапі проведено верифікацію моделі та визначено границі її можливого використання. Максимальні розбіжності виявлено для ККД (до 4%), співвідношення повних тисків (6%) та температур (3%). На третьому етапі спроектовано проточну частину робочого колеса відцентрового компресора за допомогою системи автоматизованого проектування Ansys VistaCCD у робочому середовищі Ansys Workbench на основі параметрів роботи компресора, що серійно випускається. Нове робоче колесо з оптимізованими параметрами лопатей зберігало граничну геометрію корпусу модельного компресора. Моделювання показало, що ефективність нового колеса перевищує базову конструкцію.

Числове моделювання проведено за допомогою програми Ansys CFX. На рис. 1 наведено розрахункову модель. Для якісного моделювання створено сіткову модель у TurboGrid, яка складається з гексагональних елементів. Проведено моделювання з різною кількістю елементів (1, 3 та 5 млн.) для оцінки чутливості результатів й прийнято рішення у подальшому використовувати 3 млн. елементів. Розрахунки проводилися у стаціонарній постановці. Розрахунок завершувався при нев'язаннях, що досягли  $10^{-5}$  [8]. Використовувався секторний підхід до моделювання турбомашин (ротор –  $25,7^\circ$ , дифузор –  $20^\circ$ ).

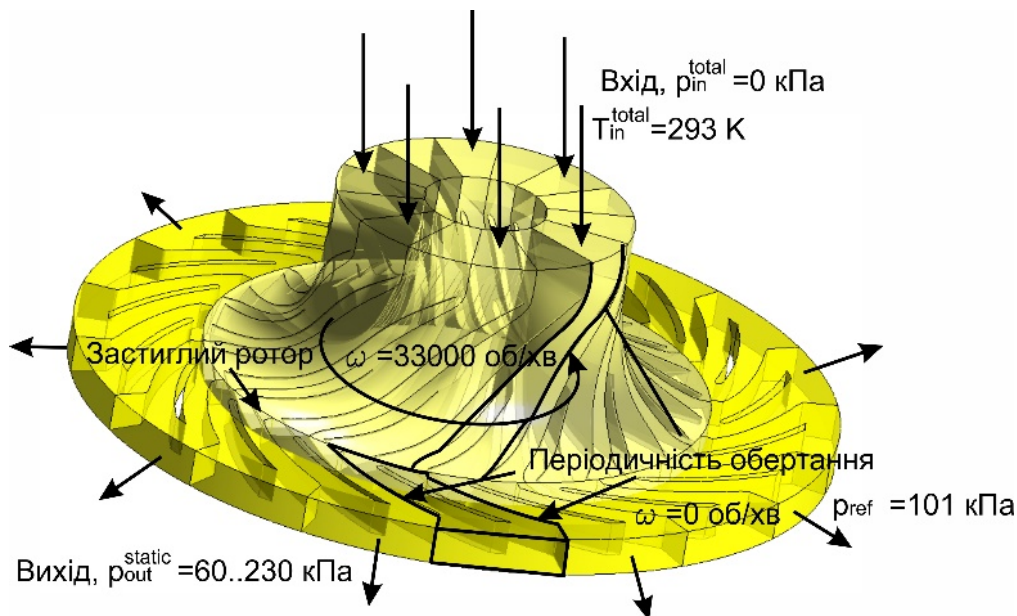


Рис. 1. Розрахункова модель відцентрового компресора

На четвертому етапі спроектовано лопатевий дифузор для нового колеса та досліджено вплив кута нахилу лопатей ( $18-69^\circ$ ) на ефективність. Аналіз впливу кута лопаті лопатевого дифузора показав, що за кута  $33^\circ \leq \beta \leq 52^\circ$  відбувається зміна поверхні відривання течії від лопаті, але, у подальшому за збільшення кута відривання стає меншим. За кутів  $\beta \geq 58^\circ$  відбувається практично безвідривна течія для достатньо великого діапазону кутів (Рис. 2).

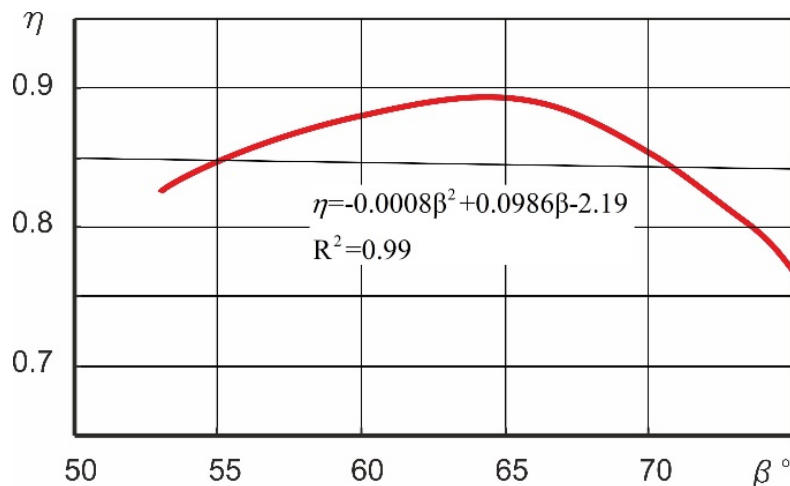


Рис. 2. Вплив кута нахилу лопаті відцентрового компресора на ККД

**Висновки:** За допомогою САПР програми проектування Ansys Vista CCD було розроблено високонапірний відцентровий компресор з лопатевим дифузorzом, а також виконано аналіз потоків газу в дифузorzі із різними кутами нахилу лопатей для визначення оптимального значення кута із забезпеченням максимального ККД. Адекватність запропонованої методики підтверджено шляхом порівняння отриманих картин течії модельного компресора з експериментальними даними. Розроблене за допомогою САД-інструментів нове робоче колесо показало підвищення ефективності на 5% за умов зниження співвідношення тисків на 9%. Зміни конструкції робочого колеса вимагали проектування нового радіального дифузора для оптимізації характеристик потоку. Зі збільшенням кута нахилу лопаті з певного значення відбувається зменшення масової витрати на виході з компресора. При цьому вибір кута нахилу для забезпечення оптимального співвідношення тисків приведе до зменшення ефективності на 2%, вибір кута для забезпечення максимальної витрати – на 6%.

#### Список літератури

1. Роговий А., Азаров А., Овчаров Є., Шудрик О., Толстий П. Картини течії газу у високонапірному відцентровому компресорі // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Машинознавство та САПР. – 2023. – № 1. – С. 82-91.
2. Калінкевич М.В., Радченко М.І. Збільшення діапазону стійкої роботи ступеня відцентрового компресора з безлопатковим дифузorzом // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2019. – №6(158). – С. 4-9.
3. Неманежин Є. О., Івко В. М., Торба Ю. І. Теоретичні та експериментальні методи визначення характеристик міцності лопаток турбін при термомеханічному навантаженні // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2021. – № 4. – С. 173.
4. Роговий А.С. Використання методів числового вирішення задач інженерного аналізу: навчальний посібник / А.С. Роговий. – Харків: ХНАДУ, 2018. – 112 с.
5. Shivani S. et al. Aerodynamic performance enhancement of centrifugal compressor using numerical techniques // F1000Research. – 2024. – Vol. 13. – №. 480. – С. 480.
6. ANSYS, C. (2024). R24.1 Help manual. ANSYS Inc.
7. Rogovyi A., Azarov A., Kukhtenkov Y., Avershyn A., Khovanskyi S. Improving the Performance of a Centrifugal Compressor Through Computer-Aided Design and Optimization of Blade Thickness // Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2024. – P. 324-333.
8. Rogovyi A. Use of detached-eddy simulation method (DES) in calculations of the swirled flows in vortex apparatuses // Teka Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. – 2016. – Vol. 16. – №. 3. – P.57-62.

## Improving the energy performance of a high-pressure centrifugal compressor during design using Ansys Vista CCD software

**Rogoyi Andrii, Azarov Andrii, Savenkov Dmytro**

*A high-pressure centrifugal compressor with a vane diffuser was developed using the Ansys Vista CCD CAD design program, and the gas flows in the diffuser with different blade angles were analyzed to determine the optimal angle. The energy characteristics of a high-pressure centrifugal compressor were improved. The problem was solved by numerical modeling using the Reynolds-averaged Navier-Stokes equations together with the continuity equations and the SST turbulence model. The adequacy of the proposed methodology was confirmed by comparing the obtained flow patterns of the model compressor with experimental data. The developed impeller showed a 5% increase in efficiency. Changes in the impeller design required the design of a new radial diffuser to optimize flow characteristics. As the blade angle increases from a certain value, the mass flow rate at the compressor outlet decreases. The regression equation for the compressor efficiency depending on the angle of blade inclination of a radial blade diffuser is obtained.*

*Keywords: centrifugal compressor; numerical calculation; computer-aided design; mathematical model; blade diffuser*