

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Кобзаря Ігоря Володимировича  
на тему «Збільшення надійності та подовження ресурсу підп'ятників  
гідрогенераторів»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 13 Механічна інженерія  
за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

### **Актуальність теми дисертації.**

Сучасний стан Об'єднаної енергетичної системи України характеризується не лише значним дефіцитом встановленої потужності, а і суттєвою нестачею маневрових енергоблоків. Для вирішення цієї задачі до роботи у частих змінних режимах залучають устаткування гідро- та гідроакумуючих електростанцій. Однак відомо, що збільшення кількості пускових режимів роботи гідроелектростанцій призведе до прискореного вичерпання ресурсу їхніх найбільш відповідальних елементів. Одними із таких вузлів гідрогенераторів є підп'ятники – деталі конструкції генератора, що сприймають вертикальні навантаження від ваги всього гідроагрегату.

Технічний стан підп'ятників гідроагрегатів є однією з причин обмеження допустимого числа циклів пуску-зупину та розвантаження-навантаження енергоблоку. Однак, для поточного стану енергосистеми України, термінові рішення про ввід агрегатів в роботу призводять до збільшення частоти виникнення асиметричних багатовекторних зусиль на конструктивні елементи гідроагрегатів.

Додатково, елементи гідроагрегатів працюють в умовах складно-напруженого стану, який формується інерційними обертовими силами, гравітаційними силами, напруженнями від посадки деталей на розтяг та напружень від нерівномірності температурних полів.

Вказані вище обставини призводять до необхідності розробки ефективних методів встановлення реального технічного стану підп'ятників гідрогенераторів на основі розрахунку їхнього тривимірного напружено-деформованого стану, що є актуальною науковою задачею зі значним практичним значенням.

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

У дисертаційній роботі вирішується важлива науково-технічна проблема, що полягає у розробці ефективних методів дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкцій та вузлів гідрогенераторів та

гідрогенераторів-двигунів за впливу складних багато-компонентних навантажень. Отримані результати є теоретичною і практичною основою для інженерних розрахунків міцності елементів конструкцій генераторів великої потужності. Вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач здійснювалось з використанням загальних положень механіки твердих тіл, теорії коливань та теплопровідності. В роботі застосовано класичні методи і моделі теорій термопружності, теплопровідності та механіки суцільних середовищ для формування рівнянь стану. Під час формулювання контактних задач були використані загальні співвідношення механіки контактної взаємодії з використанням методу скінченних елементів.

Достовірність одержаних результатів було встановлено шляхом їхнього порівняння з аналітичними розв'язками, що передусім використовуються при проєктуванні електричних машин, отриманими за класичними інженерними методиками, а також з даними експериментальних досліджень. Узгодження отриманих результатів підтверджує адекватність запропонованих методів та результатів досліджень, що були отримані аналітичним шляхом та засобами твердотільного моделювання. Результати дисертаційної роботи використано на АТ "Українські енергетичні машини" при проєктуванні нових та реконструкції існуючих елементів конструкцій гідрогенераторів середньої і великої потужності, зокрема, для Дністровської ГАЕС, Дніпро ГЕС-2, Кременчуцької ГЕС та Середньодніпровської ГЕС. Окрім цього, результати роботи впроваджено у навчальний процес на кафедрі аерокосмічної теплотехніки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут". Для вказаних вище фактів, наявні відповідні акти-впровадження.

**Наукова новизна** результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. В розрахунках ураховано температури та всі навантаження, що впливають на період експлуатації гідрогенераторів та гідрогенераторів-двигунів.
2. Розроблено метод розрахунку напружено-деформованого стану опорних елементів (підп'ятників) гідрогенераторів великої потужності та проведено дослідження міцності дворядних підп'ятників жорсткого і гідравлічного типів за експлуатаційних навантажень.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає в такому:

Розроблено підходи до розрахунку напружено-деформованого стану в елементах конструкцій гідрогенераторів та гідрогенераторів-двигунів великої потужності під впливом номінальних та аварійних навантажень, що орієнтована на розв'язання реальних, практично важливих, задач. В основі

підходів закладені розрахунки тривимірних моделей елементів конструкцій, що істотно підвищує точність оцінки їхньої міцності.

Отримані наукові результати можуть бути використані науково-дослідними та проектними організаціями, конструкторськими бюро, організаціями енергетичної галузі, аерокосмічними університетами та іншими організаціями, які спеціалізуються в області досліджень енергетичного обладнання.

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 "Збільшення надійності та подовження ресурсу підп'ятників гідрогенераторів" у рамках програми розвитку гідроенергетики на період до 2026 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 13 липня 2016 р. № 552-р.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо вдосконалення методів дослідження напружено-деформованого стану підп'ятників гідрогенераторів за впливу складних багато-компонентних навантажень 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 Кобзаря Ігоря Володимировича 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 Кобзаря І. В., наданий кафедрою аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут".

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям дослідження складно-напруженого стану конструктивних елементів 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 працях. 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 чисельний замість числовий, лінії струму (лінії течії), постава (постановка) та ін. Інколи присутня тавтологія слів, неузгоджені відмінки. Окремі рисунки мають недостатню роздільну здатність (наприклад рис. 4.15, 4.34). Тим не менш, вказані вище зауваження зустрічаються рідко.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, після кожного з яких наводяться висновки до розділу та список літератури, загальних висновків та додатків.

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 світові тенденції розвитку генераторобудування та сучасного стану генеруючого обладнання в Україні. Оглянуто основні пошкодження вузлів генераторів, що призводять до несправності та проблем контролю електричних машин. Проведено огляд існуючих математичних моделей і методів розрахунків напружено-деформованого стану елементів конструкцій генераторів.

*Другий розділ* присвячено дослідженню наукового стану існуючих методологій та алгоритмів розрахунку міцності деталей та вузлів гідрогенераторів. Показано, що існуючий математичний апарат дозволяє виконувати обчислення міцності. Представлено математичну модель розв'язання задач теплопровідності та термопружності, з використанням скінченних елементів у вигляді тетраедра з лінійною і квадратичною апроксимацією шуканих величин.

У *третьому розділі* представлено результати дослідження опорних вузлів гідрогенераторів великої потужності. Показано, що найбільш навантаженими елементами, які сприймають контактні навантаження, є жорсткі підп'ятники, а саме тарілки і опорні болти. Дослідження напружено-деформованого стану

проводилось для дворядних під'ятників жорсткого (Кременчуцька ГЕС) і гідравлічного типу (Дністровська ГАЕС) виробництва АТ "Українські енергетичні машини". Наведені формулювання завдань і результати розрахунку напружено-деформованого стану під'ятників при тривимірному моделюванні та класичному аналітичному підході, який використовувався при проектуванні під'ятника. У ході дослідження уточнено допустимі значення напружень у зоні контакту, що враховують особливості геометрії зони зіткнення тарілки з болтом.

*Четвертий розділ* дисертації містить результати дослідження напружено-деформованого стану диска під'ятника гідрогенератора Середньодніпровської ГЕС потужністю 50 МВт з дефектами, які виникають у процесі тривалої експлуатації. Окрім цього, розглянуто типи внутрішніх та поверхневих дефектів, зазначено метод механічного розрахунку основних елементів, розглянуто основні причини виникнення вібрації, а також представлені методи для розрахунку і критерії стосовно вибору основних напружень.

*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 Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут", а також акт впровадження результатів на АТ "Українські енергетичні машини".

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 13 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, 3 статті у виданнях, що реферуються в базі даних Scopus, 2 статті, що опубліковані в наукових періодичних виданнях інших держав, 1 теза доповіді, 1 колективна монографія та 3 патенти України.

Публікації Кобзаря Ігоря Володимировича мають високий науковий рівень, проходили рецензування та перевірку на унікальність згідно з умовами видавництва. Особистий внесок здобувача до поданих наукових публікацій є вагомим, а одна стаття у фаховому виданні підготовлена одноосібно. 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. Наукова новизна сформована дещо скромно і не висвітлює деякі отримані цінні результати.
2. На рис. 3.14 доцільно було додатково представити зону контакту тарілки та болта зі збільшенням до кількох десятків ангстремів для демонстрації характеру розподілу контактного напруження.
3. В розділі 3.4 більш коректно порівнювати результати аналітичного розрахунку меридіональних напружень у вершинах внутрішніх гофр гідравлічного підп'ятника з аналогічними вертикальними компонентами напружень отриманими методом скінченних елементів, а не з напруженнями по Мізесу.
4. На рис 3.22 доцільно було б обмежити вісь ординат максимальним значенням в  $10^9$  Н/м<sup>2</sup> для зручності аналізу.
5. Оскільки вузли на рис. 4.8, 4.21 та ін. поставлені з неоднорідним кроком, доречніше було б графіки напружень (рис. 4.9, 4.22 та ін.) представляти не в залежності від назви вузлів, а від їхньої поздовжньої координати, що дозволило б отримати епюри розподілу напружень.
6. В розділі 3 та 4 розрахунки напружено-деформованого стану елементів проводились з врахуванням розподілу температур в основних деталях, однак не наведено жодного рисунку з тепловим станом даних об'єктів.

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 Кобзаря Ігоря Володимировича на тему «Збільшення надійності та подовження ресурсу підп'ятників гідрогенераторів» 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 Кобзар Ігор Володимирович 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

«18» серпня 2024 року