

**О. М. Хотяїнцева<sup>1,\*</sup>, О. Р. Трофименко<sup>1,2</sup>, В. М. Хотяїнцев<sup>3</sup>, А. В. Носовський<sup>1,2</sup>,  
С. Е. Шоломіцький<sup>2</sup>, В. І. Гулік<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, Київ, Україна*

<sup>2</sup> *Товариство з обмеженою відповідальністю ЕНЕРГОРИСК, Київ, Україна*

<sup>3</sup> *Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна*

\*Відповідальний автор: olenakhot@gmail.com

## **РОЗРАХУНОК РАДІАЦІЙНИХ ПОЛІВ У БЕТОНІ БІОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ВВЕР-1000 ЗА ДОПОМОГОЮ МОНТЕ-КАРЛО КОДУ SERPENT**

Для розрахунку радіаційних полів у бетоні біологічного захисту ВВЕР-1000, ми розробили і застосовуємо у цій роботі методику моделювання з використанням техніки зменшення дисперсії на основі Монте-Карло коду Serpent. Розраховано радіальні, аксіальні та азимутальні залежності потоків нейтронів і гамма-променів та потужності поглинутої дози у бетоні біологічного захисту. На основі результатів розрахунків оцінено максимальні флюенси нейтронів з різними відсідками по енергії і максимальну поглинуту дозу в біологічному захисті ВВЕР-1000 за 60 і 80 років експлуатації реактора, та визначено області з найбільшим радіаційним навантаженням. Отримані результати добре узгоджуються з наявними у літературі даними щодо ВВЕР-1000 та інших реакторів типу PWR. Показано, що флюенс нейтронів з енергією вище 0,1 MeV зменшується вдвічі на глибині 4 см бетону, а поглинута доза гамма-випромінювання зменшується на 40 % на глибині 13,5 см. Результати цього дослідження допоможуть оцінити наслідки тривалого опромінення бетону біологічного захисту ВВЕР-1000, що необхідно для достовірної оцінки ризиків, пов'язаних із продовженням термінів експлуатації атомних електростанцій.

*Ключові слова:* бетон біологічного захисту, опромінений бетон, Монте-Карло код Serpent, ВВЕР-1000.

**О. М. Khotiaintseva<sup>1,\*</sup>, О. R. Trofymenko<sup>1,2</sup>, V. M. Khotiaintsev<sup>3</sup>,  
A. V. Nosovskyi<sup>1,2</sup>, S. E. Sholomytsky<sup>2</sup>, V. I. Gulik<sup>1,2</sup>**

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

<sup>2</sup> *Limited Liability Company ENERGORISK, Kyiv, Ukraine*

<sup>3</sup> *Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

\*Corresponding author: olenakhot@gmail.com

## **CALCULATION OF RADIATION FIELDS IN THE VVER-1000 CONCRETE BIOLOGICAL SHIELD USING MONTE CARLO CODE SERPENT**

To calculate radiation fields in the concrete biological shield (CBS) of the VVER-1000 reactor in this work, we have developed and applied the Monte Carlo code Serpent simulation framework based on the variance reduction technique. We have quantified the radial, axial, and azimuthal variation of neutron and gamma-ray fluxes and the absorbed dose rate in the CBS. Using the calculation results, we estimate maximum neutron fluence and maximum absorbed dose in the VVER-1000 CBS over the period of 60 and 80 years of the reactor operation and localize the domains of highest radiation exposure. The obtained results are in good agreement with the available data on the VVER-1000 and other pressurized water reactors. We show that the fluence of neutrons with energy above 0.1 MeV decreases by half at a depth of 4 cm of concrete, and the gamma-ray absorbed dose decreases by 40 % at a depth of 13.5 cm. The outcomes from this research will help to assess the effects of prolonged irradiation of the VVER-1000 CBS, which is required for reliable risk assessment for extended operation of nuclear power plants.

*Keywords:* concrete biological shield, irradiated concrete, Monte Carlo code Serpent, VVER-1000.

### REFERENCES

1. K. Field, I. Remec, Y. Le Pape. Radiation effects in concrete for nuclear power plants – Part I: Quantification of radiation exposure and radiation effects. [Nuclear Engineering and Design 282 \(2015\) 126](#).
2. I. Remec et al. Characterization of Radiation Fields for Assessing Concrete Degradation in Biological Shields of NPPs. [EPJ Web of Conferences 153 \(2017\) 05009](#).
3. P.M. Bruck et al. Structural assessment of radiation damage in light water power reactor concrete biological shield walls. [Nuclear Engineering and Design 350 \(2019\) 9](#).
4. J. Leppänen et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. [Annals of Nuclear Energy 82 \(2015\) 142](#).
5. O. Trofymenko et al. Serpent 2 Code Validation to Determine the VVER-1000 Nuclear Fuel Neutron Multiplication Factor within Group Constant Generation for NPP In-Core Monitoring Systems. [Nuclear and Radiation Safety 2\(94\) \(2022\) 53](#). (Ukr)

6. V.I. Gulik et al. The Development of a Three-Dimensional Model of WWER-1000 Core Using the Monte Carlo Serpent Code for Neutron-Physical Modeling. [Problems of Atomic Science and Technology 5\(123\) \(2019\) 58.](#)
7. D. Sprinzl, V. Krýsl, P. Mikoláš. “Full-Core” VVER-1000 calculation benchmark. In: [The 26th Symposium of AER on VVER Reactor Physics and Reactor Safety \(Helsinki, Finland, 2016\).](#)
8. J. Leppänen et al. Development of a coupled neutron/photon transport mode in the Serpent 2 Monte Carlo Code. In: [International Conference on Mathematics & Computational Methods Applied to Nuclear Science & Engineering \(M&C 2017\) Jeju, Korea, April 16 - 20, 2017.](#)
9. J. Leppänen, T. Viitanen, O. Hyvönen. Development of a Variance Reduction Scheme in the Serpent 2 Monte Carlo Code. [International Conference on Mathematics & Computational Methods Applied to Nuclear Science & Engineering \(M&C 2017\) Jeju, Korea, April 16 - 20, 2017.](#)
10. R. Tuominen, V. Valtavirta, J. Leppänen. New energy deposition treatment in the Serpent 2 Monte Carlo transport code. [Annals of Nuclear Energy 129 \(2019\) 224.](#)
11. O. Khotiaintseva et al. Photon Transport Simulation by Serpent Code: Example of Biological Shielding Calculation. [Nuclear and Radiation Safety 4\(92\) \(2021\) 40.](#) (Ukr)
12. A.M. Berezovets et al. Neutron space distribution in WWER ionization chamber channels. [Problems of Atomic Science and Technology 8 \(1987\) 74.](#)

Надійшла/Received 31.12.2022