

## ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Макарова Павла Миколайовича на тему "Створення методів та технологій відновлення конструкції енергетичного обладнання авіаційної техніки", поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка**

На засіданні кафедри Аерогідродинаміки за участі:

- голови засідання – д.т.н., професора Обідіна Д.М.; д.т.н., професора Крашаниці Ю.О., к.т.н., доцента Бреги Д.А., к.т.н., доцента Репетенко М.В., к.т.н., Смика С.І., к.т.н., доцента Кащенко О.О., к.т.н., Сургайло М.Л., асистента Соколової В.В., асистента Ареф'євої М.О., асистента Бреги Д.А.,

- запрошених фахівців – члена-кореспондента НАН України, д.т.н., професора, лауреата Державної премії України в галузі науки і техніки Костікова А.О., заступника директора з наукової роботи Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України; к.т.н., доцента Крицького Д.М., декана факультету літакобудування; д.т.н., професора Мірошнікова В.Ю., завідувача кафедри міцності літальних апаратів (102); д.т.н., доцента, Гакала П.Г., завідувача кафедри аерокосмічної теплотехніки (205); к.т.н., доцента Лисиці О.Ю., доцента кафедри аерокосмічної теплотехніки (205); к.т.н., доцента Пешко В.А., доцента кафедри теплової та альтернативної енергетики Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", (серед присутніх 5 д.т.н. та 8 к.т.н. в галузі 13 – Механічна інженерія) відбулася публічна презентація дисертаційної роботи Макарова П.М. на тему "Створення методів та технологій відновлення конструкції енергетичного обладнання авіаційної техніки".

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

### **1. Актуальність теми дослідження.**

В умовах військового стану в Україні особливо актуальним стає питання можливості швидкого відновлення авіаційного енергетичного обладнання та енергетичного обладнання аеродромів із забезпеченням мінімального часу ремонту та мінімальних витрат при збереженні належного рівня надійності відремонтованого обладнання.

Таку можливість може дати запозичення ремонтних технологій з близьких галузей науки та техніки, зокрема з енергетичного машинобудування



(гідрогенератори та гідрогенератори-двигуни). Елементи конструкцій гідрогенераторів, як і елементи авіаційного енергетичного обладнання, експлуатуються в умовах складного навантаження, викликаного комплексною дією кількох факторів: інерційних сил від обертання ротора, сил тяжіння, складальних навантажень, що виникають від посадок деталей з натягом, а також температурних навантажень. Також вказані елементи конструкцій піддаються впливу вібрацій, викликаних обертанням ротора, нерівномірністю електромагнітного поля та впливом навантажень від супутніх механізмів.

Наявні вимоги надійності та міцності, що діють в галузі проектування, виробництва та ремонту гідроагрегатів, дозволили відпрацювати ці технології на практиці. Запозичення цих знань та практичних напрацювань з галузі енергетики до галузі літакобудування дасть можливість у стислі терміни здійснювати складний ремонт енергетичного обладнання авіаційної техніки та енергетичного обладнання аеродромів на території України.

Саме вирішенню актуальної задачі створення методів та технологій відновлення конструкції енергетичного обладнання авіаційної техніки присвячено дисертаційну роботу Макарова П.М.

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

Дисертаційна робота виконана в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут".

Робота проводилася відповідно до "Енергетичної стратегії України на період до 2050 р.", що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України №373-р від 21 квітня 2023 р. та «Державної цільової науково-технічної програми розвитку авіаційної промисловості на 2021-2030 роки» згідно з постановою Кабінету Міністрів України № 951 від 1 вересня 2021 р.

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

1. Обґрунтований підхід та розроблений розрахунок напружено-деформованого стану гідроагрегату у тривимірній постановці з явно заданими граничними умовами першого та третього роду з урахуванням режимів роботи при номінальній, угонній та розгінній частотах обертання.

2. Виконане уточнення параметрів технології відновлення гідрогенераторів на основі тривимірного моделювання, яке покладається на покрокове вирішення задачі з ітераційним кроком та поступовою диференціацією правильності результатів розрахунків.

3. Встановлена можливість ремонту енергетичного обладнання авіаційної техніки за рахунок використання технології з галузі загального енергетичного машинобудування.



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

Теоретичне значення отриманих результатів.

1. Розроблено метод та науково обґрунтовані принципи зменшення кількості відмов та відновлення енергетичного обладнання авіаційної техніки та енергетичного обладнання аеродромів на основі ретроспективного методу в частині впровадження новітніх методологій технології ремонту генеруючого обладнання електростанцій, який базується на тривимірному чисельному моделюванні робочих процесів відновлення обладнання, що відрізняється від існуючих методів врахуванням надпроектних режимів роботи.

2. Розроблені та впроваджені методики та алгоритми математичного моделювання напружено-деформованого стану обертових деталей електричних машин енергетичного обладнання у тривимірній постановці для визначення при різних режимах роботи механічних напружень та зусиль від дії просторових сил, обумовлених механічними, електромагнітними та тепловими чинниками, які на відміну від існуючих методик враховують зусилля, що виникають у зв'язку з особливостями етапу збирання при відновленні конструкції.

3. Розглянуті основні особливості конструкції деталей роторної групи енергетичного обладнання гідрогенераторів в залежності від умов роботи та параметрів потужностей гідроагрегату, виду турбіни. На основі аналізу конструкцій авіаційного та гідроенергетичного обладнання показана можливість переносу технологій від гідроенергетичної галузі до авіаційної.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблена технологія відновлення енергетичного обладнання авіатехніки, що забезпечує ремонтпридатність вузлів у аеродромних умовах.

2. Обчислені параметри технологічних операцій, що дають змогу визначити необхідні параметри (натяги, зусилля посадки та ін.) на основі математичного моделювання.

3. Встановлені закономірності деформації деталей та вузлів обладнання дають змогу визначити їх можливу працездатність і різних режимах роботи при подальшій експлуатації.

Отримані наукові результати можуть бути використані у науково-дослідних та проектних організаціях, конструкторських бюро, організаціях авіабудівної, ракетно-космічної та енергетичної галузі, аерокосмічних університетах та інших організаціях, які спеціалізуються в області досліджень і експлуатації авіатехніки та енергетичного обладнання.



## **5. Апробація/використання результатів дисертації.**

Результати досліджень автора обговорювались на наступних конференціях:

1. Oleksii Tretiak, Anton Kovryga, Pavlo Makarov, Nataliia Penkovska, Stanislav Kravchenko. Mathematical Modeling of the Thermal State of the Brush-Holders Device in a Three-Dimensional Setting, ICTM 2024.

2. П.М. Макаров. Конструкція і технологія створення та відновлення роторів гідроагрегатів. XXVIII - міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", 2023.

3. П.М. Макаров. Створення сучасних технологій ремонту енергетичного обладнання авіаційної техніки з використанням методів цифрових двійників. XIX міжнародна наукова-технічна конференція: Тези доповідей – Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2023.

4. П.М. Макаров. Розробка технологій відновлення енергетичного обладнання авіаційної техніки з використанням сучасних методів. Науково-практична конференція «Безпека та сталий розвиток критичної інфраструктури в умовах воєнного стану»: Тези доповідей – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", 2023.

Розроблені автором наукові положення впроваджені в:

1. Інститут Енергетики Варшава. Проведено аналіз результатів випробувань гідрогенераторів-двигунів виробництва компанії «Skoda» (номінальна потужність 48,3 МВт в режимі генератора і 61,5 МВт в режимі двигуна; номінальна частота обертання ротора 187 об/хв.) електростанції ГАЕС «Zydowo» (Республіка Польща).

2. Патент Назва МПК H02K 9/04, H02K 1/20, H02K 1/18 СТАТОР ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ. Рішення U202306089 від 27.03.2024

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

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Макарова П.М. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Зміст основних розділів дисертації перевірено 15.05.2024р. на наявність текстових запозичень в системі «UNICHECK», в порівнянні з файлами бібліотеки корпоративного облікового запису Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут". Текст рукопису дисертаційної роботи не містить ознак академічного шахрайства.

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



За результатами досліджень опубліковано 10 наукових публікацій, у тому числі:

- 4 статті у фахових наукових виданнях (категорії Б),
- 4 тези доповідей опубліковано у збірниках матеріалів конференцій,
- 1 розділ монографії,
- 1 патент.

Статті у наукових фахових виданнях, затверджених МОН України:

1. Макаров, П. (2023). Математичне моделювання виправлення форми ротора гідроагрегату в тривимірній постановці. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, (1-2), 23–27. (журнал категорії Б) <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2023.01.04> .

Особистий внесок: стаття написана одноосібно.

2. Макаров, П. (2023). Технологія відновлення форми ротора гідрогенератора. *Авіаційно-космічна техніка і технологія*, 0(4sup2), 97-104. (журнал категорії Б). <https://doi.org/10.32620/akt.2023.4sup2.13>.

Особистий внесок: стаття написана одноосібно.

3. Макаров, П. (2024). Особливості конструкції, технологія, сучасні методи оцінки якості конструкції елементів роторів енергетичного обладнання. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, (4), 20–28. (журнал категорії Б). <https://doi.org/10.20998/2078-774X.2023.04.03> .

Особистий внесок: стаття написана одноосібно.

4. П.М. Макаров (2023). Вибір раціональної технології виготовлення обода ротора гідрогенераторів-двигунів. *Journal of Mechanical Engineering («Проблеми машинобудування»)*, том 26, № 4. (журнал категорії Б) <https://doi.org/10.15407/pmach2023.04.029>

Особистий внесок: стаття написана одноосібно.

Тези у науково-технічних конференціях

1. Oleksii Tretiak, Anton Kovryga, Pavlo Makarov, Nataliia Penkovska, Stanislav Kravchenko. *Mathematical Modeling of the Thermal State of the Brush-Holders Device in a Three-Dimensional Setting*, ICTM 2024.

Особистий внесок: Розробка методів визначення теплових навантажень елементів обладнання методом скінчених елементів

2. П.М. Макаров. Конструкція і технологія створення та відновлення роторів гідроагрегатів. XXVIII - міжнародний конгрес двигунобудівників: Тези доповідей. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", 2023.

<http://dspace.library.khai.edu/xmlui/handle/123456789/5563>



Особистий внесок: тези написані одноосібно.

3. П.М. Макаров. Створення сучасних технологій ремонту енергетичного обладнання авіаційної техніки з використанням методів цифрових двійників. ХІХ міжнародна наукова-технічна конференція: Тези доповідей – Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2023.

Особистий внесок: тези написані одноосібно.

4. П.М. Макаров. Розробка технологій відновлення енергетичного обладнання авіаційної техніки з використанням сучасних методів. Науково-практична конференція «Безпека та сталий розвиток критичної інфраструктури в умовах воєнного стану»: Тези доповідей – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", 2023. <http://dspace.library.khai.edu/xmlui/handle/123456789/5878>

Особистий внесок: тези написані одноосібно.

#### Розділи монографії:

1. Третяк О.В., Коврига А.Є., Макаров П.М. Методологія розрахунку механічно навантажених вузлів гідрогенераторів, монографія. Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ"; - Харків: КП «Міська друкарня», 2023 – 95 с. ISBN 978-617-619-285-5

Особистий внесок: аналіз дефектів та методів механічних розрахунків гідрогенераторів; моделювання, розрахунок і аналіз системи охолодження гідрогенератора; дослідження міцності опорних вузлів гідрогенератора.

#### Патенти

1. Патент Назва МПК H02K 9/04, H02K 1/20, H02K 1/18 СТАТОР ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ. Рішення U202306089 від 27.03.2024

Особистий внесок: Розробка конструкції нагнітаючих елементів електричної машини великої потужності.

Всі наукові результати дисертації опубліковані, апробація результатів є достатньою, отже вимоги пунктів 8 і Постанови КМУ від 12.01.2022 р. №44 виконані.

### **8. Загальний висновок**

Дисертація Макарова П.М. є завершеною кваліфікаційною науковою працею, має теоретичну та практичну цінність, в якій викладено авторський підхід до створення методів та технологій відновлення конструкції енергетичного обладнання авіаційної техніки. Проведені дослідження характеризують Макарова П.М. як кваліфікованого та зрілого наукового працівника, здатного проводити теоретичні та практичні дослідження в галузі механічної інженерії на



високому рівні. Дисертант володіє методологією наукового пошуку, має широкий науковий кругозір.

Подана дисертаційна робота "Створення методів та технологій відновлення конструкції енергетичного обладнання авіаційної техніки" Макарова П.М. відповідає спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Враховуючи актуальність, теоретичну та практичну цінність роботи, наукову значущість результатів досліджень, рівень та самостійність досліджень дисертанта, рекомендувати дисертацію Макарова Павла Миколайовича "Створення методів та технологій відновлення конструкції енергетичного обладнання авіаційної техніки", що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка до публічного захисту у разовій спеціалізованій вченій раді в галузі знань 13 Механічна інженерія зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

**Головуючий** на засіданні кафедри  
Аерогідродинаміки  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М.Є. Жуковського  
"Харківський авіаційний інститут",  
доктор технічних наук, професор



Дмитро ОБІДІН