

ВІДГУК

офіційного рецензента на дисертаційну роботу

Ковриги Антона Євгенійовича

на тему «Створення методів тривимірного моделювання теплового стану апаратів щіткотримачів електричних генераторів для забезпечення підвищення потужності основних агрегатів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 Механічна інженерія

за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Актуальність теми дисертації.

Сучасні методики контролю та розрахунків з використанням комп'ютерних систем дозволяють вирішувати складні завдання з аналізу теплового стану генеруючого обладнання електростанцій, з визначенням теплових полів або розрахунку температури окремих вузлів.

З точки зору теплових та вентиляційних розрахунків використання тривимірних підходів дозволяє більш точно враховувати розподіл температури по об'єму машини, виходячи з основних і додаткових втрат, що виділяються в окремих елементах генератора. Точний розрахунок теплових процесів дає можливість визначити елементи конструкції, які мають значні запаси по температурам. Це дозволяє отримати додаткові можливості для оптимізації та вдосконалення конструкцій, підвищення їх надійності та зниження маси, що є важливою та актуальною задачею в науковому та практичному сенсі.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

У дисертаційній роботі вирішується важлива науково-технічна проблема, що полягає у розробці методів дослідження системи вентиляції та теплового стану елементів конструкції турбогенераторів, зокрема щітково-контактного апарату з додатково-встановленими фільтрами, у всіх допустимих режимах роботи турбогенератора із вирішенням сукупності задач руху охолоджуючого середовища та теплопровідності у тривимірній постановці із використанням методу скінчених елементів.

Вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач здійснювалось з використанням загальних положень теорій руху газоподібних середовищ, теплопровідності газоподібних та суцільних середовищ. В роботі застосовано методи дискретизації розв'язувальних співвідношень, числові дослідження тривимірних моделей, метод декомпозиції Рейнольдса для вирішення проблем турбулентності.

Узгодження отриманих результатів підтверджує адекватність запропонованих методів та результатів досліджень, що були отримані аналітичним шляхом та засобами тривимірного моделювання. Отримані результати математичного моделювання напружено-деформованого стану деталей генераторів задовільно узгоджуються з даними експериментальних і теоретичних досліджень інших авторів.

Результати дисертаційної роботи використано на АТ "Українські енергетичні машини" при проєктуванні нових та реконструкції існуючих турбогенераторів великої потужності. Окрім цього, результати роботи впроваджено у навчальний процес кафедри аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету "Харківський авіаційний інститут". Для вказаних вище фактів, наявні відповідні акти-впровадження.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розвинуті існуючі інженерні методи визначення теплового стану на основі класичної аеродинамічної теорії та теорії теплопередачі в двовимірній постановці в частині удосконалення точності розподілу температурного поля на основі ретельного математичного моделювання конструкції.

2. Створений новий метод розрахунку теплового стану елементів конструкції турбогенераторів із вирішенням сукупності задач руху газу та теплопровідності у тривимірній постановці із використанням методу скінчених елементів.

3. Вдосконалено алгоритм завдання граничних умов для тривимірних моделей конструктивних компонентів енергетичного обладнання в частині детального опису теплових втрат з врахуванням пари тертя вал-щітки, вентиляційних та омічних втрат, включаючи основні та додаткові.

4. Вдосконалено алгоритм та методику проведення тестових випробувань в частин більш точного визначення теплових полів, що обумовлюються використанням сучасних статистичних методів та нових систем термоконтролю.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:

1. Створено методику розрахунку температурного стану вузлів турбогенераторів та аналогічного енергетичного обладнання, використання якої забезпечує надійну експлуатацію турбогенераторів у всіх допустимих режимах роботи протягом не менше 27 000 годин. Методика базується на розроблених в роботі методах тривимірного моделювання.

2. Надане обґрунтування використання систем фільтрації повітря в корпусі щіткотримача, з забезпеченням нормального теплового стану.

3. Встановлені закономірності розподілу температурного поля у вузлах та елементах конструкцій статорів турбогенераторів та аналогічного енергетичного обладнання під дією теплових втрат різного походження. Надане обґрунтування можливості встановлення додаткових фільтрів в конструкції щітково-контактного апарату турбогенератора з забезпеченням його надійної роботи у всіх режимах.

Наукові дослідження були виконані здобувачем в Національному аерокосмічному університеті "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 2035 р.", що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 605-р. від 18.08.2017 р., та "Енергетичної стратегії України на період до 2050 р.", що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 373-р від 21 квітня 2023 р.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо розробки методу визначення теплового стану елементів конструкції турбогенераторів із вирішенням сукупності задач руху газу та теплопровідності у тривимірній постановці із використанням методу скінчених елементів 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 Ковриги Антона Євгенійовича 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», про що свідчить висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Ковриги А.Є, наданий кафедрою аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету "Харківський авіаційний інститут".

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям оцінки довговічності експлуатації 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.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків та додатків. Список використаної літератури наводиться після вступу та кожного розділу.

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 оглянуто системи охолодження турбогенераторів, проведений аналіз її впливу на габаритно-вагові показники турбогенератора та конструкцію його основних елементів. Розглянуті найбільш поширені системи охолодження та значення електромагнітних навантажень, прийнятні для кожної з використовуваних систем охолодження.

Другий розділ присвячено аналізу існуючих методів та алгоритмів розрахунку теплового стану конструктивних частин турбогенераторів. Визначені особливості аналітичного розрахунку вентиляційної системи з використанням аналогії гідравлічних та електричних ланцюгів, а також властивості потоку з точки зору забезпечення оптимальних умов теплопередачі. Розглянуті основні принципи розрахунків системи охолодження у тривимірній постановці з використанням методу скінчених елементів.

У *третьому розділі* представлені результати розрахунку теплового стану щітково-контактного апарату турбогенераторів аналітичним методом та у тривимірній постановці на основі попередньо виконаного моделювання розрахункових вузлів. Визначений розподіл потоків охолоджуючого повітря, тиск повітря в системі, тепловий стан повітря та струмопровідних частин щітково-контактного апарату з встановленими фільтрами в системі охолодження.

Четвертий розділ дисертації присвячено методам випробувань турбогенератора, в тому числі теплових випробувань, що проводяться для оцінки фактичних запасів температур активних частин турбогенератора

відносно визначених нормативно-технічною документацією граничних значень температур.

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 на АТ "Українські енергетичні машини", а також акт впровадження результатів роботи в науково-методичний процес кафедри аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету "Харківський авіаційний інститут".

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 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у науковому фаховому виданні України, 2 статті у виданнях, що реферуються в базі даних Scopus та мають третій квартиль, 3 трьох тезах науково-технічної конференції, 1 монографія та 1 патент на корисну модель.

Публікації Ковриги Антона Євгенійовича мають високий науковий рівень, проходили рецензування та перевірку на унікальність згідно з умовами видавництва. Особистий внесок здобувача до поданих наукових публікацій 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. В роботі обґрунтовано можливість роботи турбогенератора з підвищенням потужності 27 000 годин, на жаль досить мало уваги приділяється кривим втрати для металу та графіками розрахунків остаточного часу роботи ізоляції від підвищення температури.

2. В роботі відсутнє обґрунтування вибору параметрів турбулентності $k-\epsilon$ для методу скінчених об'ємів.

3. Не чітке оформлення графіків, іноді не всі параметри можливо роздивисьь.

4. Робота перевантажена інформацією щодо загального процесу випробування турбогенератора.

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 Ковриги Антона Євгенійовича на тему «Створення методів тривимірного моделювання теплового стану апаратів щіткотримачів електричних генераторів для забезпечення підвищення потужності основних агрегатів» 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 Коврига Антон Євгенійович 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,
декан факультету авіаційних двигунів,
доцент кафедри теоретичної механіки,
машинознавства та роботомеханічних систем
Національного аерокосмічного університету
"Харківський авіаційний інститут"

Юрій ШИРОКИЙ

«10» червня 2025 року