

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Піонтковського Юрія Федоровича

«Відновлення енергорозподілу по об'єму активної зони ВВЕР-1000 на основі сигналів детекторів прямого заряду»,

подану на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук за спеціальністю

01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій

Актуальність обраної теми. Одним з основних критеріїв належного функціонування системи внутрішньо реакторного контролю (СВРК) у водоядерних ядерних енергетичних реакторах (ВВЕР) є узгоджені з нейтронно-фізичними розрахунками і метрологічно обґрунтовані покази внутрішньо реакторних детекторів. У зв'язку з цим коректна інтерпретація сигналів внутрішньо реакторних детекторів прямого заряду (ДПЗ) системи детектування нейтронних потоків, а саме – визначення перехідної функції від струму ДПЗ до лінійного енерговиділення (ЛЕВ) тепловидільних збірок (ТВЗ) – є визначальною при відновленні розподілу енерговиділення за висотою та радіусом активної зони ядерного реактора. Тому задачі вдосконалення існуючих алгоритмів та розробка нових і більш надійних підходів для визначення перехідних функцій від струму ДПЗ до ЛЕВ мають надзвичайно важливе значення. Також необхідно врахувати ситуацію на АЕС України на даний момент, коли відсутність вітчизняного програмного забезпечення для експлуатації СВРК може призвести до появи проблем у зв'язку з впровадженням «нових» видів палива від різних виробників (Westinghouse, АТ ТВЭЛ) при формуванні завантажень активної зони.

Саме тому визначення на основі сучасних ядерно-фізичних підходів перехідних функцій від струму ДПЗ до ЛЕВ з урахуванням розвитку

обчислювальних методів, алгоритмів та комплексів нейтронно-фізичних розрахунків для розробки вітчизняного програмного забезпечення для СВРК є особливо актуальною задачею для українських АЕС та енергетики в цілому.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів забезпечується використанням ліцензованих сучасних комп'ютерних кодів та апробованих методів дослідження. Усі отримані результати пройшли перевірку шляхом якісного та кількісного порівняння з результатами інших авторів, експериментальними даними, що були отриманими на дослідницькому реакторі ВВР-М ІЯД НАН України, та з результатами, розрахованими з використанням різних розрахункових кодів; пройшли апробацію на українських та міжнародних конференціях та є опублікованими у реферованих фахових наукових виданнях.

Наукова новизна наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи полягає у наступних отриманих результатах:

1) розроблено розрахункову модель формування сигналу ДПЗ, що дозволяє визначати вплив усіх основних параметрів активної зони (АкЗ) (таких як: концентрація борної кислоти в теплоносії, температура теплоносія, положення ДПЗ за висотою АкЗ та положення органів регулювання системи управління та захисту реактора) на значення сигналу ДПЗ;

2) досліджено локальну чутливість ДПЗ до твелів ТВЗ, до якої його встановлено, та до твелів сусідніх ТВЗ, що дозволило вперше встановити залежності значень локальної чутливості ДПЗ від величин параметрів АкЗ;

3) проведено дослідження ДПЗ альтернативної конструкції (з трьома емітерами), що дозволяє зменшити собівартість ДПЗ для забезпечення не гіршої чутливості до реєстрації нейтронів у порівнянні з існуючими аналогами, або навіть збільшити амплітуду вихідного сигналу ДПЗ;

4) отримано дані, що дозволили побудувати функцію вигорання ДПЗ, за якою можливо визначити вигорання матеріалу емітера детектора в перехідній функції від струму ДПЗ до ЛЕВ, при цьому вперше було врахованим явище самоекранування шарів по радіусу ДПЗ і, відповідно, нерівномірність вигорання емітера;

5) виконано дослідження щодо встановлення майже ідентичного відносно жорсткості спектру нейтронів за енергією, що відповідає жорсткості нейтронів у реакторі типу ВВЕР-1000, місця розташування збірки з ДПЗ виробництва ДП «НАЕК «Енергоатом» в АкЗ дослідницького ядерного реактора типу ВВР-М ІЯД НАНУ, та розраховано прогнозований вихідний сигнал ДПЗ у даній збірці.

Загалом, нові наукові висновки базуються на даних, отриманих при проведенні моделювання нейтронно-фізичних процесів в АкЗ ядерних реакторів для розрахунку перехідної функції від сигналу ДПЗ до ЛЕВ, що були обробленими та інтерпретованими в дисертаційній роботі.

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження. Розроблені розрахункові моделі формування сигналу ДПЗ дозволяють знизити невизначеність при розрахунку перехідної функції ДПЗ, що, в свою чергу, підвищує точність при відновленні ЛЕВ в АкЗ у СВРК на АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000 та дає можливість більш ефективно використовувати ядерне паливо під час кампанії.

Результати, отримані дисертантом, було використано при розробленні прикладного програмного забезпечення модернізованої СВРК та застосовано для вибору й обґрунтування місця розташування збірки ДПЗ в АкЗ дослідницького реактора типу ВВР-М ІЯД НАН України з метою майже ідентичного відтворення роботи ДПЗ в АкЗ реактора ВВЕР-1000.

Практичне використання результатів дослідження підтверджено актами впровадження результатів роботи.

Повнота викладу в опублікованих працях положень, висновків, рекомендацій. Результати роботи опубліковано в 12 наукових працях. З них 6 статей – у провідних фахових виданнях (2 з яких входять до науково метричної бази SCOPUS) та 6 – у збірниках матеріалів конференцій. Результати роботи було багаторазово апробовано на українських та міжнародних конференціях.

Загальна характеристика структури та змісту дисертації. Дисертація складається з переліку умовних скорочень, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та п'яти додатків.

У **Вступі** викладено загальну характеристику роботи, вказано актуальність обраної теми, мету, об'єкт та предмет дослідження, наукову новизну, зроблено наголос на практичному значенні отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача в отриманні результати.

Перший розділ присвячено огляду детекторних систем, що використовуються для відновлення енерговиділення в ядерних реакторах різних типів. Розглянуто їх основні характеристики, переваги та недоліки, а також режими, в яких вони експлуатуються.

Проаналізовано методологію визначення ЛЕВ на АЕС з реакторами типу ВВЕР. Вказано на недоліки та неточності, що мають місце на даний момент в СВРК при відновленні ЛЕВ і які можуть бути вирішеними з використанням накопиченого досвіду під час експлуатації АЕС та при застосуванні сучасних розрахункових кодів щодо переносу іонізуючого випромінювання в речовині.

Також було визначено наукові завдання, що необхідно вирішити для розрахунку перехідної функції від струму ДПЗ до ЛЕВ.

У **другому розділі** представлено результати валідаційної перевірки моделі формування сигналу ДПЗ на базі критичних експериментів (установка SF-9), розрахунку критичності для ТВЗ реактору типу ВВЕР-1000 у контейнерах для

зберігання ядерного палива, та порівняльного аналізу результатів розрахунку, проведеного за методом Монте-Карло з використанням розрахункових кодів MCNP, SERPENT та SCALE. Отримані результати в даному розділі підтверджують, що всі розроблені чисельні моделі є достовірними і дозволяють з високою точністю розраховувати перехідну функцію ДПЗ.

У **третьому розділі** представлено модель, розроблену в розрахунковому коді MCNP, що дозволяє досліджувати формування сигналу ДПЗ та вплив основних параметрів АкЗ на цей сигнал, зокрема, положення органів регулювання, концентрації борної кислоти та температури теплоносія.

Виконано оцінку локальної чутливості ДПЗ та вплив спектральних характеристик нейтронного поля на сигнал ДПЗ. Розраховано відносний внесок у сигнал ДПЗ від ТВЗ, а також внесок від кожного твелу для збірки, до якої його встановлено. Обґрунтовано, чому при відновленні ЛЕВ необхідно враховувати в перехідній функції не тільки ряд твелів, що оточують канал нейтронних вимірів, в якому знаходяться ДПЗ. Визначено швидкості реакції радіаційного поглинання в об'ємах емітерів ДПЗ при різних параметрах теплоносія в АкЗ, що вказують на залежність сигналу ДПЗ від положення детектора за висотою АкЗ (так, параметри сигналу з ДПЗ, що працюють на різних висотах АкЗ та за однакової потужності твелів, можуть суттєво відрізнятися).

Четвертий розділ містить результати врахування вигорання емітера ДПЗ при відновленні ЛЕВ в АкЗ. Представлено модель, що дозволяє визначати вигорання ДПЗ при заданій потужності ТВЗ та різних параметрах АкЗ. Вперше визначено вигорання ДПЗ за глибиною, а також те, яким чином ефект нерівномірності вигорання матеріалу емітера впливатиме на формування сигналу ДПЗ.

Окрім цього, запропоновано ДПЗ «альтернативної» конструкції, що дозволяє зменшити собівартість детектора без зменшення, або навіть з

покращенням його чутливості до детектування нейтронів. Проведено дослідження на даній моделі, вказано на основні переваги такої конструкції.

У п'ятому розділі досліджено питання вибору відповідного за характеристиками нейтронного поля місця розташування в активній зоні реактора ВВР-М ІЯД НАН України, в якому опромінювалися ДПЗ вітчизняного виробництва, з метою вдосконалення їх конструкції.

Представлено результати визначення параметрів сигналу, що має генеруватися в кожному з 5-ти ДПЗ, у дослідницькому реакторі типу ВВР-М на встановленій потужності дослідницького реактору, та проведено порівняння з експериментальними даними для дослідницької збірки з 3-ох ДПЗ. Порівняння результатів, отриманих експериментальним та розрахунковим шляхами, дозволяє стверджувати, що розроблена модель є коректною.

Робота завершується **Висновками**, що містять основні наукові та практичні результати дисертації, списком використаних джерел та додатками.

Зауваження та дискусійні положення дисертаційного дослідження

У цілому, дисертація є актуальною і завершеною науково-дослідницькою роботою, що містить нові результати досліджень щодо визначення перехідної функції від сигналу ДПЗ до ЛЕВ в АКЗ реакторів типу ВВЕР-1000. При цьому враховано нерівномірність вигорання ДПЗ та його локальну чутливість, що дозволяє значно знизити невизначеність при відновленні енерговиділення. Дисертаційну роботу написана досить коректною науковою мовою, за винятком декількох моментів, що потребували б деяких коригувань. Разом з цим виникли деякі зауваження до тексту дисертації:

- 1) У тексті зустрічаються синтаксичні, граматичні помилки, а також русизми.
- 2) По тексту вказано, що при розрахунках враховується температура АкЗ реактора, проте не вказано, яким саме чином (чи враховується лише зміна

макроперерізу взаємодії нейтронів з речовиною за рахунок зміни густини теплоносія, чи також враховано залежність мікроперерізів від температури).

3) У розділі 4 при наведенні у таблицях і графіках результатів вигорання матеріалу емітера під дією нейтронного поля не вказано похибки для отриманих значень.

4) У розділі 5 при описі моделі для розрахунків зазначено «По периметру опромінюваних каналів встановлювалися п'ять рівновіддалених ДПЗ...» (стор. 134), проте у кінці розділу при порівнянні розрахованих значень параметрів сигналу з експериментальними мова йде вже про три ДПЗ в експерименті. Не зрозуміло, як було розташовано три ДПЗ при проведенні експерименту, і яким чином вони співвідносяться з п'ятьма ДПЗ, для яких струм розраховувався.

Вказані зауваження не відносяться до основних наукових положень дисертації та не впливають на загальну оцінку роботи і її наукову цінність.

Висновок щодо відповідності дисертації вимогам ДАК України

З матеріалів, представлених у дисертаційній роботі, можна констатувати, що Піонтковський Ю.Ф. є кваліфікованим науковцем, який гарно володіє сучасними аналітичними та чисельними методами у ядерній фізиці, прикладній математиці та програмуванні. В цілому, дисертація є цілісним та завершеним науковим дослідженням, в якому отримано нові наукові результати.

Вважаю, що за актуальністю обраного напрямку, рівнем визначених завдань, методами їх вирішення, обсягом обробленого експериментального матеріалу, новизною, науковим та практичним значеннями здобутих результатів дисертація повністю відповідає вимогам п.п.9, 11, 12 і 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою КМУ від 24 липня 2013 р. №567 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ №656

від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р. та №567 від 27.07.2016 р.), які висуваються до кандидатських дисертацій, а її автор, Піонтковський Юрій Федорович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.04.16 – фізика ядра, елементарних частинок і високих енергій.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук,
головний науковий співробітник
відділу структури ядра
ІЯД НАН України



В.І. Сахно

Підпис Сахна В.І. засвідчую

Вчений секретар ІЯД НАН України



Н.Л.Дорошко