

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

Актуальність теми дисертації

В Україні для забезпечення електричною енергією гідроелектростанціям відводиться дуже важлива роль. В сучасних умовах видобутку енергії ГЕС та ГАЕС працюють як основні генеруючі потужності та покривають пікові навантаження. Також, в теперішній час часто виникає необхідність у терміновому вводі агрегатів в роботу. Наразі для забезпечення найвищої маневровості генеруючого обладнання терміни регламентних робіт генераторів змінені відносно технологічних інструкцій заводу-виробника. Це призводить до того, що вузли працюють у ще більш навантаженому стані (зі сторони теплових, електричних та механічних факторів).

Маса та габарити генераторів можуть сягати до 600 т та до 17 м (за діаметром бочки статора). В конструкції гідрогенераторів є елементи, що мають працювати 40 років, які належать до ресурсних вузлів. Найбільш навантаженим елементом конструкції гідроагрегата є підп'ятник.

Сучасні світові тенденції дослідження електричних машин базуються на використанні тривимірних підходів розрахунку елементів з урахуванням теплових граничних умов та направлені на отримання ефективних рішень з вдосконалення конструкцій та підвищення їх надійності. Розвиток та вдосконалення зазначених підходів для застосування дослідження стану електричних машин, у тому числі гідрогенераторів, є надзвичайно актуальним питанням.

Використання розробленого методу оцінки напружено-деформованого стану підп'ятника існуючих гідрогенераторів дозволить значно знизити кількість ремонтів. Як наслідок, це зменшить економічні витрати, викликані виводом гідроагрегатів з роботи з їх подальшим ремонтом та випробуваннями. Така задача є дуже актуальною і має суттєве практичне значення для генеруючої промисловості України.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Матеріали, що викладені у дисертації Кобзаря Ігоря Володимировича, розвивають сучасні тенденції математичного моделювання напруженого стану підп'ятників гідрогенераторів. Запропоновані наукові методи дозволили розвинути підходи до розрахунку конструкцій складнонавантажених компонентів генератора, що відпрацювали свій термін. Достовірність результатів оцінки технічного стану підп'ятнику, на базі якого

проводилися механічні тривимірні розрахунки, підтверджується зіставленням з числовими значеннями результатів неруйнівного контролю.

Проведений у представленій роботі уточнений аналіз міцності елементів конструкцій гідрогенератора великої потужності дозволив вирішити складну науково-технічну задачу отримання ефективних методів дослідження напружено-деформованого стану ресурсних елементів його вузлів. Вже зараз розроблені методи отримали практичне застосування на підприємствах-виробниках гідрогенеруючого обладнання України. Одним з цих підприємств є АТ "Українські енергетичні машини" (м. Харків). Оцінка технічного стану підп'ятників за розробленим методами була здійснена при планових реконструкціях на таких діючих електростанціях, як Дністровська ГАЕС, Дніпро ГЕС-2, Кременчуцька ГЕС та Середньодніпровська ГЕС.

Запропонований метод розрахунку також може бути використаний для визначення напружено-деформованого стану елементів аерокосмічної техніки, що містять підшипники.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше 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.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Кобзаря Ігоря Володимировича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, а її результати свідчать про вагомий особистий внесок здобувача у науковий напрям авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кобзаря Ігоря Володимировича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, яка відповідає особливостям стилю наукових досліджень з використанням правильних термінів і понять, характерних для стандартної фахової та наукової термінології. Дисертаційна робота є цілісною і в ній досягнуті тематична

повнота та розкриття головної наукової ідеї автора. Подані в роботі наукові та практичні положення логічно викладені та достатньо обґрунтовані.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та списків використаних джерел до кожного розділу і загальних висновків. Загальний обсяг дисертації складає 193 сторінок, з них 161 сторінки основного тексту, 133 рисунка по тексту, 8 таблиць по тексту, списків використаних джерел до кожного розділу, сумарно викладених на 8 сторінках.

У **вступі** автором обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульовано мету і завдання дослідження, а також описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи та особистий внесок автора.

У **першому розділі** проаналізовано світові тенденції розвитку генераторобудування та сучасного стану генеруючого обладнання в Україні, проведено огляд існуючих математичних моделей і методів розрахунків напружено-деформованого стану елементів конструкцій генераторів.

У **другому розділі** представлено загальну методологію міцнісного розрахунку вузлів і деталей гідрогенераторів великої потужності, яка враховує особливості роботи генератора і заснована на розв'язанні комплексу задач – термопружності, теплопровідності і газодинаміки – у межах єдиної методології, що пропонується. Показано, що існуючий математичний апарат дозволяє виконувати обчислення міцності, а наявна база скінчених елементів дозволяє з достатньо високою точністю отримати картину технічного стану елементів конструкції.

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. Уточнено допустимі значення напружень у зоні контакту, що враховують особливості геометрії зони зіткнення тарілки з болтом. Для жорсткого підп'ятника встановлено, що максимальні значення напружень посередині зони контакту болта і тарілки істотно відрізняються від даних аналітичного розрахунку. Середні ж напруження в місці контакту узгоджуються з напруженнями, отриманими при аналітичному розрахунку, і не перевищують допустимих значень.

У **четвертому розділі** представлено результати дослідження напружено-деформованого стану диска підп'ятника гідрогенератора Середньодніпровської ГЕС потужністю 50 МВт з дефектами, які виникають у процесі тривалої експлуатації. 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. За результатами дослідження встановлено, що напруження на ділянці дефектів диска підп'ятника перевищують межу міцності матеріалу, а отримані

напруження перевищують допустимі від межі плинності для обертових частин гідрогенераторів.

У **висновках** наведено підсумкові результати проведених у дисертації наукових досліджень, що узагальнюють висновки за кожним з її розділів.

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

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

За матеріалами дисертації опубліковано 13 наукових праць, з яких 3 – це статті у наукових періодичних виданнях, які індексуються в SCOPUS та віднесені до другого квартилю (Q2) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank; 3 – це статті, що опубліковані в наукових періодичних виданнях інших держав; 3 – це патенти.

Основні положення дисертаційної роботи були опубліковані в виданнях за тематикою роботи (Динаміка і міцність корпусів та опорних елементів конструкції гідрогенераторів, вісник НТУ «ХПІ»; Методологія розрахунку гідрогенераторів в задачах міцності, вісник НТУ «ХПІ»; Підвищення ефективності гідроагрегатів при реконструкції ГЕС Дніпровського каскаду, «Гідроенергетика України»; Modeling of the Stress-Strain of the Suspensions of the Stators of High-Power Turbogenerators, The Methods of Three-Dimensional Modeling of the Hydrogenerator Thrust Bearing, Stress-Strained State of the Thrust Bearing Disc of Hydrogenerator-Motor, «Computation»; Studying and analysis of the thermally stressed state of the hydrogenator stator casings by methods of mathematical modeling, Finite element analysis of high load thrust bearings, «European Journal of Technical and Natural Science»; Аналіз напруженого стану елементів конструкції турбогенераторів потужністю 325 МВт, «Чернігівська політехніка»).

Наукові публікації здобувача містять опис наукових досліджень, проведених в рамках дисертаційного пошуку, аналіз сутності проблеми, методів і результатів проведених досліджень, а також обґрунтовані висновки. В наукових публікаціях здобувача не виявлено порушень принципів академічної доброчесності, висновки є оригінальними.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. У першому розділі недостатньо повно описано математичні моделі дефектів вузлів гідрогенераторів, не відображені числові критерії по відношенню до типів дефектів.

2. В другому розділі детально представлені конструкції гідрогенераторів зонтного та підвісного типів, представлені вектори дії силових навантажень. Зважаючи на надану інформацію було б доцільним більш

детально проаналізувати вплив кожного типу навантаження на окремі компоненти підп'ятника та їх вплив на пошкодження конструкції.

3. В представленій роботі досліджувався вплив теплових та гідравлічних навантажень на гідравлічні опори. Однак в роботі не висвітлено яким чином ці фактори враховувались для оливи (модуль пружності змінюється за температурою та тиском).

4. На рисунку 4.29 з графіка важко розібрати, яким вузлам відповідають значення за віссю абсцис.

Вважаю, що приведені зауваження не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну та практичну вагомість результатів та не впливають на загальну 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:

Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри міцності літальних апаратів
Національного аерокосмічного університету
ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Віталій МІРОШНІКОВ