

В. І. Борисенко*, В. В. Горанчук, Д. І. Хвалін

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, Київ, Україна

*Відповідальний автор: vborysenko@isnpp.kiev.ua

КРИТИЧНІСТЬ ПАЛИВОВМІСНИХ МАТЕРІАЛІВ В ОБ'ЄКТІ «УКРИТТЯ»

У статті представлено результати проведеного аналізу обґрунтованості спрощень і припущень, які приймаються дослідниками в моделях нейтронно-фізичних характеристик паливовмісних матеріалів (ПВМ) в об'єкті «Укриття» (ОУ). Аналіз і обґрунтування ядерної безпеки ПВМ буде одним з важливих питань під час експлуатації ОУ ще тривалий час, аж до моменту вилучення і захоронення ядерних матеріалів зруйнованого у 1986 р. енергоблока № 4 ЧАЕС. Значна кількість ядерних матеріалів в ОУ знаходяться в неконтрольованому стані, а також є маловідомою геометрія розташування їх. Тому застосування традиційних методів аналізу ядерної безпеки для визначення умов досягнення критичності в об'ємі ПВМ може призводити до значних невизначеностей, залежно від припущень і спрощень, прийнятих у моделях ПВМ. На відміну від традиційних ядерних установок з проектними характеристиками і системами контролю, в ОУ відсутня можливість детерміновано впливати на ПВМ, а відповідно і визначати їхні динамічні характеристики. У таких умовах необхідно відповідально ставитися до отримання і інтерпретації результатів контролю параметрів ПВМ системами контролю ОУ. Так наприклад, у 1990 р. один з детекторів нейтронного потоку протягом ~100 год фіксував аномальну зміну в швидкості лічення нейтронних імпульсів. Цю подію часто називають «нейтронним інцидентом», і вона лягла в основу ряду моделей, в яких припускається можливість досягнення критичності в одному із скупчень ПВМ. У статті представлено результати дослідження щодо фізичної можливості аномальної події 1990 р., а також представлено результати аналізу спрощень і припущень у моделях критичності ПВМ. Важливим результатом проведеного дослідження є обґрунтування необхідності включення в моделі критичності ПВМ ефектів реактивності за температурою палива і води, а також враховувати нейтрони, що запізнюються.

Ключові слова: паливовмісні матеріали, об'єкт «Укриття», ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів, реактивність, ефекти реактивності, нейтронний інцидент, нейтрони, що запізнюються.

V. I. Borysenko*, V. V. Goranchuk, D. I. Khvalin

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: vborysenko@isnpp.kiev.ua

CRITICALITY OF FUEL-CONTAINING MATERIALS IN THE “SHELTER” OBJECT

The article presents the results of the analysis of the validity of simplifications and assumptions accepted by researchers in the models of neutron-physical characteristics of fuel-containing materials (FCM) in the “Shelter” object (SO). The analysis and substantiation of the FCM nuclear safety will be one of the important issues during the SO operation for a long time, until the moment of retrieval and disposal of nuclear materials from the ChNPP Unit 4 destroyed in 1986. A significant number of nuclear materials in the SO are uncontrolled, and the geometry of their location is also little known. Therefore, the use of traditional methods of nuclear safety analysis to determine the conditions for reaching criticality in the volume of FCM can lead to significant uncertainties, depending on the assumptions and simplifications made in FCM models. In contrast to traditional nuclear facilities with design characteristics and control systems, there is no possibility to deterministically influence the FCM, and accordingly to determine their dynamic characteristics in the SO. In such conditions, it is necessary to take a responsible approach to obtain and interpret the values of FCM parameters by control systems of the SO. For example, in 1990, one of the neutron flux detectors recorded an abnormal change in the neutron pulse count rate for about 100 hours. This event is often called a “neutron incident”, and it formed the basis of some models, in which the possibility of reaching criticality in one of the FCM clusters is assumed. The article presents the results of the study on the physical possibility of the anomalous event in 1990, as well as the results of the analysis of simplifications and assumptions made in models of FCM criticality. An important result of the conducted research is the justification of the need to include in the FCM criticality model the effects of reactivity on fuel and water temperature, as well as to take into account delayed neutrons.

Keywords: fuel-containing materials, “Shelter” object, effective neutron multiplication factor, reactivity, reactivity effects, neutron incident, delayed neutrons.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. В.А. Бабенко, В.Н. Павлович. Изучение возможности возникновения, развития и свойств самоподдерживающейся цепной ядерной реакции в топливосодержащих массах объекта «Укрытие». [Ядерна](#)

- фізика та енергетика 18(3) (2017) 254. / V.A. Babenko, V.N. Pavlovych. Study of ignition possibility, development and properties of self-sustaining nuclear chain reaction in the fuel-containing masses of the object “Ukrytya”. *Nucl. Phys. At. Energy* 18(3) (2017) 254. (Rus)
2. В.А. Бабенко, В.Н. Павлович. Изучение свойств самоподдерживающейся цепной ядерной реакции в топливосодержащих массах объекта «Укрытие» в случае переменной скорости поступления воды. *Ядерна фізика та енергетика* 19(1) (2018) 21. / V.A. Babenko, V.N. Pavlovych. Study of the properties of self-sustaining nuclear chain reaction in the fuel-containing masses of the “Ukrytya” object for the case of varying velocity of water inflow. *Nucl. Phys. At. Energy* 19(1) (2018) 21. (Rus)
 3. В.А. Бабенко, В.Н. Павлович. Про можливість самопідтримної ланцюгової реакції поділу в об’єкті «Укриття» на теперішній час. *Ядерна фізика та енергетика* 24(3) (2023) 239. / V.M. Pavlovych, V.A. Babenko. On the possibility of the self-sustaining nuclear chain reaction inside the “Shelter” object at the present time. *Nucl. Phys. At. Energy* 24(3) (2023) 239. (Ukr)
 4. Е.Д. Высотский, Р.Л. Годун. Нейтронная активность скоплений лавообразных топливосодержащих материалов на 4-м блоке ЧАЭС. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля* 25 (2015) 108. / E.D. Vysotsky, R.L. Godun. Neutron activity of lava-like clusters of fuel-containing materials on the fourth Chernobyl unit. *Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl* 25 (2015) 108. (Rus)
 5. В.А. Бабенко и др. Моделирование массовых и геометрических параметров скопления топливосодержащих материалов в юго-восточной части помещения 305/2 разрушенного 4-го блока ЧАЭС. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля* 9 (2008) 36. / V.A. Babenko et al. Modelling of mass and geometrical parameters of a aggregation of fuel containing materials in the southeast part of a premise 305/2 destroyed 4-th unit Chernobyl NPP. *Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl* 9 (2008) 36. (Rus)
 6. Отчет по этапу 1 договора № 19-М ОС/95 от 07.07.95 «Состояние ядерной, радиационной и экологической безопасности объекта «Укрытие» (Москва: «Курчатовский институт», 1995) 232 с. / Report on the 1st stage of the contract No. 19-M OS/95 dated 07.07.95 “The state of nuclear, radiation and environmental safety of the facility “Shelter” (Moskva: “Kurchatov Institute”, 1995) 232 p. (Rus)
 7. Р.В. Арутюнян и др. Ядерное топливо в объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС (Москва: Наука, 2010) 241 с. / R.V. Arutyunyan et al. Nuclear Fuel in the “Shelter” Object of the Chernobyl NPP (Moskva: Nauka, 2010) 241 p. (Rus)
 8. А.А. Боровой, Е.П. Велихов. *Опыт Чернобыля (работы на объекте «Укрытие»)*. Ч. 1 (Москва: «Курчатовский институт», 2012) 168 с. / A.A. Borovoi, E.P. Velikhov. *The Experience of Chernobyl (Work at the “Shelter” Object)*. Part 1 (Moskva: “Kurchatov Institute”, 2012) 168 p. (Rus)
 9. Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации: Отчет МНТЦ «Укрытие». Арх. № 3836 (Чернобыль, 2001) 337 с. / Analysis of the current safety of the “Shelter” object and predictive assessments of the development of the situation: Report of the ISTC “Shelter”. Archival No. 3836 (Chornobyl, 2001) 337 p. (Rus)
 10. *Объект «Укрытие» – 10 лет. Основные результаты научных исследований* (Чернобыль: МНТЦ «Укрытие», 1996) 188 с. / “Shelter” Object – 10 years. Main Results of Scientific Research (Chornobyl: ISTC “Shelter”, 1996) 188 p. (Rus)
 11. А.А. Ключников и др. *Объект «Укрытие» 1986 - 2011. На пути к преобразованию* (Чернобыль: Институт проблем безопасности АЭС, 2011) 288 с. / A.A. Klyuchnikov et al. “Shelter” Object: 1986 - 2011. On the Way to Transformation (Chornobyl: Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, 2011) 288 p. (Rus)
 12. А.А. Ключников и др. *Объект «Укрытие» 1986 - 2006* (Чернобыль: Институт проблем безопасности АЭС, 2006) 168 с. / A.A. Klyuchnikov et al. “Shelter” Object: 1986 - 2006 (Chornobyl: Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, 2006) 168 p. (Rus)
 13. А.М. Березовец и др. О пространственном распределении нейтронов в каналах ионизационных камер реакторов типа ВВЭР. Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика и техника атомных реакторов» 8 (1987) 74. / A.M. Berezovets et al. Neutron space distribution in VVER ionization chamber channels. Problems of Atomic Science and Technology. Series “Physics and Technology of Nuclear Reactors” 8 (1987) 74. (Rus)
 14. Е.Д. Высотский и др. Нейтронно-физические характеристики ядерно опасных скоплений топливосодержащих материалов. *Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля* 12 (2009) 93. / E.D. Vysotsky et al. Neutron-physical characteristics of nuclear dangerous accumulations of fuel contained materials. *Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chornobyl* 12 (2009) 93. (Rus)
 15. O.V. Mykhailov et al. Features of neutron flux density and gamma-radiation exposure dose rate dynamics in ChNPP Shelter object after the new safe confinement commissioning. *Nuclear Power and the Environment* 2(27) (2023) 44.
 16. В.І. Борисенко. Коментар до статті: В. І. Скалозубов, І. Л. Козлов, Ю. О. Комаров, О. О. Чулкін, О. І. Пюнтковський. Аналіз ядерної безпеки при диверсифікації паливних збірок Westinghouse на ВВЕР-1000. *Ядерна фізика та енергетика* 21(2) (2020) 210. / V.I. Borysenko. Comment on the article: V. I. Skalozubov, I. L. Kozlov, Yu. A. Komarov, O. A. Chulkin, O. I. Piontkovskyi. Analysis of nuclear safety in diversification of Westinghouse fuel assemblies at WVER-1000. *Nucl. Phys. At. Energy* 21(2) (2020) 210. (Ukr)
 17. В.І. Борисенко. Что необходимо определять: период или реактивность реактора? *Проблеми безпеки*

- атомних електростанцій і Чорнобиля 13 (2010) 8. / V.I. Borysenko. That is it necessary: to determine period or reactivity of reactor? [Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chernobyl 13 \(2010\) 8.](#) (Rus)
18. В.И. Борисенко, В.В. Горанчук. Определение консервативных параметров модели реактора для исследования переходных режимов работы ВВЭР-1000. [Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля 20 \(2013\) 28.](#) / V.I. Borysenko, V.V. Goranchuk. Determination of conservative parameters of model of reactor for research of transient of VVER-1000. [Problems of Nuclear Power Plants' Safety and of Chernobyl 20 \(2013\) 28.](#) (Rus)

Надійшла / Received 20.01.2024