

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента – доктора техн. наук, професора

Воробйова Юрія Анатолійовича

на дисертаційну роботу

Третяк Ірини Ігорівни

на тему «Підвищення потужності та надійності генераторів за рахунок

вдосконалення теплових процесів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 Електрична інженерія

за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

Актуальність дослідження

Питання підвищення надійності та експлуатаційної технологічності потужних гідрогенераторів набуває особливої ваги для енергетичної галузі України. Значна частина гідроагрегатів відпрацювала проектний ресурс і потребує глибокої модернізації. Ефективна система охолодження є одним із визначальних факторів забезпечення стабільної, безпечної та економічно доцільної роботи гідрогенераторів-двигунів.

Особливої актуальності проблема набуває через те, що повноцінне випробування та перевірка роботи гідрогенераторів здійснюється вже після повного складання агрегату безпосередньо на гідроелектростанції. У разі виявлення недоліків системи охолодження усунення проблем потребує значних матеріальних витрат, тривалого простою обладнання та складних монтажних робіт у польових умовах. Тому висока початкова надійність і технологічність системи охолодження набувають стратегічного значення.

Існуючі системи повітряного охолодження з автономними (окремо встановленими) нагнітачами характеризуються недостатньою технологічністю та низькою експлуатаційною надійністю. Часті відмови нагнітачів, високі витрати на обслуговування та ремонт суттєво обмежують можливості підвищення потужності гідроагрегатів і створюють серйозні технічні та економічні ризики для роботи гідроелектростанцій.

Сучасні чисельні методи, зокрема метод скінченних об'ємів, дозволяють з високою точністю моделювати тривимірні течії повітря, теплообмін і температурні поля. Їх застосування в програмному комплексі SolidWorks Flow Simulation дає змогу отримати детальну картину процесів ще на етапі проектування.

Впровадження інтегрованих відцентрових нагнітачів, розташованих безпосередньо на роторі, забезпечує якісно новий рівень технологічності системи охолодження. Такий підхід дозволяє відмовитися від ненадійних

окремих нагнітачів, гарантує стабільну роботу в обох напрямках обертання ротора та відкриває можливість підвищення потужності гідрогенератора-двигуна на 5–7 % при збереженні необхідних теплових запасів.

Таким чином, розробка високотехнологічних рішень щодо удосконалення систем охолодження гідрогенераторів має важливе стратегічне значення для енергетичної безпеки України та розвитку вітчизняного енергетичного машинобудування.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Високий ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і достовірність результатів дисертаційної роботи Третяк Ірини Ігорівни підтверджується комплексним застосуванням сучасних методологічних і розрахункових засобів при дослідженні реальної конструкції гідрогенератора-двигуна.

Достовірність результатів забезпечена багатоетапною верифікацією. Аналітичні розрахунки напірних характеристик інтегрованого відцентрового нагнітача за класичними рівняннями газової динаміки були порівняні з даними тривимірного CFD-моделювання реальної конструкції. Висока збіжність результатів підтверджує адекватність математичних моделей, коректність постановки задачі та правильність формування початкових і граничних умов з урахуванням реальних конструктивних особливостей, теплофізичних властивостей матеріалів і робочих режимів гідроагрегату.

Важливим підтвердженням достовірності є детальний аналіз напружено-деформованого стану робочого колеса нагнітача під дією відцентрових навантажень у всьому діапазоні експлуатаційних режимів реальної конструкції. Розрахунки продемонстрували достатні запаси міцності, що свідчить про високу технологічність і конструктивну надійність запропонованого рішення. Отримані температурні поля вузлів після реконструкції системи охолодження вказують на наявність значного теплового резерву, який дозволяє підвищити потужність гідрогенератора-двигуна на 5–7 % при збереженні нормативних теплових режимів. Висновки дисертації носять обґрунтований і реалістичний характер, оскільки базуються на комплексному моделюванні аеродинамічних та теплових процесів в реальній конструкції гідрогенератора-двигуна. Практична апробація результатів на ТОВ «ХЕМЗ» (м. Харків) при проектуванні та реконструкції гідрогенераторів є одним із найвагоміших доказів достовірності роботи. Використання розроблених методик і рекомендацій у реальному виробничому процесі підтверджує їхню технічну придатність і правильність основних наукових положень.

Таким чином, сукупність застосованих чисельних методів, проведена верифікація розрахунків, комплексний характер моделювання та позитивний виробничий досвід впровадження дозволяють зробити висновок про високу достовірність наукових результатів дисертаційної роботи. Результати дисертації впроваджені на ТОВ «ХЕМЗ» та у навчальний процес Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут», що свідчить про їх прикладну цінність енергетичних галузей України.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше створено новий метод розрахунку системи охолодження гідрогенераторів у тривимірній постановці для симетричної задачі, що враховує всі конструктивні особливості конструкції, розподіл аеродинамічних параметрів повітря та характеристики нагнітача.

2. Удосконалено алгоритм формування граничних умов для тривимірних моделей конструктивних компонентів гідрогенераторів в частині визначення аеродинамічних параметрів повітря, конструктивних властивостей вузлів та елементів гідрогенераторів, теплофізичних властивостей повітря.

3. Вперше обґрунтовано підвищення надійності та потужності гідрогенератора-двигуна за рахунок відмови від окремо встановлених нагнітачів в системі охолодження та введення в якості нагнітача спеціальних лопатей, розташованих на роторі, які можуть створювати необхідний напір при напрямку обертання ротора як за годинниковою стрілкою, так і проти неї.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблений метод розрахунку теплового та аеродинамічного стану гідрогенератора-двигуна з використанням відцентрового нагнітача, встановленого безпосередньо на ободі ротора гідрогенератора-двигуна, може бути використано для створення більш потужних та надійних гідрогенераторів.

2. Розроблена конструкція відцентрового нагнітача може бути використана для підвищення ефективності систем охолодження, що в свою чергу дасть змогу збільшити потужність та надійність гідрогенераторів.

3. Запропонований метод може бути використаний при проектуванні та розрахунку багатокомпонентних вискоефективних систем охолодження авіаційної та аерокосмічної техніки.

Отримані наукові результати можуть бути використані науково-дослідними та проєктними організаціями, конструкторськими бюро енергетичної галузі, навчальними закладами та іншими організаціями, які спеціалізуються в області досліджень та експлуатації енергетичного обладнання.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки Третяк Ірини Ігорівни відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності «142. Енергетичне машинобудування» та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Енергетичне машинобудування», про що свідчить висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Третяк І. І., наданий кафедрою аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувачки у науковий напрям оцінки напружено-деформованого стану та аналізу теплового стану вузлів електричних машин.

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 з вступу, чотирьох розділів, висновків та списків використаних джерел до кожного розділу і загальних висновків.

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

Перший розділ присвячено аналізу традиційної системи охолодження гідрогенератора-двигуна з автономними нагнітачами, виявленню проблем експлуатації та обґрунтуванню переходу на відцентрові нагнітачі, інтегровані на роторі. Також розглянуто сучасні тенденції та існуючі наукові доробки.

У **другому розділі** викладено методологічні основи аеродинамічних і теплових розрахунків. Розроблено удосконалений тривимірний метод розрахунку теплового стану елементів конструкції на базі чисельного розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса (усереднених за Рейнольдсом) у середовищі SolidWorks Flow Simulation.

Третій розділ містить результати проєктування інтегрованого нагнітача. Виконано аналіз різних конфігурацій робочого колеса, обґрунтовано оптимальну конструкцію, визначено напірні характеристики з верифікацією тривимірним моделюванням та проведено оцінку напружено-деформованого стану.

Четвертий розділ присвячено аеродинамічному та тепловому розрахунку реконструйованої системи охолодження. Визначено розподіл потоків повітря, коефіцієнти тепловіддачі та тепловий стан вузлів. Підтверджено можливість підвищення потужності гідрогенератора-двигуна на 5–7 %.

Загальні висновки висвітлюють 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 ТОВ «Харківський електромашинобудівний завод», а також акт впровадження результатів роботи в навчально-методичний процес кафедри аерокосмічної теплотехніки 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 5 наукових публікаціях здобувача, що реферуються в базі даних Scopus, 2 тезах доповідей на міжнародних конференціях, 1 патенті на корисну модель.

Публікації Третяк Ірини Ігорівни 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. У Розділі 1 доцільно було б провести дослідження впливу геометричних конфігурацій лопатей вентиляторів та типу виконання (відцентрових та осьових) систем на загальний тепловий стан конструкції.

2. У Розділі 2 доцільно було б розглянути активні системи охолодження стрижнів та осердя статору та оцінити можливість підвищення потужності за рахунок більш ефективного використання системи збудження з більшою щільністю струму.

3. У Розділі 3 необхідно було більш детально проаналізувати кріплення лопатей методом зварювання до ободу ротора. Оцінити вплив зварного шву на

прикордонний шар повітря в локації кріплення та провести дослідження та обґрунтування вибору звичайного шва чи шва з спеціальною розділкою, що характеризується значним збільшення катету.

4. На рисунках 4.8–4.13 не чітко відображені стрілки напрямку повітря. Таблиця 4.5 потребує детального обґрунтування та посилення на діючі нормативні документи.

Важливо відмітити, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значущість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки ступеня доктора філософії Третьак Ірини Ігорівни на тему «Підвищення потужності та надійності генераторів за рахунок вдосконалення теплових процесів» 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 «14. Електрична інженерія» за спеціальністю «142. Енергетичне машинобудування». 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.

Здобувачка Третьак Ірини Ігорівни заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «14 Електрична інженерія» за спеціальністю «142 Енергетичне машинобудування».

Рецензент:

Професор кафедри технології виробництва літальних апаратів,
Національний аерокосмічний університет
«Харківський авіаційний інститут»,
Заслужений працівник освіти України,
доктор техн. наук, професор

Юрій ВОРОБІЙОВ