

УДК 621.039

**Дослідження можливостей оперативної компенсації запасу реактивності реактора  
ВВЕР-1000 протягом кампанії**

**Upcoming opportunities for operational compensation for the reactivity reserve of the  
VVER-1000 reactor with the extension of the campaign**

**Исследование возможностей оперативной компенсации запаса реактивности реактора  
ВВЭР-1000 в течение кампании**

Науковий керівник – докт. техн. наук, проф. кафедри Атомних електричних станцій  
Погосов О.Ю., Погосов А.Ю., Pogosov A.

Магістрант Константинов Б.О., Константинов Б.А., Konstantinov B.

**Анотація:** Подальший розвиток атомної енергетики потребує додаткових досліджень та відповідних науково-технічних розробок. Об'єктом даного дослідження є реактор типу ВВЕР-1000 як джерело енергії, що характеризується запасом реактивності і підлягає технологічному управлінню. Предметом дослідження є сучасні технології і техніка оперативної компенсації запасу реактивності ядерного реактора в процесі управління потужністю. Виявлені можливості покращення метрологічної надійності та точності роботи засобів вимірювання концентрації  $H_3BO_3$  задля подальшої автоматизації управління реактором протягом кампанії.

**Ключові слова:** реактор типу ВВЕР-1000, запас реактивності, управління потужністю

**Annotation:** The further development of nuclear energy requires additional research and relevant scientific and technological development. The object of this study is the VVER-1000 reactor as an energy source, characterized by a reactivity reserve and subject to technological control. The subject of the research is modern technologies and techniques of operational compensation of the reactor reserve in the process of power management. Possibilities for improving the metrological reliability and accuracy of the  $H_3BO_3$  concentration measurement tools to further automate reactor control throughout the campaign have been identified

**Key word:** VVER-1000 reactor, reactivity margin, power control

**Аннотация:** Дальнейшее развитие атомной энергетики требует дополнительных исследований и научно-технических разработок. Объектом данного исследования является реактор типа ВВЭР-1000 в качестве источника энергии, который характеризуется запасом реактивности и подлежит технологическому управлению. Предметом исследования являются современные технологии и техника оперативной компенсации запаса реактивности ядерного реактора в процессе управления мощностью. Выявлены

возможности улучшения метрологической надежности и точности работы средств измерения концентрации  $\text{H}_3\text{BO}_3$  для дальнейшей автоматизации управления реактором в течение кампании

**Ключевые слова:** реактор типа ВВЭР-1000, запас реактивности, управление мощностью

Подальший розвиток атомної енергетики потребує додаткових досліджень та відповідних науково-технічних розробок. Об'єктом даного дослідження є реактор типу ВВЕР-1000 як джерело енергії, що характеризується запасом реактивності і підлягає технологічному управлінню. Предметом дослідження є сучасні технології і техніка оперативної компенсації запасу реактивності ядерного реактора в процесі управління потужністю.

Як відомо, управління інтенсивністю ланцюгової ядерної реакції ділення нуклідів ядерного пального в активній зоні, тобто управління потужністю реактора, здійснюють шляхом керуемого вивільнення запасу реактивності, що створюється на початку кампанії. Для цього можуть використовуватися дві системи: система управління і захисту (СУЗ) та незалежно від неї – система рідинного борного регулювання потужності [1-4].

Мета досліджень була такою: проаналізувати додаткові можливості подальшого удосконалення технологічних процесів при рідинному борному регулюванні щодо оперативної компенсації запасу реактивності реактора ВВЕР- 1000 на протязі кампанії.

Відповідно до мети досліджень, були вирішені наступні задачі:

- проаналізовані сучасні технічні засоби щодо компенсації запасу реактивності ядерного реактора ВВЕР-1000 в процесі його роботи і виявити їх недоліки;
- досліджені можливості щодо удосконалення засобів отримання вимірювальної інформації для подальшої автоматизації процесу рідинного борного регулювання стану реактора.

При вирішенні задач було прийнято до уваги таке. На відміну від СУЗ система рідинного регулювання, що базується на системі підживлення-продувки першого контуру, не є повною мірою системою автоматичного регулювання (і це є її недолік): робота такої системи значною мірою залежить від дій оператора [5-8].

Подальша автоматизація процесу рідинного борного регулювання вже багато років обговорюється в літературі та ця проблема поступово вирішується [9-14]. В ході досліджень було з'ясовано, що для автоматичного контролювання зміни концентрації борної кислоти (точніше атомних ядер  $^{10}\text{B}$ ) в теплоносії, який прокачується через реактор, треба: по-перше, проводити відповідні поточні вимірювання, а по-друге – мати більш

точні номограми, по яких визначаються уставки щодо значення концентрації  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (уставки, що мають бути записані в регулятор). Вимірювання, які використовуються у теперішній час на АЕС, та існуючі номограми – не є прийнятними.

На підставі проведених теоретичних досліджень можна зробити такі наступні висновки, які знайшли відображення в роботі [15].

Виявлені можливості покращення метрологічної надійності та точності роботи засобів вимірювання концентрації  $\text{H}_3\text{BO}_3$  задля подальшої автоматизації управління реактором протягом кампанії та на цій підставі:

-пропонується перегляд математичних моделей та залежностей, які використовуються на практиці для отримання номограм, по яких здійснюється рідинне регулювання потужності реактора ВВЕР-1000, і покращені залежності запропоновані;

-пропонується удосконалення технічних засобів, а саме: пропонується компенсація гама-випромінювання при детектуванні непоглинутих нейтронів, які надходять від (Pu-Be)-джерела наскрізь розчин  $\text{H}_3\text{BO}_3$  в контролюємому об'ємі концентратомірів, для чого може бути використана відповідна схема дискримінації дії гама-фотонів (шляхом вимірювання гама-фону та зменшення на відповідну величину сумарного сигналу, який дають нейтрони та гама-фотони разом).

## Література

1. Погосов А. Ю., Дубковский В. А. Ионизирующая радиация: радиоэкология, физика, технологии, защита: учебник для студентов ВУЗов, – О: Наука и техника, 2012. – 804 с.
2. Погосов О. Ю. Диагностика скрытой динамики процессов в реакторных установках АЭС: учебное пособие для студентов ВУЗов, – О: Наука и техника, 2013. – 280 с.
3. Погосов А. Ю. Технические средства управления ядерными реакторами с водой под давлением для АЭС: учебник для студентов ВУЗов, – О.: Наука и техника, 2013. – 288 с.
4. Погосов О. Ю, Дерев'янку О. В. Метрологічне забезпечення експлуатації АЕС.– Одеса: Наука і техніка, 2016. – 204 с.
5. Погосов А. Ю., Кравченко В. П. Физико-технический анализ латентных факторов развития аварийных процессов в энергоблоках АЭС Фукусима-1 // Ядерная и радиационная безопасность. - 2011. - №3. – С. 15-19.
6. Погосов А. Ю. Перспективы совершенствования мониторинга запасов устойчивости технологических процессов в оборудовании АЭС //Ядерная и радиационная безопасность. - 2001. –Т. 4, Вып. 1, – С. 68-70.
7. Андреев Б. М. Арефьев Д. Г. Баранов В. Ю. Бедняков В. А. и др. Изотопы: свойства, получение, применение / Под ред. В. Ю. Баранова . – М.: Физматлит. - 2005. – 600 с.
8. Gerliga V. A. Current methods of Empirical Analysis of the Thermohydraulic Stability of Steam-Generating Channels and the Development with Consideration of the Feasibility of Employing the Noise of Operating Parameters (A Review)/ Gerliga V. A.,Domashev Ye. D. ,Pogosov A.Yu // Heat Transfer Research -Reprint: Begell House, Inc. - 1997. — P. 502-510.
9. Погосов А. Ю., Дерев'янку О. В., Королёв А. В. Повышение безопасности энергоблоков АЭС с ВВЭР путем усовершенствования систем отвода тепла в аварийных

режимах // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Обеспечение безопасности АЭС. Реакторные установки. – 2015. – Вып. 35. – С. 49-53.

10. Андреев В. В., Андреев Н. Г., Кувшинова А. А., Леванов С. Л., Худяков И. С. Расчётно-теоретическое обоснование конструкции нейтронного конвертера // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2018. № 3 (122), – С. 37-45.

11. Оробинский А. Н. Измерение концентраций изотопа бор-10 и борной кислоты в водном растворе нейтронно-абсорбционным методом//East european journal of physics. – 2014. - Vol. 1, № 1. – С. 87-94.

12. Максимов М. В., Цисельська Т. О., Беглов К. В. Модель реактора ВВЕР-1000 як об'єкта управління // Сучасні технології управління.– Одеса: Вид-во Купрієнко С.В. - 2012. – С. 108-122

13. Кіров В. С., Кравченко В. П., Погосов О. Ю. Методичні рекомендації та вказівки для виконання магістерської кваліфікаційної роботи студентів, що навчаються за спеціальністю «Атомна енергетика». – Ресурс навчальних посібників НТБ ОНПУ: реєстрація в журналі обліку: МВ10127(07.03.19)- Одеса, 2019.-15 с.

14. Погосов О.Ю. (Pogosov O.), Биковський Ю.М., Левченко В.В. Експериментальне дослідження впливу електромагнітних полів на цифрові датчики температури з однодротовими лініями зв'язку для вивчення можливості їх використання в системах контролю на АЕС //Ядерна та радіаційна безпека (Nuclear and Radiation Safety) 2019.-№ 2(82). – С.14-18.

15. [Pogosov A.Yu., Levchenko V.V., Bikovsky Yu.M.](#) Analysis of Prospects for Application of Intellectual Digital Temperature Sensors in Data Channels of On-Line Control Means at Nuclear Power Plants Material of Conference IEEE (ESS) 17-19 April 2019 Kyiv, Ukraine. pp. 76 -79

16. Pogosov O., Derevianko O. [NPP Physical Protection and Information Security as Necessary Conditions for Reducing Nuclear and Radiation Accident Risks //Nuclear and Radiation Safety: 2017.- No 3\(75\).](#) 50-55.