

Відгук

Офіційного опонента на дисертаційну роботу

ВИШЕМІРСЬКОГО МАКСИМА ПАВЛОВИЧА

на тему: «Удосконалення системи пасивного відводу теплоти від активної зони реакторів ВВЕР»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 «Електрична інженерія»

за спеціальністю 143 «Атомна енергетика»

Актуальність теми дисертації

Робота присвячена актуальній тематиці застосування систем пасивного тепловідводу для підвищення безпеки не тільки перспективних проєктів АЕС, але і діючих в Україні реакторів типу ВВЕР.

Більшість існуючих проєктів систем пасивного тепловідводу як безпосередньо від першого, так і від другого контурів АЕС для підвищення надійності засновані на використанні природньої циркуляції, що призводить до досить невеликих значень теплопередачі порівняно з примусовою циркуляцією за умови необхідності відведення десятків мегават залишкових тепловиділень. Коректність моделювання природньої циркуляції у пасивних системах тепловідводу, а також обґрунтованість результатів розрахунків з застосуванням системних одномірних теплогідравлічних розрахункових кодів викликає певні сумніви і потребує подальших досліджень. Таким чином, обґрунтування достатності теплопередачі в системах пасивного тепловідводу на природній циркуляції є важливою науковою задачею.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірність та новизна

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розроблено концепції систем пасивного відведення тепла від а.з. (для ВВЕР-1000) та від СГО (для ВВЕР-440) для діючих енергоблоків АЕС України.
2. Визначено необхідну площу теплообмінної поверхні СПВТ, проведено теплогідравлічне моделювання та обґрунтування працездатності такої системи.
3. Визначено основні аспекти, які мають бути враховані у при реалізації відповідного проєкту СПВТ на енергоблоці.

4. Показано, що більш ранні версії одномірних кодів порівняно із їх сучасними версіями, недооцінюють теплопередачу в теплообмінниках із складною формою теплообмінних поверхонь.
5. Запропоновано спрощений підхід до оцінки ефективності пасивних систем, який забезпечує більш грубу оцінку ефективності, однак потребує значно менших ресурсів на виконання аналізу.
6. Показано перехід пасивної системи в нестійкий стан із зниженою ефективністю, який полягає у зростанні амплітуди коливань витрати в контурі природної циркуляції.

Результати роботи представлені у дисертації обґрунтовані, але недостатньо якісно задокументовані. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків підтверджуються порівнянням експериментальних даних з проведеними розрахунками з використання сучасних методів та валідованих програмних засобів, які базуються на загальноприйнятих підходах щодо аналізу теплогідравлічних процесів. Здобувач використав у своїй роботі такі відомі системні теплогідравлічні коди як RELAP5 Mod 3.2, Mod 3.3, TRACE v5f3, ATHLET та COCOSYS, а також моделі, які використовуються в обґрунтуванні безпеки Українських АЕС. Також, здобувачем розроблені власні теплогідравлічні моделі пасивних систем для проведення досліджень зі стабільності функціонування пасивних систем тепловідводу у перехідних процесах.

Достовірність результатів дослідження забезпечується коректною постановкою завдань і виконаних досліджень, застосуванням сучасних програмних засобів, а також висновками, отриманими іншими авторами.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблені концепції СПВТ можуть бути реалізовані в рамках подальших робіт із підвищення безпеки діючих АЕС України, визначено підхід до моделювання пасивних систем з природною циркуляцією теплоносія та складними конструкціями теплообмінних апаратів із застосуванням ранніх версій теплогідравлічних кодів та спрощений підхід до оцінки ефективності пасивних систем. Важливо зазначити, що здобувачем визначено ймовірне зниження ефективності системи або її перехід у нестійкий стан, що дозволяє у подальшому більш коректне моделювати системи пасивного тепловідводу АЕС теплогідравлічними розрахунковими кодами.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Вишемірського М.П повністю відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 143 «Атомна енергетика», а також напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Атомна енергетика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям підвищення безпеки та надійності АЕС.

Результати виконаного здобувачем дослідження свідчать про достатній науковий рівень дисертації і методичну цінність проведеної роботи. Отримані автором результати вирішують сформульовані в дисертації завдання і свідчать про практичне значення виконаних досліджень.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Вишемірського М.П. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементи фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї і результати інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота викладена українською мовою.

Дисертаційна робота написана з використанням сучасної науково-технічної термінології. Текст дисертації проілюстрований графічним матеріалом і таблицями у більшості випадків в обсязі, достатньому для розуміння виконаної роботи.

Наукова робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та трьох додатків. Основний текст дисертації викладений на 176 сторінках, який містить 75 рисунків, 7 таблиць. Список використаних джерел – 185 найменувань на 9-ти сторінках.

У вступі традиційно розглянуті обґрунтування вибору теми дослідження, його актуальність, мета та завдання дослідження, наукова новизна та практична значущість роботи.

Перший розділ носить оглядовий характер і присвячений аналізу світового досвіду в частині застосування пасивних систем на АЕС великої та малої потужності особливо стосовно проєктів які найближчим часом буде

реалізовано в Україні. Розглянуто існуючі типи пасивних систем відведення тепла (СПВТ) від ядерного палива та проведено стислий огляд їх конструкцій на різних реакторних установках великої потужності. В останньому підрозділі сформульовані висновки та завдання подальших досліджень.

Другий розділ містить опис особливостей застосування одномірних теплогідравлічних кодів та визначає проблематику їх використання для моделювання СПВТ, які мають складну конфігурацію теплообмінних апаратів не враховану під час розробки математичних моделей найбільш розповсюджених для аналізу безпеки АЕС в Україні кодів (RELAP5/MOD3.2 та ATHLET-COCOSYS). Також, проведено розрахунковий аналіз аварій з повним знеструмленням АЕС із ВВЕР, визначено основні параметри РУ ВВЕР-1000 та СГО ВВЕР-440, які застосовані для оцінки технічних характеристик систем відведення тепла від ПГ для ВВЕР-1000 та від СГО для ВВЕР-440.

У третьому розділі виконано розробку концепцій СПВТ від а.з. ВВЕР-1000 та СПВТ від СГО ВВЕР-440, визначено оптимальний тип систем з точки зору способу передачі тепла до кінцевого поглинача (зокрема баки з водою, в які занурено теплообмінники СПВТ), визначено можливі місця встановлення баків із водою, оптимальні місця підключення ліній СПВТ до існуючих систем енергоблока. Також було запропоновано альтернативні варіанти реалізації СПВТ від СГО ВВЕР-440 порівняно із тим, що реалізується ДП «НАЕК «Енергоатом» на енергоблоках №1,2 РАЕС.

У четвертому розділі представлено результати моделювання системи з природною циркуляцією та складною конфігурацією теплообмінника (парогенератора). Для забезпечення достовірності результатів та визначення підходу до моделювання проведено розрахунки теплогідравлічним кодом TRACE на експериментальних даних установки MASLWR, яка є прототипом модульного легководного реактором під тиском та подібна за конструкцією до MMP NuScale.

По результатам аналізу встановлено, що основними аспектами налаштування моделі являються коректне визначення та розподіл по об'ємах моделі гідравлічних опорів у контурі природньої циркуляції, а також необхідність «штучної» інтенсифікації теплообміну на теплообміннику на ~25% (що є наслідком заниження одномірними кодами теплопередачі в таких системах).

У п'ятому розділі наведено аналіз методів оцінки надійності та ефективності пасивних систем. Серед зазначеного розглянуто підходи

зазначення незалежних відмов, відмов обладнання, функціональних відмов, а також оцінка із застосуванням методу Монте-Карло щодо розподілу невизначеностей у вхідних даних. Розглянуто основи оцінки надійності пасивних систем, існуючі методики оцінки надійності пасивних систем (REPAS, RMPS, APSRA). По результатах оцінки визначено існуючі проблеми та відкриті питання методів і концепцій оцінки надійності пасивних систем безпеки та їх застосування. Зазначено, що існуючі методи оцінки надійності та ефективності пасивних систем являються складними та потребують значних ресурсів для проведення аналізу. На підставі результатів проведених розрахунків ефективності СПБТ а.з. ВВЕР-1000 та моделювання експериментальної установки MASLWR було визначено більш спрощений підхід оцінки ефективності пасивної системи, який ґрунтується на оцінці залишкових енерговиділень а.з. та кількості тепла, яке відводиться теплообмінником СПБТ.

У висновках наведено узагальнення отриманих у дисертаційній роботі наукових і практичних результатів.

Дисертаційна робота, у цілому, оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 4-ти наукових публікаціях здобувача у періодичних журналах, які включені на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України та проіндексовані у базах даних Scopus, та 1 публікація у науковому фаховому виданні України.

Результати дисертації були апробовані на семі наукових фахових конференціях.

Всі представлені публікації виконані на належному рівні з усіма необхідними складовими, згідно до умов видавництва. Статті пройшли рецензування.

Аналіз публікацій здобувача дозволяє зробити висновок, що вони у достатній мірі охоплюють результати дисертаційного дослідження.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

У тексті дисертаційної роботи мають місце орфографічні та стилістичні помилки, деякі з яких заважають розумінню тексту. Відмічене непослідовне виконання умов ДСТУ 3008:2015 «Звіти у сфері науки та техніки. Структура та правила оформлення». Тому, такі зауваження розглянути окремо:

- 1) Розділ 1.1.1, рис.1.1, стор. 39. Незрозуміло чому надписи на рисунку зроблені англійською мовою? Теж саме стосується рис.1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16, 1.17, 1.18, 1.24, 1.25, 1.26, 1.27, 1.29, 1.30, 1.31, 1.32, 1.33, 3.19, 4.1. Застосування великої кількості скорочень англійською мовою суттєво ускладнює розуміння зображення на рисунках. Деякі надписи нерозбірливі. Підпис під рисунками та назва таблиць не відповідають ДСТУ.
- 2) Розділ 1.1.5, пар. 1, стор. 44. У реченні «У разі, коли тепловідведення від а.з. штатними засобами втрачено клапани, розташовані в лініях конденсатора, відкриваються і основна пара...», ще одна кома повинна бути перед «клапани». Такі помилки непоодинокі і ускладнюють розуміння тексту та потребують більше часу на його розуміння.
- 3) Розділ 1.2.2, пар. 1, стор. 49. «...його дозаправлення...» - мабуть «дозаповнення», або «підживлення»?
- 4) Розділ 1.2.4, Рис. 1.20, стор. 61. Аналогічна проблема як у зауваженні 1 тільки стосується використання російської мови на рисунках (1.20-1, 1.21, 3.1, 3.2).
- 5) Загальне, по тексту досить багато описок: «валідаці.» замість «валідації», «а.» замість «а.з.», «пр» замість «при», «чотириканальне» замість «чотирьох канальне», «ицьому» замість «цьому», «Нововонезької АЕС-2» - «Нововоронезької»-?. Має місце не завершення речень. Наприклад, стор. 96: «Основні результати наведено».
- 6) Розділ 3.1.5, пар.3, стор. 117. Зазначена площа теплообміну відповідає 33%, 50% одного каналу або, взагалі, для всієї системи?
- 7) Розділ 3.1.5, Взагалі, не зрозуміло за яких початкових та граничних умов виконано наданий розрахунок.
- 8) Розділ 3.1.5, пар. 1, стор. 119. Пояснення з стратифікації потоків (?) у дихальному трубопроводі КТ незрозумілі: що мається на увазі під нижня та верхня частина дихального трубопроводу, якщо там є 2 горизонтальних, 2 вертикальних і 3 похилих ділянки? Незрозуміло ствердження, що одномірні теплогідравлічні коди не коретно розраховують цю задачу.
- 9) Розділ 3.2, стор. 124. Зазначено, що до складу системи примусового скидання тиску з СГО з додатковим спринклером входить насос, а після вказано, що перевагами такої концепції являється «пасивний запуск, не потребує дій персоналу та електропостачання». Я це розуміти?

- 10) Розділ 4.2. Опис експериментальної установки на має схеми установки та посилань на схему, внаслідок чого неможливо однозначно зрозуміти її конструкцію.
- 11) Розділ 4.4.1, стор. 138. Опис Таблиці 4.1 зрозуміти неможливо. Наприклад, «Для межі допуску $= 0.95$ і рівня довіри $1 - \alpha = 0.95$ найменше ціле число дорівнює 59. Це значення показано в Табл. 4.1 у лівих колонках під заголовком $P=0,95$ у рядку для $r=1$.» - у другій лівій колонці зазначено 90, а не 59. Якщо дотримуватись вимог ДСТУ 3008:2015, де кожна окрема колонка нумерується таких проблем би не виникало.
- 12) Розділ 4.4.1, пар.2, стор. 138. Зазначено: «Однак регуляторні органи прийняли значення як для межі допустимого відхилення, так і для рівня довіри 0,95». Не зрозуміло, які «регуляторні органи»? Не має посилання.
- 13) Розділ 4.4.2. Таблиця 4.2. Де що несподівана назва таблиці «Порівняльна таблиця результатів експерименту, розрахунку моделі UNIPA та моделі, розробленої під час практики»...
- 14) Розділ 4.5, рис. 4.9-4.11.3 модельована аварія з втратою підживлення ПГ. Результати розрахунків порівняні з експериментом. Наданого об'єму графіків недостатньо для розуміння коректності моделювання. Наприклад, не відомо, які задавались залишкові тепловиділення, температури на вході і виході з а.з., та багато іншого.
- 15) Підрозділи 5.1-5.4. В підрозділах наведена загальна оглядова інформація і не представлено будь-яких результатів дослідження. Було б доцільно включити цю інформацію до Розділу 1.
Треба більш прискіпливо відноситись до написання науково-технічних текстів та підвищити якість документування.

Незважаючи на загальне позитивне враження при розгляді дисертаційної роботи були виявлені наступні досить суттєві недоліки, питання та зроблені відповідні зауваження:

- 1) Розділ «Вступ», Наукова новизна (стор.32) - «...якісний критерій переходу пасивної системи в нестійкий стан із зниженою ефективністю, який полягає у зростанні амплітуди коливань витрати в контурі природньої циркуляції», так і не було в явній формі сформульовано у дисертаційній роботі.

- 2) Розділ 1.4, стор. 88. Висновки до розділу відповідають огляду світової практики застосування систем пасивного тепловідводу у проектах АЕС. Але є загальне зауваження до Розділу 1 – зовсім не розглянуті раніше виконані

дослідження з застосування таких систем для підвищення безпеки діючих АЕС покоління II і III. Зазначу, що навіть подібні ідеї з обґрунтуванням входили до магістерських дисертацій студентів кафедри Атомної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського.

3) Розділ 2.2.1, п. 1, стор.93. Підживлення ПГ з деаeratorів – це не єдиний захід з підвищення безпеки при знеструмленні АЕС, наприклад, ще є послідовне примусове скидання пари з ПГ. Слід зазначити, що ці заходи необхідно розглядати як першочергові для забезпечення необхідних запасів часу у складі комплексних протиаварійних дій, які другим етапом включають застосування МНС для аварійного підживлення ПГ. Слід більш коректне викладати інформацію.

4) Розділ 2.2.2, пар.1, стор.95. Необхідні пояснення, чому для аналізу аварії зі знеструмленням ВВЕР-1000 було обрано реалістичний підхід? Для обґрунтування такого роду, як виконано у дисертаційній роботі доцільніше використовувати саме консервативний підхід.

5) Розділ 2.2.3, стор.98. Назва розділу абсолютно не відповідає наведеному змісту, де замість знеструмлення розглядається теча 1 контуру 200 мм яка доповнюється повним знеструмленням. В розділах 2.2.1 і 2.2.3 необхідно більше уваги приділити обґрунтуванню вибору розрахункового сценарію. Чому 200 мм, а не 500 мм для «...більш швидкого виділення маси та енергії з першого контуру РУ в СГО.»?

6) Розділ 3.1.3., пар. 1, стор. 112. Речення, «Трубопроводи гострої пари мають значні розміри та обладнані дренажами і розповітрявачами («воздушниками»). Таким чином їх повне заповнення з перекриттям паропроводу є малоймовірним.» не зовсім коректне, тому що у разі знеструмлення всі дренажі повинні бути закриті операторами.

7) Розділ 3.1.5, пар.3, стор. 117. У розділі 3.1.4. обґрунтовано застосування чотирьох каналної СПВТ, де кожний канал повинен відводити 50% тепловиділень з а.з. для забезпечення резервування. Але, у розділі 3.1.5 зазначено, що кожний канал має запас води у 850 тон, тобто лише 25% від необхідних 3370 тон для відведення тепла впродовж 3 діб. При такому підході резервування не має. Також, води у баках повинно бути ще більше для того, щоб у продовж 72 годин забезпечити покриття водою теплообмінників.

8) Розділ 3.1.5, пар.3, стор. 117. З іншого боку та враховуючи попереднє зауваження, запропонована система створить додаткове навантаження на будівлю оббудівлі РВ у 6800 тон без врахування ваги

теплообмінників, труб, баку, площадок обслуговування та інше. З врахуванням понадпроектного строку експлуатації більшості ВВЕР-1000 чи не з'являється це фактором, який не дозволить реалізувати СПВТ на практиці?

9) Розділ 3.1.5, пар.4, стор. 117. Система активується на 120 сек. автоматично чи оператором? Чому саме на 120 секунд? Чому не надається можливість на спробу запуску ДГ?

10) Розділ 3.1.5, рис. 3.12 і 3.14, стор. 118 і 119. Згідно, наприклад, рисунку 3.12 RELAP5 Mod3.3 швидше розхолоджує реактор ніж RELAP5 Mod3.2, тобто відводить більше тепла від 1-го контуру за тій же проміжок часу. Як пояснюється, завдяки додаткових можливостей RELAP5 Mod3.3 з більш коректного моделювання вертикальних теплообмінних поверхонь. Але, згідно рис. 3.14 витрата пари у RELAP5 Mod3.3 менша за RELAP5 Mod3.2 для відведення більшої кількості тепла. Така розбіжність потребує детальних пояснень.

11) Розділ 3.1.5, пар.1, стор. 119. Зазначено, що «Наведені результати аналізу підтверджують принципову можливість впровадження розробленої концепції СПВТ для ВВЕР-1000 та її працездатність.». Але насправді, розрахунки по графіках підтверджують це лише для перших 25000 сек. розрахунку, тобто лише біля 7 годин. Що буде відбуватись під час решти 65 годин? Наприклад, можливо оголення теплообмінних поверхонь СПВТ.

12) Розділ 3.3, пар.1, стор. 127. В висновках зазначено, що «...у розділі 2 було визначено необхідну площу теплообмінників СПВТ (близько 200 м² на один канал чотириканальної системи)». Але, насправді будь якого розрахунку з визначення площі теплообміну у розділі 2 не надано. Тобто, обґрунтування цього значення в роботі не наведено.

13) Розділ 4.4.2, пар. 3, стор. 139. Зазначено, що для моделювання стаціонарного стану в моделі «штучно» збільшена площа теплових структур ПГ, але вплив цього не було проаналізовано для перехідних процесів.

14) Підрозділ 5.4.3.2, пар. 1, стор. 163. Зазначено: «Це підкреслює ще одне обмеження "статичної" структури ІАБ, яка передбачає лише булеві представлення станів системи (успіх або відмова), нехтуючи будь-якими проміжними станами (часткова робота), які є принципово важливими...». Ствердження некоректне, тому що в ІАБ в рамках аналізу критеріїв успіху сформулюються критерії прийнятності, які враховують ці «проміжні стани», в тому числі за рахунок застосування консервативних припущень.

15) Загальні висновки, стор. 174. Перші 2 пункти навряд чи можна віднести до результатів наукової новизни та практики. Третя наукова новизна з врахування наведених зауважень не є достатньо обґрунтованою.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують практичну значимість результатів, а також не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота Вишемірського Максима Павловича на тему: «Удосконалення системи пасивного відводу теплоти від активної зони реакторів ВВЕР» виконана на відповідному науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, сукупність практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має суттєве значення для атомної галузі. 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 року №44.

Здобувач Вишемірський Максим Павлович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 143 «Атомна енергетика».

Опонент:

Доцент кафедри атомної енергетики
навчально-наукового інституту атомної
та теплової енергетики
НТУ України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»

Сергій КЛЕВЦОВ

«_____» _____ 2024 року