

**В. А. Бабенко<sup>1,2,\*</sup>, В. М. Павлович<sup>1</sup>, І. А. Хомич<sup>1</sup>,  
В. І. Слісенко<sup>1</sup>, В. В. Тришин<sup>1</sup>, О. П. Волох<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, Україна*

<sup>2</sup> *Інститут теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України, Київ, Україна*

\*Відповідальний автор: [pet2@ukr.net](mailto:pet2@ukr.net)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ОПРОМІНЕННЯ ЗРАЗКІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЯДЕРНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННЯХ НА ЯДЕРНОМУ РЕАКТОРІ ВВР-М**

Аналізуються роботи, проведені на ядерному дослідницькому реакторі ВВР-М Інституту ядерних досліджень НАН України за останні п'ять років, з акцентом на питаннях ядерної безпеки та проведених дослідженнях. У 2019–2022 рр. було виконано підготовчі роботи для опромінення зразків-свідків металів корпусів енергетичних ядерних реакторів у вертикальних каналах реактора ВВР-М за замовленням НАЕК «Енергоатом». Для реалізації цього завдання було спроектовано та виготовлено вертикальні канали для опромінення зразків, а також проведено розрахункові дослідження з визначення оптимальної конфігурації активної зони, найкращого розташування каналів у ній, розподілу потоків нейтронів та необхідного часу опромінення. Дане дослідження базується на чисельному моделюванні з використанням коду MCNP-4C, у рамках якого було виконано розрахунки для оцінки потоків нейтронів, параметрів реактивності та запасів ядерної безпеки. Для кожної конфігурації було визначено критичні параметри ядерної безпеки, включаючи запас реактивності, ефективність поглинальних стрижнів, реактивність опромінених каналів і окремих паливних збірок. Аналіз підтвердив можливість реалізації запропонованої конфігурації та надав важливу інформацію для оптимізації розподілу потоків нейтронів і контролю реактивності. На початку 2022 р. всі операції на реакторі було припинено, а паливо було вилучене з активної зони та переміщене до сховищ. У зв'язку з цим виникла необхідність удосконалення обґрунтування ядерної безпеки сховища відпрацьованого ядерного палива з урахуванням фактичного розташування паливних збірок. У даній роботі розглядаються аспекти безпеки реактора і оцінюються підходи до вдосконалення обґрунтування зберігання опроміненого палива. Представлено результати серії відповідних розрахунків, які були ініційовані та наразі тривають. Поточне дослідження робить внесок у розвиток методології оцінки ядерної безпеки та є основою для подальших досліджень у цій галузі.

*Ключові слова:* дослідницький реактор ВВР-М, паливна збірка, ядерне паливо, сховище відпрацьованого ядерного палива.

**V. A. Babenko<sup>1,2,\*</sup>, V. M. Pavlovych<sup>1</sup>, I. A. Khomych<sup>1</sup>,  
V. I. Slisenko<sup>1</sup>, V. V. Tryshyn<sup>1</sup>, O. P. Volokh<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup> *Bogolyubov Institute for Theoretical Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

\*Corresponding author: [pet2@ukr.net](mailto:pet2@ukr.net)

## **SAMPLE IRRADIATION MODELING AND NUCLEAR SAFETY JUSTIFICATION AT THE WWR-M RESEARCH REACTOR**

We have analyzed the activities conducted at the WWR-M nuclear research reactor of the Institute for Nuclear Research, NAS of Ukraine, over the past five years, with a focus on nuclear safety and ongoing research efforts. In 2019–2022, preparatory work was carried out for the irradiation of surveillance specimens of nuclear power reactor vessel metals in the vertical channels of the WWR-M reactor, commissioned by the National Nuclear Energy Generating Company (NNEC) “Energoatom”. To support this effort, vertical channels for sample irradiation were designed and manufactured, and computational analyses were performed to determine the optimal core configuration, the optimal placement of channels within the core, neutron flux distributions, and the required irradiation time. The research presented here is based on computational modeling using the MCNP-4C code, with calculations performed to evaluate neutron fluxes, reactivity parameters, and nuclear safety margins. For each configuration, critical nuclear safety parameters were determined, including the reactivity margin, the control rod worth, the reactivity of the irradiated channels, and that of each fuel assembly. The analysis confirmed the feasibility of the proposed configuration and provided essential insights into optimizing neutron flux distributions and reactivity control. In early 2022, all reactor operations were halted, and the fuel was removed from the core and transferred to storage facilities. As a result, the need arose to improve the nuclear safety justification for the spent nuclear fuel storage facility, taking into account the actual arrangement of fuel assemblies. The present work examines reactor safety considerations and explores approaches to improving the justification of spent fuel storage. It also presents the results of a series of such calculations that were initiated and remain ongoing. Overall, our research contributes to current efforts in nuclear safety assessment and provides a foundation for future investigations in this field.

*Keywords:* WWR-M research reactor, fuel assembly, nuclear fuel, storage facility.

## REFERENCES

1. V.M. Makarovskiy et al. Technical safety justification of the WWR-M research reactor operation. Report No. ТОВ.02-136-15/16/17 (Kyiv, Institute for Nuclear Research of NASU, 2017) 305 p. (Ukr)
2. [Proceedings of the Scientific Conference “40 Years of Neutron Research at the WWR-M Reactor”](#), Kyiv, Ukraine, Feb. 10, 2000 (Kyiv, 2000) 57 p. (Ukr)
3. I.M. Vyshnevskiy et al. Development of nuclear technologies in the Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine. *Nucl. Phys. At. Energy* 15(2) (2014) 195. (Ukr)
4. V.I. Slisenko (Ed.). [Institute for Nuclear Research of NASU. 50 Years of Scientific Research and Achievements](#) (Kyiv: Institute for Nuclear Research of NASU, 2020) 239 p. (Ukr)
5. M.D. Varentsov et al. Change in the uniformity of neutron-doped silicon during heat treatment. *Elektronnaya Tekhnika. Ser. 6. Materialy* 2(175) (1983) 77. (Rus)
6. V.I. Borysenko, Yu.F. Piontkovskiy, V.V. Goranchuk. Model of formation of in-core neutron detector signal. *Nucl. Phys. At. Energy* 17(4) (2016) 364. (Rus)
7. E.U. Grinik et al. Analysis of nickel influence on radiation embrittlement of weld metal of WWER-1000 reactor vessels at Ukrainian NPPs. In: [Problems of Resource and Safety of Operation of Structures, Facilities and Machines](#) (Kyiv: E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU, 2009) p. 261. (Ukr)
8. I.M. Vyshnevskiy et al. [Radiation and Nuclear Technologies in the Institute for Nuclear Research of NAS of Ukraine](#) (Kyiv: Institute for Nuclear Research of NASU, 2014) 209 p. (Ukr)
9. E.U. Grinik, V.S. Karasev. Reversible reduction in the shear moduli of iron alloys during irradiation. *Sov. At. Energy* 54 (1983) 184.
10. E.U. Grinik, L.I. Tchirko, V.N. Revka. Master curve analysis methodology in view of the assessment of reactor WWER-1000 vessel integrity. *Probl. At. Sci. Technol.* 3 (2003) 79. (Rus)
11. O. Grytsenko et al. Implementation of the first stage modernization for single-row container assemblies with surveillance specimens of VVER-1000 reactor pressure vessel metal of SUNPP unit 1. *Nucl. Radiat. Safety* 3(95) (2022) 27. (Ukr)
12. S. Kotrechko, V. Revka, K. Soroka. A physically based criterion for determining the critical brittleness temperature from Charpy impact tests for PRV steels and welds. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.* 45(8) (2023) 1015.
13. V. Bukanov et al. Development of approaches to surveillance program implementation during the introduction of FA-WR fuel assemblies at VVER-1000 power units. *Nucl. Radiat. Safety* 1(101) (2024) 28. (Ukr)
14. S. Kotrechko et al. Radiation hardening and embrittlement of the base and weld metal of VVER-1000 reactor pressure vessels. *Int. J. Press. Vessels Pip.* 216 (2025) 105528.
15. J.F. Briesmeister (Ed.). [MCNP – a general Monte Carlo N-particle transport code. Version 4C.](#) Report No. LA-13709-M (Los Alamos, Los Alamos National Laboratory, 2000) 788 p.
16. P.M. Vorona, V.F. Razbudey. Calculational investigations and analysis of characteristics of research reactor WWR-M as a source of neutrons for solution of scientific and applied tasks. *Nucl. Phys. At. Energy* 11(1) (2010) 57. (Ukr)
17. V.F. Razbudey. Modeling of the neutron experiments at research reactor WWR-M in the Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine. *Nucl. Phys. At. Energy* 12(2) (2011) 198. (Rus)
18. V.F. Razbudey. Neutron spectra and fluxes in horizontal channels of research reactor WWR-M while conversion on low-enriched fuel. *Nucl. Phys. At. Energy* 13(3) (2012) 316.
19. O.G. Diakov et al. Calculation of spectrum and neutron flux density in experimental channels of WWR-M reactor. *Nucl. Phys. At. Energy* 22(3) (2021) 243.

Надійшла / Received 25.09.2025