

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

Питання відновлення авіаційного генеруючого обладнання у стислі терміни, без транспортування до заводу-виробника, наразі є дуже актуальним для України. Методи проєктування та технології виробництва електрогенеруючого обладнання, що відповідають сучасним тенденціям, на території України в першу чергу втілюються в галузі будування гідрогенераторів. Проте, стосовно конструкцій генеруючого та іншого електричного обладнання літаків, ці технології задіяні недостатньо. При виході з ладу електричних вузлів літака, здебільшого проводиться блочний ремонт, шляхом заміни всього ушкодженого вузла з подальшим його транспортуванням до підприємства-виробника. У разі відсутності запасного блоку літак знаходиться у стані простою.

Також, необхідно відмітити, що за родом діючих на генератори та електродвигуни літака факторів, ці агрегати дуже схожі з гідрогенераторами. Механічні, теплові, електричні та вібраційні навантаження, що діють на енергетичне обладнання літака під час польоту, обумовлені власними коливаннями конструкції літака, вимушеними вібраціями від двигуна чи приводів. Вимоги до надійності та до міцності, що пред'являються при проєктуванні, виробництві та ремонті гідроагрегатів, дозволили відпрацювати ці технології на практиці.

Розроблений метод та науково обґрунтовані принципи зменшення кількості відмов та відновлення енергетичного обладнання авіаційної техніки на основі сучасних наукових методів дослідження дозволили забезпечити можливість застосування технологій ремонту гідрогенераторів для енергетичного обладнання аерокосмічної техніки. В роботі також обґрунтована необхідність створення математичних методів, технології та технологічних процесів виготовлення конструктивних елементів роторів, що будуть задовольняти вимогам до надійності та складним умовам використання конструкцій енергетичного обладнання.

Втілення удосконалених класичних прийомів з галузі будування гідрогенеруючого обладнання для літакобудування надасть можливість у стислий час виконувати складний ремонт енергетичного обладнання авіаційної техніки та енергетичного обладнання аеродромів без тривалого та ресурсовитратного транспортування до заводу-виробника. В цьому полягає основна науково-практична цінність представленого методу.

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.

На основі вищезазначених методів була розроблена технологія центрування гідроагрегату (суміщення геометричного положення осей статора і ротора) впроваджена на електричній станції ГАЕС «Zydowo» (Республіка Польща) для гідроагрегатів виробництва компанії «Skoda».

В роботі визначені шляхи подальшого розвитку наукових досліджень.

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** розглянуті види електроприводів та систем електроживлення в авіаційній техніці, показано їх еволюцію, представлена конструкція системи електроживлення літака.

У **другому розділі** представлені основні особливості конструкції гідрогенераторів, виконано огляд різновидів конструкцій 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. Розглянуті методи досягнення параметрів конструктивних елементів гідрогенератора, що необхідні для його подальшої надійної експлуатації.

У **третьому розділі** проведено аналіз результатів випробування гідрогенераторів-двигунів виробництва компанії «Skoda» на електростанції «Zydowo». Також виконано оцінку вібраційного стану гідроагрегатів при різних режимах роботи та визначені основні експериментальні вібраційні параметри. Перевірена їх відповідність вимогам нормативної документації. Розглянуто та проаналізовано діагностичне обстеження технічного стану активних частин гідрогенератора з використанням тепловізійного обладнання (випробування активної сталі осердя статора на питомі втрати і нагрівання).

У **четвертому розділі** запропоновано заходи для виконання реконструкції гідрогенераторів-двигунів на основі проведеного аналізу результатів випробувань гідроагрегатів. Виконано дослідження напружено-деформованого стану ротора гідрогенератора-двигуна аналітичним методом та методом скінчених елементів за допомогою програмного комплексу

SolidWorks Simulation. При цьому розглянуто стан ротора до реконструкції, а також проведено аналіз напружень та деформацій елементів ротора, що виникатимуть в процесі виконання робіт з реконструкції ротора. Розглянуто технологічний процес виконання робіт з реконструкції ротора, що включає гаряче переклинування. 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 науково-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 у 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. З рисунку 1.4 не можливо зрозуміти, яким чином закріплені електрогенеруючі об'єкти літака та чи існує теплова ізоляція для компонентів,

що розташовані поряд з двигуном. Більш детальний опис конструкції на рисунку 1.5 не дає відповіді на ці запитання.

2. На рисунку 2.5 відсутні позначення найменування деталей конструкції. Незважаючи на те, що повністю показані всі компоненти роторної групи, без знання конструкції не можливо визначити їх границі.

3. Для методу скінчених елементів не показано, який тип вирішувальної програми був використаний. Не зрозуміло, чи виконувалися розрахунки збіжності для побудови розрахункової сітки.

4. З рисунку 4.25 не зрозуміло, яке зусилля має бути задане для центрування пазів ротора при наявності зміщення.

На деяких епюрах бажано було б надати більш детальні шкали деформацій і напружень. На деяких рисунках шрифт замалий, а шкали нечіткі, через що погано сприймається наведена 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:

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри міцності літальних
апаратів Національного аерокосмічного
університету ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Віталій МІРОШНІКОВ