

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Гашимова Артура Маратовича

на тему **«МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ПОЧАТКУ
ПОШКОДЖЕННЯ АКТИВНОЇ ЗОНИ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ
ВВЕР-1000 ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛЮВАННЯ
ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ»**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 «Інформаційні технології»

за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертації.

Проблема максимально точної та вчасної ідентифікації моменту часу переходу запроєктної аварії у «важку» фазу на АЕС з реакторами ВВЕР-1000 є надзвичайно актуальною для наукової та інженерної спільноти дотичної до атомної енергетики України.

Чітка і однозначна формалізація критеріїв переходу дій персоналу від інструкції по ліквідації аварій (ІЛА) до керівництва з управління важкими аваріями (КУВА) потребує постійного обговорення та уточнення, оскільки реальні умови та результати експлуатації атомних реакторів висувають нові вимоги, завдання і задачі щодо забезпечення безпеки експлуатації обладнання АЕС.

Пряме вимірювання та аналіз параметрів пошкодження активної зони атомних реакторів є складною інженерною задачею, яка потребує постійного моніторингу та уточнення.

Тому одним із підходів вирішення Проблеми максимально точної та вчасної ідентифікації моменту часу переходу запроєктної аварії у «важку» фазу

є підхід, що базується на застосуванні імітаційного комп'ютерного моделювання.

Дисертаційна робота А.М. Гашимова спрямована на розв'язання цієї проблеми шляхом розроблення методу визначення критеріїв початку пошкодження активної зони на основі імітаційного комп'ютерного моделювання теплогідравлічних та радіаційних процесів.

Актуальність теми не викликає сумнівів.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

— Вперше, для автоматизованої інформаційної системи РУ на основі комп'ютерного імітаційного моделювання сценаріїв запроектних аварій реакторів типу ВВЕР-1000, розроблено метод визначення критерію переходу запроектної аварії у важку фазу на основі багатопараметричного критерію, що на відміну від консервативного критерію, дозволяє отримати науково обґрунтовані граничні значення параметрів для прийняття рішень за рахунок зменшення невизначеності, яка впливає з базових характеристик реакторної установки ВВЕР-1000 та різноманітності експлуатаційних станів й вихідних подій аварій;

— Вперше, для реакторів типу ВВЕР-1000, на основі RELAP5, розроблено деталізовану комп'ютерну імітаційну модель вимірювальних термопар на виході активної зони та оточуючих їх конструктивних елементів, що дозволило врахувати інерційну затримку інформації для автоматизованої інформаційної системи РУ в умовах швидкоплинних процесів зміни температури у перехідних аварійних процесах, що зменшує невизначеності стану ядерного палива у реальному часі;

— набула подальшого розвитку комп'ютерна модель моніторингу радіаційних полів у приміщеннях гермооболонки реакторного відділення для

реакторів типу ВВЕР-1000 та удосконалено у цілому імітаційну комп'ютерну модель реакторної установки ВВЕР-1000 на основі RELAP5 шляхом коректного врахування процесів експлуатації за умов високих температур теплоносія і низькій густині пари притаманних пізнім стадіям запроектованої аварії та переході у важку фазу в частині більш детального моделювання систем вимірювання температури теплоносія та врахування ефектів теплової інерції.

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів забезпечується:

- застосуванням сучасних релевантних програмних продуктів для побудови комп'ютерної імітаційної моделі, зокрема RELAP5 (Reactor Excursion and Leak Analysis Program) — комп'ютерної програми, розробленої Національною лабораторією Айдахо для моделювання теплогідравлічних і нейтронно-фізичних процесів у ядерних реакторах та MICROSHIELD - програмного забезпечення (розрахункового коду), призначеного для моделювання радіаційного захисту та оцінки доз іонізуючого випромінювання;
- результатами валідації результатів імітаційного комп'ютерного моделювання теплогідравлічних та радіаційних процесів на множині даних реальної аварійної ситуації на енергоблоці № 3 РАЕС;
- систематизацією та аналізом невизначеностей за методологією ВЕРУ.

Достовірність таких висновків підтверджується задовільними результатами порівняльного аналізу розрахункових та експериментальних даних, а також узгодженістю отриманих результатів з фізичними процесами розвитку аварійних процесів.

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.

Практичне значення отриманих результатів.

Впровадження науково-обґрунтованого критерію визначення початку пошкодження активної зони в аварійно-апаратний комплекс засобів керування запроєктними аваріями у вигляді друкованої версії інструкцій для оператора та інтеграції у АІС СОАІ РУ типу ВВЕР-1000 дозволяє підвищити ситуаційну обізнаність оператора та підвищити ефективність застосування протиаварійних процедур, зокрема при виборі оптимального часу переходу від комплексу процедур аварійних дій персоналу ІЛА до комплексу процедур КУВА. Все це у цілому дозволить запобігти чи суттєво зменшити екстремальні теплові навантаження на конструкційні елементи РУ типу ВВЕР-1000 у доаварійних та аварійних умовах.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання 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 А. М. Гашимова повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності

122 «Комп'ютерні науки» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми 122 «Комп'ютерні науки»

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям 122 «Комп'ютерні науки».

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Гашимова Артура Маратовича 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.

Порушень академічної доброчесності у дисертаційній роботі не встановлено. Використання наукових положень і результатів інших авторів супроводжується відповідними посиланнями.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації з додатками 246 сторінок.

У вступі обґрунтовані актуальність теми дисертаційного дослідження, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, визначені основні положення, а також наукова і практична цінність отриманих результатів та зазначено особистий внесок автора. Описані методики аналізу та наведено публікації, в яких висвітлено наукові результати.

У першому розділі «Аналіз існуючих інформаційних технологій управління аварійними процесами реакторної установки АЕС» проведено аналіз існуючих підходів та міжнародний досвід проведення комп'ютерного моделювання й аналізу тепло гідравлічних процесів з метою визначення критеріїв переходу від ІЛА до КУВА. Описані етапи розвитку застосування тепло гідравлічного аналізу в Україні із застосуванням коду RELAP5 та комп'ютерного моделювання аварійних процесів у реакторній установці ВВЕР взагалі. Проведено короткий аналіз аварійних інструкцій, що містять алгоритми протиаварійних дій персоналу для запроектої та важкої аварії на реакторній установці ВВЕР-1000.

У другому розділі «Розробка імітаційної комп'ютерної моделі РУ» наведено опис імітаційної комп'ютерної моделі реакторної установки ВВЕР-1000 на основі RELAP5, що включає опис підходів до моделювання основних елементів РУ та специфічні підходи до моделювання, зокрема термопар та теплових структур моделі, що забезпечують достовірність розрахунків в умовах переходу запроектої аварії у важку фазу, яка супроводжується комбінацією

високих температур та низької щільності пари і потребує детального моделювання для врахування інерційності теплових процесів.

У третьому розділі «Обчислювальний експеримент з метою валідації імітаційної комп'ютерної моделі та аналізу динаміки розвитку аварійних процесів» представлено аналіз динаміки розвитку теплогідравлічних процесів, впливу основних протиаварійних дій, взаємозв'язку основних параметрів доступних для прямих вимірів з розрахунковими. Проаналізовані границі застосовності засобів вимірювання, зокрема визначені засоби пост аварійного моніторингу, які кваліфіковані для виконання вимірювань в умовах важких аварій. Також у розділі наведено результати валідації імітаційної комп'ютерної моделі на основі RELAP5 з урахуванням моделювання критичних елементів (термопар, ядерного палива та теплових структур), яка підтверджує застосовність моделі для достовірного розрахунку теплофізичних параметрів реакторної установки в аварійних умовах.

У четвертому розділі «Розробка методу визначення критеріїв початку пошкодження активної зони РУ» виконано розробку методу визначення критеріїв початку пошкодження активної зони (переходу запроектованої аварії у фазу важкої аварії) та виконано визначення основних параметрів, що дозволять реалізувати алгоритм переходу від ІЛА до КУВА. Розробка Методу включає виконання серії тепло гідравлічних розрахунків базуючись на сценаріях які охоплюють різні стани реакторної установки та різні комбінації протиаварійних дій. На основі розрахунків, наведено перелік основних параметрів активної зони (температура на виході з активної зони, час досягнення граничних значень температури) та визначено зв'язок з критеріями досягнення умов важкого пошкодження активної зони, які не є прямо вимірюваними (максимальна температура оболонок тепловиділяючого елемента (ТВЕЛ), глибина окислення оболонок ТВЕЛ, маса цирконію, що прореагував в активній зоні ядерного реактора). Також у Розділі 4 наведено результати моделювання приміщень ГО, що використовувались для розрахунку дозових показників у ГО упродовж розвитку аварії. За результатами виконання та аналізу розрахунків було розроблено метод визначення критерію переходу від ІЛА до КУВА та отримана

комбінація параметрів, яка дозволяє надійно та з меншим рівнем консерватизму ідентифікувати початок важкого пошкодження активної зони.

Узагальнюючим результатом дисертаційного дослідження є розробка методу визначення критерію переходу від ІЛА до КУВА на основі імітаційного комп'ютерного моделювання та алгоритму обробки аналітичних результатів, що дозволило визначити основні параметри початку важкого пошкодження активної зони з урахуванням динаміки аварійних процесів та часу ефективного застосування протиаварійних алгоритмів. Використання комбінованого критерію, що містить параметри відмінної фізичної природи — тепло гідравлічні та радіаційні, дозволило зменшити невизначеність розрахункових теплотехнічних параметрів активної зони під час аварій та уникнути можливості хибного входу до КУВА. При розробці методу визначення параметрів початку пошкодження АкЗ, враховувались можливі викиди активності у ГО, що супроводжують запроектовані аварії, для уникнення хибного входу до КУВА.

У висновках узагальнено основні дослідження та їх результати, сформульовано положення які винесені на захист, а також узагальнено перспективи подальшого моделювання тепло гідравлічних процесів та виконання комбінованих розрахунків з додаванням радіаційного фактора. Зміст і змістовні частини розділів дисертаційного дослідження формалізовані у логічній та семантичній послідовності, доступно викладені науковим стилем мовлення з використанням загальноприйнятої термінології.

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

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 проєкту «Support to the Nuclear Regulator in South Africa».

Наукові та прикладні результати дисертації опубліковані у рецензованих періодичних виданнях, проведена апробація результатів дослідження на наукових конференціях.

Зміст публікацій повністю відповідає основним положенням дисертації.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

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.

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.

З моєї, суб'єктивної точки зору, аналіз чутливості цього значення до варіацій ізотопного складу та часу витримки палива після зупинки реактора потребує додаткового наукового та експериментального дослідження, що суттєво виходить за межі поданого дисертаційного дослідження.

3. У розділі 3 при валідації розрахункової моделі спостерігаються розбіжності за температурами у гарячих нитках ГЦТ, пов'язані з явищем термічної стратифікації. Було б доцільно навести більш детальний кількісний аналіз впливу цього явища на точність визначення температури на виході з активної зони.

4. При оформленні рисунків частина написів виконана англійською мовою (напр. рис. 3.26, рис. 4.36), тоді як дисертація написана українською. Бажано уніфікувати мову підписункових написів.

У тексті дисертації наявні граматичні та стилістичні помилки, наприклад на

стор. 7 фраза «Розробка Методу /чомусь з великої літери/ включає виконання серію /тут потрібно змінити відмінок на серії/», на стор. 57 вираз «Дані рекомендації...» слід було б подати як «діючі, наведені, або розроблені рекомендації...», а на стор. 117 і 118 у табл. 2.10 і 2.11 у колонці «Кордонні координати» десяткові частини чисел відділяються від цілої частини і крапками і комами.

5. У роботі доцільно було б навести більш детальний опис процедури верифікації розрахункової моделі на основі MICROSIELD стосовно геометрії центральної зали ГО.

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

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів роботи і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії
Гашимова Артура Маратовича_

на тему «МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ПОЧАТКУ ПОШКОДЖЕННЯ АКТИВНОЇ ЗОНИ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ ВВЕР-1000 ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОГІДРАВЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ »

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 12 «Інформаційні технології». 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 Гашимов Артур Маратович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки».

Офіційний опонент:

Доцент, заст. зав. каф прикладної математики
з наук. роботи КПІ ім. Ігоря Сікорського,
канд. техн. наук, ст. наук. співр.

 Павло МАСЛЯНКО

« 12 » лютого 2026 р.


Головний секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського

 Валерій Коваленко

