

ВІДГУК
на дисертаційну роботу
Кравченко Станіслава Сергійовича
на тему: «Забезпечення підвищення потужності та
обґрунтування довготривалої роботи на надпроектних 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 більше 80% усієї електроенергії виробляється тепловими та атомними станціями, де в якості генераторів використовуються турбогенератори великої потужності. Наразі внаслідок сталого дефіциту електроенергії в енергосистемі нашої країни відбувається постійний перерозподіл генерації, що призводить до роботи турбогенераторів на надкритичних режимах. Також, більшість турбогенераторів вже добігла кінця терміну експлуатації або цей термін закінчиться у найближчі роки.

Необхідно зазначити, що невід'ємною особливістю роботи турбогенераторів є те, що їх вузли та деталі працюють у складнонапруженому стані. При цьому ступінь дії комбінованих навантажень є різною для кожного вузла та конструктивного елементу генератора. Вищезазначене призводить до ускладнення проведення розрахунків з визначення механічних напружень класичними інженерними методами, а побудова просторової картини діючих навантажень з використанням лише аналітичних методів є майже неможливою. У свою чергу, розробка сучасних методів тривимірного моделювання з урахуванням механічних, теплових та вібраційних чинників з використанням сучасного комп'ютерного обладнання та програмних продуктів з метою дослідження напружено-деформованого стану компонентів турбогенератора дозволить розв'язати цю проблему.

Враховуючи вищевикладене, розробка методів розрахунку напружено-деформованого стану найбільш навантажених ресурсних вузлів та деталей турбогенераторів великої потужності у тривимірній постановці, що дозволять підвищити точність визначення міцності їх вузлів та елементів і забезпечить можливість надати точну оцінку запасу міцності цих компонентів дозволить підвищити потужність та надати обґрунтування довготривалої роботи на надпроектних режимах турбогенераторів теплових електростанцій.

Враховуючи сучасну тенденцію, щодо переходу на електричну тягу і використання в авіації електричних двигунів, вищезазначені методи тривимірного розрахунку міцності зможуть бути використані при дослідженні напружено-деформованого стану енергетичного обладнання літаків та аеродромів.

Отже, існує нагальна потреба в розробці ефективних методів дослідження напружено-деформованого стану компонентів турбогенераторів великої потужності. Така задача, особливо в нинішніх умовах, є дуже актуальною і має суттєве практичне значення.

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 була 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 III-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 роботою, а її результати свідчать про вагомий особистий внесок здобувача у науковий напрям авіаційної та ракетно-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 викладені логічно та достатньо обґрунтовані.

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел інформації та 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. Представлено опис основних ресурсних вузлів турбогенератора, та навантажень, що діють на них. Основна увага в розділі приділяється аналізу основних пошкоджень турбогенераторів.

У **другому розділі** визначені вимоги до геометрії та виконане тривимірне моделювання розрахункових вузлів. Визначені механічні сили, які викликані електромагнітними та вібраційними чинниками, що діють на них. Створено 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. Отримані граничні умови для побудови

просторової картини термонапруженого стану вузлів та елементів конструкції турбогенератора, визначено критичні елементи конструкції.

У **третьому розділі** представлені результати механічних розрахунків системи кріплення осердя статора турбогенератора розробленим методом тривимірного моделювання, в якому, на відміну від існуючих, розрахунок міцності в частині термопружної задачі виконується з додаванням фактичних контактів та із врахуванням конструктивних та технологічних особливостей деталей. Також, в даному розділі було визначено залежність подвійної амплітуди вібрації від модуля пружності шихтованого осердя статора турбогенератора.

У **четвертому розділі** представлені результати механічних розрахунків коробів турбогенератора, які були отримані розробленим методом 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 III-роду. У тривимірній постановці були враховані всі геометричні особливості розрахункових елементів та характер застосування навантажень.

У **п'ятому розділі** представлені аналіз та кореляція результатів дослідження напружено-деформованого стану вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів. На основі методів математичного моделювання, що виконувались запропонованими методами, було розраховано нову таблицю уточнених механічних напружень для деталей турбогенераторів. Показано, що ці напруження не перевищують межі плинності та втоми основного матеріалу, а запаси міцності деталей дозволяють забезпечити безпечну роботу розглянутих турбогенераторів з підвищеною на 10% потужністю без обмежень за навантаженнями та режимами роботи. Також були надані рекомендації з забезпечення надійної роботи турбогенераторів за умов надкритичних навантажень.

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. У першому розділі дисертації недостатньо повно розкрито питання існуючих методів тривимірного моделювання, в роботі не представлені порівняння розрахунків попередників, отриманих в ANSYS, SolidWorks Simulation, COMSOL.

2. У другому розділі дисертації недостатня увага приділена законам розподілу сил та температур по поверхнях, однак дуже ретельно розглянуто математичний апарат розв'язання задач міцності в тривимірній постановці.

3. У третьому та четвертому розділі не зовсім зрозуміло, яким чином обчислюються зусилля, що викликані несиметричним навантаженням моментів вздовж довжини статора, а також несиметричним розташуванням опор для кріплення коробів. Можливо, в роботі більш детальну увагу слід було б звернути на несиметричні навантаження, що діють на елементи нероз'єднаних з'єднань.

4. У п'ятому розділі результати досліджень напружено-деформованого стану вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів представлені лише у вигляді об'єднаних таблиць. Було б доречним, у зв'язку з наявністю в роботі задачі термопружності, приділити більшу увагу епюрам теплового стану.

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 надпроектних 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 – п. 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 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,
завідувач кафедри електричних машин
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»



Андрій ЄГОРОВ