

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Остаповця Андрія Олександровича
на тему «Розробка методів кваліфікації модернізацій стратегії експлуатації
систем, важливих для безпеки ядерних енергетичних установок»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 «Електрична інженерія»
за спеціальністю 143 «Атомна енергетика»

Актуальність теми дисертації.

Актуальність дисертації Остаповця А.О. для ядерної енергетики визначається уроками Фукусімської аварії та сучасними екстремальними умовами експлуатації атомних електричних станцій України.

Основні уроки Фукусімської аварії пов'язані з необхідністю модернізації загальних підходів оцінювання стану безпеки атомних енергоблоків і необхідністю модернізації систем управління домінантними для безпеки аваріями.

Після Фукусімської аварії в Україні експлуатуючою організацією був розроблений і здійснений комплекс превентивних і попереджувальних заходів, спрямованих на запобігання тяжких наслідків аварій з повним тривалим знеструмленням і відповідно на підвищення безпеки експлуатації енергоблоків атомних електричних станцій. Однак у роботі Остаповця А.О. показано, що проведених протиаварійних заходів недостатньо для надійного та ефективного управління такими аваріями.

Зокрема, в дисертації показано, що проєктна періодичність експлуатаційних випробувань систем, важливих для безпеки ядерних енергетичних установок з водо-водяним енергетичним ядерним реактором у робочих режимах реактора, визначена апріорі без необхідних обґрунтувань, не враховує досвід експлуатації і випробувань, а також екстремальні умови експлуатації.

В роботі визначено, що підвищення ефективності та надійності експлуатації атомних електричних станцій може бути забезпечене стратегіями підвищення номінальної потужності ядерних реакторів та підвищення тривалості робочих режимів реакторів на потужності. Реалізація вищезазначених стратегій може здійснюватися за рахунок модернізації нейтронно-фізичних або теплофізичних властивостей ядерного палива та конструкційно-технічних параметрів елементів активної зони реактора. Другим важливим напрямком підвищення безпеки ядерних енергетичних установок є

оптимізація стратегії планових випробувань систем, важливих для безпеки. Це визначення періодичності робіт, які за встановлених конфігурацій системи, надійності елементів системи і устаткування та регламентованих дій персоналу, проектно-технічних умов і обмежень, відповідають максимально досяжній надійності виконання системою призначених проектних функцій або зберігають проектний рівень надійності систем важливих для безпеки.

Таким чином, уроки відомих важких ядерних аварій визначають актуальність дисертаційної роботи та необхідність подальшого підвищення безпеки ядерних енергоустановок у напрямках кваліфікації та модернізації систем важливих для безпеки і експлуатаційних інструкцій та посібників управління аваріями із відносно малоїмовірними подіями, що мають катастрофічні наслідки.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Встановлено, що перспективні стратегії підвищеної тривалості паливних кампаній та підвищеної номінальної потужності можуть бути реалізовані через модернізацію нейтронно-фізичних та теплофізичних властивостей ядерного палива.

2. Обґрунтовано модернізацію стратегій планових випробувань систем важливих для безпеки ризик-орієнтованими методами, які базуються на критерії оптимізації, в основу якого закладено максимальну ймовірність готовності виконання функцій безпеки в аварійних режимах.

3. Розроблено детерміністичний метод кваліфікації стратегії підвищення тривалості паливних кампаній за проектною номінальною потужністю, який визначає гранично допустиме підвищення тривалості паливних кампаній на основі оптимізації теплофізичних властивостей ядерного палива при забезпеченні умов ядерної безпеки в робочих і аварійних режимах.

4. Встановлено на основі адаптованого ризик-орієнтованого методу оптимальні періодичності планових випробувань систем безпеки у робочих режимах експлуатації ядерного реактора для півторарічної паливної кампанії, які значно відрізняються від регламентних.

5. Розроблені нові, альтернативні відомим детерміністичним підходам, методи кваліфікації систем важливих для безпеки ядерних енергетичних установок, які уникають недоліків чисельних методів розрахунку.

Отримані в ході дисертаційного дослідження наукові результати відповідають поставленим завданням і підтверджуються їх апробацією на міжнародних науково-технічних конференціях. Висновки та результати,

одержані в результаті роботи, мають обґрунтовану основу, що підтверджується відповідністю результатів, отриманих під час проведення наукових досліджень. Наукові результати дисертаційної роботи є обґрунтованими та логічно витікають із висвітлених розрахункових проблем. Достовірність результатів забезпечується коректною постановкою завдань і виконаних досліджень, застосуванням оригінальних підходів і сучасних математичних методів.

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 Остаповця А.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 143 «Атомна енергетика» та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Атомна енергетика» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

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

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Остаповця Андрія Олександровича 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.

Матеріал викладено доступною для сприйняття мовою, логічно та послідовно, із дотриманням загальноприйнятої термінології та інших характеристик.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 262 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження та подано загальну характеристику роботи. Сформульовано мету дослідження, визначено основні задачі, об'єкт і предмет дослідження. Наведено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Представлено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію роботи, її структуру та обсяг.

У першому розділі виконано аналіз проєктних і перспективних стратегій експлуатації реакторів на підвищеній тривалості паливних кампаній та підвищеній номінальній потужності. За результатами проведеного аналізу

встановлено, що перспективні стратегії підвищеної тривалості паливних кампаній та підвищеної номінальної потужності можуть бути реалізовані через модернізацію нейтронно-фізичних та теплофізичних властивостей ядерного палива; гранично допустима номінальна потужність визначається умовами виникнення термоакустичної нестійкості теплоносія, яка може супроводжуватись високочастотними і високоамплітудними динамічними навантаженнями на поверхні тепловиділяючих елементів. Проведено аналіз нормативного регулювання безпеки стратегій підвищення ефективності експлуатації ядерних енергетичних установок. За результатами проведених аналізів обґрунтовано необхідність оновлення методичної бази кваліфікації модернізації стратегій експлуатації, планових випробувань та технічного обслуговування і ремонту систем важливих для безпеки ядерних енергоустановок і необхідність приведення у відповідність Правил і норм безпеки України до екстремальних умов експлуатації в умовах воєнного стану.

Другий розділ присвячений проведенню кваліфікації стратегії експлуатації реактора в режимах підвищеної тривалості паливних кампаній та підвищеній номінальній потужності. За результатами проведеного в роботі аналізу встановлено, що кваліфікація та впровадження стратегії підвищення тривалості паливних кампаній ядерних енергоустановок із водо-водяним енергетичним ядерним реактором можуть забезпечити необхідне підвищення ефективності безпечної експлуатації енергоблоків атомних електричних станцій України.

Третій розділ присвячений виконанню адаптації ризик-орієнтованого підходу кваліфікації модернізації стратегій періодичності планових випробувань систем безпеки в режимах підвищеної номінальної потужності і підвищеної тривалості паливних кампаній реактора. Під час виконання наукових досліджень було визначено критерій оптимізації - імовірність максимальної готовності виконання необхідних функцій безпеки і параметри оптимізації - імовірність накопичення прихованих відмов або критичних дефектів у між випробувальні періоди часу робочих режимів реактора та імовірність завчасного зношення, деградації або зменшення залишкового ресурсу обладнання систем важливих для безпеки унаслідок проведення частих експлуатаційних випробувань.

Четвертий розділ присвячений виконанню та представленню аналізу результатів кваліфікації модернізації стратегій випробувань систем безпеки при роботі реактора на підвищеній тривалості паливних кампаній. На основі адаптованого до умов стратегії підвищеної тривалості паливних кампаній та підвищеної номінальної потужності ризик-орієнтованого методу, виконано кваліфікацію стратегії оптимізації періодичності експлуатаційних випробувань системи аварійного охолодження активної зони реактора насосами високого та низького тиску, системи підживлення та борного регулювання теплоносія,

системи аварійного підживлення парогенераторів, системи технічної води відповідальних споживачів, системи резервної дизельної електростанція у робочих режимах реактора на підвищеній тривалості паливних кампаній та підвищеній номінальній потужності.

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 5 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports; 1 стаття, що додатково відображає результати дисертації.

Також результати дисертації були апробовані на 2 наукових фахових міжнародних конференціях.

Публікації здобувача мають високий науковий рівень, проходили рецензування, мають оригінальні висновки, відповідні посилання на запозичені джерела. Зміст та науковий рівень публікацій і доповідей на конференціях висвітлюють значний вклад до наукового дослідження за темою дисертації та відповідають принципам академічної доброчесності.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Більш коректною назвою дисертації була б наступна: «Розробка та удосконалення методів кваліфікації модернізованих стратегій експлуатації систем, важливих для безпеки ядерних енергетичних установок». Ця назва більше відповідає меті дослідження, яка сформульована автором на стор. 23, і двом результатам наукової новизни, що отримані вперше, на стор. 24.

2. В тексті дисертації автор використовує дуже багато скорочень – 87. Деякі з них є загально відомими (ЗАЕС, ХАЕС, РАЕС, МАГАТЕ, ВВЕР, НАЕК, КВВП і т.п.), деякі використовуються експлуатуючими організаціями і персоналом АЕС (БВПТ, ПНП, БГР, ДЖЕН, КВПіА, ЕВ,РУ і т.п.), деякі в проектних інститутах і наукових установах ядерної галузі (РОП, ІАБ, ДК і т.п.). Ці скорочення можуть бути доречними у нормативних документах, регламентах, звітах відповідних установ, організацій і підприємств, але не у кваліфікаційній науковій праці, оскільки дуже ускладнюють сприймання тексту

наукового характеру. Особливо це стосується випадків, коли скорочується слово, яке означає дію (ЕВ, ПНП, ПТПК), або коли скорочення займають майже весь рядок тексту, як, наприклад, на стор. 3 («...аналіз стратегій... ПВіТОіР СВБ ЯЕУ ВВЕР»), на стор. 21 («... періодичність ЕВ СБ ЯЕУ ВВЕР»), або коли одне і теж скорочення має різні значення (АЗ – і активна зона, і аварійний захист).

3. В описі концепції ремонту енергоблоків АЕС за технічним станом устаткування автор оперує поняттями «ризик-орієнтований підхід», «ризик-інформований підхід», «ризик-інформоване управління» не даючи пояснень щодо їх відмінностей.

4. При аналізі перспективних стратегій експлуатації, ремонтів та випробувань систем, важливих для безпеки ядерних енергетичних установок (розділи 1 і 3 дисертації), автор, на жаль, не проводить аналіз сучасних і перспективних методів, моделей і підходів до діагностики і прогнозування функціонального (технічного) стану устаткування енергоблоків АЕС, які є необхідною складовою для реалізації концепції ремонту за технічним станом. Адже відомо, що впровадження ремонтів енергоблоків АЕС за технічним станом устаткування значною мірою залежить від визначення достатнього для прийняття рішень щодо ремонту обсягу діагностичних ознак, прогнозування їх змін в часі в період експлуатації, їх ідентифікації, а також від використання коректних методів обробки результатів діагностичних вимірювань. До останніх, наприклад, відносяться статистичні методи поліінтервального або поліноміального гребеневого регресійного аналізів даних, які успішно зарекомендували себе для оцінки властивостей ядерних конструкційних матеріалів твелів і пелів за результатами натурних і лабораторних експериментів, або інші методи статистичної обробки інформації в умовах невизначеності.

5. Розроблений автором у Розділі 2 детерміністичний метод кваліфікації стратегії підвищення тривалості паливних кампаній на основі термостійкості оболонок твелів (зміни температури на поверхні оболонки) не враховує можливу зміну інших фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей оболонок, таких як показників ударної міцності, твердості, мікротвердості, корозійної стійкості, радіаційної стійкості, ресурсних характеристик цирконієвих (Zr1%Nb) оболонок, які використовуються для твелів активних зон вітчизняних реакторів АЕС.

6. При розробці ризик-орієнтованого підходу до кваліфікації модернізованої стратегії періодичності планових випробувань і ремонтів тепломеханічного устаткування систем, важливих для безпеки, автор використовує теорію марківських процесів для оцінки інтенсивностей переходу устаткування в різні (нові) функціональні стани. Однак, враховуючи

обмеженість і неоднорідність статистичних даних на АЕС про кожен перехід устаткування у новий «майбутній» функціональний стан, більш коректним було б інтерпретувати ці процеси як, так звані, напівмарківські.

7. З тексту Розділу 4 дисертації не дуже зрозуміло, в яких комп'ютерних програмах були реалізовані досить складні інтегральні математичні співвідношення (4.1)-(4.5) та інтегральні вирази для розрахунку коефіцієнту готовності на стор. 167 та інших. Яким чином ці комп'ютерні програми використовувалися для проведення імітаційних експериментів і отримання результатів з розрахунку коефіцієнтів готовності K_r , які наведено на рис. 4.1-4.3 і в табл. 4.1?

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

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Остаповця Андрія Олександровича на тему «Розробка методів кваліфікації модернізацій стратегії експлуатації систем, важливих для безпеки ядерних енергетичних установок» 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 Остаповець Андрій Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 143 «Атомна енергетика».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри парогенераторобудування,
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
доктор технічних наук, професор



Олександр ЄФІМОВ

ЗВІДЧУЮ:
ГОЛОВНИЙ СЕКРЕТАР
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

5 червня 2025 року