

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Беднарської Інни Станіславівни
на тему «Удосконалення підходу до розрахунку напружено-деформованого
стану елементів системи паророзподілу атомної електростанції»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 144 Теплоенергетика

Актуальність теми дисертації.

Сталий розвиток енергетичної галузі є ключовою умовою безпечного й ефективного функціонування сучасного суспільства. Враховуючи зношеність основних генеруючих потужностей, зокрема атомних електростанцій, актуальним стає питання технічної діагностики обладнання, оцінки залишкового ресурсу та обґрунтування подовження строку його експлуатації. Розробка науково-обґрунтованих підходів до оцінки технічного стану елементів АЕС дозволить забезпечити надійність, безпеку та екологічну відповідність енергопостачання, що є важливими умовами для сталого розвитку енергетики України та світу.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному: у межах дисертаційного дослідження удосконалено комплексний підхід до оцінки технічного стану та прогнозування залишкового ресурсу обладнання енергоблоків атомних електростанцій, що враховує особливості експлуатації в умовах сучасної енергетичної системи. Запропоновані підходи базуються на поєднанні аналітичного моделювання, сучасних діагностичних підходів і аналізу впливу зовнішніх та внутрішніх факторів, які визначають надійність роботи обладнання.

Достовірність наукових результатів забезпечується використанням сучасних методів математичного моделювання, статистичної обробки експериментальних і виробничих даних, а також верифікацією результатів на основі реальних експлуатаційних показників. Проведено порівняння одержаних результатів з існуючими нормативами та даними аналогічних досліджень, що підтверджує їх обґрунтованість і практичну цінність.

Наукові дослідження були виконані здобувачкою на кафедрі теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського під керівництвом к.т.н., доц. Риндюка Дмитра Вікторовича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо удосконалення підходу до розрахунку напружено-деформованого стану елементів системи паророзподілу атомної електростанції виконано повністю, здобувачка повною мірою оволоділа методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачки Беднарської Інни Станіславівни повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 144 Теплоенергетика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Теплоенергетика».

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, що підтверджує наявність особистого внеску здобувачки у відповідний науковий напрям.

Аналіз звіту щодо текстових збігів за результатами перевірки дисертації свідчить про те, що робота Беднарської Інни Станіславівни є самостійним дослідженням. Вона не містить ознак фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату чи неналежних запозичень. Усі використані ідеї, результати й фрагменти текстів інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями на джерела.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, логічно структурована та доступно викладена. Основний текст підготовлено технічною мовою, з використанням професійної термінології. Наукова робота достатньо забезпечена рисунками та таблицями.

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, визначено її зв'язок із чинними науковими програмами та планами. Сформульовано мету дослідження, визначено завдання, охарактеризовано об'єкт і предмет дослідження, а також описано застосовані методи. Наведено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, відображено особистий внесок автора, подано дані про апробацію, публікації, а також розкрито структуру і обсяг дисертації.

Перший розділ присвячено аналітичному огляду літературних джерел щодо дослідження паророзподільчих систем енергоблоків, зокрема системи паророзподілу енергоблоку №2 Хмельницької АЕС. Детально проаналізовано конструкцію, ключові компоненти та їх функціональне призначення, особливо паропроводи та клапани. Розглянуто сучасні підходи до моделювання

напружено-деформованого стану, однак підкреслено недостатню вивченість процесів газодинаміки вологої пари та теплообміну в системах паророзподілу турбін типу К-1000-60/3000, які широко застосовуються на АЕС України. Обґрунтовано необхідність удосконалення розрахункових методів для підвищення експлуатаційної надійності та безпеки, а також сформульовано основні завдання дослідження.

У другому розділі представлено обґрунтування вибору математичної моделі для моделювання газодинамічних процесів у системі паророзподілу з використанням технологій CFD. Проведено порівняльний аналіз існуючих підходів до моделювання течій, в результаті чого обрано найдоцільніший варіант — модель, побудовану на усереднених рівняннях Нав'є-Стокса за Рейнольдсом (RANS) із застосуванням турбулентної моделі $k-\omega$ SST Ментера. Розкрито методику дискретизації обчислювальної області, побудову розрахункових сіток та наведено критерії їх якості, які забезпечують високу точність результатів. Побудовано тривимірну стаціонарну модель руху перегрітої пари із застосуванням методу кінцевих об'ємів.

Третій розділ присвячений перевірці адекватності обраного підходу для розрахунку напружено-деформованого стану стопорного клапана турбіни К-200-130. Для цього тепловий стан клапана було визначено двома методами: визначенням граничних умов теплообміну I–IV роду на основі критеріальних рівнянь та чисельне моделювання газодинамічних процесів з використанням RANS-рівнянь Нав'є-Стокса. Проведено аналіз особливостей потоку пари, формування вихрових структур, а також оцінено вплив температури та тиску на внутрішні поверхні клапана. Отримані результати дозволили визначити розподіл напружень і деформацій, а також запропонувати гіпотезу щодо утворення тріщин у корпусі як головної причини його деградації. У висновках до розділу підкреслено достатню точність і ефективність методу для оцінки ресурсу й надійності елементів паророзподільчих систем.

У четвертому розділі наведено результати чисельного дослідження газодинамічних процесів у системі паророзподілу енергоблоку №2 Хмельницької АЕС. Через обмеженість обчислювальних потужностей моделюванню підлягали уніфіковані фрагменти паропроводів зі спрощеним відображенням лінійної зміни параметрів пари, що дозволило суттєво зменшити час розрахунків без втрати точності. Об'єктом дослідження виступив паропровід №2, що з'єднує парогенератор №2 зі стопорно-регулюючим клапаном турбіни типу К-1000-60/3000. Було побудовано тривимірні розподіли швидкості, тиску та температури пари, які чітко демонструють вплив геометрії на поведінку потоку. Верифікація результатів шляхом порівняння з експлуатаційними даними ХАЕС засвідчила адекватність моделі, середнє

відхилення якої склало близько 2-5%, що підтверджує її придатність для подальшого прогнозування параметрів течії вологої пари.

П'ятий розділ присвячено аналізу напружено-деформованого стану регулюючого клапана паропроводу №2 енергоблоку №2 турбіни К-1000-60/3000 ХАЕС із урахуванням впливу газодинамічних і теплових факторів. Виконано моделювання руху пари та її взаємодії з внутрішніми поверхнями клапана, а також побудовано температурні поля за двома підходами — через граничні умови теплообміну та CFD-моделювання. Особливу увагу приділено впливу парового сита на розподіл навантажень: включення цього елемента у модель дозволило значно підвищити точність локальної оцінки напружень та виявити потенційно небезпечні зони втомного руйнування. Максимальні напруження виявлені в місцях кріплення клапана й контакту сита з корпусом, при цьому їх рівень змінився у порівнянні з моделлю без урахування сита. Це підкреслює необхідність його включення до аналізу для достовірної оцінки довговічності елемента.

Загальні висновки висвітлюють основні отримані наукові результати, а також містять рекомендації щодо їх практичного застосування.

У додатках наведено список публікацій здобувачки та довідки про використання результатів науково-дослідної роботи.

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 9 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 5 наукових фахових конференціях.

Наукові публікації Беднарської Інни Станіславівни вирізняються високим рівнем якості, пройшли рецензування та перевірку на унікальність відповідно до вимог видавництва. Особистий внесок авторки є суттєвим у кожній із поданих праць. У публікаціях відображено всі ключові результати дисертаційного дослідження.

Таким чином, зміст дисертації повністю представлений у наукових працях здобувачки.

Дискусійні положення та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Авторкою на сторінці 80 дисертаційної роботи не було обґрунтовано ствердження про те, що для порівняння двох способів розрахунку теплового стану регулюючого клапану циліндру середнього тиску

турбіни К-200-130 достатньо провести порівняння лише для одного з п'яти експлуатаційних режимів, а саме для режиму, який відповідає максимальній масовій витраті робочого тіла.

2. Авторкою некоректно вживаються деякі терміни, наприклад, замість терміну «лінії потоків» (сторінка 82) доречніше було б використати термін «лінії течії робочого тіла».
3. Авторкою у висновках за розділами та загальних висновках не визначено можливі напрями продовження досліджень за тематикою дисертації.
4. В дисертаційній роботі авторкою не застосовується математичний апарат оптимального проектування конструкції елементів системи паророзподілу, наприклад, регулюючого клапана ЦСТ турбіни К-200-13, що дещо звузило об'єм наукового дослідження.
5. В перелік основних завдань дисертаційного дослідження бажано було б додати завдання розробки механізму покращення експлуатаційних характеристик елементів паророзподілу, що підвищило б практичну значимість результатів дисертаційної роботи.
6. З опису математичної моделі термо та газодинамічних процесів в магістральних паропроводах паророзподільчої системи енергоблоку №2 Хмельницької АЕС не зрозуміло чи враховувався аеропружний обмін енергією між вологою парою та трубопроводами для врахування і перевірки можливості виникнення резонансних коливань.

Загалом вважаю, 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

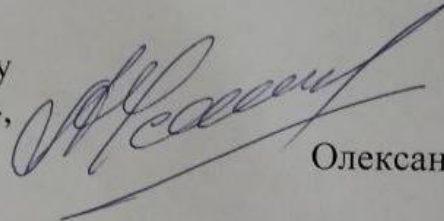
Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки ступеня доктора філософії Беднарської Інни Станіславівни на тему «Удосконалення підходу до розрахунку напружено-деформованого стану елементів системи паророзподілу атомної електростанції» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 14 Електрична 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.

Здобувачка Беднарська Інна Станіславівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри турбінобудування
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
доктор технічних наук, с.н.с



Олександр УСАТИЙ



«02» серпня 2025 року

Підпис Олександр Усатий
ЗАСВІДЧУЮ:
вчений секретар
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
[Signature]
... 20... р.