

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Жукова Антона Юрійовича  
на тему «Оптимізація масогабаритних показників великих машин  
постійного струму»,  
яку представлено на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 13 Механічна інженерія  
за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

### **Актуальність теми дисертації.**

Під час розробки та створення нових великих електричних електричних машин виникає низка питань, які пов'язані із забезпеченням прийнятних теплових і механічних параметрів їх окремих вузлів. Забезпечення теплових режимів окремих елементів і надійності конструктивних елементів в великих електричних машинах зазвичай призводить до збільшення їх масогабаритних показників – за рахунок цього забезпечується запас по тепловим і механічним характеристикам. Тому проблема зниження металоємності конструкції є однією з нагальних в цій галузі енергомашинобудування.

Дослідження та оптимізація теплових та механічних процесів в таких складних технічних об'єктах, як електричні машини, на сучасному рівні неможливо без застосування новітніх методів моделювання та оптимізації із використанням тривимірних моделей з розподіленими параметрами.

В зв'язку з вищезначеним розвиток методології визначення теплового і напружено-деформованого стану, а також підходів до оптимізації масогабаритних характеристик електричних машин із одночасним забезпеченням їх енергоефективності і надійності електричних становить значний науковий і практичний інтерес, а дисертаційна робота, яка присвячена цій тематиці є безумовно актуальною.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна дослідження полягає у наступному:

- вперше створено нову *методологію* аналізу теплового стану елементів конструкції великих машин постійного струму з вирішенням сукупності задач руху повітря та теплопровідності у тривимірній постановці із використанням методу скінченних об'ємів, що відрізняється більш точним завданням граничних умов в частині градієнтного завдання тепловиділень та коефіцієнтів тепловіддачі в тривимірній постановці.
- удосконалено алгоритм створення оптимізованої сітки скінченних об'ємів для вентиляційної моделі з використанням базових тетраедральних

компонентів, що відрізняється згущенням компонентів в окремих зонах каналів, які обумовлені детальними конструктивними чинниками.

- удосконалено алгоритм виконання оптимізації масогабаритних показників електромашинного обладнання з визначенням напружено-деформованого стану відновлюваних вузлів, що базується на параметрах електромагнітної ефективності та максимальної технологічності.

Обґрунтованість наукових результатів дисертації базується на комплексному поєднанні фундаментальних положень теорії електричних машин із сучасними методами обчислювальної гідрогазодинаміки (CFD) та механіки деформованого твердого тіла (FEA). Достовірність отриманих даних забезпечена застосуванням математичного апарату усереднених рівнянь Нав'є-Стокса та ретельним вибором напівемпіричних моделей турбулентності. Високий ступінь відповідності результатів моделювання реальним процесам досягнутий завдяки розробці адаптивних неструктурованих тетраедральних сіток, що дозволяють з максимальною точністю відтворити геометрію вентиляційних каналів та щіткового апарату.

Достовірність отриманих результатів крім того підтверджується тим, що запропоновані на їх основі технічні рішення щодо підвищення енергоефективності і надійності втілені під час створення нових електричних машин із забезпеченням їх подальшої надійної експлуатації

Впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес НАУ «ХАІ», які підтверджуються відповідними довідками, свідчать про їх прикладну цінність для гірничої та аерокосмічної галузей України.

Результати дисертаційного дослідження пройшли апробацію на міжнародних науково-практичних конференціях.

В дисертаційній роботі було повністю виконане поставлене наукове завдання розробки методів та алгоритмів наукового обґрунтування комплексних рішень оптимізації масогабаритних показників великих машин постійного струму з використанням сучасних методів скінченних елементів та обчислювальної гідрогазодинаміки.

Здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Жукова Антона Юрійовича 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 Жукова А.Ю., 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 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 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** виконано системний аналіз конструкції великих машин постійного струму у контексті їх взаємозв'язку з системами охолодження. Виконано критичний перегляд класичних аналітичних методів розрахунку вентиляції та теплообміну, що дозволило виявити їх обмеження при вирішенні задач оптимізації конструктивних параметрів. Визначено пріоритетні напрями покращення масогабаритних показників електричної машини.

**Другий розділ** присвячено обґрунтуванню методології тривимірного моделювання на основі вирішення усереднених рівнянь Нав'є-Стокса. Застосування методу скінченних об'ємів у середовищі SolidWorks Flow Simulation дозволило досягти високої достовірності результатів. Автором обґрунтовано вибір моделей турбулентності та розроблено алгоритм генерації неструктурованих тетраедральних сіток, що забезпечує адекватну адаптацію

розрахункової моделі до складної геометрії внутрішнього простору електричної машини.

**У третьому розділі** наведено результати порівняльного аналізу теплового стану колекторів та щіткового апарату для базової та модернізованої систем з примусовою вентиляцією. Чисельне моделювання у тривимірній постановці підтвердило стабільність температурних режимів у всіх експлуатаційних діапазонах, що надало наукове обґрунтування для безпечного зменшення габаритів колекторного вузла та поліпшення загальних питомих характеристик машини.

**Четвертий розділ** містить результати дослідження напружено-деформованого стану обертових частин після відновлювальних робіт методом скінченних елементів. Доведено механічну надійність валів зі зменшеним діаметром шийок та підтверджено спроможність напівмуфт, встановлених методом гарячої посадки, передавати максимальні крутні моменти. Практична значущість роботи підтверджена впровадженням на ТОВ «ХЕМЗ» та у навчальний процес НАУ «ХАІ», що демонструє ефективність запропонованих підходів для модернізації електромашинного обладнання.

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 ТОВ «Харківський електромашинобудівний завод», 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 4 наукових публікаціях здобувача, що реферуються в базі даних Scopus, 4 тезах доповідей на міжнародних конференціях, 1 монографії та 2 патентах на корисну модель.

Публікації Жукова Антона Юрійовича мають високий науковий рівень, проходили рецензування та перевірку на унікальність згідно з умовами видавництва. Публікації охоплюють усі основні результати дисертаційного дослідження.

В наукових публікаціях дотримані принципи академічної доброчесності. В наведеному переліку показано особистий внесок здобувача для публікацій, опублікованих із співавторами.

Таким чином, є всі підстави вважати, що наукові результати, які описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації**

1. У Розділі 1 доцільно було б оглянути більшу кількість сучасних наукових публікацій, що присвячені безпосередньо методам розрахунку вентиляції у тривимірній постановці, та звернути увагу на можливість вибору моделей турбулентності, а також зміни газодинамічних параметрів від температури.

2. Для рисунків 1.3–1.6 необхідно було б вибрати більшу якість, адже не всі конструктивні елементи можна розгледити.

3. В роботі необхідно було б звернути увагу на математичний апарат визначення втрати, яка викликана електромагнітними та механічними факторами.

4. В дисертації не розглянуті питання, як результати запропонованої оптимізації впливають на електромагнітні параметри системи.

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.**

В цілому можна вважати, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Жукова Антона Юрійовича на тему «Оптимізація масогабаритних показників великих машин постійного струму» 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. Зважаючи на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані в дисертаційній роботі, новизну та практичну цінність, повноту викладення в наукових публікаціях, дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності, вважаю, що дисертація 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», який затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Виходячи з вищенаведеного, можна зробити висновок, що здобувач Жуков Антон Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі

знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

**Офіційний опонент:**

заступник директора з наукової роботи  
Інституту енергетичних машин і систем  
ім. А.М. Підгорного НАН України,  
лауреат Державної премії України  
в галузі науки і техніки,  
член-кореспондент НАН України,  
доктор технічних наук, професор

Андрій КОСТИКОВ