



турбулентних зон. Результати дослідження підтверджують необхідність врахування зміни кута натікання при проєктуванні лопаткових вінців з метою розширення діапазону стійкої роботи компресора та підвищення його ефективності на нерозрахункових режимах.

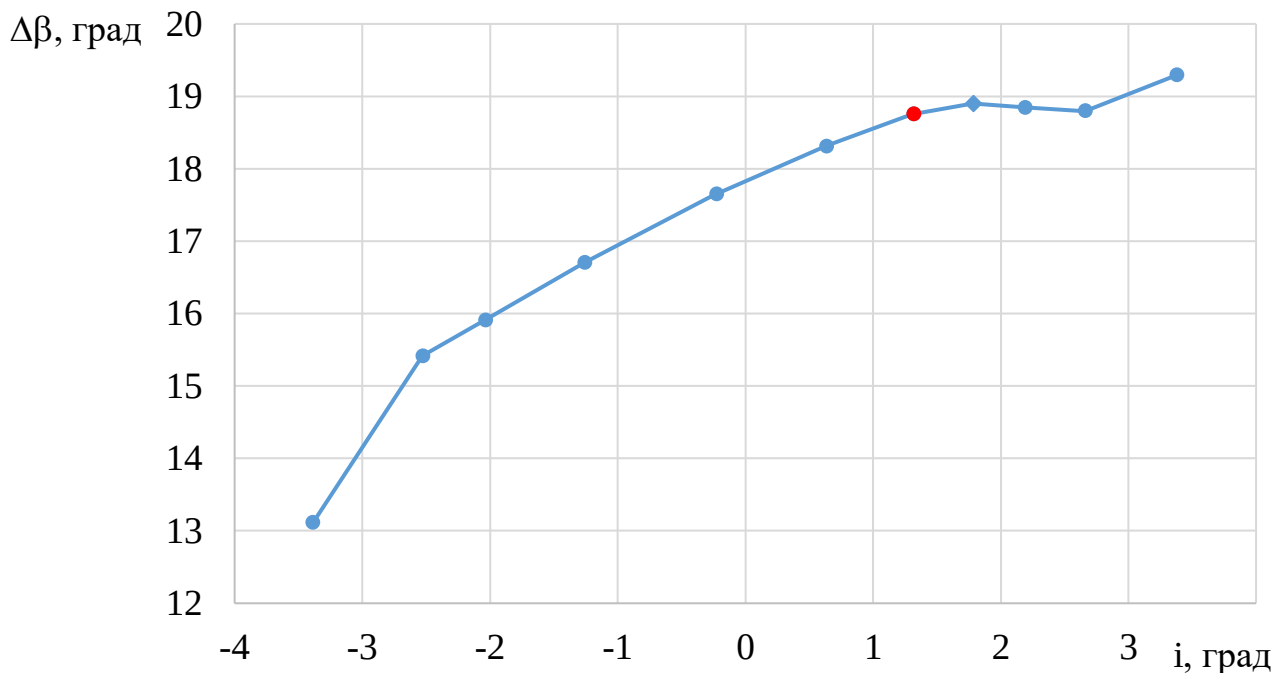


Рис. 3 – Залежність кута повороту потоку $\Delta\beta$ від кута натікання i

ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІАЛЬНОГО ЗАЗОРУ РОБОЧОГО КОЛЕСА ОСЬОВОГО КОМПРЕСОРА

С. А. Бойко, Л. Г. Бойко, К. В. Фесенко

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

У всіх турбомашинах існує радіальний зазор між обертовими лопатками робочих коліс (РК) та нерухомим корпусом. Цей зазор потрібен для уникнення контакту ротора зі статором під час роботи турбомашини. Величина радіального зазору компресора обирається з урахуванням радіальної деформації лопаток РК під дією газових і відцентрових навантажень.

Перетікання потоку на кінці лопатки РК виникає через різницю тисків повітря на поверхнях тиску і розрідження лопатки (рис. 1). Ця течія на поверхні розрідження лопатки взаємодіє з основним потоком робочого тіла, внаслідок чого формується вихор. Цей вихор знаходиться поблизу вторинного вихору на периферії, активно взаємодіє з ним, що призводить до збільшення втрат.

Тобто перетікання в радіальному зазорі зменшує корисну роботу, яку виконує ступінь компресора, оскільки зменшується кут повороту потоку біля зазору, а також призводить до зниження ефективності роботи РК. Основні причини цього наступні: потік, що перетікає, втрачає енергію (зростає його ентропія) через в'язкі ефекти та перемішування при проходженні через зазор. Далі, коли цей

потік утворює вихор на стороні розрідження лопатки і змішується з основним потоком, це спричиняє ще більше зростання ентропії і, відповідно, додаткові втрати.

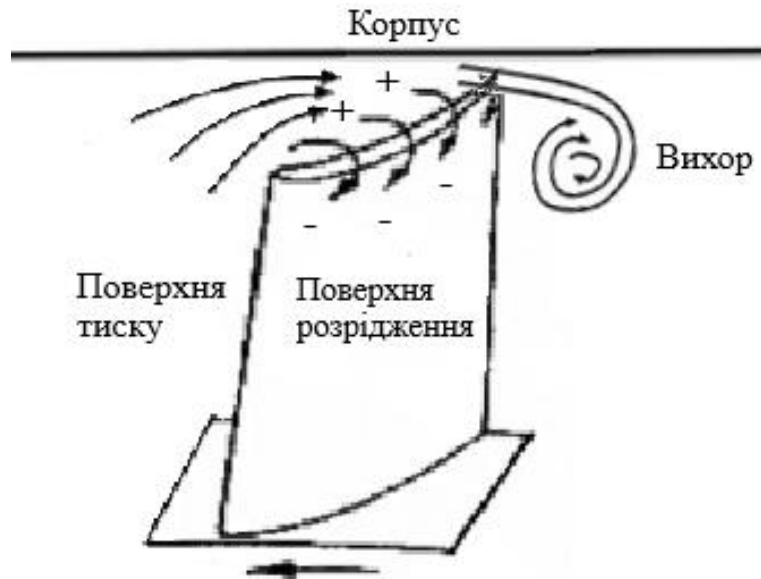


Рис.1 – Радіальний зазор

Величина втрат у радіальному зазорі залежить від його відносного розміру і перепаду тиску між поверхнями тиску і розрідження лопатки. Як правило, збільшення радіального зазору на 1% відносно висоти лопатки може призвести до зниження ефективності роботи РК на 2–3%. Це особливо критично для останніх ступенів багатоступеневих осевих компресорів, де радіальні зазори є відносно великими.

Для дослідження радіального зазору у програмі ANSYS використана 3D модель робочого колеса першого ступеня компресора високого тиску, побудована у програмі Siemens NX.

Перед початком розрахунку у програмі TurboGrid була побудована розрахункова сітка. Для мінімізації похибки розрахунків і економії часу була прийнята кількість вузлів, що дорівнює 250000. У препроцесорі CFX була обрана модель турбулентності Shear Stress Transport, яка є популярною двопараметричною моделлю турбулентності, що широко використовується в чисельному моделюванні течій для розрахунку турбулентних потоків.

Радіальний зазор Δr враховувався відносно висоти лопатки РК в діапазоні від 0,5 до 4,5 %.

В результаті розрахунків для різних величин радіального зазору отримано ступінь підвищення повного тиску в РК $\pi_{\text{рк}}^*$ і ККД робочого колеса за параметрами загальмованого потоку $\eta_{\text{рк}}^*$, які зведено у таблицю 1.

На рисунках 2-4 представлені лінії току в робочому колесі поблизу периферії лопатки для різних величин радіального зазору (від 0,5% до 4,5% від висоти лопатки). З результатів чисельного моделювання течії видно, що в області радіального зазору утворюється вихор. Зі збільшенням зазору спостерігається інтенсивне зростання вихорів у міжлопатевому просторі, що супроводжується підвищенням турбулентності та втрат енергії. Це свідчить про зниження аеродинамічної ефективності робочого колеса компресора за умов збільшення зазору.



Таблиця 1 – Параметри робочого колеса компресора

Радіальний зазор Δr , %	π_{pk}^*	η_{pk}^*
0,5	1,380	0,907
1	1,374	0,901
1,5	1,367	0,896
2,5	1,362	0,892
3,5	1,359	0,890
4,5	1,358	0,889

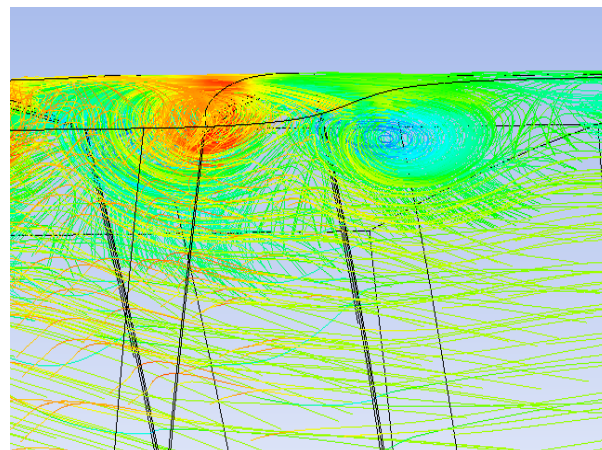
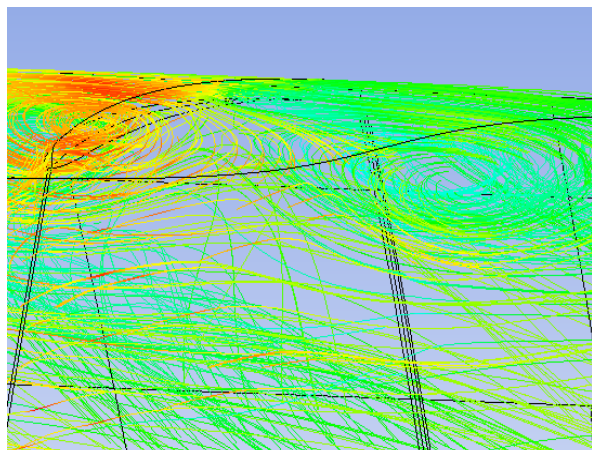


Рис.2 – Радіальний зазор 0,5% і 1%

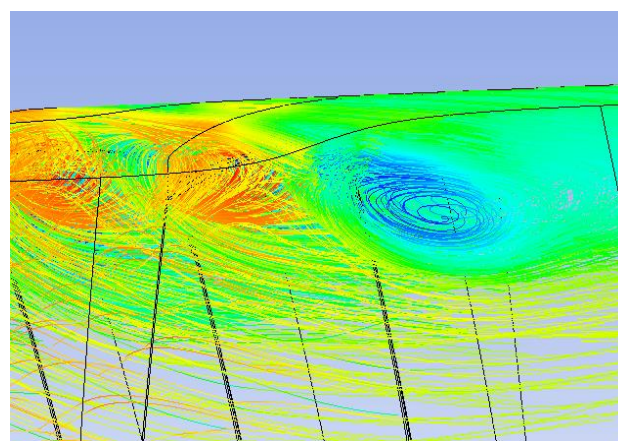
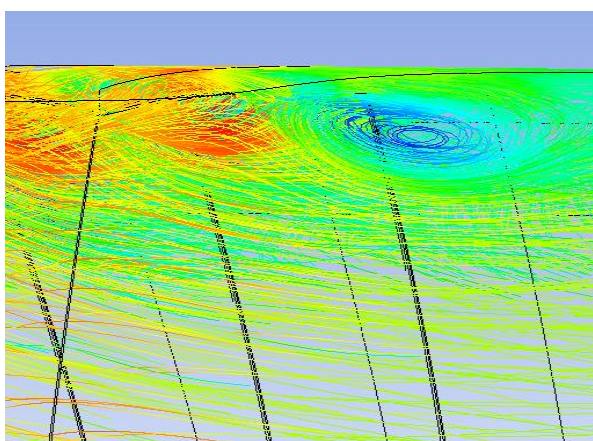


Рис.3 – Радіальний зазор 1,5% і 2,5%

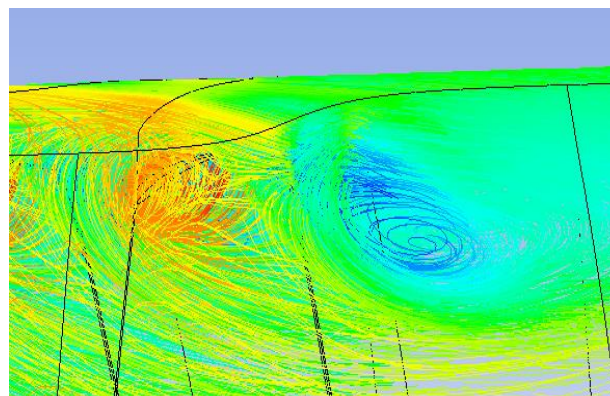
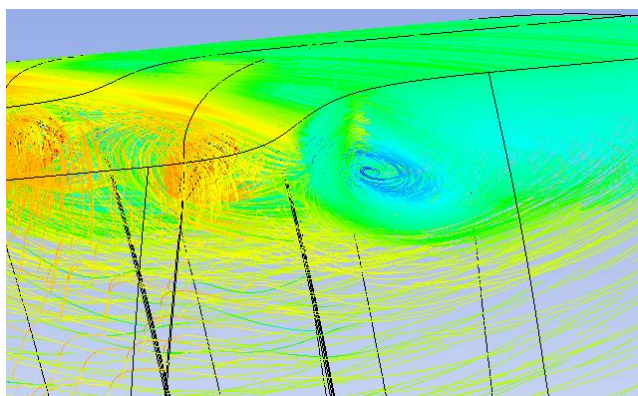


Рис.4 – Радіальний зазор 3,5% і 4,5%

Графік зміни досліджених параметрів РК від величини радіального зазору представлено на рисунках 5 і 6.

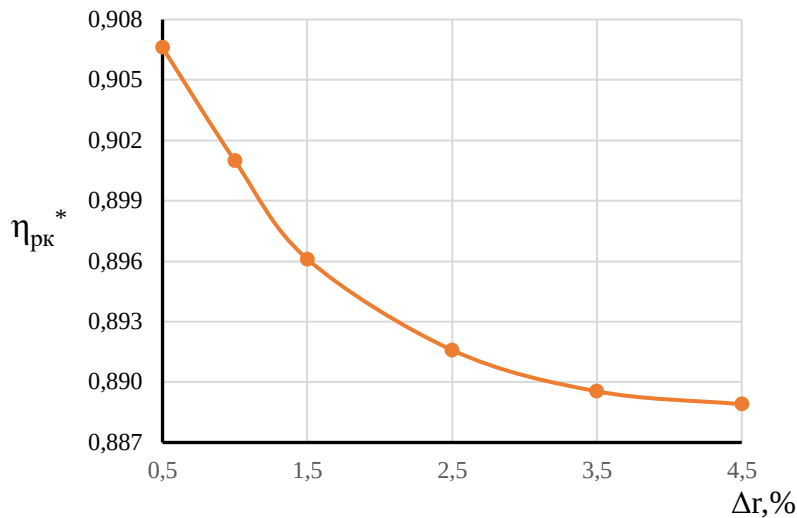


Рис. 5 – Графік залежності $\eta_{рк}^*$ від величини зазору

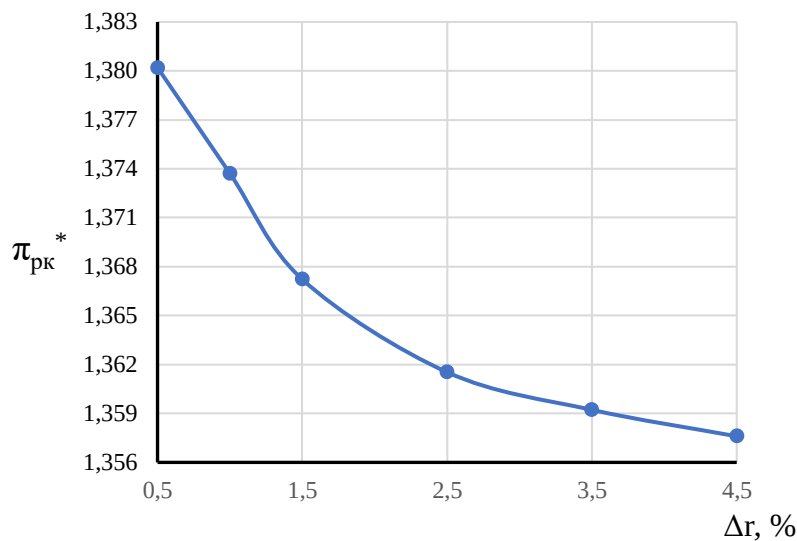


Рис. 6 – Графік залежності $\pi_{рк}^*$ від величини зазору

Таким чином, можна побачити з результатів моделювання, що найбільша ефективність роботи РК компресора спостерігається при найменшій величині радіального зазору. Але потрібно враховувати радіальну деформацію лопаток робочого колеса під дією газових і відцентрових навантажень, яка при замалому зазорі може призвести до контакту лопаток РК з корпусом компресора під час його роботи і їх поломки.

Тому вибір величини радіального зазору з урахуванням всіх факторів, які впливають на його величину, є важливою задачею у процесі проектування та експлуатації осьових компресорів ГТУ. Надроторні конструктивні заходи, які дозволяють контролювати зазор в умовах зміни навантаження на різних режимах роботи, мають велике значення для підвищення надійності та довговічності установок.