

**РЕЦЕНЗІЯ**  
на дисертаційну роботу  
**Кравченка 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**

На сьогоднішній день в Україні турбогенератори великої потужності є невід'ємною складовою теплових та атомних станцій, за рахунок яких головним чином і виробляється електроенергія. З урахуванням того, що ресурс більшої частини генераторного обладнання вже добіг чи добігає кінця та за умов постійного підвищеного навантаження при роботі через обстріли та необхідність перерозподілу генерації електроенергії питання забезпечення надійності роботи турбогенераторів теплових електростанцій стоять дуже гостро.

Вивчення особливостей напружено-деформованого стану турбогенератора, в цілому, його вузлів та деталей, зокрема, є найочевиднішим шляхом забезпечення надійної роботи турбогенераторів при номінальних і критичних навантаженнях. Основна мета такого дослідження – більш точне визначення запасів міцності вузлів та деталей енергетичного обладнання.

Складність дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкцій та вузлів турбогенераторів великої потужності обумовлена, окрім іншого, необхідністю розв'язання газодинамічної, теплової та термопружної задач. Метод скінчених елементів та сучасні прикладні пакети програм на їх базі є найпоширенішим інструментом для якісного та точного вирішення цієї комплексної задачі.

Таким чином, розробка методів розрахунку напружено-деформованого стану конструкцій турбогенераторів великої потужності у тривимірній постановці дозволить з високою точністю спрогнозувати запас міцності обладнання. А це забезпечить можливість підвищення потужності та дасть обґрунтування довготривалої роботи на надпроектних режимах роботи турбогенераторів теплових електростанцій. 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, дискретизації співвідношень для аналізу напружено-

деформованого стану досліджуваних тіл на основі методу скінчених елементів, а також класичних методів і моделей теорій термопружності, теплопровідності та механіки суцільних середовищ.

Достовірність отриманих результатів дисертаційної роботи було встановлено шляхом їхнього порівняння з реальними параметрами генеруючого обладнання діючих електростанцій для робочих режимів, котрі характеризуються як сталі режими. Отримані результати математичного тривимірного моделювання напружено-деформованого стану вузлів і деталей конструкцій генераторів великої потужності задовільно узгоджуються з даними експериментальних і теоретичних досліджень інших авторів.

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 працею, 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, що 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 зі 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, приведено огляд конструкції турбогенераторів та нормативно-технічних вимог до умов їх експлуатації, представлено опис основних ресурсних вузлів турбогенератора та навантажень. Також визначено «слабкі» місця турбогенератора з боку дії на них механічних, теплових та вібраційних навантажень.

У **другому розділі** представлено методи та алгоритм розрахунку напружено-деформованого стану конструкцій турбогенераторів у тривимірній постановці. Визначені вимоги до геометрії та виконане тривимірне моделювання розрахункових вузлів. Створено удосконалений алгоритм задання 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. Проведено загальний огляд існуючих математичних моделей і методів розрахунків напружено-деформованого стану елементів конструкцій енергетичного обладнання. Представлено вибір розрахункової сітки, визначено концепцію завдання граничних умов для даної задачі.

У **третьому розділі** представлено результати механічних розрахунків системи кріплення осердя статора турбогенератора розробленим методом тривимірного моделювання. Визначено залежність подвійної амплітуди вібрації від модуля пружності шихтованого осердя статора турбогенератора. Представлені результати, що були отримані розрахунковим методом, дають змогу оцінити фактичний стан амплітуд вібрацій. Ці результати були зіставлені з результатами вимірювань вібродатчиками при станційних випробуваннях турбогенераторів.

У **четвертому розділі** представлено результати механічних розрахунків коробів турбогенератора розробленим методом визначення міцності вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів з розв'язанням сукупності задач термопружності та теплопровідності у тривимірних постановках. Це

дозволило провести уточнений аналіз міцності елементів конструкцій турбогенераторів. Виявлено, що короби статора турбогенератора мають створюватись з додатковими силовими поясами. Причому характерний розмір ребер жорсткості повинен становити не менше подвійної товщини обшивки статора. При цьому всі зварні шви мають бути виконані з розділкою країв та в них неприпустимі додаткові концентратори. Допустиме механічне напруження слід прийняти як  $1/2$  від межі плинності основного матеріалу.

У **п'ятому розділі** представлено результати аналізу та кореляція результатів дослідження напружено-деформованого стану вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів. Для пружинного з'єднання, де найбільш навантаженими є місця штифтових з'єднань показано, що контактні напруження локаційно не перевищують перерізаючих, а характер напружень не має різких стрибків, де точки випадають з загального рівня. 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. Надано 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 3 статті, з яких одна у виданні, що входить до переліку наукових фахових видань України та дві статті у виданнях, що реферуються в базі даних Scopus. Також основні результати роботи опубліковані в одних тезах науково-технічної конференції, в одній монографії та в одному патенті.

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 другому розділі недостатньо повно розкриті питання особливостей теплового розрахунку та не зовсім зрозуміло, як саме враховувалися реальні

температури обмоток статора та ротора при визначенні напружено-деформованого стану вузлів та елементів конструкції турбогенератора.

2. Четвертий розділ було би доцільно доповнити результатами розв'язання задачі теплопровідності та привести, наприклад, розподіл температур в елементах конструкції. Це би дозволило краще зрозуміти особливості уточненого аналізу міцності елементів конструкцій турбогенераторів.

3. Деякі графіки (наприклад, Рис. 3.11, 3.12, 3.16, 3.17) мають дуже малий шрифт шкали та написів, що ускладнює сприйняття інформації. При цьому вісь абсцис на Рис. 3.15, взагалі, представляє послідовність цифр та не є зрозумілою, з точки зору, фізичного змісту явища зміни напружень.

4. Ускладнене сприйняття результатів розрахунку з використанням таких параметрів, як Node Title (Рис. 4.29, 4.33, 4.35, 4.37 та ін.) та крок сітки (Рис. 5.23). Можливо ці параметри варто було би замінити довжиною елемента чи відстанню між характерними точками 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 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 – 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,  
доцент кафедри аерокосмічної теплотехніки  
Національного аерокосмічного університету  
ім. М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

Олексій ЛИСИЦЯ