

## ВІДГУК

офіційного опонента – кандидата технічних наук Гальченко Віталія Володимировича – на дисертаційну роботу Білодіда Є.І. "Науково-технічні основи зниження надлишкового консерватизму при аналізі безпеки ядерних установок", подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.14 «Теплові та ядерні енергоустановки», напрямком 143 «Атомна енергетика».

Дисертація Є.І. Білодіда, яка подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, присвячена обґрунтуванню безпеки систем поводження з відпрацьованим ядерним паливом реакторів ВВЕР-440, ВВЕР-1000 та РВПК-1000 з врахуванням зміни розмножуючих властивостей ядерного палива в результаті його експлуатації без зниження існуючого рівня ядерної безпеки.

### **Актуальність теми дисертації.**

На сьогоднішній день в Україні в експлуатації знаходяться п'ятнадцять енергоблоків АЕС з ВВЕР і чотири енергоблоки РВПК-1000, які знято з експлуатації. Це значить, що щорічно з активних зон РУ видаляють значний обсяг відпрацьованих тепловиділяючих збірок (ВТВЗ).

Попередня стратегія поводження з відпрацьованим ядерним паливом передбачала його переробку, після витримки в приреакторних басейнах витримки. БВ енергоблоків з АЕС з ВВЕР України, виходячи з цієї концепції, будувалися з урахуванням зберігання в них відносно невеликої кількості ВТВЗ, а сховища для подальшого тривалого зберігання ВЯП взагалі не було передбачено.

Але, за останні роки концепцію поводження з ВЯП в Україні була переглянута і тепер вона базується на підході тривалого зберігання ВТВЗ в сухих сховищах. Це, в свою чергу, окрім проектування і будівництва таких сховищ, вимагає і збільшення ємності приреакторних БВ.

Без формування наукових положень поводження з ВЯП, в тому числі розвиток методів розрахунку ізотопного складу ВЯП і формування відповідної нормативної бази в Україні, роботи зі зберігання і транспортування ВЯП взагалі неможливі.

Будь яка система поводження з ВЯП повинна відповідати вимогам чинних нормативних документів, що до забезпечення її ядерної, радіаційної і теплової безпеки. В тому числі і ущільнені системи приреакторного зберігання і ті системи сухого зберігання, які проектуються.

Врахування ізотопного складу ВЯП при аналізі ядерної безпеки таких систем надає можливість збільшити місткість системи дотримуючись вимог нормативних документів.

Звідси витікає наукова новизна роботи, яка полягає в розробці науково-технічні основ врахування глибини вигорання палива при проектуванні і виконанні аналізу ядерної безпеки систем поводження з відпрацьованим ядерним паливом реакторів ВВЕР та РВПК в Україні.

Про значимість роботи свідчить використання запропонованого підходу при обґрунтуванні безпеки ССВЯП ЗАЕС і СВЯП-1 ЧАЕС, що вказано в Додатках, наведених до роботи.

**Обґрунтованість і достовірність** отриманих результатів підтверджується використанням сучасних, добре апробованих комп'ютерних кодів та математичного апарату. Основні результати підтвержені багаторічною практикою виконання перехресних, порівняльних, повірочних розрахунків під час здійснення науково-дослідної та експертної діяльності.

### **Структура і об'єм дисертаційній роботі**

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (135 джерел) та 4 додатків. Дисертація викладена на 166 сторінках, містить 43 рисунка, 14 таблиць.

У вступі дисертації обґрунтовується актуальність теми дослідження; приводяться цілі та завдання досліджень; зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами роботи ДНТЦ ЯРБ; наукова новизна та практичне значення отриманих дисертантом результатів; особистий внесок претендента в роботу; апробація результатів дисертації на наукових конференціях та представлення основних результатів в наукових публікаціях, а також структура самої роботи.

*В першому розділі* дисертант проаналізував нормативно-технічну базу різних країн, що до вимог аналізу критичності для систем поводження з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП). Приділено увагу вимогам, що до врахування ізотопного складу відпрацьованого ядерного палива при обґрунтуванні безпеки систем з ВЯП.

Показано, що можливість використання «кредиту вигорання» досить широко представлено в нормативних документах для палива PWR, BWR. Відзначено, що підхід щодо врахування ізотопного складу опроміненого палива при аналізі ядерної безпеки був дозволений нормативними документами України, але до початку цих робіт через відсутність необхідного науково обґрунтованого підходу не використовувався на практиці.

Показано наукові задачі, які необхідно вирішити в процесі імплементації можливості використання ізотопного складу ВЯП для аналізу ядерної безпеки.

*В другому розділі* виконано роботи з вибору програмного продукту для вирішення поставлених задач. Визначено похибку кваліфікації коду, який використовується і показано важливість розробки «огиначаючого» аналізу для визначення ізотопного складу ВЯП, для коректного використання «кредиту вигорання».

*Третій розділ* присвячено дослідженню умов опромінення ядерного палива в реакторі і вплив цих умов, на накопичення ізотопів, які запропоновано використовувати в методиці «кредиту вигорання». Дослідження проведено для усіх типів тепловиділяючих збірок, які експлуатувалися і експлуатуються сьогодні на АЕС в Україні.

Було розглянуто вплив великої кількості різних чинників, в тому числі, наявність\відсутність додаткових поглиначів, борної кислоти, різних профілів енерговиділення, які формуються в активній зоні реактора при експлуатації, тощо.

В результаті було запропоновано перелік ізотопів, які пропонується враховувати при обґрунтуванні ядерної безпеки, а також, для кожного типу палива сформовано умови, за якими необхідно проводити розрахунок вигорання, для впевненого досягнення найбільш консервативних, з точки зору ядерної безпеки, концентрації обраних ізотопів.

*У четвертому розділі* з використанням запропонованої в третьому розділі, методики для існуючих в Україні сховищ з ВЯП було розроблено процедуру завантаження палива.

Для завантаження палива в басейн витримки (БВ) СВЯП-1 ЧАЕС було розроблено і впроваджено програмний модуль, який дозволив фахівцям планувати і формувати завантаження БВ різним типом палива, забезпечуючи при цьому виконання вимог що до ядерної безпеки таких систем. Це, в свою чергу, дозволило суттєво пришвидшити роботи з вивантаження палива з басейнів витримки енергоблоків, зменшивши таким чином вартість робіт і забезпечити можливість дотримання графіку виконання робіт що до відвантаження палива РВПК.

Для контейнерів сухого зберігання на Запорізькій АЕС сформовано графік і конфігурацію завантаження. Використання методики «кредиту вигорання» разом із запропонованою в роботі конфігурацію завантаження дозволило регулюючому органу України видати дозвіл на експлуатацію сховища, а персоналу АЕС виконати необхідні роботи.

*В п'ятому розділі* наведено шляхи можливого подальшого вдосконалення основ врахування глибини вигорання.

В дисертаційній роботі проведено значний обсяг аналітичних досліджень, що до формування ізотопного складу палива за різних умов його експлуатації в активній зоні реакторної установки.

### **Практична цінність роботи і рекомендації для використання результатів**

Практична цінність результатів дослідження полягає в наведені практичних результатів, що до підходу врахування глибини вигорання палива різних типів реакторних установок, які експлуатуються і експлуатувалися в Україні. Методика дозволяє знизити рівень консерватизму при виконанні

аналізу безпеки системи з ВЯП, формуючи завантаження систем зберігання з більшою ефективністю.

Результати роботи знайшли застосування при обґрунтуванні ядерної безпеки систем зберігання ВЯП на ССВЯП ЗАЕС, і СВЯП-1 ЧАЕС. Відповідні підтвердження відображено в додатках до роботи.

### **Повнота наведених основних наукових положень, висновків, рекомендацій в надрукованих роботах**

Результати роботи викладено в восьми спеціалізованих наукових виданнях, які рекомендовані атестаційною комісією МОН України, та п'ять, які входять до бази цитувань Scopus, а також доповідалися на багатьох наукових конференціях і симпозіумах.

Автореферат написано українською мовою повністю відповідає роботі і включає всю необхідну для оцінки роботи інформацію. Містить всі основні положення висновки і рекомендації, що наведено в дисертації.

Оформлення автореферату і його об'єм відповідають вимогам атестаційної комісії МОН України.

### **Зауваження по роботі**

З недоліків дисертаційної роботи можна виділити наступне:

1. В першому розділі наведено огляд як нормативно технічної документації різних країн, так і наукових робіт. В моєму розумінні спрямованість огляду повинна бути зміщена в бік наукових робіт.
2. В другому розділі напряму не вказано яку версію програмного продукту SCALE було використано для подальшого аналізу. Окрім того, отримано похибку кваліфікації коду, яка надалі не використовувалася в роботі. Відсутнє порівняння кваліфікації модуля розрахунку критичності KENO з іншим програмним продуктом, наприклад MCNP. Адже, можливо, що MCNP має меншу похибку кваліфікації і має тут перевагу перед KENO. Аналогічно не показано перевагу модулів розрахунку ізотопного складу, перед іншими програмними продуктами.
3. В третьому розділі наведено дуже детальні дослідження для палива ВВЕР, але жодних для палива РВПК, хоча методика потім застосовується і для палива РВПК. Адже зрозуміло, що умови вигорання, які зафіксовано для палива ВВЕР будуть відрізнятися для палива РВПК. Основні результати для палива РВПК повинні бути наведені в роботі, разом з відповідними посиланнями.
4. В четвертому розділі, при представленні результатів аналізу критичності систем з ВЯП не було враховано похибки кваліфікації коду, який визначено в другому розділі роботи. Врахування цієї

величини (а це передбачено нормативними документами) може вплинути на результати формування паливного завантаження.

5. В п'ятому розділі автор наводить своє бачення подальших досліджень в питанні врахування глибини вигоряння, що говорить про те, що здобувач не збирається полишати обраний ним напрямок діяльності. Але з точки зору самої дисертації, цей розділ є неінформативний і зайвим. Жодного положення з цього розділу не виноситься на захист.

### Висновки опонента

Дисертаційна робота Є.І. Білодіда «Науково-технічні основи зменшення надлишкового консерватизму при аналізі безпеки ядерних установок» є оригінальною цілісною науковою працею, яка виконана на належному науковому і прикладному рівні. Наукові положення сформульовані автором самостійно й відображають особистий внесок дисертанта у розвиток технічної науки та її галузі – атомної енергетики.


За актуальністю обраної теми, обсягом і змістом виконаних досліджень, ступенем обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірністю і новизною, а також повнотою їх викладення в опублікованих працях, дисертаційна робота Білодіда Євгена Ігоровича «Науково-технічні основи зменшення надлишкового консерватизму при аналізі безпеки ядерних установок» повністю відповідає вимогам п.п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567, до кандидатських дисертацій.

Приведені у роботі наукові та практичні результати у сукупності вирішують важливу для ядерних установок науково-прикладну задачу врахування вигоряння палива при аналізі ядерної безпеки систем поводження з відпрацьованим ядерним паливом, а її автор, Білодід Євген Ігорович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.14 – теплові та ядерні енергоустановки.

Офіційний опонент,

кандидат технічних наук,

Начальник відділу аналізу безпеки АЕС

 В.В. Гальченко

Підпис Гальченко В.В. за

Заступник Ген. директора

 Г.М. Вінник

