

РЕЦЕНЗІЯ

рецензента Ковальця Івана Васильовича, доктора технічних наук, старшого наукового співробітника, завідувача відділу Інституту проблем математичних машин і систем НАН України,

на дисертацію Гашимова Артура Маратовича «Метод визначення критеріїв початку пошкодження активної зони реакторної установки ВВЕР-1000 за результатами моделювання теплогідравлічних процесів», подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» твое

1. Актуальність теми дослідження

Безпечна експлуатація енергоблоків АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000 в умовах позапроектного періоду є однією з ключових проблем ядерної енергетики України. Інформаційні системи, спроектовані до початку 2000-х років, не передбачали можливості ефективного управління станом реакторної установки в умовах запроектних та важких аварій. Особливої гостроти ця проблема набула після аварій на АЕС Три-Майл-Айленд, Чорнобильській та Фукусіма-Дайічі, які продемонстрували критичну важливість надійної діагностики моменту переходу запроектної аварії у важку фазу.

Дисертаційна робота А.М. Гашимова спрямована на розв'язання актуального наукового завдання — оптимізації автоматизованої інформаційної системи підтримки оператора шляхом розроблення та реалізації науково обґрунтованого методу визначення критеріїв початку пошкодження активної зони реакторної установки ВВЕР-1000 на основі імітаційного комп'ютерного моделювання теплогідравлічних та радіаційних процесів. Актуальність роботи підтверджується тим, що чинний консервативний критерій призводить або до

передчасного, або до запізненого входу в керівництво з управління важкими аваріями (КУВА).

2. Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями

Дисертаційне дослідження виконувалося у рамках договору № 22/2019 між ТОВ «Енергориск» та НАЕК «Енергоатом» на науково-дослідну роботу з визначення критерію переходу від ІЛА до КУВА, а також пов'язане з виконанням Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків АЕС України (2012–2030). Результати роботи впроваджені у діяльності ТОВ «Енергориск» у рамках НДР «Оптимізація та обґрунтування критеріїв переходу до роботи за керівництвами з управління важкими аваріями пілотних енергоблоків № 1 ЗАЕС, № 1 ЮУАЕС, № 1 РАЕС».

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їхня достовірність

Обґрунтованість наукових положень забезпечується коректним застосуванням та адаптацією сучасних розрахункових кодів (RELAP5, MICROSHIELD), детальним опрацюванням нормативної та наукової літератури, а також послідовною методологією, що включає аналіз феноменології аварійних процесів, розробку та валідацію імітаційної моделі, виконання обчислювального експерименту та обробку результатів.

Достовірність отриманих результатів підтверджується:

- валідацією розрахункової моделі RELAP5 за даними реального інциденту на енергоблоці № 3 РАЕС;
- валідацією коду MICROSHIELD на стандартних тестових задачах;

- аналізом невизначеностей за методологією VERU та методом Morrisa.

4. Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. **Вперше** для автоматизованої інформаційної системи РУ на основі комп'ютерного імітаційного моделювання сценаріїв запроєктних аварій реакторів типу ВВЕР-1000 розроблено метод визначення критерію переходу запроєктної аварії у важку фазу на основі багатопараметричного критерію, який включає температурні та радіаційні параметри, що дозволяє отримати науково обґрунтовані граничні значення параметрів з меншою долею консерватизму.
2. **Вперше** розроблено на основі RELAP5 деталізовану комп'ютерну імітаційну модель вимірювальних термопар на виході активної зони та оточуючих конструктивних елементів, що дозволило врахувати інерційну затримку інформації в умовах швидкоплинних процесів.
3. **Набула подальшого розвитку** комп'ютерна модель моніторингу радіаційних полів у приміщеннях гермооболонки, що дозволило врахувати радіаційний критерій у методі визначення початку пошкодження активної зони.
4. **Удосконалено** імітаційну комп'ютерну модель РУ ВВЕР-1000 на основі RELAP5 шляхом коректного врахування процесів за умов високих температур теплоносія при низькій густині пари.

5. Теоретична цінність і практична значущість наукових результатів

Теоретична цінність роботи полягає у розвитку методів комп'ютерного моделювання теплогідравлічних процесів у реакторних установках ВВЕР-1000 та

у формалізації підходу до визначення критеріїв початку пошкодження активної зони на основі комбінації параметрів різної фізичної природи.

Практична значущість визначається тим, що запропонований комбінований критерій дозволяє надійно ідентифікувати початок переходу аварії у важку фазу та може бути інтегрований в автоматизовану інформаційну систему підтримки оператора на основі симптомно-орієнтованих аварійних інструкцій енергоблоків ВВЕР-1000.

6. Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях

Основні наукові результати дисертації опубліковано у 3х наукових статтях у міжнародних журналах, проіндексованих у міжнародних наукометричних базах даних Scopus та Web of Science, серед яких 2 статті у виданнях першого квартилю (Q1). Про високий рівень апробації результатів свідчать публікації матеріалів дисертації у 7 тезах міжнародних конференцій, 1-му препринті, 6-ти звітах за міжнародними проєктами Horizon та Euratom, 2-х авторських наборах лекційних матеріалів у рамках міжнародного проєкту «Support to the Nuclear Regulator in South Africa». Зміст публікацій повністю відповідає основним положенням дисертації.

7. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Порушень академічної доброчесності у дисертаційній роботі не встановлено. Автор коректно посилається на використані джерела, оригінальність тексту підтверджується перевіркою за допомогою антиплагіатної системи.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. Для практичного застосування розробленого у розділі 4.4 радіаційного критерію, необхідно провести додаткову валідацію розроблених моделей, із залученням даних радіаційного моніторингу у реакторі;
2. Розділ 4.5 недостатньо розгорнуто описує аналіз невизначеності результатів. Зокрема, щодо чутливості результатів до вхідних параметрів моделювання, констатується проведення такого аналізу, але у розділі не представлено відповідних результатів;
3. Твердження у розділі 4.5 щодо того, що загальна похибка розрахункових значень теплофізичних параметрів знаходиться в інтервалі 5–10% не зовсім відповідає наведеним у розділі 3 результатам валідації розроблених моделей, зокрема, рисункам 3.2 і 3.3. Було б доцільно навести більш детальний аналіз причин розбіжностей за температурами у гарячих нитках ГЦТ.
4. Враховуючи формулювання мети дослідження, слід було б у висновках детальніше зупинитися на перспективах використання розроблених моделей у процесі оптимізації автоматизованої інформаційної системи підтримки оператора.

Вважаю, що наведені зауваження не мають принципового характеру і не зменшують наукової та практичної цінності роботи.

9. Загальна оцінка дисертаційної роботи, її відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота Гашимова Артура Маратовича на тему «Метод визначення критеріїв початку пошкодження активної зони реакторної установки ВВЕР-1000 за результатами моделювання теплогідравлічних процесів» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій розв'язано актуальне наукове завдання у галузі комп'ютерних наук. За своїм змістом, структурою, обсягом, обґрунтованістю і достовірністю наукових положень, їхньою новизною та

практичною значущістю дисертація відповідає вимогам «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, а її автор, **Гашимов Артур Маратович**, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Рецензент:

Завідувач відділу №215

Інституту проблем математичних
машин і систем НАН України,
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник



Іван КОВАЛЕЦЬ

Підпис д.т.н. Ковальця І.В. завіряю

Учений секретар ІПММС НАН України,
к.т.н.

М.Г.Ієвлєв