

ВІДГУК
офіційного опонента 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

Відновлення авіаційного енергетичного обладнання та енергетичного обладнання аеродромів із забезпеченням мінімального часу ремонту та мінімальних витрат є особливо актуальним завданням, зокрема в умовах військового стану в Україні. Віб्राції і навантаження на енергетичне обладнання літака під час польоту обумовлені власними коливаннями конструкції літака, вимушеними вібраціями від двигуна чи приводів. Подібні причини виникнення навантажень і вібрацій та їх вплив на конструкцію агрегату має енергетичне обладнання наземного використання, зокрема – гідрогенератори.

Існуючі вимоги надійності та міцності, що діють в галузі проектування, виробництва та ремонту гідроагрегатів, дають змогу 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 створення методів та технологій відновлення авіаційного енергетичного обладнання та енергетичного обладнання аеродромів завдяки адаптації напрацювань в галузі енергетичного машинобудування.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Вивчення матеріалів, викладених у дисертації Макарова Павла Миколайовича, свідчить про обґрунтованість та достовірність наукових положень та висновків:

- наукові положення, висновки та рекомендації достатньою мірою обґрунтовані та апробовані;
 - методи розрахунків забезпечуються використанням сучасних наукових методів дослідження: ретроспективний метод, методи математичного моделювання напружено-деформованого стану у тривимірній постановці, методи математичного моделювання скінчених елементів, методи чисельного опрацювання результатів експериментів;
 - в роботі використовуються методи перевизначення об'єктів для забезпечення можливості застосування технологій ремонту гідрогенераторів для енергетичного обладнання аерокосмічної техніки.
- Достовірність результатів досліджень підтверджується:

- результатами експериментальних досліджень;
- порівнянням результатів отриманих методами математичного моделювання з результатами експериментів.
- розроблені автором наукові положення реалізовані в науково-дослідній роботі «Технологія та методи зниження вібрації гідроагрегатів з використанням тривимірного моделювання та розрахунків» (Науково-дослідний інституту "Інститут енергетики", Варшава, Республіка Польща, акт впровадження від 11 липня 2023р.).

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.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи:

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 у різних режимах роботи при подальшій експлуатації.

Отримані наукові результати можуть бути використані науково-дослідними та проєктними організаціями, конструкторськими бюро, організаціями авіабудівної, ракетно-космічної та енергетичної галузі, аерокосмічними університетами та іншими організаціями, які спеціалізуються в області досліджень і експлуатації авіатехніки та енергетичного обладнання.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Макарова Павла Миколайовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка та напряму досліджень відповідно до освітньо-наукової програми "Авіаційна та ракетно-космічна техніка".

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, а її результати свідчать про вагомий особистий внесок здобувача у галузь знань 13 Механічна інженерія.

За результатами перевірки на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Макарова Павла Миколайовича не містить ознак порушення принципів академічної доброчесності. Текст рукопису дисертаційної роботи є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, фабрикації, плагіату чи запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Розділи та підрозділи мають логічну структуру, а матеріал викладено послідовно з дотриманням наукового стилю та загальноприйнятої фахової та загальнонаукової термінології. Подані в роботі наукові та практичні положення логічно викладені та обґрунтовані. Дисертаційна робота є цілісною і в ній досягнуті тематична повнота та розкриття головної наукової ідеї автора.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списків використаних джерел до кожного розділу і загальних висновків. Загальний обсяг дисертації складає 151 сторінка.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження та зазначено, в чому полягають наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи та особистий внесок автора.

У **першому розділі** проаналізовано основні приводи в авіаційній техніці, показано еволюцію сервоприводів з описом недоліків та переваг. Представлена загальна конструкція системи електропостачання літаків та конструкція типового чотириполюсного генератора літака.

У **другому розділі** розглянуто основні особливості конструкції гідрогенераторів, різновиди конструкції роторів гідрогенераторів і їх особливостей. Представлені основні аспекти процесів та технологій виготовлення конструктивних елементів роторів, проаналізовано процес монтажу гідрогенераторів на гідроелектростанціях. Розглянуті особливості проведення робіт з відновлення елементів ротора гідрогенератора в умовах гідроелектростанції для досягнення конструктивних параметрів, що забезпечать подальшу надійну експлуатацію 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. Проведено діагностику технічного стану активних частин гідрогенератора з використанням тепловізійного обладнання, зокрема 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. 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** сформульовано 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».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні результати дослідження опубліковані у 4 статтях у виданнях, які входять до переліку наукових фахових видань України. Також здобувач є співавтором 1 колективної монографії та 1 патенту України на корисну модель.

Результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях: 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 «Харківський політехнічний інститут», 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 – Synergetic Engineering (Kharkiv, Ukraine, ICTM 2024.).

На основі результатів дослідження отримано патент на корисну модель «Статор електричної машини» (номер 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. В першому розділі досить детально описані схеми та вказано принципи роботи енергетичних систем, однак було б більш правильно приділити увагу

існуючим методам математичного моделювання термонапруженого стану з розкриттям граничних умов і постановою задачі.

2. Для опису рис. 2.8 – 2.11 необхідно більш детально провести опис використаних матеріалів в частині їх механічних властивостей.

3. В роботі досить детально представлена технологія відновлення роторів гідрогенераторів. Бажано визначити допустимі температури для розклинування.

4. В частині опису експерименту необхідно було б більш детально визначити відносну похибку.

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.

Офіційний опонент:

член-кореспондент НАН України,
доктор тех. наук, професор,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки,
завідувач відділу нелінійної механіки
та математичного моделювання
Інституту проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України

Костянтин АВРАМОВ