

ВІДГУК

офіційного опонента Скалозубова Владимира Івановича, доктора технічних наук, професора кафедри атомних електричних станцій Національного університету «Одеська політехніка»,

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»

1. Актуальність теми дослідження

Питання надійної діагностики переходу запроектованої аварії у важку фазу є одним з найважливіших у забезпеченні безпеки АЕС з реакторами ВВЕР-1000. Чинні критерії переходу від ІЛА до КУВА, зокрема температура на виході з активної зони 450 °С, не мають належного розрахункового обґрунтування та призводять до значної невизначеності при прийнятті рішень оперативним персоналом.

Дисертаційна робота А.М. Гашимова присвячена розробленню методу визначення критеріїв початку пошкодження активної зони РУ ВВЕР-1000 на основі імітаційного комп'ютерного моделювання теплогідравлічних та радіаційних процесів. Тема роботи є безумовно актуальною як з теоретичного, так і з практичного погляду.

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» та пов'язане з реалізацією Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків АЕС України (2012–2030). Результати роботи впроваджені у рамках НДР з оптимізації критеріїв переходу до КУВА для пілотних енергоблоків № 1 ЗАЕС, № 1 ЮУАЕС, № 1 ПАЕС.

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

Обґрунтованість наукових положень забезпечується:

- застосуванням сучасних розрахункових кодів RELAP5 та MICROSHIELD, визнаних у світовій практиці аналізу безпеки АЕС;
- детальним моделюванням термопар та теплових структур, що дозволило врахувати теплову інерцію та реальне розташування засобів вимірювання;

- валідацією розрахункової моделі за даними реального інциденту на енергоблоці № 3 РАЕС;

- формуванням представницького переліку з 94 розрахункових сценаріїв ВП, які охоплюють усі експлуатаційні стани та можливі аварійні процеси;

- аналізом невизначеностей за методологією ВЕРУ.

Достовірність висновків підтверджується задовільною збіжністю розрахункових та експериментальних даних ($\delta T \leq 10-50\%$, $\delta P \leq 10\%$), а також узгодженістю отриманих результатів з фізикою розвитку аварійних процесів.

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

Наукова новизна роботи полягає у наступному:

1. **Вперше** розроблено метод визначення критерію переходу запросктної 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 порівняно з чинним критерієм.

2. **Вперше** розроблено 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 для ВВЕР-1000.

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 теплогідрравлічних 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 запропонованим комбінованим критерієм $DR_{GO} > 300 \text{ Р/год}$ або $T_{\text{вих.АкЗ}} > 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$, який дозволяє надійно ідентифікувати початок переходу аварії у важку фазу та може бути інтегрований в АІС СОАІ енергоблоків ВВЕР-1000. Це дозволяє зменшити рівень пошкоджень конструкційних елементів РУ та зменшити наслідки потенційних запросктних і важких аварій.

6. Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих працях

Основні наукові результати дисертації опубліковано у 19 наукових працях, серед яких 2 статті у виданнях, проіндексованих у Scopus (Q1), 1 стаття у Web of Science, 7 тез міжнародних конференцій, 1 препринт, 5 звітів за міжнародними проектами Horizon, 1 звіт за проектом Euratom, 2 авторські набори лекційних матеріалів у рамках міжнародного проекту «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. Використання наукових положень і результатів інших авторів супроводжується відповідними посиланнями.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. У розділі 1 при аналізі міжнародного досвіду (п. 1.4) доцільно було б більш чітко обґрунтувати вибір підходу Вестінгауз (650 °C) як найбільш близького до запропонованого критерію 700 °C, а також пояснити, чому критерії EDF (1100 °C) та Fortum (450 °C) не були прийнятні для ВВЕР-1000.

2. При обґрунтуванні вибору порогового значення потужності дози у гермооб'ємі (300 Р/год) у п. 4.4 варто було б більш розгорнуто представити аналіз чутливості цього значення до варіацій ізотопного складу та часу витримки палива після зупинки реактора. Зокрема, для стану «відразу після ГПР» значення ПЕД може суттєво відрізнитися від наведених у табл. 4.19.

3. У розділі 3 при валідації розрахункової моделі спостерігаються розбіжності за температурами у гарячих нитках ГЦТ, пов'язані з явищем термічної стратифікації. Автор слушно зазначає, що одновимірна модель RELAP5 не враховує це явище, однак було б доцільно навести більш детальний кількісний аналіз впливу цього явища на точність визначення температури на виході з активної зони.

4. У п. 4.3 недостатньо чітко описано процедуру врахування консервативності залишкових енерговиділень (110% за стандартом ANSI/ANS-5.1) та її вплив на результати розрахунків. Було б корисно навести порівняльні графіки для сценаріїв з/без урахування цієї консервативності.

5. У роботі доцільно було б навести більш детальний опис процедури верифікації розрахункової моделі MICROSHIELD стосовно геометрії центральної зали ГО, оскільки прийняті припущення щодо рівномірного розподілу активності можуть впливати на результати.

6. У висновках до дисертації недостатньо повно відображено результати виконання завдання 6 (удосконалення імітаційної комп'ютерної моделі оцінки радіаційних полів у ГО РУ типу ВВЕР-1000) — доцільно було б більш детально описати отримані значення та їхній вплив на метод.

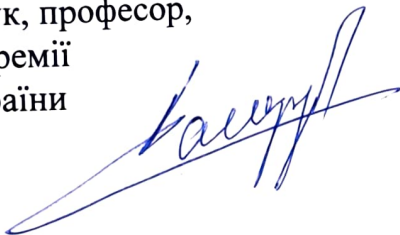
Разом із тим, зазначені зауваження мають дискусійний характер і не знижують наукової та прикладної значущості виконаного дослідження.

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 теплогидравлічних процесів» є завершеним науковим дослідженням, яке за актуальністю, достовірністю отриманих результатів, їхньою науковою новизною і практичною цінністю 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».

Офіційний опонент:

Професор кафедри атомних електричних станцій
Національного університету «Одеська політехніка»,
доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії
з науки і техніки України



Владимир СКАЛОЗУБОВ



ВІДГУК

офіційного опонента Скалозубова Володимира Івановича, доктора технічних наук, професора кафедри атомних електричних станцій Національного університету «Одеська політехніка»,

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»

1. Актуальність теми дослідження

Питання надійної діагностики переходу запроєктної аварії у важку фазу є одним з найважливіших у забезпеченні безпеки АЕС з реакторами ВВЕР-1000. Чинні критерії переходу від ІЛА до КУВА, зокрема температура на виході з активної зони 450 °С, не мають належного розрахункового обґрунтування та призводять до значної невизначеності при прийнятті рішень оперативним персоналом.

Дисертаційна робота А.М. Гашимова присвячена розробленню методу визначення критеріїв початку пошкодження активної зони РУ ВВЕР-1000 на основі імітаційного комп'ютерного моделювання теплогідравлічних та радіаційних процесів. Тема роботи є безумовно актуальною як з теоретичного, так і з практичного погляду.

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» та пов'язане з реалізацією Комплексної (зведеної) програми підвищення рівня безпеки енергоблоків АЕС України (2012–2030). Результати роботи впроваджені у рамках НДР з оптимізації критеріїв переходу до КУВА для пілотних енергоблоків № 1 ЗАЕС, № 1 ЮУАЕС, № 1 РАЕС.

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

Обґрунтованість наукових положень забезпечується:

- застосуванням сучасних розрахункових кодів RELAP5 та MICROSHIELD, визнаних у світовій практиці аналізу безпеки АЕС;
- детальним моделюванням термодинамічних та теплових структур, що дозволило врахувати теплову інерцію та реальне розташування засобів вимірювання;

Основні наукові результати дисертації опубліковано у 19 наукових працях, серед яких 2 статті у виданнях, проіндексованих у Scopus (Q1), 1 стаття у Web of Science, 7 тез міжнародних конференцій, 1 препринт, 5 звітів за міжнародними проєктами Horizon, 1 звіт за проєктом Euratom, 2 авторські набори 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. Використання наукових положень і результатів інших авторів супроводжується відповідними посиланнями.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1. У розділі 1 при аналізі міжнародного досвіду (п. 1.4) доцільно було б більш чітко обґрунтувати вибір підходу Вестінгауз (650 °C) як найбільш близького до запропонованого критерію 700 °C, а також пояснити, чому критерії EDF (1100 °C) та Fortum (450 °C) не були прийнятні для ВВЕР-1000.

2. При обґрунтуванні вибору порогового значення потужності дози у гермооб'ємі (300 Р/год) у п. 4.4 варто було б більш розгорнуто представити аналіз чутливості цього значення до варіацій ізотопного складу та часу витримки палива після зупинки реактора. Зокрема, для стану «відразу після ППР» значення ПЕД може суттєво відрізнятися від наведених у табл. 4.19.

3. У розділі 3 при валідації розрахункової моделі спостерігаються розбіжності за температурами у гарячих нитках ГЦТ, пов'язані з явищем термічної стратифікації. Автор слушно зазначає, що одновимірна модель RELAP5 не враховує це явище, однак було б доцільно навести більш детальний кількісний аналіз впливу цього явища на точність визначення температури на виході з активної зони.

4. У п. 4.3 недостатньо чітко описано процедуру врахування консервативності залишкових енерговиділень (110% за стандартом ANSI/ANS-5.1) та її вплив на результати розрахунків. Було б корисно навести порівняльні графіки для сценаріїв з/без урахування цієї консервативності.

5. У роботі доцільно було б навести більш детальний опис процедури верифікації розрахункової моделі MICROSHIELD стосовно геометрії центральної зали ГО, оскільки прийняті припущення щодо рівномірного розподілу активності можуть впливати на результати.

6. У висновках до дисертації недостатньо повно відображено результати виконання завдання 6 (удосконалення імітаційної комп'ютерної моделі оцінки радіаційних полів у ГО РУ типу ВВЕР-1000) — доцільно було б більш детально описати отримані значення та їхній вплив на метод.

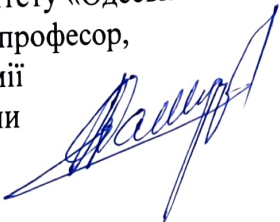
Разом із тим, зазначені зауваження мають дискусійний характер і не знижують наукової та прикладної значущості виконаного дослідження.

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 завершеним науковим дослідженням, яке за актуальністю, достовірністю отриманих результатів, їхньою науковою новизною і практичною цінністю 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».

Офіційний опонент:

Професор кафедри атомних електричних станцій
Національного університету «Одеська політехніка»,
доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії
з науки і техніки України



Владимир СКАЛОЗУБОВ

Володимир
Скалозубов
Собственный підпис
Завідувач
Відділ кадрів
Міністерство освіти і науки України
43861328
ІНН

