

**РЕЦЕНЗІЯ**  
на дисертаційну роботу  
**Макарова Павла Миколайовича**  
на тему «Створення методів та технологій відновлення конструкції  
енергетичного обладнання авіаційної техніки»,  
яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 13 Механічна інженерія  
за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

**Актуальність теми дисертації**

Технології створення та використання електричних приводів в Україні найбільше всього розвинуті в області енергетичного машинобудування, при цьому в нових конструкціях енергетичного обладнання літаків ці технології задіяні мало. Причини виникнення навантажень і вібрацій та їх вплив на конструкцію агрегату наземного використання, в тому числі і стосовно гідрогенераторів, подібні до того, що мають місце в роботі енергетичного обладнання літака. Це стосується, зокрема, навантажень і вібрацій на енергетичне обладнання літака під час польоту та обумовлені власними коливаннями конструкції літака, вимушеними вібраціями від двигуна чи приводів.

Існуючі вимоги надійності та міцності, що діють в галузі проєктування, виробництва та ремонту гідроагрегатів, дозволяють 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.

Таким чином, робота присвячена актуальному питанню відновлення та зменшення кількості відмов авіаційного енергетичного обладнання та енергетичного обладнання аеродромів завдяки адаптації напрацювань в галузі енергетичного машинобудування.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни**

Матеріали, викладені у дисертації Макарова Павла Миколайовича, дозволяють зробити висновок про обґрунтованість та достовірність його наукових результатів. Вони забезпечуються використанням сучасних наукових методів дослідження: ретроспективний метод, методи математичного моделювання напружено-деформованого стану у тривимірній постановці, методи математичного моделювання скінчених елементів, засновані на алгоритмах статистики методи чисельного опрацювання результатів експериментів, методи перевизначення об'єктів для забезпечення можливості застосування технологій ремонту гідрогенераторів для енергетичного обладнання аерокосмічної техніки.

Обґрунтування достовірності результатів, отриманих за методами математичного моделювання, проведено шляхом порівняння з результатами експериментів.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

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.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Макарова Павла Миколайовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, а її результати свідчать про вагомий особистий внесок здобувача у науковий напрям авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Можна зробити висновок, що дисертаційна робота Макарова Павла Миколайовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів**

Дисертаційна робота написана українською мовою, яка відповідає особливостям стилю наукових досліджень з використанням адекватних термінів і понять, що характерні для фахової та наукової термінології. Дисертаційна робота є цілісною і в ній досягнуті тематична повнота та розкриття головної наукової ідеї автора. Подані в роботі наукові та практичні положення логічно викладені та цілком обґрунтовані.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списків використаних джерел до кожного розділу і загальних висновків. Загальний обсяг дисертації складає 151 сторінка, з них 146 сторінок основного тексту, 59 рисунків по тексту, 13 таблиць по тексту, списків використаних джерел до кожного розділу, сумарно викладених на 6 сторінках.

У **вступі** автором обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульовано мету і завдання дослідження, а також описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи та особистий внесок автора.

У **першому розділі** проаналізовано електроприводи та системи електроживлення в авіаційній техніці, показано еволюцію сервоприводів, представлена конструкція системи електропостачання літаків.

У **другому розділі** представлено основні особливості конструкції гідрогенераторів, виконано огляд різновидів конструкції роторів гідрогенераторів і їх особливостей. Висвітлено основні аспекти процесів виготовлення конструктивних елементів роторів та технологій, проаналізовано процес монтажу гідрогенераторів на гідроелектростанціях. Розглянуті особливості проведення робіт з відновлення елементів ротора гідрогенератора в умовах гідроелектростанції та досягнення при цьому конструктивних параметрів, що необхідні для подальшої надійної експлуатації гідрогенератора.

У **третьому розділі** представлено результати випробування гідрогенераторів-двигунів виробництва компанії «Skoda» на електростанції «Zydowo», проведено аналіз вібраційного стану гідроагрегатів при різних режимах роботи, визначені основні експериментальні вібраційні параметри та перевірено їх відповідність вимогам нормативної документації. Зроблено діагностику технічного стану активних частин гідрогенератора з використанням тепловізійного обладнання, в тому числі випробування осердя статора на питомі втрати і нагрівання при його індуктивному намагнічуванні.

У **четвертому розділі** запропоновано заходи для виконання реконструкції гідрогенераторів-двигунів з підвищенням їх надійності. Виконано дослідження напружено-деформованого стану ротора гідрогенератора-двигуна аналітичним методом, а також методом скінчених елементів за допомогою пакету SolidWorks Simulation. При цьому розглянуто стан ротора до реконструкції і напруження та деформації елементів ротора, що виникатимуть в процесі виконання робіт з реконструкції ротора. Докладно розглянуто технологічний процес виконання робіт з реконструкції ротора, в тому числі гарячого переклинування ротора. Запропонована технологія центрування гідроагрегату з розглядом декількох шляхів виконання цих робіт.

У **висновках** наведено підсумкові результати проведених у дисертації наукових досліджень, що узагальнюють висновки за кожним з її розділів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог, сформульованих у наказі МОН України від 12 січня 2017р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

За матеріалами дисертації опубліковано 4 статті у виданнях, які входять до переліку наукових фахових видань України. Також основні результати

роботи опубліковані у 4 тезах науково-технічних конференцій, в одній монографії та в одному патенті.

Основні результати роботи були представлені на: XXVIII Міжнародному конгресі двигунобудівників, (Україна, м. Харків, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2023р.); XIX міжнародна наукова-технічна конференція: (Україна, м. Харків: Національний технічний університет «ХПІ», 2023); науково-практичній конференції «Безпека та сталий розвиток критичної інфраструктури в умовах воєнного стану», (Україна, м. Харків, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2023р.); International Scientific and Technical Conference Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering (Kharkiv, Ukraine, ICTM 2024.). На основі результатів дослідження поданий патент на корисну модель «Статор електричної машини» (номер заявки u 2023 06089 від 14.12.2023).

Наукові публікації здобувача містять опис наукових досліджень, проведених в рамках дисертаційного пошуку, аналіз сутності проблеми, методів і результатів проведених досліджень, а також обґрунтовані висновки. В наукових публікаціях здобувача не виявлено порушень принципів академічної доброчесності, висновки є оригінальними.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. Перший розділ перевантажено описом конструкції системи електропостачання літаків, що не є ключовою складовою аналізу електроприводів та систем електроживлення в авіаційній техніці, як, власне, і називається перший розділ.

2. На Рис. 4.2, 4.3 та деяких інших відсутні допоміжні позначення чи коментарі в підпису підпису, що ускладнює розуміння та сприйняття представлених результатів.

3. У четвертому розділі не представлена математична модель тривимірного розрахунку моделі сектора ротора, хоча результати цих розрахунків є основою даного розділу.

4. На деяких рисунках занадто маленький шрифт, а шкали є нечіткими, через що погано сприймається представлена інформація.

Вважаю, наведені зауваження не є суттєвими і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Макарова Павла Миколайовича на тему «Створення методів та технологій відновлення конструкції енергетичного обладнання авіаційної техніки»

виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 13 Механічна інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 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 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022р. №44.

Здобувач Макаров Павло Миколайович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

**Рецензент:**

Кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри аерокосмічної теплотехніки  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Олексій ЛИСИЦЯ