

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Кулеша Назарія Сергійовича
на тему «Тепломасообмін та гідродинаміка елементів сепаратора
пароперегрівача ВВЕР-1000» представлену на здобуття ступеня доктора
філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія»
за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування»

Актуальність теми дисертації.

Однією з ключових умов для тривалої та безаварійної роботи турбінного обладнання атомної електростанції є ефективна сепарація крапельної рідини. Ця рідина може утворюватися через винесення з парогенератора або конденсацію вологої пари. Для забезпечення належного функціонування сепараційних пристроїв необхідно розуміти механізми взаємодії рідини та газу, а також знати діапазон робочих параметрів, за яких плівка рідини залишається стабільною і не відбувається вторинного винесення.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- На основі аналізу фізичної моделі руху двофазного середовища в криволінійному горизонтальному каналі було розроблено математичну модель та визначено межу уловлення дисперсної фази.
- Визначено граничні режими функціонування сепараційних жалюзійних пристроїв залежно від дисперсності та кількості крапельної рідини, параметрів потоку та геометричних характеристик криволінійних каналів.
- Представлено математичну модель для визначення траєкторії руху краплі рідини в криволінійному каналі гофри жалюзійного пакету сепаратора-пароперегрівача.
- Визначено основні умови руйнування плівки та динамічного зриву крапель.
- Запропоновано метод розширення діапазону стабільної роботи сепараційних пристроїв, на основі отриманих кореляцій проведено оптимізацію конструкції жалюзійного пакету.

- Вдосконалено методику розрахунку рекуперативних теплообмінних апаратів, у яких волога пара використовується як робоче тіло.

- Визначено граничні режими утворення вторинного винесення при русі двофазного середовища в сепараційних пристроях та особливості тепломасообміну вологої пари в оребренних рекуперативних теплообмінниках.

- Отримано кореляції критичних значень параметрів двофазного потоку для визначення нижньої межі процесу зриву крапель з плівки рідини залежно від густини зрошення, геометричних характеристик каналу та фізичних властивостей рідини і газу. Для труб з повздовжнім оребренням у вигляді п-подібного профілю отримані кореляції, на основі яких рекомендовано оптимізувати геометричні характеристики оребрення.

- Представлено результати, що дозволяють оптимізувати конструкцію рекуперативних теплообмінних апаратів з повздовжнім п-подібним оребренням. Відповідно до отриманих даних у дослідженні, було виконано графічне відображення даних та аналіз випробувань, який показує, що температура перегрітої пари після СПП нижча на $\Delta t = 5^\circ\text{C}$. Імовірною причиною цієї невідповідності є виникнення додаткового термічного опору контакту між повздовжнім оребренням та основною трубою. Погіршення зумовлено значним терміном експлуатації касет СПП, що спричинено термічними напруженнями внаслідок зміни режимів роботи блоку та якості зварювальних робіт. В результаті, умови роботи останніх ступенів ЦНТ погіршилися, що вплинуло на загальний ККД установки та зниження техніко-економічних показників роботи турбіни.

Достовірність результатів досліджень базуються на порівнянні з іншими видатними авторами. У роботі не порушуються принципи гідродинаміки та тепломасообміну, визначено та враховано похибку під час аналізу результатів дослідження.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі атомної енергетики

КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР під керівництвом

Завідуючого кафедрою атомної енергетики, д.т.н, професора, Туза Валерія Омеляновича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання дослідження тепломасообміну та гідродинаміки елементів сепаратора пароперегрівача ВВЕР-1000 та визначення невідповідності параметрів, 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 Кулеша Н.С. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності – 142 «Енергетичне машинобудування» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Енергетичне машинобудування».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «енергетика».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Кулеша Назарія 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, викладена зрозуміло, логічно та послідовно, із застосуванням загальноприйнятої термінології та відповідних стандартів. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку літератури, загальний обсяг роботи становить 115 сторінок. У вступі обґрунтовано актуальність дослідження та наведено загальну характеристику роботи. Сформульовано мету дослідження, визначено основні завдання, а також окреслено об'єкт і предмет дослідження. Визначено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів. Також представлено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію роботи, її структуру та обсяг.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, визначено мету, об'єкт та предмети дослідження. Вказано наукову новизну отриманих результатів та надано інформацію щодо особистого внеску здобувача. Також надано інформацію про апробацію результатів роботи. Описано структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У першому розділі представлено літературний огляд основних типів турбін для атомних електростанцій (АЕС) та сепараторів-пароперегрівачів.

Проаналізовано найбільш поширені види турбін і сепараторів-пароперегрівачів, а також визначено особливості парових турбін, що використовуються в атомних енергетичних установках. Розробка швидкохідних турбін для АЕС з потужністю 1000 МВт і більше вимагає впровадження складних технічних рішень. У турбінах АЕС для зниження кінцевої вологості пари використовуються два методи позатурбінного вологовидалення: або проміжна сепарація, або сепарація з подальшим паровим перегріванням відсепарованої пари. Вибір методу та параметрів для видалення вологості й

перегріву залежить від теплової схеми турбоустановки та ґрунтується на техніко-економічних розрахунках.

Другий розділ присвячено дослідженню гідродинаміки парорідинних потоків у криволінійних каналах сепараційних пристроїв енергетичних установок розглянуто один із напрямів підвищення техніко-економічних характеристик і надійності роботи енергетичного обладнання. Крапельна рідина у двофазному потоці приводить до ерозійних і корозійних процесів у трубопроводах, камерах згорання газотурбінних двигунів (ГТД) і в циліндрах низького тиску парових турбін (ЦНТ). Отримання гомогенного робочого тіла можливо шляхом переведення крапельної вологи у паровий стан (нагрів) або шляхом використання сепараційних пристроїв. В багатьох випадках використання бар'єрних фільтруючих елементів не можливо, тому єдиним шляхом забезпечення необхідної якості робочого тіла є використання інерційних сепараційних пристроїв, у тому числі жалюзійних.

Третій розділ присвячений дослідженню гідродинаміки та теплообміну двофазних середовищ. При проектуванні технологічного обладнання, в якому в якості робочого тіла використовується волога пара, у більшості випадків, не враховується особливості взаємодії між краплями рідини і теплообмінною поверхнею, що приводить до невідповідності параметрів теплоносія реальним значенням. В повній мірі це стосується парових турбін, які працюють на вологій парі, вологовміст якої залежить від первинного і вторинного виносу крапель рідини з сепараційних блоків. У розділі визначені граничні режими вторинного виносу крапель рідини з гребнів хвиль плівки. На підставі узагальнення результатів експериментальних досліджень порушення гідродинаміки руху двофазного потоку у каналі отримана кореляція критичних значень параметрів двофазного потоку для визначення нижньої границі процесу захлинання від густини зрошування, геометричних характеристик каналу і фізичних властивостей рідини і газу. Представлені результати оцінки ефективності конструкції теплообмінної поверхні при зміні параметрів теплоносія і робочого тіла, а також геометричних характеристик оребрення теплообмінної труби. Для труб з повздовжнім оребренням п-подібного профілю отримані кореляції, на підставі яких рекомендується виконувати оптимізацію геометричних характеристик оребрення.

У четвертому розділі виконаний аналіз та обробка отриманих результатів, проведені випробування турбіни К-1000-60/3000 в діапазоні від 400 до 1000 МВт на обладнанні науково-дослідного центру надійності та безпеки АЕС, мультифункціональному тренажері реакторної установки РАЕС – 3 ВВЕР-1000 при цьому було відмічену зміну параметрів турбіни зокрема t_m . Маючи параметри з реального об'єкту, паспорту та з мультифункціонального тренажеру, показані реальні зміни режимів роботи, однією з об'єктивних причин зміни режимів роботи по паспорту є процеси в СПП, такі як збільшення термічного опору контакту між оребренням та основною трубою.

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 2 статтях фахових наукових виданнях України, що проіндексовані у базі Scopus та віднесені до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports;

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача мають високий науковий рівень, проходили рецензування, мають оригінальні висновки, відповідні посилання на запозичені джерела та не містять порушень принципів академічної доброчесності. Всі публікації, зараховані за темою дисертації, виконані у співавторстві з науковим керівником, що свідчить про високий рівень особистого внеску здобувача у проведенні дослідження. Наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Представлена автором фізична модель більше схожа на схему руху поодинокі краплини в криволінійному каналі, в даному випадку доцільно відобразити детально модель течії двофазового потоку і показати взаємодію крапель, плівки та пари з поверхнею каналу.
2. Автором мало сказано про геометричні розміри П-подібного оробрення і вплив його на ефективність процесу тепломасообміну. Відсутні дослідження термічного опору ребер, зниження якого погіршує роботу пристрою.
3. Автор не приводить в якості прикладу конкретний розрахунок теплообмінника-сепаратора з урахуванням і залучанням отриманих ним результатів.

Висновок про дисертаційну роботу.

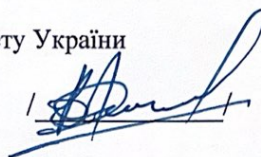
Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кулеша Назарія Сергійовича на тему «Тепломасообмін та гідродинаміка елементів сепаратора пароперегрівача ВВЕР-1000» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, 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.

Здобувач Кулеш Назарій Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування».

Рецензент:

доцент кафедри атомної енергетики
Національного технічного університету України
"Київський політехнічний інститут",
кандидат технічних наук



Валерій РОГАЧОВ

М.П.

«___» _____ 20__ року

