

## ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., професора Балалаєвої Катерини Вікторівни  
на дисертаційну роботу Даценка Вадима Анатолійовича  
на тему: «Метод визначення впливу абразивного зносу проточної частини  
компресора на характеристики газотурбінного двигуна за допомогою його  
математичної моделі»,  
представлену на здобуття вченого ступеня доктора філософії  
в галузі знань 14 Електрична інженерія  
за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

Дисертаційна робота присвячена детальному дослідженню одного з актуальних напрямків авіаційного та енергетичного машинобудування, пов'язаних із розробкою методу визначення впливу абразивного зношування проточної частини компресора на характеристики газотурбінного двигуна на основі його математичної моделі. У роботі розв'язується важлива науково-прикладна задача врахування впливу зміни геометричних параметрів лопаткових вінців на термогазодинамічні параметри і характеристики двигуна в процесі експлуатації.

Її наукова актуальність визначається тим, що проблема абразивного зношування елементів проточної частини компресорів газотурбінних двигунів є характерною для експлуатації в умовах запиленого середовища та призводить до погіршення ефективності, економічності й надійності роботи двигунів. Водночас існуючі підходи до оцінювання цього впливу, як правило, базуються на спрощених залежностях або поправкових коефіцієнтах і не дозволяють достатньо точно враховувати реальні зміни геометрії лопаток та їх просторову нерівномірність.

Актуальне наукове завдання, що вирішується в дисертації, полягає у створенні більш досконалого методу математичного моделювання, який забезпечує підвищення достовірності прогнозування характеристик компресора і газотурбінного двигуна в умовах абразивного зношування.

## **Значення для науки і практики**

Найбільш значущими **науковими результатами**, які отримані автором і які визначають відповідність дисертації вимогам до рівня кваліфікаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії, є наступні.

- Уперше для розрахункового визначення впливу абразивного зношування проточної частини компресора на характеристики турбовального двигуна, запропоновано метод, оснований на повузловій нелінійній математичній моделі двигуна, що спирається на двовимірний опис багатоступеневого осьового компресора.
- Набула подальшого розвитку методика визначення геометричних параметрів лопаткових вінців осьового компресора на різних радіусах за обмеженим масивом експериментальних даних про змінення хорди лопаток на середньому радіусі та периферії внаслідок абразивного зносу.
- Удосконалено метод розрахунку термогазодинамічних параметрів та характеристик осьового багатоступеневого компресора в двовимірній постановці шляхом уточнення напівемпіричних залежностей для визначення витрат повного тиску та коефіцієнтів корисної дії ступенів, а також урахування впливу зростання шорсткості поверхонь лопаток і збільшення радіального зазору.

Дисертація має суттєве **значення для практики**:

- Розроблений метод розрахункового аналізу впливу абразивного зношування проточної частини компресора на характеристики турбовального газотурбінного двигуна та відповідний комплекс програм забезпечують підвищення обґрунтованості інженерних рішень під час визначення технічного стану двигунів, прогнозування зміни їх експлуатаційних характеристик, оцінки запасів газодинамічної стійкості та прогнозування зростання експлуатаційних витрат, зокрема внаслідок збільшення питомої витрати палива й зменшення питомої потужності.
- Отримані розрахункові дані щодо просторово-радіальних розподілів параметрів потоку в компресорі (кутів натікання, швидкостей, повної та

статичної температури й тиску), а також кількісні показники зміни інтегральних характеристик компресора (ступеня підвищення тиску, ККД і запасів газодинамічної стійкості) дозволяють оцінювати вплив абразивного зношування на ефективність і стійкість роботи компресора, прогнозувати наближення граничних станів і визначати допустимі режими експлуатації.

### **Обґрунтованість і вірогідність результатів**

Обґрунтованість і вірогідність результатів дисертаційної роботи забезпечуються комплексним використанням сучасних теоретичних і прикладних підходів до дослідження робочих процесів газотурбінних двигунів. Автором виконано ґрунтовний аналіз наукових праць у галузі газодинаміки, теорії газотурбінних двигунів та математичного моделювання, що дозволило коректно сформулювати наукову задачу та визначити основні напрями її розв'язання. В основу досліджень покладено виділення найбільш значущих факторів абразивного зношування, формалізацію їх впливу та побудову відповідної математичної моделі.

Розроблені методи базуються на фундаментальних положеннях термогазодинаміки, теорії лопаткових машин і чисельних методів моделювання. У дисертації створено математичну модель турбовального двигуна та багатоступеневого осьового компресора, яка враховує зміну геометричних параметрів лопаткових вінців унаслідок абразивного зношування. Запропонований підхід дозволяє більш точно відтворювати вплив експлуатаційних умов на характеристики компресора і двигуна в цілому.

Достовірність отриманих результатів підтверджується верифікацією математичної моделі шляхом порівняння результатів розрахунків із експериментальними даними, що засвідчило задовільну збіжність і адекватність моделі.

Отримані результати мають внутрішню узгодженість, підтверджені аналітичними та чисельними дослідженнями і можуть бути використані для прогнозування параметрів турбовальних газотурбінних двигунів, що експлуатуються в умовах підвищеного абразивного навантаження. Це свідчить

про їх обґрунтованість, вірогідність і практичну цінність.

Висновки, наведені автором в дисертації, повністю відповідають її змісту й отриманим результатам.

### **Характеристика розділів**

Дисертаційна робота має логічно побудовану структуру, що відповідає меті та завданням дослідження. Матеріал викладено послідовно: від аналізу сучасного стану проблеми до розроблення методів, їх реалізації та практичного застосування. Обраний підхід забезпечує цілісність сприйняття результатів і обґрунтованість зроблених висновків.

У першому розділі проведено аналіз умов експлуатації газотурбінних двигунів та факторів, що впливають на їх технічний стан, зокрема абразивного зношування елементів проточної частини компресора. Розглянуто сучасні підходи до оцінювання впливу зносу на характеристики двигуна, визначено їх переваги та обмеження, що дозволило сформулювати наукову задачу дослідження.

Другий розділ присвячено аналізу та обґрунтуванню методів математичного моделювання газотурбінних двигунів. Розглянуто існуючі підходи до моделювання компресорів різного рівня деталізації, на основі чого запропоновано удосконалену структуру математичної моделі, що враховує зміну геометричних параметрів у процесі експлуатації.

У третьому розділі розроблено метод розрахунку термогазодинамічних параметрів і характеристик багатоступеневого осьового компресора з урахуванням абразивного зношування. Наведено математичний апарат, алгоритми розрахунку та результати верифікації моделі, що підтверджують її адекватність і придатність до практичного використання.

Четвертий розділ містить результати чисельних досліджень впливу зношування на характеристики компресора і газотурбінного двигуна в цілому. Розроблено методику визначення змінених геометричних параметрів лопаток, проведено серію розрахунків і проаналізовано отримані залежності, що дозволило встановити основні закономірності погіршення характеристик.

У висновках узагальнено основні результати дисертаційної роботи, сформульовано наукові положення та практичні рекомендації. Вони відображають ступінь досягнення поставленої мети, містять оцінку отриманих результатів і визначають напрями подальших досліджень.

Загалом структура дисертації є завершеною та логічно узгодженою, а застосовані методи дослідження відповідають поставленим завданням і сучасному рівню розвитку науки в галузі газотурбінного двигунобудування.

### **Повнота викладення дисертації в публікаціях**

Повнота викладення дисертації в публікаціях Вадима Даценка є високою і повністю відповідає вимогам до оформлення результатів наукового дослідження для здобуття ступеня доктора філософії. Це підтверджується такими факторами:

Автором опубліковано 5 наукових статей, з них: 3 статті у наукових фахових виданнях категорії «Б», Україна, 2 статті у наукових фахових виданнях категорії «А» (Scopus), Україна.

Основні результати роботи представлені на трьох всеукраїнських та трьох міжнародних конференціях: Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» ІКТМ – 2018 (Харків 2018), XXVII міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2019 (Харків 2019), XXIV міжнародний конгрес двигунобудівників (Харків 2019), Тридцять друга всеукраїнська конференція “Нові технології в машинобудуванні” (Харків 2022), Тридцять друга всеукраїнська конференція “Нові технології в машинобудуванні” (Харків 2022), Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025 (Харків 2025).

### **Оформлення дисертації**

Оформлення дисертації виконано відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації»..

Зміст анотації достатньо повно відбиває зміст дисертації, її структуру та основні результати.

### **Зауваження та дискусійні моменти:**

1) Під час верифікації розробленого методу використовується порівняння експериментальних та розрахункових значень. Проте при цьому використовується якісні оцінки («добрий», «задовільний» збіг) без наведення кількісної інформації про значення порівняльних критеріїв, що дещо знижує достовірність чисельного аналізу.

2) В розділі 4 досліджуються характеристики двигуна при певному рівні зносу. Не зрозуміло який саме цей рівень, а також доцільно було б дослідити характеристики двигуна при інших рівнях абразивного зносу.

3) У дисертаційній роботі використано значну кількість розрахункових залежностей, графіків та ілюстрацій. Водночас окремі з них могли б супроводжуватися більш детальними поясненнями фізичного змісту отриманих результатів, що підвищило б наочність викладення матеріалу.

### **Висновки**

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати, що мають важливе значення для розвитку газотурбінного двигунобудування. У роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання розроблення методу визначення впливу абразивного зношування проточної частини компресора на характеристики газотурбінного двигуна на основі математичного моделювання.

Отримані результати відзначаються науковою новизною, обґрунтованістю та вірогідністю, мають практичну цінність і можуть бути використані при аналізі технічного стану та прогнозуванні характеристик газотурбінних двигунів у процесі їх експлуатації.

Дисертаційна робота відповідає вимогам "Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії" затвердженого Постановою Кабінету

Міністрів України від 12.01.22 р. №44, що висуваються до наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії, а її автор – **Даценко Вадим Анатолійович** – заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Д.т.н, професор, професор кафедри  
електричної інженерії та  
енергомашинобудування Державного  
університету «Київський авіаційний  
інститут»

Катерина БАЛАЛАЄВА