

ВІДГУК

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

Актуальність теми дисертації.

Енергетичне обладнання широко застосовується в багатьох сферах авіаційної техніки. Забезпечення надійності та довговічності експлуатації такого устаткування є актуальною задачею, що набуває стратегічного статусу в умовах воєнного стану в Україні. Дисертаційна робота Макарова Павла Миколайовича присвячена вдосконаленню технологій відновлення конструкцій енергетичного обладнання, що мають на меті скорочення часових та ресурсних витрат на ремонтні роботи зі збереженням рівня надійності.

Для досягнення поставленої мети автором пропонується застосувати досвід та технології відновлення енергетичного обладнання з суміжних до авіаційної техніки спеціальностей. Елементи генеруючих установок гідроелектростанцій перебувають у складно-напруженому стані як під час експлуатації на номінальних режимах роботи, так і, особливо, при скиданні навантаження. Дані умови експлуатації формуються інерційними силами обертання, силами тяжіння, контактними напруженнями, нерівномірністю електромагнітного та теплового поля, вібраційними характеристиками та ін. Вказані вище обставини призводять до необхідності раціонального планування обсягів планово-попереджувальних ремонтів та відновлювальних заходів.

Таким чином дослідження, що передбачає вдосконалення підходів до ремонтного відновлення енергетичного обладнання є актуальним, як з наукової, так і з практичної точок зору.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач здійснювалось з використанням загальних положень механіки твердих тіл, теорії коливань та теплопровідності. В роботі застосовано ретроспективні методи дослідження існуючих технологій ремонту, методи математичного моделювання теплового та напруженого стану елементів електричних машин для різних режимів

експлуатації. Додатково застосовані статистичні методи числового опрацювання результатів експериментів та методи перевизначення об'єктів.

Узгодження отриманих результатів підтверджує адекватність запропонованих методів та результатів досліджень, що були отримані аналітичним шляхом та засобами твердотільного моделювання. В роботі міститься узагальнюючий аналіз отриманих даних, здійснено порівняння окремих результатів фізичних експериментальних досліджень з методами математичного моделювання. Більшість наукових та практичних здобутків реалізовані на гідроакumuлюючій електростанції Zydowo (Республіка Польща), а також на кафедрі аерогідродинаміки та кафедрі аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", про що наявні відповідні акти-впровадження.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Знайшли подальшого розвитку підходи до розрахунку 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. Виконано 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. Встановлено можливість ремонту енергетичного обладнання авіаційної техніки за рахунок використання технології з галузі загального енергетичного машинобудування.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:

1. Розроблено технологію відновлення енергетичного обладнання авіатехніки, що забезпечує ремонтпридатність вузлів в умовах аеродрому.

2. Розрахунковим шляхом встановлено умови 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.

Наукові дослідження були виконані здобувачем в Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний

інститут" під керівництвом завідувача кафедри аерогідродинаміки, доктора технічних наук, доцента Третяка Олексія Володимировича. 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» затвердженою постановою Кабінету Міністрів України № 951 від 1 вересня 2021 р.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо вдосконалення технологій відновлення конструкції енергетичного обладнання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Макарова Павла Миколайовича відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям відновлення енергетичного обладнання.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено. Використання в тексті результатів інших вчених супроводжується відповідними посиланнями, посилання на літературні джерела коректні. Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, що опубліковані у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою, логічно структурована та доступно викладена. Основний текст підготовлено якісною технічною мовою, з використанням професійної термінології. Наукова робота достатньо забезпечена рисунками та таблицями. Інколи в роботі зустрічаються пунктуаційні, граматичні та семантичні неточності. До прикладу, вживається слово щільність сталі замість густини. Іноді зустрічаються слова російською мовою – ток (струм), Т-образна (Т-подібна), об/мін (об/хв) тощо. Інколи присутня тавтологія слів, неузгоджені відмінки, відсутні відступи в абзацах.

Окремі рисунки мають недостатню роздільну здатність (наприклад рис. 3.1). Тим не менш, вказані вище зауваження зустрічаються рідко.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків та додатків. Список використаної літератури наводиться після вступу та кожного розділу. На думку опонента, зміст дисертаційної роботи дещо переобтяжений значною кількістю підпунктів (наприклад 1.5.1-1.5.9), які, можливо, мало сенс скоротити або реструктурувати.

У *вступі* дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми запропонованого дослідження, сформульовано мету та основні задачі, підкреслено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, вказано особистий внесок здобувача та наведено апробацію результатів.

У *першому розділі* автором проаналізовано конструктивні елементи енергетичного обладнання авіаційної техніки за напрямками їх застосування, наведено етапи еволюції приводів літаків, оглянуто існуючі концепції електроживлення, розглянуто загальну конструкцію системи електропостачання.

Другий розділ присвячено аналізу основних особливостей конструкції гідрогенераторів в залежності від параметрів самого гідрогенератора, виду та параметрів турбіни, розташування та особливостей гідроелектростанції. Проведено аналіз процесу монтажу гідрогенераторів на електростанціях та основних видів технологічних операцій у ході монтажу. Розглянуті особливості проведення робіт з відновлення елементів ротора гідрогенератора в умовах електростанції та досягнення при цьому конструктивних параметрів (натягів, зусиль посадки елементів та ін.), необхідних для подальшої надійної експлуатації.

У *третьому розділі* наведено результати випробування двох гідрогенераторів-двигунів електростанції Zydowo (Республіка Польща). Проведено аналіз вібраційного стану гідроагрегатів в різних режимах роботи, визначені основні експериментальні вібраційні параметри та перевірено їх відповідність вимогам нормативної документації. Виконані вимірювання форм роторів та статорів гідрогенераторів-двигунів. За результатами аналізу форм, з використанням розкладання в ряд Фур'є, визначені розрахункові відхилення існуючих форм від циліндричної. Проведено 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.

Четвертий розділ дисертації присвячено розробці заходів для виконання реконструкції гідрогенераторів-двигунів з підвищенням їх надійності. Виконано дослідження напружено-деформованого стану ротора

гідрогенератора-двигуна аналітичним методом, а також методом скінчених елементів. При цьому розглянуто як стан ротора до реконструкції, так 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, як основної частини робіт для забезпечення надійної експлуатації. Запропонована технологія центрування гідроагрегату (суміщення геометричного положення осей статора і ротора) з розглядом декількох шляхів виконання цих робіт.

Загальні висновки висвітлюють основні отримані наукові результати, а також містять рекомендації щодо їх практичного застосування.

У додатках наведено перелік наукових публікацій здобувача за темою дисертації, акт впровадження результатів роботи в науково-методичний процес кафедри аерогідродинаміки та кафедри аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", а також акт впровадження результатів на гідроакумуючій електростанції Zydowo від Науково-дослідного інституту "Інститут енергетики" (Варшава, Республіка Польща).

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

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 10 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, 4 тези доповідей, 1 стаття та 1 патент.

Публікації Макарова Павла Миколайовича мають високий науковий рівень, проходили рецензування та перевірку на унікальність згідно з умовами видавництва. Більшість публікацій здобувачем підготовлено одноосібно (зокрема 4 статті та 3 тези доповідей), а особистий внесок здобувача до решти наукових робіт є вагомим. Публікації охоплюють усі основні результати дисертаційного дослідження.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Розділи 1 та 2 переважно присвячені аналізу ключових конструкційних та експлуатаційних особливостей енергетичного обладнання авіаційної та гідроенергетичної техніки. Тим не менш, доречно було б розширити ці розділи

оглядом наукових публікацій з методами дослідження вібраційного, теплового та напруженого стану обертового енергетичного обладнання.

2. В розділі 3.2 відсутній опис методів та засобів проведення вібраційних випробувань. Отримані аналітичні залежності для описання форми статорів та роторів до відновлення в розділі 3.3, доцільно було б графічно візуалізувати.

3. Граничні умови, що застосовані для механічного розрахунку ротора гідроагрегату, представлені на рис. 4.3, потребують текстового роз'яснення. Аналогічно, слід було б навести більш детальний опис отриманих результатів, що представлені на рис. 4.4-4.22.

4. В розділі 4.2.4 незрозуміло чи враховувалась форма ротора отримана вимірюванням в розділі 3.3. Якщо ж враховувалась, незрозуміло які саме чотири полюса побудовані на досліджуваному сегменті ротора (рис. 4.4).

5. Оскільки точки на рис. 4.6, 4.8, 4.12, 4.14 та ін. поставлені з неоднорідним кроком, доречніше було б графіки напружень (рис. 4.7, 4.9, 4.13, 4.15 та ін.) представляти не в залежності від нумерації точок, а від координати цих точок, що дозволило б більш коректно порівнювати отримані залежності.

6. Незрозуміло як визначався тепловий стан ротора для проведення розрахунків, що представлені на рис. 4.21. Чи враховувались результати тепловізійного контролю з розділу 3.4?

7. В пункті 1 наукової новизни вказано що напружено-деформований стан гідроагрегату визначався з врахуванням граничних умов 3-го роду. З розділу 4.2.4 незрозуміло, чи стосується це твердження і задачі визначення теплового стану (чи розраховувався конвективний теплообмін), тому доцільно було представити в даному розділі математичну модель розрахунку теплового та напруженого стану ротора методом скінченних елементів.

Важливо відмітити, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на 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 закінченим 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 2022 р. № 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:

доцент кафедри теплової та
альтернативної енергетики
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
кандидат техн. наук, доцент



Віталій ПЕШКО

«16» серпня 2024 року