

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Борисенка Володимира Івановича

«Вдосконалення методів і засобів оперативного контролю та діагностики нейтронно-фізичних параметрів ядерних установок»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.14 – теплові та ядерні енергоустановки

Дисертація Борисенка В.І. присвячена вирішенню проблем підвищення рівня безпеки експлуатації ядерних установок шляхом впровадження вдосконалених методів і засобів контролю нейтронно-фізичних характеристик активних зон реакторів типу ВВЕР та дослідницького реактора ВВР-М, а також сховищ відпрацьованого ядерного палива.

Актуальність теми дисертації. Перш за все хочу відзначити, що дисертаційна робота В.І.Борисенка є актуальною, бо є складовою частиною комплексу науково-дослідних робіт, виконаних у ІПБ АЕС НАН України у період з 2007 по 2016 рр., а основні наукові дослідження дисертації було проведено у відповідності з «Енергетичною стратегією України на період до 2035 року» та галузевою програмою: «Комплексна «зведена» програма підвищення безпеки енергоблоків АЕС України».

У дисертації В.І.Борисенка розкриваються питання визначення нейтронно-фізичних параметрів безпеки в проектних системах контролю енергоблоків з реакторами типу ВВЕР: апаратурі контролю нейтронного потоку (АКНП); системі внутрішньо реакторного контролю (СВРК); а також у нових системах контролю та діагностики ВВЕР-1000, а саме - системі представлення параметрів безпеки (СППБ), системі внутрішньореакторної шумової діагностики (СВРШД) і новій системі автоматичного регулювання, контролю, управління та захисту (АРКУЗ) дослідницького реактора ВВР-М.

Проведення науково-технічного супроводу при впровадженні та експлуатації зазначених систем контролю ядерних установок є дуже важливою задачею, особливо в умовах, коли зв'язки з традиційними постачальниками програмного забезпечення таких систем з РФ було припинено.

Представлена дисертаційна робота В.І.Борисенка є актуальною та важливою з точки зору вирішення наявних науково-технічних проблем в ядерно-енергетичному секторі, а також сприяє подальшому науковому розвитку та вдосконаленню методів і засобів систем контролю, зокрема, визначенню нейтронно-фізичних параметрів безпеки ядерних установок.

Загальна характеристика структури та змісту роботи

Дисертаційна робота складається з анотації, викладеній українською, англійською та російською мовами, переліку умовних позначень, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У **Вступі** автором обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, вказано на її зв'язок з державними та галузевими програмами, зазначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відмічено особистий внесок здобувача, наведено перелік міжнародних конференцій, на яких результати роботи доповідались та були апробованими, та відзначено повноту відображення основних результатів дисертації в опублікованих працях.

У **першому розділі** дисертації наведено аналіз стану методологій визначення нейтронно-фізичних характеристик ядерних установок, розглянуто основні проблеми, що були виявленими під час виконання науково-дослідницьких робіт щодо визначення величин нейтронно-фізичних характеристик активних зон ВВЕР. Проведено аналіз інших проблемних питань із визначення величин нейтронно-фізичних характеристик ВВЕР, зокрема: корегування сигналів іонізаційних камер; визначення параметрів детекторів прямого заряду тощо.

У **другому розділі** дисертаційної роботи наведено теоретичні основи, що були застосованими автором при розв'язанні задач реалізації контролю нейтронно-фізичних характеристик, а також реактивності і періоду реактора в сучасних модифікаціях систем контролю ВВЕР: АКНП та СВРК. Зокрема, у роботі представлено нові результати модельних досліджень, спрямованих на більш глибоке розуміння особливостей та підвищення точності визначення нейтронної потужності реактора: в АКНП - шляхом корегування сигналів іонізаційних камер, в СВРК – більш точним врахуванням впливу фізичних характеристик оточуючого середовища на зміну параметрів детекторів прямого заряду. Крім того, детального розгляду отримало питання щодо визначення реактивності та/або періоду реактора, в тому числі на основі прикладів з експлуатаційної практики реакторів ВВЕР.

Третій розділ дисертації присвячено розробці та апробації динамічної моделі реактора для дослідження перехідних режимів роботи ВВЕР-1000, зокрема, режиму прискореного попереджувального захисту, під час роботи якого на ряді енергоблоків спостерігалось формування сигналів аварійного захисту за періодом реактора. На особливу увагу заслуговує розробка ітераційної моделі розрахунку величини нейтронної потужності реактора, що показала дуже гарне узгодження з наявними експлуатаційними даними. Також у даному розділі на основі отриманих досвіду та розрахункових моделей для реакторів ВВЕР висвітлено аналогічне питання особливостей нейтронно-фізичних характеристик, але графітових реакторів. Як видно з тексту даного розділу, аварія на кшталт такої, що мала місце на енергоблоці №4 ЧАЕС, могла статися на будь-якому реакторі РБМК внаслідок суттєвих помилок, що були внесеними до конструкції активної зони РБМК, а як наслідок, призвели до неналежних значень нейтронно-фізичних характеристик РБМК.

У **четвертому розділі** наведено результати аналізу експериментальних досліджень з визначення коефіцієнтів реактивності ВВЕР-1000, виконаних з використанням реактиметрів, в розробці яких брав безпосередню участь автор

дисертації. Також у даному розділі обґрунтовано вибір консервативних припущень при дослідженні ядерної безпеки систем зберігання відпрацьованого ядерного палива. Особливу увагу приділено розгляду питання забезпечення підкритичності сховища відпрацьованого ядерного палива, що наразі будується в Україні, аж до рівня розуміння впливу діаметра паливних таблеток на рівень підкритичності відпрацьованого палива.

У **п'ятому** розділі дисертації наведено результати досліджень з валідації розрахункового коду RELAP5/Mod3.2, який автор використовував при проведенні аналізу безпеки режимів роботи ВВЕР-1000, наведених у третьому розділі. Зокрема, доведено, що даний код може бути використаним для моделювання абсолютної більшості сценаріїв, що мають місце при роботі ядерних енергоблоків, що і підтверджено багаторічним досвідом його застосування на АЕС України.

У **шостому розділі** розглянуто питання впровадження симптомно-орієнтовного підходу у стратегії управління аварією на АЕС. Основою стратегії є використання симптомно-орієнтовних аварійних інструкцій, а інструментом їх реалізації є контроль і управління критичними функціями безпеки, що, в свою чергу, визначаються в системі представлення параметрів безпеки. Також у даному розділі детально розглянуто методологічні засади використання логіко-ймовірнісного методу для аналізу надійності обладнання та безпеки ядерного енергоблоку, в цілому. Зроблено, зокрема, дуже цікавий висновок щодо необхідності врахування потужності та вмісту активної зони ядерного реактора для встановлення критеріїв безпеки для ядерних енергоблоків різної потужності.

У **висновках** наведено основні положення, що їх було розроблено, розвинуто та вдосконалено у дисертаційній роботі.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, підтверджується їх відповідністю сучасним

уявленням про нейтронно-фізичні процеси в ядерних установках різного призначення, а також якісним та кількісним збігом результатів модельних розрахунків з даними систем контролю, отриманими під час перехідних режимів роботи на ВВЕР-1000. Зокрема, при вдосконаленні та валідації аналітичної моделі та програми розрахунку динамічних процесів в активній зоні для аналізу перехідних режимів на ВВЕР-1000 автор використав апробовані підходи з опису нейтронної динаміки в ядерному реакторі, а також коректно врахував зворотні зв'язки за температурою палива і теплоносія.

Також необхідно відмітити апробацію отриманих результатів на наукових конференціях, симпозіумах і семінарах, опублікуванням 29 статей у наукових фахових виданнях з технічних наук, а також у таких відомих журналах, як «Nuclear Engineering», «Атомна енергія», «Ядерна фізика та енергетика» «Ядерна та радіаційна безпека».

Детальне ознайомлення з дисертаційною роботою, авторефератом та публікаціями дисертанта за темою дисертації дозволяє зробити висновок, що основні наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи мають достатньо глибоке теоретичне та методологічне обґрунтування, відповідають сформульованим меті та задачам дослідження, оскільки базуються на опрацюванні значної кількості літературних джерел (290 найменувань) за тематикою дисертації.

Результати дисертації було отримано, базуючись на використанні сучасних підходів та методів наукових досліджень, а саме: детерміністичних та ймовірнісних методах моделювання і розрахунку значень нейтронно-фізичних характеристик ядерних установок.

Об'єкт та предмет дослідження дисертації повною мірою відображено в логічно побудованій структурі дисертації. Нормативно-технічну базу, що була використаною при проведенні дослідження, склали законодавчі, нормативно-технічні та галузеві документи, в яких сформульовано технічні та нормативні вимоги до систем контролю ядерних установок.

Новизна та достовірність наукових положень і висновків. Новизна одержаних в дисертації результатів полягає в наступному:

1) досліджено та обґрунтовано алгоритми формування сигналів аварійного захисту за періодом реактора при перехідних процесах та реактивністних аваріях на ВВЕР;

2) розроблено алгоритми та прикладне програмне забезпечення визначення реактивності і періоду реактора в сучасних цифрових систем контролю ВВЕР і ВВР-М;

3) науково обґрунтовано і вдосконалено модель нейтронної динаміки, що у взаємодії з теплогідравлічним кодом RELAP5 дозволяє коректно описувати визначені перехідні режими роботи ВВЕР-1000;

4) розроблено оригінальну методіку, яка дозволяє оперативно коригувати сигнали іонізаційних камер АКНП, що є важливим для забезпечення точності визначення нейтронної потужності при перехідних режимах роботи ВВЕР-1000;

5) вперше розроблено метод визначення параметрів вигорання емітера детектора прямого заряду (ДПЗ), що є дуже важливим для підвищення точності визначення лінійного енерговиділення твелів ВВЕР-1000;

6) вперше науково обґрунтовано модель визначення консервативних умов при аналізі ядерної безпеки систем зберігання відпрацьованого ядерного палива ВВЕР.

Достовірність отриманих результатів забезпечується коректністю постановок задач, математичних розрахунків і підтверджується якісними та кількісними збігами між теоретичними (розрахунковими) результатами та експериментальними даними.

Практичне використання результатів дисертаційного дослідження. При виконанні дисертаційної роботи було:

- розроблено нові методи визначення параметрів реактивності та періоду реактора, застосування яких дозволяє забезпечити надійне та

оперативне підрахування значення зазначених параметрів у системах контролю ВВЕР, ВВР-М;

- розроблено засоби науково-технічної підтримки при впровадженні систем оперативного контролю поточного технічного стану ядерного реактора.

Результати дисертації В.І.Борисенка впроваджено у підрозділах ДП «НАЕК «Енергоатом», а саме: в АКНП-І (ІФ) на 15 енергоблоках з реакторами ВВЕР-1000 та ВВЕР-440 (Додаток D1); в СППБ на 11 енергоблоках з реакторами типу ВВЕР-1000 (Додаток D3); в СВРШД на 6 енергоблоках з реакторами типу ВВЕР-1000, а також в АРКУЗ дослідницького реактора ВВР-М НАН України (Додаток D2).

Повнота відображення результатів дослідження в опублікованих працях і авторефераті. Наукові положення, висновки та практичні рекомендації дисертації достатньо повно викладено у наукових публікаціях здобувача, зокрема: 29 статей - у провідних фахових виданнях (9 статей - у іноземних фахових періодичних виданнях і 5 статей - у фахових періодичних виданнях, що входять до бази цитування SCOPUS); 35 публікацій у збірниках доповідей та тез доповідей міжнародних конференцій. Більшість публікацій, в яких відображено результати дисертації В.І.Борисенка, представлено в Міжнародній системі ядерної інформації INIS МАГАТЕ: <http://www.iaea.org/INIS/>.

Автореферат дисертації повністю розкриває основний зміст виконаних досліджень і отриманих результатів та відповідає основному змісту дисертації.

Наукові положення і дослідження, за якими здобувач захистив кандидатську дисертацію, не включено до результатів докторської дисертації.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У п.2.2, 2.3 дисертації наведено твердження про важливість аналізу реактивністних аварій з урахуванням того факту, що формування сигналів аварійного захисту за періодом реактора є неможливим, а результати

модельних розрахунків реактивністних аварій наведено тільки для випадку проміжних рівнів потужності ядерного реактора.

2. Представлена в Додатку А інформація стосовно параметрів нейтронних детекторів носить суто довідковий характер та не має відношення до основних результатів дисертації

3. У тексті дисертації в деяких місцях позначення одиниці виміру «секунда» не відповідає позначенням міжнародної системи СІ.

Відмічені недоліки не знижують дуже позитивного сприйняття роботи, рівень якої слід оцінити як високий, що відповідає сучасним вимогам до наукових досліджень з можливістю їх подальшої комерціалізації, в т.ч. у рамках міжнародного співробітництва.

Дисертаційну роботу коректно оформлено у відповідності до вимог ДАК України щодо дисертаційних докторських робіт, і написано сучасною науковою мовою.

Загальні висновки

У дисертації вирішено актуальну науково-технічну проблему вдосконалення методів оперативного контролю та діагностики нейтронно-фізичних параметрів ядерних установок з реакторами типу ВВЕР.

Тема дисертації є актуальною, наукові положення, висновки та рекомендації містять наукову новизну та є обґрунтованими і достовірними. Основні результати дисертації є впровадженими в практичну діяльність.

Аналіз публікацій дисертанта показує, що основні результати дисертації було отримано автором самостійно. Автореферат адекватно відображає зміст роботи.

Таким чином, на підставі актуальності теми дисертації, обґрунтованості її наукових положень і висновків, практичного значення і новизні здобутих результатів, вважаю, що дисертаційна робота “Вдосконалення методів і засобів

оперативного контролю та діагностики нейтронно-фізичних параметрів ядерних установок“ повністю відповідає вимогам щодо докторських дисертацій п.10, п.12, п.13 і п.14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор, Борисенко Володимир Іванович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.14 - теплові та ядерні енергоустановки.

Офіційний опонент,

завідувач відділу ядерно-фізичних технологій ДУ «ІГНС НАН України»

чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф.

Підпис чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф.

Забулонова Ю.Л. засвідчую:

Учений секретар ДУ «ІГНС НАН України»,

с.н.с., к.т.н.

Ю.Л. Забулонов



Н.А. Бородіна