РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Кравченко Станіслава Сергійовича

на тему "Забезпечення підвищення потужності та обґрунтування довготривалої роботи на надпроєктних режимах турбогенераторів теплових електростанцій",

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 головна роль у забезпеченні електричною енергією належить тепловим та атомним електростанціям. В сучасних умовах видобутку енергії під час роботи турбоагрегатів ТЕС та АЕС вони часто піддаються надкритичним навантаженням. Також, в теперішній час досить часто виникає необхідність у терміновому вводі турбоагрегатів в роботу з метою покриття пікових навантажень. Наразі для забезпечення більш високої маневреності генеруючого обладнання терміни регламентних робіт турбогенераторів 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 турбогенераторів можуть сягати до 300 т та до 12,5 м (за довжиною валу ротора). В конструкції турбогенераторів є елементи, що мають працювати 30 років, які відносяться до ресурсних вузлів. Найбільш навантаженими елементами конструкції турбогенератору є підвіска осердя статора, натискні фланці, короби (щити) та бандажні кільця.

Сучасні світові тенденції дослідження електричних машин базуються на використанні тривимірних підходів до розрахунку елементів з метою отримання просторової картини розподілу напружень з урахуванням граничних умов та направлені на отримання ефективних рішень з вдосконалення конструкцій та підвищення їхньої надійності. Створення методів розрахунку міцності вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів із вирішенням сукупності задач термопружності та теплопровідності у тривимірній постановці для зв’язаної задачі термопружності та із додаванням фактичних контактів є надзвичайно актуальним питанням.

Використання розроблених методів, що дають можливість визначення уточнених запасів міцності найбільш механічно навантажених ресурсних компонентів турбогенераторів, дозволить забезпечити підвищення потужності генераторів з метою зниження дефіциту електричної енергії та забезпечити довготривалу роботу на надпроєктних режимах, що надасть можливість значно зменшити економічні витрати, викликані виводом турбоагрегатів 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, викладені у дисертації Кравченка Станіслава Сергійовича, дозволяють зробити висновок про обґрунтованість та достовірність його наукових результатів. Вони забезпечуються використанням сучасних методів дослідження, зокрема, на основі методів тривимірного комп’ютерного моделювання, ефективних методів оцінки напружено-деформованого стану вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів. Вирішена важлива науково-технічна проблема, що полягає у розробці ефективних методів визначення уточнених запасів міцності вузлів та деталей турбогенераторів. Отримані результати є теоретичною і практичною основою для створення методів та алгоритмів розрахунку складних опорних елементів для турбогенераторів нового покоління.

З метою підтвердження достовірності отриманих розробленими у роботі методами тривимірного моделювання результатів було використано метод Hot Spot Stress. Достовірність отриманих результатів було підтверджена за рахунок співвіднесення з фактичними лініями тренду змінення параметрів генеруючого обладнання діючих електростанцій для робочих режимів S2 (що характеризуються як сталі режими).

Результати дисертаційної роботи використано на АТ "Українські енергетичні машини" (м. Харків) при проєктуванні нових та реконструкції існуючих елементів конструкцій турбогенераторів потужністю 200 МВт, 215 МВт, 250 МВт, 325 МВт.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розвинуті існуючі інженерні методи визначення міцності на основі класичної теорії опору матеріалів та теорії тепло-масо-обміну в двовимірній постановці в частині уточнення запасів міцності на основі ретельного математичного моделювання фізичного стану конструкції та кореляції відносно методів руйнівного контролю фізичних властивостей матеріалів.

2. Створено новий метод розрахунку міцності вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів із вирішенням сукупності задач термопружності та теплопровідності у тривимірній постановці із використанням методу скінчених елементів для зв’язаної задачі термопружності в частині уточнення граничних умов ІІІ-роду.

3. Створено новий метод розрахунку міцності вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів в частині термопружної задачі з додаванням фактичних контактів їх елементів і зіставленням з конструктивною та технологічною особливістю деталей.

4. Вдосконалено алгоритм завдання граничних та початкових умов для тривимірних моделей конструктивних компонентів енергетичного обладнання в частині детального опису конструкції з урахуванням її різножорсткості та особливостей технологічного з’єднання деталей на основі тривимірного моделювання.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Кравченка Станіслава Сергійовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 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 ракето-космічної техніки.

Можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кравченка Станіслава Сергійовича 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, котра 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, п’яти розділів, висновків та списків використаних джерел до кожного розділу і загальних висновків. Загальний обсяг дисертації складає 208 сторінок, з них 168 сторінок основного тексту, 128 рисунків по тексту, 23 таблиці по тексту, списків використаних джерел до кожного розділу, сумарно викладених на 13 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 сучасний стан генеруючого обладнання теплових та атомних електростанцій в Україні з урахуванням періодично виникаючої необхідності роботи в надкритичних режимах. Виконано загальний огляд конструкції турбогенераторів та нормативно-технічних вимог до умов їх експлуатації. Проведено аналіз причин виникнення ушкоджень конструкції та аварій турбогенераторів. Наведені основні технічні дані турбогенераторів та визначені найбільш механічно навантажені ресурсні вузли турбогенераторів.

У **другому розділі** визначені вимоги до геометрії розрахункових вузлів, створені їх тривимірні моделі. Визначені діючі на ці вузли механічні сили, викликані електромагнітними та вібраційними чинниками. Розроблено удосконалений алгоритм завдання граничних та початкових умов для тривимірних моделей вузлів та елементів конструкцій енергетичного обладнання в частині детального опису конструкції з урахуванням її різножорсткості та особливостей технологічного з’єднання деталей на основі тривимірного моделювання. Виконано розрахунок теплових граничних умов для побудови просторової картини термонапруженого стану компонентів турбогенератора. Розраховані теплові втрати для турбогенератора.

У **третьому розділі** представлені результати механічних розрахунків системи підвіски осердя статора та натискних фланців турбогенератора створеним методом тривимірного моделювання. В даному методі розрахунок міцності в частині термопружної задачі виконується з додаванням фактичних контактів та із врахуванням конструктивних та технологічних особливостей деталей. Також, було виконано дослідження вібраційного стану турбогенератора та визначені граничні амплітуди вібрацій статора турбогенератора, при яких забезпечується його надійна робота.

У **четвертому розділі** представлені результати дослідження міцності конструкцій коробів турбогенераторів потужністю 320 МВт та 560 МВт. Уточнені значення механічних напружень для цих компонентів були отримані завдяки використанню розробленого в роботі методу визначення міцності вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів із вирішенням сукупності задач термопружності та теплопровідності у тривимірній постановці із використанням методу скінчених елементів для зв’язаної задачі термопружності в частині уточнення граничних умов ІІІ-роду. Також, в цьому розділі були визначені максимально допустимі деформації для нормальної роботи ущільнення турбогенератора при роботі під воднем.

У **п’ятому розділі** представлено перевірку збіжності отриманих розробленими методами тривимірного моделювання механічних напружень у вузлах та елементах конструкцій турбогенераторів HSS-методом. На основі розрахунків з використанням розроблених методів тривимірного моделювання були представлені уточнені запаси міцності у вузлах та деталях турбогенераторів потужністю 200 МВт та 300МВт. Були представлені рекомендації з забезпечення надійної роботи турбогенераторів за умов надкритичних навантажень з наданням конкретних технічних параметрів. Також, було надане обґрунтування забезпечення безпечної роботи розглянутих турбогенераторів з підвищеною на 10% потужністю без обмежень за навантаженнями та режимами роботи.

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 2017р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

**Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

За матеріалами дисертації опубліковано 6 наукових праць, з яких 2 – це статті у наукових періодичних виданнях, які індексуються в SCOPUS та віднесені до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank; 1 – це стаття, що опублікована в науковому періодичному виданні України; 1 – це колективна монографія; 1 – це патент.

Основні положення дисертаційної роботи публікувались в виданнях за тематикою роботи (Методологія визначення натягів бандажних кілець турбогенераторів середньої потужності, вісник НТУ "ХПІ"; Peculiarities of the Design of Housing Parts of Large Direct Current Machines", SAE Int.; Devising a calculation method for modern structures of current-conducting elements in large electric machines in a three-dimensional statement, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies).

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. В першому розділі необхідно було б більш ретельно проаналізувати запаси міцності відносно обраної теорії міцності. Не ясно, чи зміниться задана величина запасів міцності, якщо все розраховувати за критерієм Мізеса.

2. В другому розділі доцільно було б представити залежність модуля пружності від температури. З представлених даних не зрозуміло, яка технологія запресування штифтів пружної підвіски використовувалась і чи були враховані технологічні напруження.

3. В роботі відсутній опис визначення типу тетраедра в якості скінчених елементів. Не зрозуміло, чи було використано можливість враховувати елементи з кривизною поверхні.

4. В конструкції турбогенераторів використовуються ізотропні та анізотропні сталі. З викладеного матеріалу не зрозуміло, чи були враховані зміни параметрів модуля пружності по довжині та висоті тривимірної моделі і чи проводилась оптимізація вибору оптимальної жорсткості конструкції.

Вважаю, що приведені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів, не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кравченка Станіслава Сергійовича на тему "Забезпечення підвищення потужності та обґрунтування довготривалої роботи на надпроєктних режимах турбогенераторів теплових електростанцій" 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 2022р. №44.

Здобувач Кравченко Станіслав Сергійович 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