

**В. І. Борисенко<sup>1,2</sup>, Ю. Ф. Пионтковський<sup>2</sup>, В. В. Горанчук<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ*

<sup>2</sup> *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ*

### **МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ ВНУТРІШНЬОЗОННОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНІВ**

Лінійне енерговиділення твєлів є одним із найбільш важливих показників безпеки та надійності експлуатації палива ВВЕР. У статті розглянуто еволюцію розвитку в системі внутрішньореакторного контролю реалізації функції контролю енергорозподілу по активній зоні ВВЕР. Показано, що вимоги до обсягу інформації і точності визначення енергорозподілу в даний час істотно зросли в порівнянні з першими проектами ВВЕР. Представлено результати чисельного моделювання в MCNP процесу формування сигналу детектора прямого заряду (ДПЗ), який утворюється в результаті активації ядер емітера детектора під дією нейтронів, що генеруються у твєлах тепловиділюючої збірки (ТВЗ). Продемонстровано, що основний внесок (~75 %) у сигнал ДПЗ забезпечують твєли ТВЗ, в якій розташований ДПЗ, а внесок твєлів суміжних ТВЗ становить ~25 %. Визначено внесок різних ділянок твєлів, розташованих на різній висоті по відношенню до рівня розташування самого ДПЗ. Результати моделювання дозволяють визначити геометричний фактор, який визначає внесок твєлів у формування сигналу ДПЗ не тільки від шести найближчих твєлів, що реалізовано в даний час у системі внутрішньореакторного контролю, а від декількох рядів твєлів, що підвищить точність визначення геометричного фактора. Отримано результати, що вказують на необхідність урахування впливу спектральних характеристик нейтронного поля на сигнал ДПЗ.

*Ключові слова:* лінійне енерговиділення, відновлення енергорозподілу, детектор прямого заряду, активація родієвого емітера, вигорання родієвого емітера.

**В. И. Борисенко<sup>1,2</sup>, Ю. Ф. Пионтковский<sup>2</sup>, В. В. Горанчук<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев*

<sup>2</sup> *Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев*

### **МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА ВНУТРИЗОННОГО ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ**

Линейное энерговыделение твэлов является одним из наиболее важных показателей безопасности и надежности эксплуатации топлива ВВЭР. В статье рассмотрена эволюция развития в системе внутриреакторного контроля реализации функции контроля энергораспределения по активной зоне ВВЭР. Показано, что требования к объему информации и точности определения энергораспределения в настоящее время существенно выросли по сравнению с первыми проектами ВВЭР. Представлены результаты численного моделирования в MCNP процесса формирования сигнала детектора прямого заряда (ДПЗ), который образуется в результате активации ядер эмиттера детектора под действием нейтронов, генерируемых в твэлах тепловыделяющих сборок (ТВС). Продемонстрировано, что основной вклад (~75 %) в сигнал ДПЗ обеспечивают твэлы ТВС, в которой расположен ДПЗ, а вклад твэлов смежных ТВС составляет ~25 %. Определен вклад различных участков твэлов, расположенных на разной высоте по отношению к уровню расположения самого ДПЗ. Результаты моделирования позволяют определить геометрический фактор, определяющий вклад твэлов в формирование сигнала ДПЗ не только от шести ближайших твэлов, что реализовано в настоящее время в системе внутриреакторного контроля, а от нескольких рядов твэлов, что повысит точность определения геометрического фактора. Получены результаты, указывающие на необходимость учета влияния спектральных характеристик нейтронного поля на сигнал ДПЗ.

*Ключевые слова:* линейное энерговыделение, восстановление энергораспределения, детектор прямого заряда, активация родиевого эмиттера, выгорание родиевого эмиттера.

**V. I. Borysenko<sup>1,2</sup>, Yu. F. Piontkovskiy<sup>2</sup>, V. V. Goranchuk<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv*

<sup>2</sup> *Nuclear Physics Department, Taras Shevchenko National University, Kyiv*

### **MODEL OF FORMATION OF IN-CORE NEUTRON DETECTOR SIGNAL**

Fuel rods linear power rate is one of the most important indicators of safety and operating reliability of VVER fuel. The article describes the evolution of implementation of in-core monitoring system (ICMS) power distribution control function for VVER core. It is shown that requirements for the data and accuracy of determining the power distribution

have significantly increased in comparison with the first VVER projects. This work presents results of MCNP numerical simulations of the signal formation in the Self-Powered Neutron Detector (SPND), which is resulted from the activation of emitter's nuclei under the neutron irradiation. It has been demonstrated that the main contribution (~75 %) to the SPND signal provide fuel rods of fuel assembly in which SPND is located, and the fuel rods of adjacent fuel assemblies contribute ~25 %. Also, the height-dependent contribution of fuel rod to SPND signal was determined. The simulation results allow calculation of the geometric factor, which determines the contribution of fuel elements to SPND signal, taking into account not only six closest fuel rods, as implemented in the ICMS now, but few adjacent rows of fuel rods. This approach will improve the accuracy of the geometric factor calculation. The obtained results indicate the need to consider the effect of the spectral characteristics of neutron field on the SPND signal.

*Keywords:* linear power rate, reconstruction of power distribution, self-powered neutron detector, activation of rhodium emitter, burning of rhodium emitter.

## REFERENCES

1. *Khalimonchuk V.A.* Operation Software ICMS top level of VVER-1000 under implementation in Ukraine of the expanded program on diversification of nuclear fuel // *Yaderna ta radiatsiina bezpeka (Nuclear and Radiation Safety)*. - 2015. - Iss. 1. - P. 7 - 12. (Rus)
2. *Central Spent Fuel Storage Facility.* Preliminary safety analysis report. Chapter 8 // *Yadernaya bezopasnost' (Nuclear safety)*. - SSIC CSER, 2016. - P. 54. (Rus)
3. *VVER physics experiments: regular hexagonal (1.27 cm pitch) lattices of low-enriched U(2.4 wt.% 235U)O<sub>2</sub> fuel rods in light water at different core critical dimensions / NEA/NSC/DOC/(95)03/IV. Vol. IV/ LEU-COMP-THERM-064.* - P. 70.
4. *Sapon M.M., Borysenko V.I.* Determination of reactivity coefficients VVER 1000 in the code MCNP // *XXIII Annual Sci. Conf. of the Institute for Nucl. Res. of NAS of Ukraine: Abstracts (1 - 5 Feb. 2016)*. - Kyiv, 2016. - P. 107. (Ukr)
5. *Piontkovskiy Yu.F., Borysenko V.I.* Influence of parameters of the core VVER-1000 to initiate a signal SPND // *XXIII Annual Sci. Conf. of the Institute for Nucl. Res. of NAS of Ukraine: Abstracts (1 - 5 Feb. 2016)*. - Kyiv, 2016. - P. 104. (Ukr)
6. *Piontkovskiy Yu.F., Borysenko V.I.* Accounting emitter burnup od SPND in the problem of reconstructing the energy distribution on the core of VVER-1000/ V Int. Sci. and Practical Conf. "Safety and Efficiency of Nuclear Energy" (Odessa, Ukraine, 5 - 9 Sept. 2016). - Odessa, 2016. (Ukr)
7. *Tsimbalov S.A.* Features rhodium neutron detector DPZ-1M. - Moskva, 1984. - 16 p. - (Prepr. / IAE-3899/4). (Rus)
8. *Shamanin I.V., Kiselev A.V., Lyzko V.A.* Control of energy distributions in the operation of a nuclear reactor using a self-powered neutron detector // *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. - 2010. - Vol. 316, No. 2. - P. 67 - 71. (Rus)
9. *Borysenko V.I.* Spatial effects of the reactivity of a change in thermal-hydraulic and neutron-physical parameters of the VVER core: Thesis of Candidate of Science (05.14.03) NPO CKTI. - Leningrad, 1991. - P.136. (Rus)
10. *Bragin V.A. Batenin I.V., Golovanov M.N. et al.* In-core Monitoring System of NPP with VVER. - Moskva: Energoatomisdat, 1987. - P. 128. (Rus)
11. *Tsimbalov S.A., Shikalov V.F., Craiko A.V.* Tests of in-core monitoring system at start-up nuclear power plants with VVER-440. - Moskva, 1974. - 24 p. - (Prepr. / IAE-3050). (Rus)
12. *Rules of nuclear safety of reactor units of nuclear power plants with pressurized water reactors.* NP 306.2.145-2008. (Ukr)
13. *MCNPTM – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4C. Manual / Ed. by J. F. Briesmeister.* - LA-13709-M, 2000. - 898 p. - (Documentation for CCC-700/MCNP4C Data Package, Sec. 4).
14. *NTS NNEGC "Energoatom".* Development of a national settlement complex ICMS-M2. Protocol No. 3 on 11/16/2016. (Rus)

Надійшла 25.11.2016

Received 25.11.2016