

Тези доповідей 54-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-  
магістрантів «Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі» //Одеса:

ОНПУ, 2019, вип. 54

## **ОБОСНОВАНИЕ БЕЗОПАСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК ТИПА А И ТИПА W В СМЕШАННЫХ АКТИВНЫХ ЗОНАХ**

## **ОБГРУНТУВАННЯ БЕЗПЕЧНОГО ТЕПЛОВИДІЛЯЮЧИХ ЗБИРОК ТИПУ А І ТИПУ W В ЗМІШАНИХ АКТИВНИХ ЗОНАХ**

## **RATIONALE FOR THE SAFE USE OF FUEL ASSEMBLY TYPE A AND TYPE W IN MIXED CORES**

Науковий керівник - кафедра АЕС; доцент, к.ф.-м.н.

Зотеев О.С., Зотеев О.Е., Zoteev O.E.

Магістр – Кулієв Е.М., Кулиев Э.М., E.M. Kuliev

**Аннотация.** Проводится проработка безопасного использования ТВС-W, а так же ее сравнение с ТВС-А, при этом используется ТВС с одинаковым начальным обогащением 4,4 %  $^{235}\text{U}$ . Реактор останавливается при достижении величины  $K_{\text{эф}}=1,05$ . Произведен расчет длительности кампании и средней глубины выгорания отработавших ТВС при одинаковых размерах и внешних условиях.

**Ключевые слова:** ТВСА(тепловыделяющая сборка альтернативной конструкции), РУ(реакторная установка), кампания, глубина выгорания.

**Анотація.** Проводиться проробка безпечного використання ТВЗ-W, а також її порівняння з ТВС-А, при цьому використовуються ТВЗ з однаковим збагаченням 4,4%  $^{235}\text{U}$ . Реактор зупиняється при досягненні величини  $K_{\text{эф}} = 1,05$ . Зроблено розрахунок тривалості кампанії і середньої глибини вигорання відпрацьованих ТВЗ при однакових розмірах і зовнішніх умовах.

**Ключові слова:** ТВЗА(тепловиділяюча збірка альтернативної конструкції), РУ(реакторна установка), кампанія, глибина вигорання.

**Annotation.** The safe use of Fuel rod array -W is being studied, as well as its comparison with Fuel rod array -A, while using fuel assemblies with the same initial enrichment of 4.4%  $^{235}\text{U}$ . The reactor stops when  $K_{\text{eff}} = 1.05$  is reached. The calculation of the duration of the campaign and the average burnup depth of spent fuel assemblies under the same dimensions and external conditions was made.

**Keywords:** Fuel rod array, campaign, depth of burnout.

## Вступ

В даний час основними виробниками електроенергії на Україні є теплові й атомні електричні станції (ТЕС і АЕС). І на одних, і на інших нагромадилось безліч проблем. Це викликано, як об'єктивними, так і суб'єктивними причинами. На ТЕС відзначається великий знос основного устаткування, а так само в країні немає достатньої кількості органічного палива[1-3].

Атомна енергетика в Україні почала свій шлях з 1977 року, коли був введений в експлуатацію перший блок Чорнобильської АЕС. Відповідно до планів розвитку атомної енергетики в колишньому Радянському Союзі, на території України повинне було бути споруджено 9 АЕС. За період з 1977 року по 1989 рік було введено 16 енергоблоків загальною потужністю 14800 МВт на 5 атомних станціях: Запорізької, Ровенської, Хмельницької, Чорнобильської, Південно-Української [4-5].

Однією з загроз суверенітету та незалежності нашої держави є поглиблення залежності від одного постачальника ядерного палива у галузі атомної енергетики. Отже уряд України поставив перед собою завдання диверсифікувати покупку енергоресурсів [6].

В даний час на 4-х АЕС України експлуатуються 15 енергоблоків радянського дизайну – 2 ВВЕР-440 та 13 ВВЕР-1000. Для них основним постачальником палива,

монополіст ядерних поставок, є компанія «ТВЕЛ», оскільки ці блоки використовують паливо «шестигранного» типу. Цією технологією ніхто, окрім ТВЕЛу, раніше не володів. І тільки починаючи з 2000 року компанія Westinghouse долучилася до вирішення проблеми диверсифікації постачань ядерного палива на АЕС з реакторами ВВЕР-1000, коли стартував Проект кваліфікації ядерного палива для АЕС України. У 2005 році 6 тепловиділяючих збірок ТВЗ-W були завантажені в активну зону 3-го енергоблоку Південно-Української АЕС [7-8].

Україна володіє достатнім ресурсним потенціалом для активного розвитку власної атомної енергетики. За запасами урану вона входить в першу світову десятку, а підтверджених запасів урану для існуючих типів реакторів вистачить на 50-100 років. Водночас, самостійно Україна реалізує лише першу стадію ядерно-паливного циклу – видобуток уранової руди та виробництво з неї уранового концентрату (лише на 30 % від потреби українських АЕС – близько 800-900 тонн уранового концентрату з необхідних 2,5 тис. т).

Тепловиділяюча збірка типу ТВС-W є альтернативним паливом для АЕС України з реакторами ВВЕР-1000. Застосування альтернативного палива пов'язано з необхідністю диверсифікації поставок ядерного палива. Це дозволить зменшити політичні ризики, пов'язані з монопольним постачальником, а так само через створеної конкуренції дозволить знизити витрати на закупівлю палива [9-10].

Буде розглянуте питання безпечного використання ТВЗ-W, а також порівняння її з ТВЗА.

#### **Визначення об'єкта дослідження**

Об'єктами дослідження є ТВЗА та ТВЗ-W.

#### **Цілі та обґрунтування необхідності дослідження**

Ураховуючі поширене застосування тепловиділяючих збірок ТВЗ-W та ТВЗ-А на енергоблоках АЕС України, розрахунок активної зони є дуже актуальним та вчасним.

Метою роботи було обґрунтування безпечного використання змішаних активних зон. І обґрунтування безпечного використання ТВЗ-W в реакторах ВВЕР- 1000. За основу

роботи було взято матеріали з опису конструкцій ТВЗ компаній «Вестінгауз» і «ТВЕЛ», оскільки вони на даний момент бути конкуруючими постачальниками ядерного.

Цінністю роботи є отримання підтвердження працездатності ТВЗА і ТВЗ-W в реакторах і можливість проаналізувати їхні недоліки. Порівняння необхідно для обґрунтування експлуатації і прогнозу можливих аварійних ситуацій в активній зоні реактора. В цілому проведений розрахунок підтвердив працездатність ТВЗ-W і можливість спільної експлуатації. Також за результатами розрахунку активної зони з паливом типу ТВЗ-W , це паливо продемонструвало свої позитивні сторони , а саме в тривалість паливної кампанії реактора .

#### **Короткий опис розрахунку активної зони з паливом типу ТВЗ-А та паливом типу ТВЗ-W**

Спочатку проводиться порівняльний опис тепловиділяючої збірки ТВЗ-W та збірки ТВЗ-А а саме по таким критеріям як :

- Системи зберігання свіжого палива
- Скільки маси палива та витрат цирконію на активну частину ТВЗ
- Скільки маси завантаженого палива в одну ТВЗ
- Скільки маси витрат цирконію на одну ТВЗ

Після того як був проведений порівняльний опис , і проведено аналіз тепловиділяючої збірки ТВЗ-W та збірки ТВЗ-А, переходимо до розрахунку активної зони з паливом обох типів. А саме по таким пунктам:

- Тепло-гідрравлічний розрахунок активної зони реактора
- Визначення геометричних характеристик касети
- Визначення габаритів активної зони
- Визначення температури теплоносія, оболонки ТВЕЛа і пального
- Визначення запасу щодо критичного теплового навантаження
- Визначення гідрравлічного опору активної зони

Тези доповідей 54-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-  
магістрантів «Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі» //Одеса:  
ОНПУ, 2019, вип. 54

- Визначення середньої температури пального і температури на поверхні блоку пального
- Результати теплогідравлічного розрахунку активної зони
- Нейтронно-фізичний розрахунок
- Визначення середнього збагачення палива в активній зоні реактора
- Визначення геометричних параметрів осередку
- Визначення концентрації атомів
- Визначення температури нейтронного газу
- Розрахунок коефіцієнта розмноження для безкінцевого реактору  $K_{\infty}$
- Визначення коефіцієнта розмноження на швидких нейтронах  $\mu$
- Визначення числа вторинних швидких нейтронів  $\nu$  на один акт поглинання нейтрону
- Визначення ймовірності уникнути резонансного поглинання  $f$
- Визначення коефіцієнта використання теплових нейтронів  $\theta$
- Визначення ефективного коефіцієнта розмноження  $K_{\text{eff}}$
- Визначення кампанії реактора
- Розрахунок середньої глибини вигорання в ТВЗ. Середня глибина вигорання в ТВЗ-А та ТВЗ-В [11-15] .

Після отримання результатів було проведено порівняння обох типів палива та зроблені висновки.

### Висновки

#### Результат порівняння двох видів палива (ТВЗА та ТВЗ-W)

Після проведення розрахунку маси палива, завантаженого у одну ТВЗ, можна зробити висновок, що з застосуванням ТВЗ-W маса завантаженого урану у одну ТВЗ збільшиться на 48,58 кг.

Маса завантаженого урану на одну паливну кампанію, при перевантаженні, збільшиться на  $42 \cdot 48,58 = 2040,36$  кг з урахуванням того, що паливо підпитка стаціонарного паливного циклу складає 42 тепловиділяючі збірки. Це дозволило збільшити час роботи реактора на  $322 - 296 = 26$  ефективних діб.

Витрати цирконію на активну частину ТВЗ зменшаться на 24,57 кг. З урахуванням всієї активної зони, сумарні витрати цирконію зменшаться на  $24,57 \cdot 163 = 4004,91$  кг.

Основні теплотехнічні та нейтронно-фізичні показники представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. – Порівняння ТВЗА та ТВЗ-W

| Параметр                                               | ТВЗА    | ТВЗ-W  | Обмеження |
|--------------------------------------------------------|---------|--------|-----------|
| Максимальна температура оболонки ТВЕЛА, °C             | 350,4   | 350,4  | <370      |
| Максимальна температура палива, °C                     | 2274,43 | 2449,2 | <2700     |
| Коефіцієнт запасу за критичною тепловою завантаженістю | 2,8     | 2,8    | >1,5      |
| Середня температура палива в реакторі, °C              | 812,05  | 840    | -         |
| Середнє збагачення палива на початок кампанії,%        | 2,932   | 2,963  | -         |
| Середня температура теплоносія, °C                     | 302     | 302    | -         |
| Температура нейтронного газу, °C                       | 722     | 738    | -         |
| Кампанія реактора при даних параметрах,доб.            | 296     | 322    | -         |
| Середня глибина вигорання,МВт·доб/кгU                  | 50,02   | 45,03  | <55       |

У данній роботі було проведено порівняння паливних циклів реактора ВВЕР-1000 з використанням палива ТВЗА, яке в даний момент експлуатується на майже усіх енергоблоках України, та перспективного палива нового покоління – ТВЗ-W.

У загальній теплотехнічній частині роботі представлений опис роботи блоку, короткий опис основного устаткування, його характеристики. У роботі зроблений теплоенергетичний розрахунок 2-го контуру, а також нейтронно-фізичний та тепло-гідравлічний розрахунок реактора ВВЕР – 1000. Розрахунки відповідають усім теплотехнічним, технологічним, конструктивним, а також вимогам безпеки та надійності, необхідних для роботи реактора [1].

На сьогоднішній день стоїть проблема над збільшенням тривалості паливної кампанії. В результаті застосування нового палива (ТВЗ-W) тривалість паливної кампанії, по результатам розрахунків, збільшиться на 26 ефективних діб. Це значно зменшить собівартість електроенергії, дозволить більш доцільно використовувати ядерне паливо. При цьому теплотехнічні та нейтронно-фізичні параметри не перевищують встановлені для цього типу реактора значення. З цього можна зробити висновок, що експлуатація ТВЗ-W непризводить до зниження рівня ядерної безпеки.

Середня глибина вигорання в ТВЗА склала  $50,02$  (max  $55$ )  $MВт \cdot доб / кгU$ , а в ТВЗ-W  $45,03$  (max  $62$ )  $MВт \cdot доб / кгU$ , це надає можливість організувати п'ятирічний паливний цикл.

Тези доповідей 54-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-  
магістрантів «Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі» //Одеса:  
ОНПУ, 2019, вип. 54

### Література

1. Кіров В. С. Теплові схеми турбоустановок АЕС і їх розрахунки : Навч. посібник для вузів. –вид. 2-е, випр. – Одеса: Астропринт. - 2004. – 212 с.
2. Верхівкер Г. П., Кравченко В. П. “Теплогідравлічний і нейтронно-фізичний розрахунки Ядерного реактора типу ВВЕР” – Методичні вказівки для студентів за спеціальністю 7.09.05.06. – Одеса: ОНПУ. - 1995. – 55с.
3. Трояновский Б. М. и др., Паровые и газовые турбины атомных электростанций: Учебное пособие для ВУЗов: Б. М. Трояновский, Г. А. Филиппов, А. Е. Булкин. – М.: Энергоатомиздат. - 1985. – 256с.
4. Голубев Б. П. – Дозиметрія і захист від іонізуючих випромінювань: - М.: Энергоатомвидавн. - 1986. – 464с.
5. Болдырьов В. М. Економіка, організація і планування в енергетиці. - Г.: Энергоатомвидавн. – 1986. – 256 с.
6. Ривкін С. А., Александров А. А. Термодинамічні властивості води і водяної пари. Довідник. М., Энергоатомвидавн. - 1984. - 78 с.
7. Кирияченко В. А., Петрикин В. Н., Піліпчук Б. Л., Смірнов С. Б., Сичев Е. Н., Тулуб С. Б. Основи теорії і проектування ядерних енергетичних установок атомних електричних станцій. - Севастополь: СНУЯЕтаП. - 2006. - 231 с.
8. Дементьев Б. А. Ядерные энергетические реакторы. Учебник для ВУЗов – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 280 с.
9. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М., Машиностроение. - 1975. - 672 с.
10. Нейтронно-фізичний розрахунок ВВЭР: Учбове посібіє. – Изд. 2-е перераб. и доп. В.С. Киров. – Киев: УМК ВО. - 1992. – 48с.
11. Харабет А. Н., Чулкин О. А. Застосування теорії можливостей для визначення надійності енергетичного обладнання АЕС.- «Ядерна енергетика та довкілля». – Київ. - 2013. - №2. - С. 63-69.
12. Зотеев В.О., Харабет А.Н., Чулкин О.А. Методы сбора информации для определения надежности энергетического оборудования АЭС.-Тези доповідей 21-й щорічної наукової конф. ІЯД НАНУ. Київ, 2014. – 110 с.

Тези доповідей 54-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-  
магістрантів «Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі» //Одеса:  
ОНПУ, 2019, вип. 54

13. Зотеев В.О., Харабет А.Н., Чулкин О.А. Застосування інформації про наявну надійність енергоблоку АЕС для оцінки ступеню ризику експлуатації. - Тези доповідей XXII щорічної НК ІЯД НАН України – Київ, 2015. –114 с.
14. Зотеев В.О., Харабет А.Н., Чулкин О.А. Оценка надежности основного оборудования АЭС . - Сб. докладов IV МНПК «Повышение безопасности и эффективности атомной энергетики» - Одесса, 2016. –374-384 с.
15. Зотеев В.О., Харабет А.Н., Чулкин О.А. Концепція пошуку технічних ресурсів для подовження терміну експлуатації обладнання енергоблоків. - Тези доповідей XXIV щорічної НК ІЯД НАН України – Київ, 2017. –133 с.