

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Кравченка Станіслава Сергійовича  
на тему «Забезпечення підвищення потужності та обґрунтування  
довготривалої роботи на надпроектних режимах турбогенераторів  
теплових електростанцій»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 13 Механічна інженерія  
за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

### **Актуальність теми дисертації.**

Характерною особливістю поточного стану енергетичної галузі України є вичерпання проєктного та паркового ресурсу основного обладнання. Ця обставина суттєво загострюється в умовах значного дефіциту встановленої потужності. Таким чином, забезпечення надійності та довговічності експлуатації турбогенераторів теплових електростанцій є стратегічно-важливою задачею.

Модернізація та оновлення генеруючого обладнання повинна супроводжуватись детальним аналізом номінальних та критичних навантажень основних елементів конструкції. З цією метою проводяться розрахунки термонапруженого стану найбільш відповідальних та навантажених елементів турбогенераторів. Розробка методів розрахунку напружено-деформованого стану елементів конструкції електрогенераторів у тривимірній постановці, дозволить підвищити точність визначення їх довговічності та дасть можливість чітко оцінити запаси міцності цих компонентів. Перераховані вище фактори є визначальними при плануванні тривалості експлуатації турбогенераторів на надпроектних режимах, що є важливою та актуальною задачею в науковому та практичному сенсі.

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

У дисертаційній роботі вирішується важлива науково-технічна проблема, що полягає у розробці методів дослідження напружено-деформованого стану елементів конструкцій турбогенераторів при роботі на номінальних та надпроектних режимах із вирішенням сукупності задач термопружності та теплопровідності у тривимірній постановці із використанням методу скінчених елементів.

Вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач здійснювалось з використанням загальних положень механіки твердих тіл, теорії коливань та

теплопровідності. В роботі застосовано методи дискретизації розв'язувальних співвідношень, числові дослідження тривимірних моделей, метод декомпозиції Рейнольдса для вирішення проблем турбулентності.

Узгодження отриманих результатів підтверджує адекватність запропонованих методів та результатів досліджень, що були отримані аналітичним шляхом та засобами твердотільного моделювання. Точність отриманих в роботі результатів і висновків забезпечується математичним моделюванням без спрощень та без використання умов симетрії. Отримані результати математичного моделювання напружено-деформованого стану деталей генераторів задовільно узгоджуються з даними експериментальних і теоретичних досліджень інших авторів.

Результати дисертаційної роботи використано на АТ "Українські енергетичні машини" при проєктуванні, виробництві, складанні та стендових випробуваннях генераторів. Окрім цього, результати роботи впроваджено у навчальний процес кафедри аерогідродинаміки 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. Розвинуті існуючі інженерні методи визначення міцності на основі класичної теорії опору матеріалів та теорії тепломасообміну 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. Вдосконалено підходи до 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. Знайшли подальшого розвитку методи 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 на основі тривимірного моделювання.

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

1. Створено методологію розрахунку запасів міцності для вузлів та деталей турбогенераторів та аналогічного енергетичного обладнання, використання якої забезпечує надійну роботу турбогенераторів на номінальних режимах на протязі не менше 27000 годин.

2. Надано обґрунтування забезпечення підвищення потужності та довготривалої роботи на надпроектних режимах турбогенераторів теплових електростанцій.

3. Встановлені закономірності деформації вузлів та елементів конструкцій статорів турбогенераторів та аналогічного енергетичного обладнання під дією теплових, механічних та вібраційних чинників для фактично вибраних зварних швів. Надано обґрунтування безпеки зварних з'єднань для корпусів турбогенераторів, що працюють під воднем.

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 "Енергетичної стратегії України на період до 2035 р.", що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 605-р. від 18.08.2017 р., та "Енергетичної стратегії України на період до 2050 р.", що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 373-р від 21 квітня 2023 р.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо обґрунтування довготривалої роботи турбогенераторів на надпроектних режимах 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 Кравченка Станіслава Сергійовича 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 Кравченка С. С., 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 оцінки довговічності експлуатації 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 роботах. 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.

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків та додатків. Список використаної літератури наводиться після вступу та кожного розділу.

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 оглянуто конструктивні особливості турбогенераторів, проаналізовано основні пошкодження, що призводять до несправності конструкції. Визначені основні вузли та елементи, що являють собою слабкі місця турбогенератора з боку дії на них механічних, теплових та вібраційних навантажень.

*Другий розділ* присвячено розробці методів та алгоритму розрахунку напружено-деформованого стану конструкцій турбогенераторів у тривимірній постановці. Проведено загальний огляд математичних моделей та методів дослідження напружено-деформованого стану. Представлено алгоритм завдання граничних та початкових умов для тривимірних моделей вузлів та елементів конструкцій.

У *третьому розділі* представлені результати механічних розрахунків системи кріплення осердя статора турбогенератора з додаванням фактичних контактів, врахуванням конструктивних та технологічних особливостей. Також, встановлено залежність подвійної амплітуди вібрації від модуля пружності шихтованого осердя статора турбогенератора.

*Четвертий розділ* дисертації присвячено механічному розрахунку коробів турбогенератора, які було отримано розробленим методом визначення міцності

вузлів та елементів конструкцій турбогенераторів із вирішенням сукупності задач термопружності та теплопровідності. Проведено більш точний аналіз міцності елементів конструкцій турбогенераторів. Виявлено, що короби статора турбогенератора мають створюватись з додатковим силовими поясами, а всі зварні шви мають бути виконані з розділкою країв та в них неприпустимі додаткові концентратори.

У *п'ятому розділі* дисертації виконано оцінку достовірності отриманих результатів методом Hot Spot Stress у постановці лінійної поверхневої екстраполяції. За результатами перевірки збіжності результатів, виявлено, що номінальні (геометричні) напруження для сталевих елементів конструкції не перевищують 100 МПа в підвісці осердя статора і 60 МПа в коробі та є допустимими.

*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 на АТ "Українські енергетичні машини", а також акт впровадження результатів роботи в науково-методичний процес кафедри аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського "Харківський авіаційний інститут".

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 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у науковому фаховому виданні України, 2 статті у виданнях, що реферуються в базі даних Scopus та мають третій квартиль, 1 стаття за матеріалами доповіді на конференції Scopus, 1 монографія та 1 патент на корисну модель.

Публікації Кравченка Станіслава Сергійовича мають високий науковий рівень, проходили рецензування та перевірку на унікальність згідно з умовами видавництва. Особистий внесок здобувача до поданих наукових публікацій є вагомим. 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. Дисертація є дещо переобтяженою по обсягу. Зокрема це стосується опису конструкції турбогенераторів в розділі 1, або детальному математичному опису задачі термопружності в розділі 2 та ін.

2. Представлені в таблиці 2.5 результати розрахунку теплових втрат для турбогенератора потужністю 215 МВт доцільно було б підкріпити короткою математичною моделлю, або відповідним посиланням на літературу.

3. Проведений розрахунок міцності підвіски статора турбогенератора 325 МВт показав значний рівень інтенсивності напружень при дослідженні в пружній постановці. В такому випадку доречно доповнити розрахунок задачею в пластичній постановці.

4. В роботі не представлені результати розрахунку граничних умов теплообміну III роду, однак наявні посилання на статтю автора з такими результатами. В даній статті представлено базове рівняння подібності для випадку вимушеного руху газу вздовж циліндричної поверхні. Доречно розглянути уточнені рівняння подібності.

5. Присутні незначні помилки на декількох рисунках. Зокрема, на рис. 4.13 показано розподіл надлишкового тиску з підписом шкали як інтенсивності напружень по Мізесу, або на рис. 4.17, 4.19 вказано одиницю вимірювання метр для безрозмірної відстані.

6. Дещо незрозумілими є рекомендації щодо обмеження числа циклів скидання та набору навантаження турбогенераторів в розділі 5.2, оскільки в роботі не представлено розрахунку малоциклової втоми.

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 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 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.

**Офіційний опонент:**

доцент кафедри теплової та  
альтернативної енергетики  
КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
кандидат техн. наук, доцент



Віталій ПЕШКО

«14» листопада 2024 року