

## ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації *Карпенка Артема Михайловича* на тему «Використання явища сепарації закрученого газового потоку за температурою для вдосконалення охолодження елементів ротора турбіни», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування**

На засіданні кафедри конструкції авіаційних двигунів за участі:

Спіфанова Сергія Валерійовича, д.т.н., професора, завідувача кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;

Гусева Юрія Олексійовича, к.т.н., доцента, професора кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;

Гаркуші Олександра Івановича, к.т.н., доцента, доцента кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;

Безуглого Сергія Володимировича, к.т.н., доцента, доцента кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;

Суховія Сергія Івановича, к.т.н., доцента, доцента кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;

Марценюка Євгена Вікторовича, ст. викладача кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;

Петухова Іллі Івановича, к.т.н., доцента, доцента кафедри аерокосмічної теплотехніки «ХАІ»;

Фесенко Ксенії Володимирівни, к.т.н., доцента, доцента кафедри теорії авіаційних двигунів «ХАІ»;

Халатова Артема Артемовича, академіка НАН України, д.т.н., професора, завідувача відділу високотемпературної термогазодинаміки Інституту технічної теплофізики НАН України (Київ);

Усатого Олександра Павловича, д.т.н., професора, завідувача кафедри турбінобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Торби Юрія Івановича, к.т.н., заступника генерального директора з наукової та експериментально-випробувальної роботи АТ «Івченко-Прогрес»;

Кухтіна Юрія Петровича, к.т.н., провідного наукового співробітника групи газодинамічних розрахунків турбін АТ «Івченко-Прогрес»;

Хомилева Сергія Олександровича, к.т.н., керівника групи газодинамічних розрахунків турбін АТ «Івченко-Прогрес»;

Бандурко Євгена Олександровича, керівника групи теплових розрахунків АТ «Івченко-Прогрес»;

Морозова Андрія Володимировича, PhD, провідного інженера-дослідника АТ «Івченко-Прогрес» (Запоріжжя);

Свеженцева Сергія Юрійовича, аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;

Бондаренка Олексія Васильовича, PhD, ст. викладача кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;  
Цуканова Руслана Юрійовича, ст. викладача кафедри конструкції літаків і вертольотів, аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;  
Векліча Ярослава Сергійовича, аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;  
Пушилїна Олексія Євгенович, начальника відділу АТ «Івченко-Прогрес», аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;  
Кригіна Сергія Сергійовича, провідного інженера-дослідника АТ «Івченко-Прогрес», аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;  
Жиркова Олександра Григоровича, провідного інженера-дослідника АТ «Івченко-Прогрес»;  
Шевчука Олега Володимировича, провідного інженера АТ «Івченко-Прогрес», аспіранта кафедри турбінобудування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;  
Бориса Сергія Богдановича, провідного інженера АТ «Івченко-Прогрес», аспіранта кафедри конструкції авіаційних двигунів «ХАІ»;  
Неманежина Євгена Олександровича, PhD, провідного-інженера дослідника АТ «Івченко-Прогрес»

відбулася публічна презентація дисертаційної роботи *Карпенка Артема Михайловича* на тему **«Використання явища сепарації закрученого газового потоку за температурою для вдосконалення охолодження елементів ротора турбіни»**.

На підставі обговорення змісту презентації дисертаційної роботи ухвалено такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації (результати голосування – одноголосно).

## **1. Актуальність теми дослідження**

Підвищення температури газу перед турбіною є одним із визначальних чинників зростання ефективності газотурбінних двигунів, що супроводжується збільшенням теплових навантажень на елементи ротора турбіни. Подальше вдосконалення традиційних схем внутрішнього та плівкового охолодження обмежується технологічними можливостями виготовлення каналів складної форми та зростанням гідравлічних втрат.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності систем охолодження є зниження температури охолодного повітря перед його підведенням до робочих лопаток. Застосування традиційних теплообмінників у складі газотурбінних двигунів пов'язане з конструктивними, масогабаритними та експлуатаційними обмеженнями. У цьому контексті науковий і практичний інтерес становить використання температурної сепарації закрученого потоку в системах охолодження турбін ГТД.

Незважаючи на наявність значної кількості досліджень вихрового ефекту Ранка, відсутність єдиної загальноновизнаної теорії, яка пояснює механізм сепарації обертової течії за температурою, ускладнює його

цілеспрямоване інженерне застосування. У цьому контексті результати даної роботи мають потенціал сприяти подоланню зазначених обмежень.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Представлена дисертаційна робота є частиною наукових досліджень АТ «Івченко-Прогрес» у рамках створення науково-технічного доробку, основною метою якого є підвищення ефективності та конкурентоспроможності вітчизняних силових установок для літальних апаратів, зокрема через пошук нових методів удосконалення систем охолодження газових турбін. Робота відповідає основним завданням «Державної цільової науково-технічної програми розвитку авіаційної промисловості на 2021–2030 роки», що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 01 вересня 2021 р. № 951.

## **3. Наукова новизна отриманих результатів**

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Уперше запропоновано метод супутнього закручування потоку охолодного повітря перед його потраплянням до каналів охолодження робочих лопаток турбіни, який відрізняється використанням ефекту Ранка з примусовим розділенням оберткової течії на гарячий і холодний потоки та їх спрямуванням у різні зони дискової порожнини. Холодна фракція підводиться до робочих лопаток, що забезпечує зниження температури охолодного повітря й може підвищувати ефективність охолодження лопаток.

2. Набуло подальшого розвитку уявлення щодо причин виникнення радіальної температурної сепарації в закручених потоках рідини. Аналітично та чисельно доведено, що визначальним механізмом є робота відцентрових сил інерції, тоді як внесок інших чинників (нестаціонарність, турбулентність, в'язкість, стисливість тощо) є величиною меншого порядку. Встановлено фактори, що зумовлюють радіальну сепарацію потоку за температурою: квадрат тангенціальної швидкості, кривизна ліній струму та зміна в радіальному напрямку суми кінетичних енергій від швидкостей, дотичних до поверхні струму. Отримані результати створюють можливість цілеспрямованої інтенсифікації температурної сепарації шляхом конструктивного впливу на параметри закрученого потоку.

3. Отримало подальший розвиток уявлення щодо фізичної природи динамічних газових сил, які діють на робочі лопатки турбіни. Установлено, що їх величина визначається не лише параметрами течії на виході з соплового апарата, а й роботою відцентрових сил у криволінійному русі, яка зумовлює енергетичну сепарацію: зростання повної ентальпії біля корита та зменшення – біля спинки лопатки. Виявлено, що такий нерівномірний розподіл повної ентальпії корелює з амплітудою нестаціонарних газових сил, причому амплітуда тим вища, чим більша кривизна лопатки й тангенціальна швидкість потоку. Урахування впливу криволінійного руху потоку при проектуванні робочих лопаток турбін забезпечує більш точне прогнозування динамічних навантажень лопаток.

#### 4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи

Практичне значення результатів дослідження полягає в можливості їх використання для вдосконалення систем охолодження газотурбінних двигунів. Запропонований метод підвищення ефективності охолодження робочих лопаток турбіни, який ґрунтується на використанні вихрового ефекту Ранка в конструкції апарата супутнього закручування, дозволяє знизити температуру охолодного повітря, що подається до лопаток, і тим самим створює умови для:

- підвищення ресурсу та надійності робочих лопаток турбіни;
- зменшення витрати охолодного повітря без втрати ефективності охолодження;
- зростання коефіцієнта корисної дії газотурбінного двигуна.

Таким чином, результати дослідження мають прикладне значення для конструкторських і проєктних організацій, що займаються розробкою газотурбінних двигунів, та можуть бути використані в практиці проєктування чи модернізації високоефективних систем підведення охолодного повітря до робочих лопаток турбін сучасних і перспективних ГТД авіаційного та енергетичного призначення.

Практичне значення отриманих результатів підтверджено актами про впровадження результатів дисертаційного дослідження.

#### 5. Апробація/використання результатів дисертації

Основні результати роботи представлені на конференціях:

1. Karpenko, A. & Kukhtin, Yu. (2024). Study of the total temperature redistribution in the complex swirling flows. In *Proceedings of the ASME Turbo Expo 2024: Turbomachinery technical conference and exposition*, London, United Kingdom. <https://doi.org/10.1115/gt2024-120961>.

2. Karpenko, A., Kukhtin, Yu. & Lapotko, V. (2024). Numerical Study of the effect of vane-blade spacing on unsteady aerodynamic loading of transonic turbine blades. In *Proceedings of the 26th Conference of the International Society for Air Breathing Engines*. Toulouse, France. <https://www.proceedings.com/77681.html>.

3. Карпенко, А. М. (2025). Огляд методів CFD-аналізу температурної сепарації потоку у вихровій трубі Ранка-Гільша. *Тези доповіді на XXX Міжнародному конгресі двигунобудівників*, Харків, Україна (с. 29). <https://doi.org/10.32620/ІРЕС.25>.

Розроблені автором наукові положення реалізовані:

- в АТ "Івченко-Прогрес" (м. Запоріжжя) при проєктуванні нових і модернізації існуючих турбін ГТД розробки підприємства, зокрема під час модернізації систем охолодження турбін двигунів АІ-450ТД, АІ-450М, АІ-450В, АІ-450С-2, АІ-450СР-2;

- у навчальному процесі кафедри конструкції авіаційних двигунів Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» у вигляді лекційних матеріалів і практичних робіт за навчальною

дисципліною «Системи охолодження та термічна міцність авіаційних двигунів і енергетичних установок».

## **6. Дотримання принципів академічної доброчесності**

Дисертація А. М. Карпенка є оригінальною роботою, виконана здобувачем самостійно й доброчесно, текст рукопису дисертаційної роботи на містить ознак академічного шахрайства. Роботу передано експерту для проведення науково-технічної експертизи щодо збігів з Internet-джерелами, про що буде надано відповідний звіт.

## **7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.**

Основний зміст дисертації відображено в 4 статтях у виданнях, які входять до переліку наукових фахових видань України. Окрім цього, основні результати роботи опубліковані в 3 тезах науково-технічних конференцій.

1. Карпенко, А. (2025). Огляд чисельних методів для моделювання сепарації потоку за температурою у закручених течіях рідини. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, 4sup1(205), 108-117. <https://doi.org/10.32620/aktt.2025.4sup1.14>.

2. Карпенко, А. (2025). Теорії ефекту Ранка: критичний огляд сучасного стану досліджень. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, 5(207), 27-41. <https://doi.org/10.32620/aktt.2025.5.03>.

3. Карпенко, А., & Торба, Ю. (2025). Розробка та валідація CFD моделі для розрахунку температурної сепарації в закручених потоках рідини. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, 6(208), 16–24. <https://doi.org/10.32620/aktt.2025.6.02>.

Автором виконано розробку CFD-моделі; проведення розрахунків з метою дослідження сіткової збіжності, вибору моделі турбулентності та валідації CFD-моделі шляхом порівняння результатів розрахунків з експериментальними даними; аналіз результатів дослідження; формулювання висновків;

4. Карпенко, А. (2026). Вдосконалення системи охолодження газової турбіни шляхом використання ефекту Ранка. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, 1(209), 40-50. <https://doi.org/10.32620/aktt.2026.1.04>.

## **8. Висновок наукового керівника**

Виконання індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання за відповідною науково-освітньою програмою та написання дисертації Карпенком Артемом Михайловичем вважаю успішним. Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження, завершеною науковою працею, яка містить наукову новизну. Вона виконана на високому науковому рівні та відповідає всім установленим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, й може бути рекомендована до захисту, а її автор

Карпенко Артем Михайлович – до присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Отже, вважаємо, що дисертаційна робота Карпенка Артема Михайловича на тему «Використання явища сепарації закрученого газового потоку за температурою для вдосконалення охолодження елементів ротора турбіни», представлена на здобуття ступеня доктора філософії, відповідає вимогам Порядку присудження наукового ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44). Відтак, вона може бути представлена до захисту в разовій спеціалізованій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Головуючий на засіданні

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри конструкції авіаційних двигунів

Національного аерокосмічного університету

«Харківський авіаційний інститут»

 Сергій ЄПІФАНОВ