УДК 621.181.7 **doi: 10.32620/aktt.2025.4sup2.03**

**К. І. КАПІТАНЧУК, С. А. ЯКИМЧУК**

***Державний університет «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна***

# МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДЦЕНТРОВОГО ВЕНТИЛЯТОРА ІЗ ЗАГНУТИМИ НАЗАД ЛОПАТКАМИ

*У машинобудуванні особливу увагу приділяють підвищенню ефективності вентиляційних систем, а саме при проектуванні енергетичного обладнання та літальних апаратів. Одним із перспективних напрямів є оптимізація аеродинамічних характеристик відцентрових вентиляторів, що мають загнуті назад лопатки, які забезпечують високу ефективність у різних діапазонах режимів роботи. Особливості конструкції вентилятора, такі як форма і тип робочого колеса, значно впливають на втрати повного тиску в каналах подачі повітря та загальну аеродинамічну ефективність. У цій роботі представлено результати чисельного дослідження характеристик відцентрового вентилятора із загнутими назад лопатками; порівнюються два варіанти конструкції: з відкритим та закритим робочими колесами. Застосування CFD-моделювання разом із геометричною оптимізацією підвищує точність розрахунків і сприяє підвищенню ефективності конструктивних рішень. Особливу увагу приділено впливу типу робочого колеса на характеристики витрати повітря, повного тиску та коефіцієнта корисної дії. Було проведено чисельне моделювання в Ansys CFX з метою оцінки характеристик потоку в робочому колесі та на виході з вентилятора. Геометрію робочого колеса створено за допомогою модуля BladeGen, що дало змогу визначити форму лопаток та забезпечити подальший аналіз у середовищі CFD. Моделювання в програмі Ansys дозволили додатково оцінити аеродинамічні характеристики вентилятора. Результати чисельного моделювання дозволили дослідити особливості аеродинамічної характеристики вентилятора залежно від типу конструкції. Особливістю цього дослідження є оцінка ефективності двох типів робочих коліс за однакових граничних умов. Установлено, що закрите робоче колесо демонструє вищу продуктивність і стабільність параметрів, особливо за умов підвищеного навантаження. Це зумовлено більш ефективним керуванням повітряним потоком, зменшенням утворення завихрень і зниженням втрат, спричинених витоками повітря. Запропонований підхід до чисельного аналізу дозволяє сформувати загальні рекомендації щодо вибору типу робочого колеса залежно від умов експлуатації вентиляційної системи.*

***Ключові слова**: відцентровий вентилятор; загнуті назад лопатки; чисельне моделювання; CFD-аналіз; аеродинамічні характеристики; ефективність; статичний тиск; витрата повітря.*

## Вступ

Відцентровий вентилятор є одним із важливих пристроїв для подачі великого об’єму повітря під заданим тиском. Його конструкція забезпечує постійну подачу повітря в необхідній кількості, що робить такі пристрої незамінними в багатьох галузях промисловості та економіки. Завдяки поєднанню універсальності, надійності та продуманого інженерного рішення, відцентрові вентилятори ефективно застосовуються на промислових підприємствах у всьому світі [1, 2].

Конструкція відцентрового вентилятора надано на рис. 1.

Серед основних переваг відцентрового вентиляційного обладнання варто виділити високу продуктивність, відсутність мастила у стисненому повітрі, безпечність використання, невисокі експлуатаційні витрати, довговічність, низький рівень шуму, компактність конструкції, а також здатність працювати у режимі тривалої безперервної роботи [2-4].

У роботі проведено чисельне моделювання аеродинамічних характеристик відцентрового вентилятора з використанням методу CFD.

Рис 1. Дизайн відцентрового вентилятора

Розрахунки виконувалися на основі класичних емпіричних залежностей, що застосовуються в теорії відцентрових машин. Геометрія лопаток була оптимізована з метою зменшення втрат енергії та зниження турбулентності. Для підвищення загального коефіці-

Creative Commons Attribution NonCommercial 4.0 International

ISSN 1814-4225 (print)
ISSN 2663-2012 (online)

єнта корисної дії застосовано назад загнуту форму лопаток. Проєктування профілю робочого колеса виконувалося в середовищі Ansys BladeGen [3, 5].

## Постановка задачі дослідження

Об'єктом дослідження є робоче колесо відцентрового вентилятора, що використовується в системах подачі та циркуляції повітря. У досліджені було поставлено завдання створити твердотільні моделі робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад лопатками двох типів: з відкритим та закритим робочим колесом, а також порівняти їхні напірні характеристики.

Чисельне моделювання потоку виконувалося у форматі CFD-аналізу з використанням методу чисельного експерименту.

Для замикання системи рівнянь Нав'є-Стокса застосовувалася модель турбулентності SST-Ментера, обрана на основі попереднього аналізу умов задачі та її ефективності для складних обтікань. Розрахункова сітка була неструктурованою, з локальною адаптацією в зоні прикордонного шару, що дозволило точніше врахувати особливості турбулентного потоку поблизу стінок [6-8].

Створені твердотільні моделі відкритого та закритого робочого колеса представлено на рис. 2 та рис. 3.

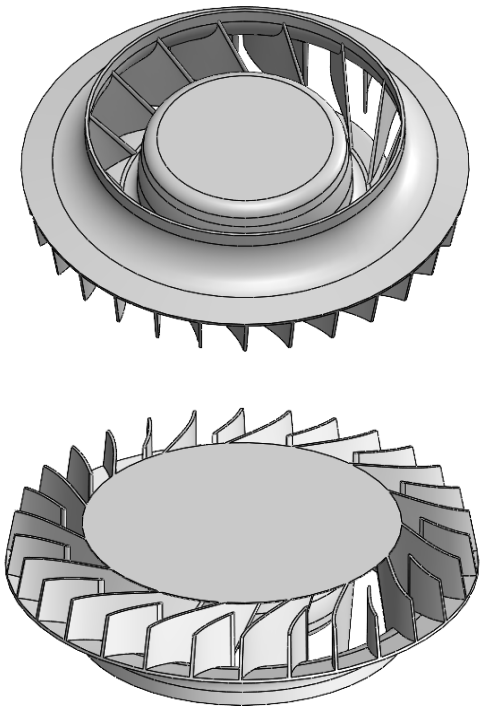

Рис. 2. Модель відкритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками

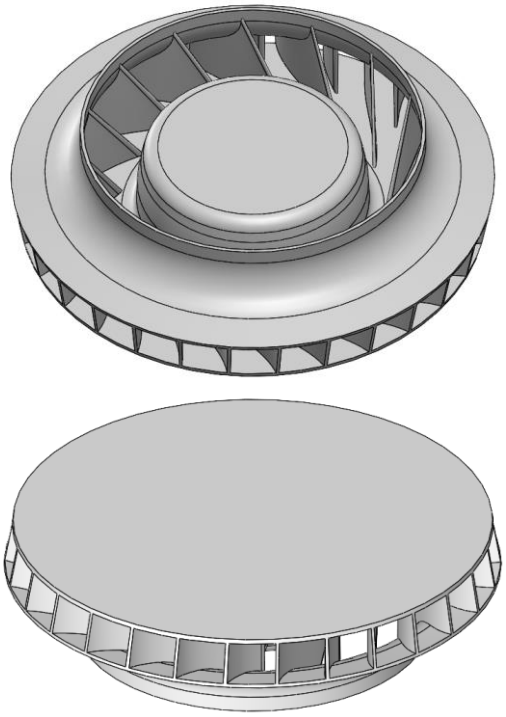

Рис. 3. Модель закритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками

## Результати

Для аналізу аеродинамічних характеристик двох типів робочих коліс: відкритого та закритого було виконано чисельне моделювання у середовищі Ansys CFD. Розрахунки проведено в усталеному режимі, з використанням SST-моделі турбулентності Ментера, яка забезпечує високу точність опису потоку у приграничних шарах.

На рис. 4 наведено скалярне поле швидкостей для відкритого робочого колеса вентилятора із загнутими назад крильчатками.

Видно, що у міжлопатковому просторі формуються зони підвищених швидкостей, а також спостерігається незначна асиметрія розподілу, зумовлена впливом відцентрової сили та геометрії лопаток. Потік має добре виражений напрям до вихідної кромки, що свідчить про ефективне прискорення повітря.

На рис. 5 подано скалярне поле швидкостей для закритого робочого колеса з аналогічною геометрією лопаток. Хоча структура потоку загалом подібна, помітна дещо більша рівномірність розподілу швидкостей у каналах, зменшення турбулентних зон поблизу лопаток та менше відхилення потоку.

Наявність бічних дисків, що утворюють закриту геометрію, зменшує витоки повітря через торці і підвищує аеродинамічну стабільність.

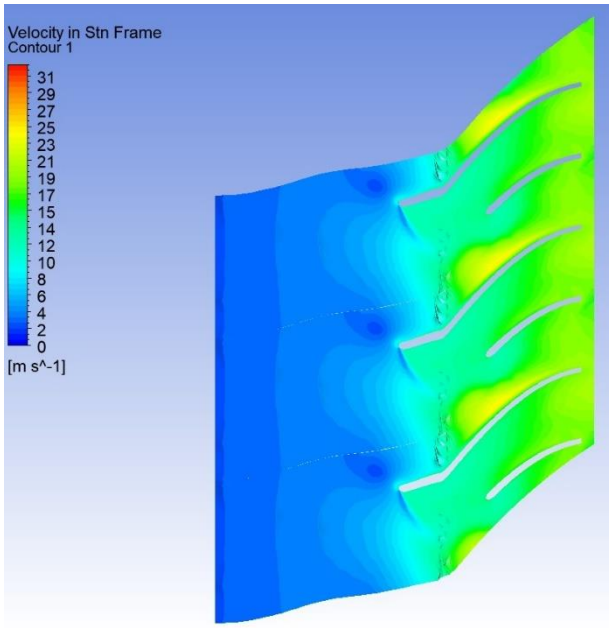


Рис. 4. Скалярне поле швидкостей відкритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками

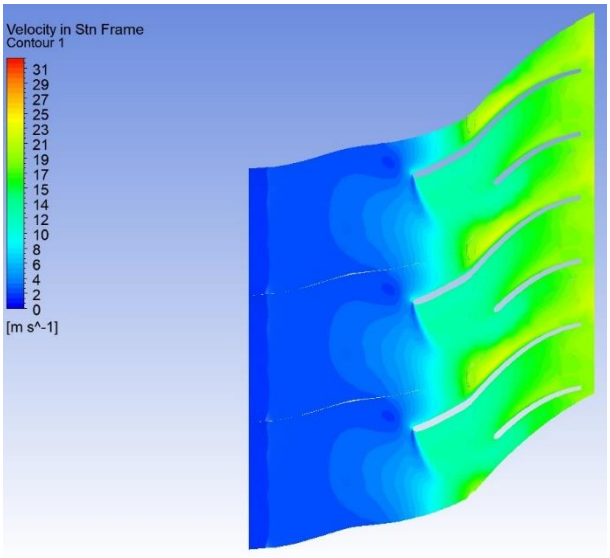


Рис. 5. Скалярне поле швидкостей закритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками

На рис. 6 представлено скалярне поле тиску для відкритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками. Видно, що вхідна частина має зону пониженого тиску, тоді як ближче до вихідної кромки спостерігається різке підвищення тиску внаслідок відцентрового прискорення повітряного потоку.

Розподіл тиску є нерівномірним у міжлопатковому просторі, що свідчить про наявність локальних турбулентних ефектів та вторинних течій. Такі особливості можуть зумовлювати додаткові гідродинамічні втрати.

На рис. 7 зображено скалярне поле тиску для закритого робочого колеса з аналогічною геометрією лопаток. На відміну від відкритої конструкції, розподіл тиску тут більш рівномірний, з чітко вираженим градієнтом від центру до периферії.

Наявність бічних дисків зменшує витоки повітря у радіальному напрямку, що сприяє більш ефективному нагнітанню.

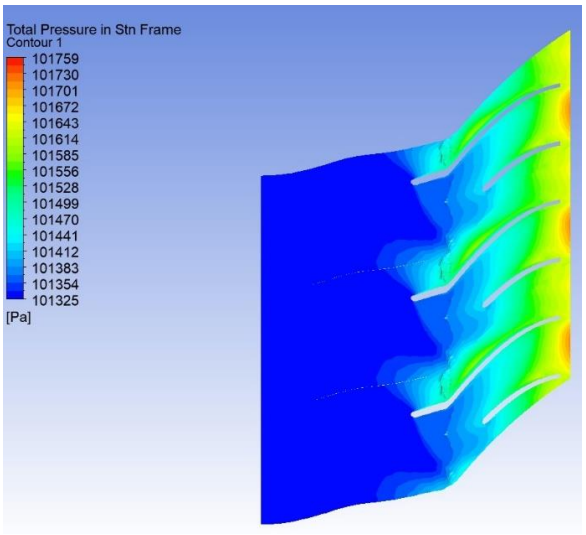


Рис. 6. Скалярне поле тиску відкритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками

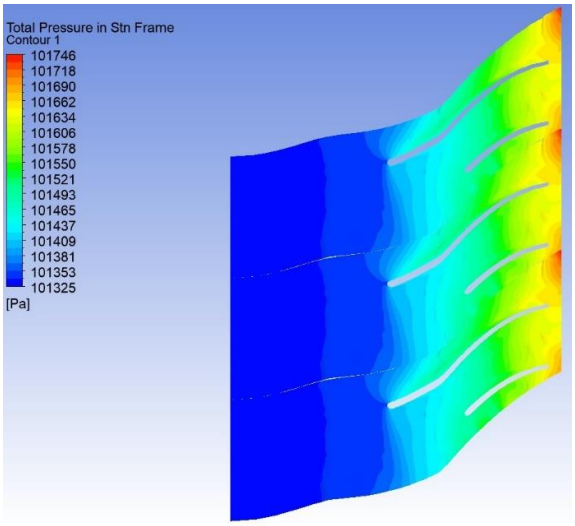


Рис. 7. Скалярне поле тиску закритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками

На рис. 8 наведено скалярне меридіальне поле швидкостей для відкритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками. Спостерігається нерівномірний розподіл меридіальної швидкості по довжині лопаток: у центральній частині потік прискорюється, тоді як у пери-

ISSN 1814-4225 (print)
ISSN 2663-2012 (online)

ферійній зоні з'являються області локального уповільнення, що свідчить про можливі втрати енергії через відриви потоку. Відкритість конструкції також сприяє радіальному витоку повітря, що впливає на зниження ефективності.

На рис. 9 показано скалярне меридіальне поле швидкостей для закритого робочого колеса. Порівняно з відкритим варіантом, розподіл швидкостей є більш плавним та симетричним, з меншими зонами локальних завихрень. Наявність передньої та задньої кришки стабілізує потік і зменшує вплив вторинних течій, що позитивно впливає на аеродинамічні процеси.

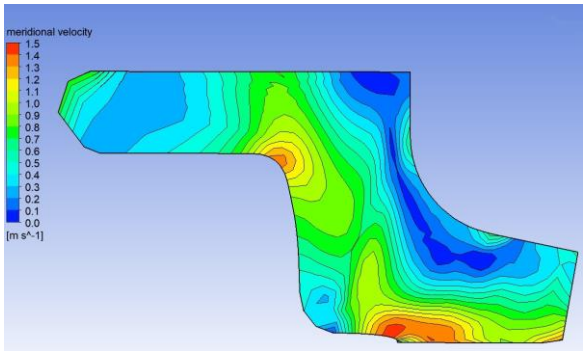


Рис.8. Скалярне меридіальне поле швидкостей відкритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками

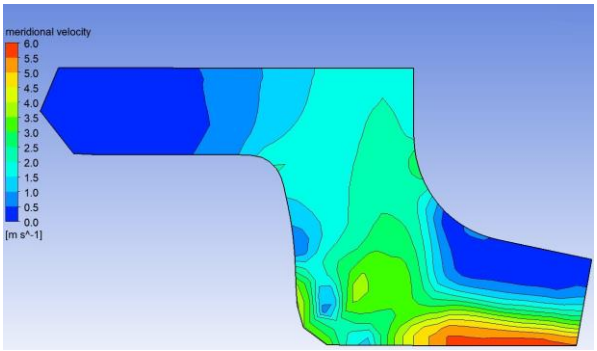


Рис. 9. Скалярне меридіальне поле швидкостей закритого робочого колеса відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками

На рис. 10-12 представлено залежності статичного тиску, споживаної потужності та ефективності відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками від витрати повітря. Результати дослідження показують різницю в ефективності та продуктивності цих моделей.

Модель вентилятора з відкритим робочим колесом показала, що зі зростанням споживаної потужності об'єм поданого повітря також збільшується, досягаючи максимуму 135 м³/год при потужності 21 Вт. Однак при подальшому зростанні потужності продуктивність починає знижуватись через збільшення опору потоку, спричиненого підвищенням тиску.

Ефективність цієї моделі також зростає зі збільшенням потужності, досягаючи максимуму 54% при потужності 12 Вт.

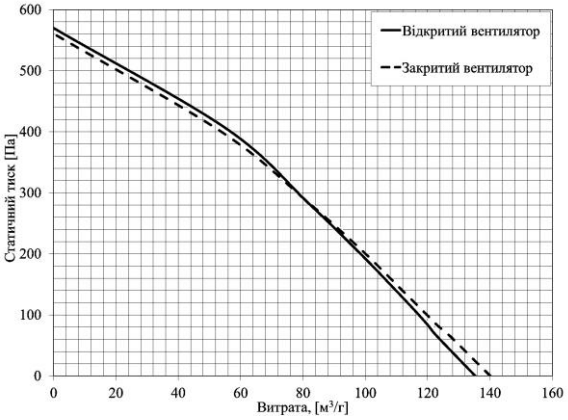


Рис. 10. Залежність статичного тиску відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками від витрати повітря

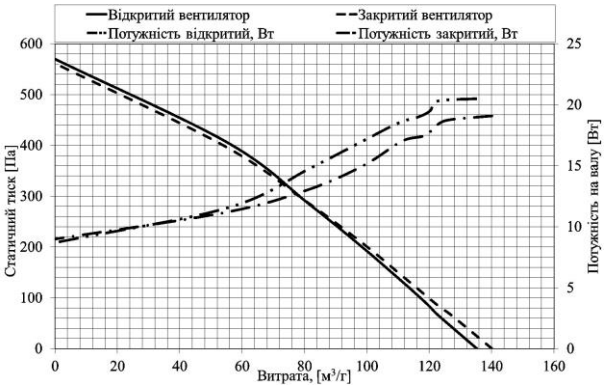


Рис. 11. Залежність статичного тиску та споживаної потужності від витрати повітря

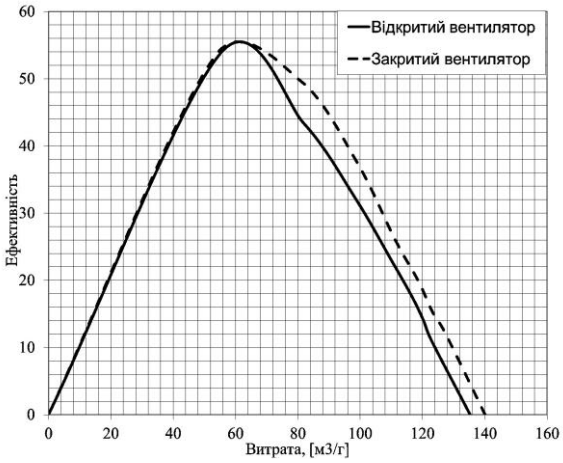


Рис. 12. Залежність ефективності відцентрового вентилятора із загнутими назад крильчатками від витрати повітря

Найвищі значення ефективності спостерігаються при середніх рівнях тиску та потужності. При високому тиску ефективність суттєво зменшується, що свідчить про те, що відкриті робочі колеса працюють найкраще на середніх режимах роботи.

Модель із закритим робочим колесом демонструє вищу продуктивність за аналогічних рівнів споживаної потужності: максимальний об'єм повітря становить 140 м³/год при потужності 19 Вт, що вказує на більш ефективну організацію потоку в закритій конструкції.

ККД вентилятора із закритим колесом також зростає зі збільшенням потужності й досягає максимуму 55 % при 11 Вт. На всіх режимах ця модель демонструє вищу ефективність, ніж модель з відкритим робочим колесом.

При зростанні тиску зниження ефективності в моделі із закритим колесом є менш вираженим, що свідчить про кращу здатність до утримання й стабілізації потоку. Отже, закриті робочі колеса забезпечують більш стабільну роботу в умовах підвищених навантажень та забезпечують вищу продуктивність.

## Висновки

У даному дослідженні проведено чисельне моделювання та експериментальне порівняння аеродинамічних характеристик відцентрового вентилятора з відкритим та закритим робочим колесом, оснащеним загнутими назад лопатками. CFD-аналіз, виконаний у середовищі ANSYS, дозволив визначити вплив типу конструкції робочого колеса на параметри потоку, а саме швидкість, тиск та ефективність вентилятора.

Отримані результати показали, що модель із закритим робочим колесом забезпечує вищу продуктивність та ефективність при аналогічних рівнях споживаної потужності порівняно з відкритим колесом. Закрита конструкція краще утримує повітряний потік, знижуючи втрати енергії та демонструючи стабільні характеристики навіть за підвищеного тиску.

Отже, для систем, де важливими є висока продуктивність і стабільність роботи, доцільно використовувати закриті робочі колеса. Отримані результати можуть бути використані для подальшої оптимізації конструкцій вентиляторів з метою підвищення їх енергоефективності.

**Внесок авторів:** формулювання проблеми **– К. І. Капітанчук, С. А. Якимчук**; огляд та аналіз інформаційних джерел – **К. І. Капітанчук, С. А. Якимчук**; розробка дослідницького стенда – **К. І. Капітанчук, С. А. Якимчук**; верифікація дослідницького стенда, аналіз результатів верифікації – **К. В. Балалаєва**; аналіз результатів апробації – **К. В. Балалаєва.**

### Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо цього дослідження, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

### Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

### Наявність даних

Рукопис немає супутніх даних.

### Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що вони не використовували технології штучного інтелекту при створенні даної роботи.

### Подяка

Автори висловлюють подяку кафедрі Авіаційних двигунів державного університету «Київський авіаційний інститут»

Усі автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису

## Література

1. *Кулик, М.С. Нагнітачі природного газу. [Текст] / М. С. Кулик, К. І. Капітанчук, & М. П. Андріїшин. – К. : НАУ-друк. - 2022. – 224 с.*
2. *Підвищення ефективності вентиляційних установок ежекторного типу. [Текст] / П. І. Греков, К. І. Капітанчук, Л. Г. Волянська, & В. Є. Алпатов // Промислова гідравліка і пневматика. – 2005. – №4(10). – С. 45-49.*
3. *Construction of a compressor stage blade row according to the Gasdinamic [Текст] / М. Ю. Богданов, П. І. Греков, К. І. Капітанчук, & І. О. Ластівка // Наукоємні технології. – 2012. – №1 (13). – С. 5-8.*
4. *Андріїшин, М. П. Визначення ефективності роботи газоперекачувального агрегату компресорної станції за даними її експлуатації [Текст] / М. П. Андріїшин, К. І. Капітанчук, & Н. М. Андріїшин // Наукоємні технології. – 2021. – №1 (49). – С. 49–56.*
5. *Капітанчук, К. І. Методика розрахунку ізоентропної течії реального газу з використанням газодинамічних функцій [Текст] / К. І. Капітанчук // Енергетичні установки: матеріали XIII Міжнар. наук.-тех. конф. «АВІА–2017», 19–21 квітня 2017 року, м. Київ: НАУ. – 2017. – С. 20.62–20.65.*

*ISSN 1814-4225 (print)*
*ISSN 2663-2012 (online)*

*6. Греков, П. І. Теорія газотурбінних установок і компресорів. [Текст] / П. І. Греков, К. І. Капітанчук, І. Ф. Кінащук. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ–друк». – 2009. – 80 с.*

*7. Kapitanchuk, K. I. Design and experimental research of a centrifugal fan with backward-curved blades [Текст] / K. I. Kapitanchuk, M. P., Andriyishyn, & S. A. Yakymchuk // Engines and Power Installations: Safety in Aviation And Space Technologies: The Eleventh World Congress. «Aviation in the XXI-st Century». September 25–27. 2024. Kyiv: State University «Kyiv Aviation Institute». - 2024. - Vol. 1. – P. 1.4.5 –1.4.9.*

*8. Андріїшин, М. П. Вимірювальний стенд для визначення аеродинамічних характеристик вентиляторів відповідно до стандарту ANSI/AMCA 210-07 [Текст] / М. П. Андріїшин, К. І. Капітанчук, & С. А. Якимчук // XXIV Міжнар. наук.-тех. конф. АС ПГП "Промислова гідравліка і пневматика", 19-20 грудня 2024 року, м. Київ.: матеріали конференції – 2025. – С. 57-61.*

## References

1. Kulyk, M. S., Kapitanchuk, K. I., & Andriyishyn, M. P. *Nahnitachi pryrodnoho hazu* [Natural gas compressors]. Kyiv, Vy`d-vo Nacz. aviacz. un-tu «NAU-druk», 2022. 224 p. (in Ukrainian).

2. Hrekov, P. I., Kapitanchuk, K. I., Volyans'ka, L. H., & Alpatov, V.Ye. *Pidvyshchennya efektyvnosti ventylyatsiynykh ustanovok ezhektornoho typu.* [Improving the efficiency of ejector-type ventilation systems]. Promyslova hidravlika i pnevmatyka, 2005, pp. 45-49. (in Ukrainian).

3. Bohdanov, M. Yu., Hrekov, P. I., Kapitanchuk, K. I., & Lastivka, I. O. Construction of a compressor stage blade row according to the Gasdinamic. *Naukoyemni tekhnolohiyi*, 2012, no. 1(13), pp. 5-8.

4. Andriyishyn, M. P., Kapitanchuk, K. I., & Andriyishyn, N. M. Vyznachennya efektyvnosti roboty hazoperekachuval'noho ahrehatu kompresornoyi stantsiyi za danymy yiyi ekspluatatsiyi [Determining the efficiency of a gas pumping unit at a compressor station based on its operational data]. *Naukoyemni tekhnolohiyi*, 2021, vol. 1(49), pp. 49-56. (in Ukrainian).

5. Kapitanchuk, K. I. *Metodyka rozrakhunku izoentropnoyi techiyi real'noho hazu z vykorys-tannyam hazodynamichnykh funktsiy* [Method for calculating isentropic flow of a real gas using gas-dynamic functions]. Enerhetychni ustanovky, «AVIA–2017», NAU, 2017, pp. 20.62–20.65.

6. Hrekov, P. I., Kapitanchuk, K. I., Kinashchuk, I. F. *Teoriya hazoturbinnykh ustanovok i kompresoriv*. [Theory of gas turbine units and compressors]. Vyd-vo Nats. aviats. un-tu «NAU–druk», 2009. 80 p.

7. Kapitanchuk, K. I., Andriyishyn, M. P., Yakymchuk, S. A. Design and experimental research of a centrifugal fan with backward-curved blades. Engines and Power Installations: Safety in Aviation And Space Technologies: The Eleventh World Congress, «Aviation in the XXI-st Century», 2024, vol. 1, pp. 1.4.5 –1.4.9. (in Ukrainian).

8. Andriyishyn, M. P., Kapitanchuk, K. I., Yakymchuk, S. A. *Vymiryuval'nyy stend dlya vyznachennya aerodynamichnykh kharakterystyk ventylyatoriv vidpovidno do standartu ANSI/AMCA 210-07* [Test rig for determining the aerodynamic characteristics of fans in accordance with ANSI/AMCA Standard 210-07]. Kyiv, AS PHP "Promyslova hidravlika i pnevmatyka", 2025, pp. 57-61. (in Ukrainian).

*Надійшла до редакції 15.05.2025, розглянута на редколегії 18.08.2025*

## MODELING AND INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF A CENTRIFUGAL FAN WITH BACKWARD-CURVED

***Kostiantyn Kapitanchuk, Serhii Yakymchuk***

Particular attention is paid to improving the efficiency of ventilation systems in mechanical engineering, especially in the design of power equipment and aircraft. One of the promising directions in this area is optimizing the aerodynamic characteristics of centrifugal fans equipped with backward-curved blades, which provide high efficiency over a wide range of operating conditions. The fan design, specifically the shape and type of impeller, significantly affects the total pressure losses in air supply channels and the overall aerodynamic performance of the system. This study presents the results of a numerical investigation of the characteristics of a centrifugal fan with backward-curved blades, comparing two design configurations: one with an open impeller and the other with a closed impeller. Combining CFD modeling with geometric optimization enhances the accuracy of calculations and contributes to the overall effectiveness of the design solutions. The influence of the impeller type on airflow rate,

total pressure, and efficiency is given particular attention. Numerical simulations were conducted to evaluate the flow characteristics inside the impeller and at the fan outlet using Ansys CFX. The BladeGen module was used to create the impeller geometry, which allowed for the precise shaping of the blades and enabled further analysis in the CFD environment. Additional aerodynamic evaluations of the fan were conducted using various simulation tools within Ansys, providing a more comprehensive understanding of performance under different design conditions. The numerical modeling results enabled a detailed analysis of how the aerodynamic performance of the fan depends on the type of impeller used. The efficiency of two types of impellers under identical boundary conditions is a distinctive feature of this study. The closed impeller provides superior performance and greater stability of operational parameters, particularly under high-load conditions. This improvement is attributed to more efficient airflow control, reduced vortex formation, and decreased losses caused by air leakage through the system's gaps. The numerical approach developed in this research allows for the formulation of general recommendations regarding the selection of the impeller type depending on the ventilation system's specific operating conditions. The combination of CFD simulation and geometry optimization not only ensures more accurate predictions of fan behavior but also supports the development of more energy-efficient and reliable ventilation equipment. Thus, the findings of this study have practical implications for the engineering design process, particularly in sectors where ventilation performance is critical to system efficiency and operational reliability.

**Keywords:** centrifugal fan; backward-curved blades; numerical simulation; CFD analysis; aerodynamic characteristics; efficiency; static pressure; airflow rate.

**Капітанчук Костянтин Іванович** – канд. техн. наук, доц. каф. авіаційних двигунів, Державного університету «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна.

**Якимчук Сергій Анатолійович** – асп., Державного університету «Київський авіаційний інститут», Київ, Україна.

**Kostiantyn Kapitanchuk** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Aviation Engine, State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine,
e-mail: k.kapitanchuk@ukr.net, ORCID: 0000-0003-3605-0977.

**Serhii Yakymchuk** – PhD Student, State University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine,
e-mail: 2471977@stud.kai.edu.ua, ORCID: 0009-0002-0815-2490.