

М. І. Павлюченко, В. О. Краснов

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

КОРОТКИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРЮВАННЯ ЩІЛЬНОСТІ ПОТОКУ НЕЙТРОНІВ І ПОТУЖНОСТІ ЕКСПОЗИЦІЙНОЇ ДОЗИ У СВЕРДЛОВИНІ Ю.12.78 ОБ'ЄКТА «УКРИТТЯ»

Викладено короткий аналіз динаміки параметрів щільності потоку нейтронів і потужності експозиційної дози у свердловині Ю.12.78 об'єкта «Укриття» після встановлення нового безпечного конфайнмента у проектне положення, розглянуто кореляцію вказаних параметрів та можливість ініціації самопідтримуючої ланцюгової реакції ділення.

Ключові слова: щільність потоку нейтронів, ядерно-небезпечні скупчення, система контролю ядерної безпеки, коефіцієнт кореляції, паливовмісні матеріали.

Вступ

Новий безпечний конфайнмент (НБК) був установлений 27 листопада 2016 р. у проектне положення над об'єктом "Укриття", що змінило мікрокліматичні умови в комплексі "НБК-ОУ". Це, передусім, стосується змін температурно-вологісного режиму, тому що різко припинився доступ опадів через негерметичність покрівлі всередину об'єкта «Укриття». Указане може вплинути на існуючий, до встановлення НБК, стан ядерної та радіаційної безпеки об'єкта «Укриття», наприклад зменшення вологості паливовмісних матеріалів (ПВМ) приведе до росту значень щільності потоку нейтронів (ЩПН) і потужності експозиційної дози (ПЕД).

Мета роботи – на основі аналізу динаміки ЩПН і ПЕД у приміщенні 305/2 об'єкта «Укриття», в якому розташовано приблизно 60 т ядерного палива [1], дослідити, чи може підвищення ЩПН у скупченні ПВМ ініціювати самопідтримуючу ланцюгову реакцію ділення (СЛРД).

Методи вимірювань

Контроль ядерної безпеки в об'єкті «Укриття» виконує система контролю ядерної безпеки (СКЯБ), яка входить у розподілену інформаційну систему ІАСК (інтегрована автоматична система контролю) і працює в безперервному автоматичному режимі та вимірює ЩПН і ПЕД гамма-випромінювання у свердловинах, які пройдені в ядерно-небезпечні скупчення ПВМ. Система експлуатується цехом теплових автоматичних вимірювань ДСП «Чорнобильська АЕС».

Датчики ЩПН і ПЕД системи СКЯБ розташовані в 19 свердловинах. Система реєструє дату, час і величину вказаних параметрів щохвилини (проводячи серію вимірювань параметрів каналами через 1 с), при цьому також (за 1 хв проводиться 60 вимірювань) фіксується дисперсія їхнього середнього [2].

Для аналізу кореляції використано дані вимірювання системою СКЯБ ЩПН і ПЕД у свердловині Ю.12.78, датчики каналів ЩПН і ПЕД установлено у приміщенні 305/2, будівельні координати їхньої установки наведено в табл. 1.

Загальна кількість ядерного палива у приміщенні 305/2 оцінюється в ~ 60 т: 52,4 т (завал) + 1,7 т (пароскидні клапани) + 5,7 т (тепловиділяючі збірки) + 0,13 т («сосулька») [1].

Таблиця 1

№ каналу СКЯБ	Вимірюваний параметр	Глибина установки датчика, м (± 25 мм)	Координати установки датчика (± 50 мм)		
			позначка, м	ряд	вісь
001 (NFD)	ЩПН, н/(см ² ·с)	11,05	+12,000	И ₊₁₇₅₀	46 ₊₂₈₅₀
001(GDR)	ПЕД, Р/год	10,65	+12,000	И ₊₁₄₀₀	46 ₊₂₈₅₀

Результати вимірювань

Аналізу піддавалися середньомісячні значення вказаних величин, що одержані в період з 31.03.16 по 30.06.18 (табл. 2) [3]. За вказаним у табл. 2 часовим рядом динаміки ЩПН та ПЕД побу-

© М. І. Павлюченко, В. О. Краснов, 2018

довано графіки їхньої динаміки (рис. 1) та визначено коефіцієнт кореляції між указаними параметрами [4, 5].

Таблиця 2

Дата	ЩПН, н/(см ² ·с)			ПЕД, Р/год		
	середнє	дисперсія	стандартне відхилення	середнє	дисперсія	стандартне відхилення
31.03.2016	392	1,69	1,3	322	0,06	0,25
30.04.2016	389	2,35	1,53	321	0,06	0,25
31.05.2016	383	16,57	4,07	320	0,15	0,38
30.06.2016	379	2,57	1,6	320	0,07	0,26
31.07.2016	376	5,37	2,32	319	0,28	0,53
31.08.2016	377	2,79	1,67	319	0,05	0,22
30.09.2016	388	39,94	6,32	319	0,26	0,51
31.10.2016	384	39,81	6,31	318	0,88	0,94
30.11.2016	385	18,26	4,27	318	0,13	0,36
31.12.2016	394	2,21	1,49	318	0,18	0,42
31.01.2017	404	33,65	5,8	319	0,26	0,51
28.02.2017	416	4,58	2,14	319	0,13	0,36
31.03.2017	409	9,71	3,12	318	0,18	0,42
30.04.2017	408	6,83	2,61	317	0,03	0,16
31.05.2017	415	7,08	2,66	317	0,04	0,2
30.06.2017	421	3,68	1,92	317	0,01	0,11
31.07.2017	427	8,21	2,86	317	0,01	0,07
31.08.2017	437	17,11	4,14	317	0,01	0,12
30.09.2017	456	51,18	7,15	318	0,13	0,36
31.10.2017	483	46,21	6,8	320	0,10	0,32
30.11.2017	499	10	3,16	321	0,04	0,19
31.12.2017	510	8,8	2,97	321	0,02	0,15
31.01.2018	517	7,83	2,8	321	0,01	0,1
28.02.2018	522	12,09	3,48	320	0,03	0,16
31.03.2018	527	4,3	2,07	320	0,00	0,02
30.04.2018	530	1,66	1,29	320	0,00	0,03
31.05.2018	530	1,5	1,23	320	0,09	0,31
30.06.2018	526	13,82	3,72	319	0,05	0,22
Середнє		13,56	3,24		0,12	0,28

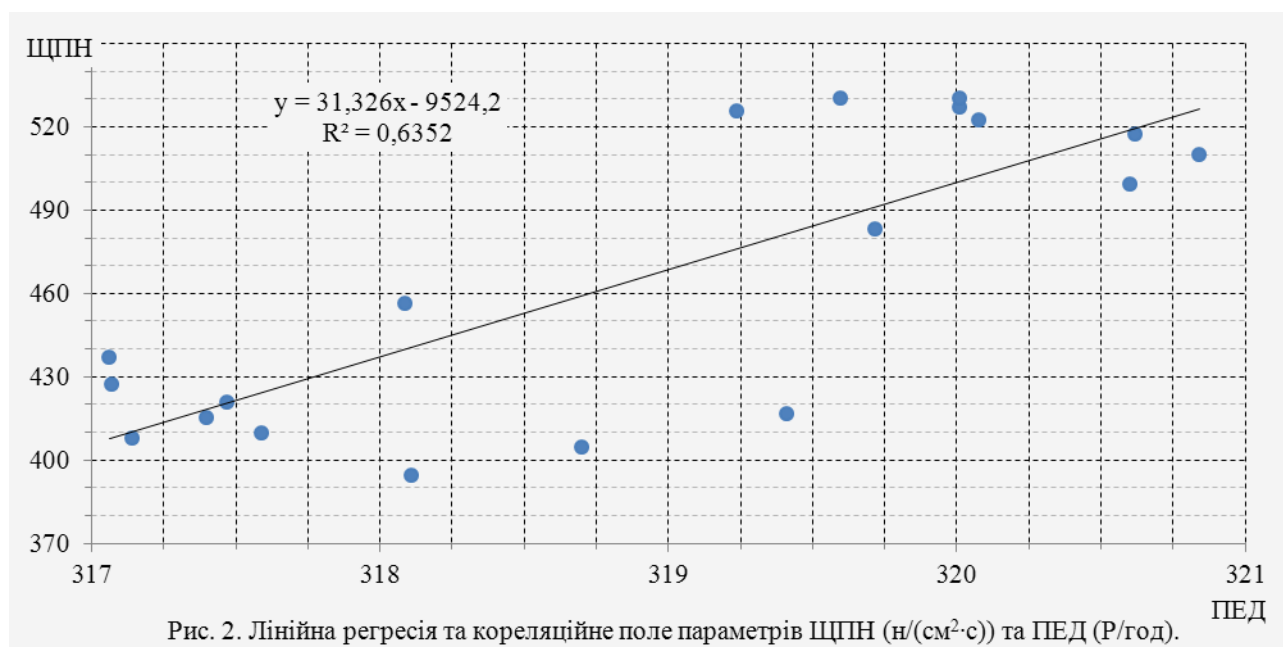
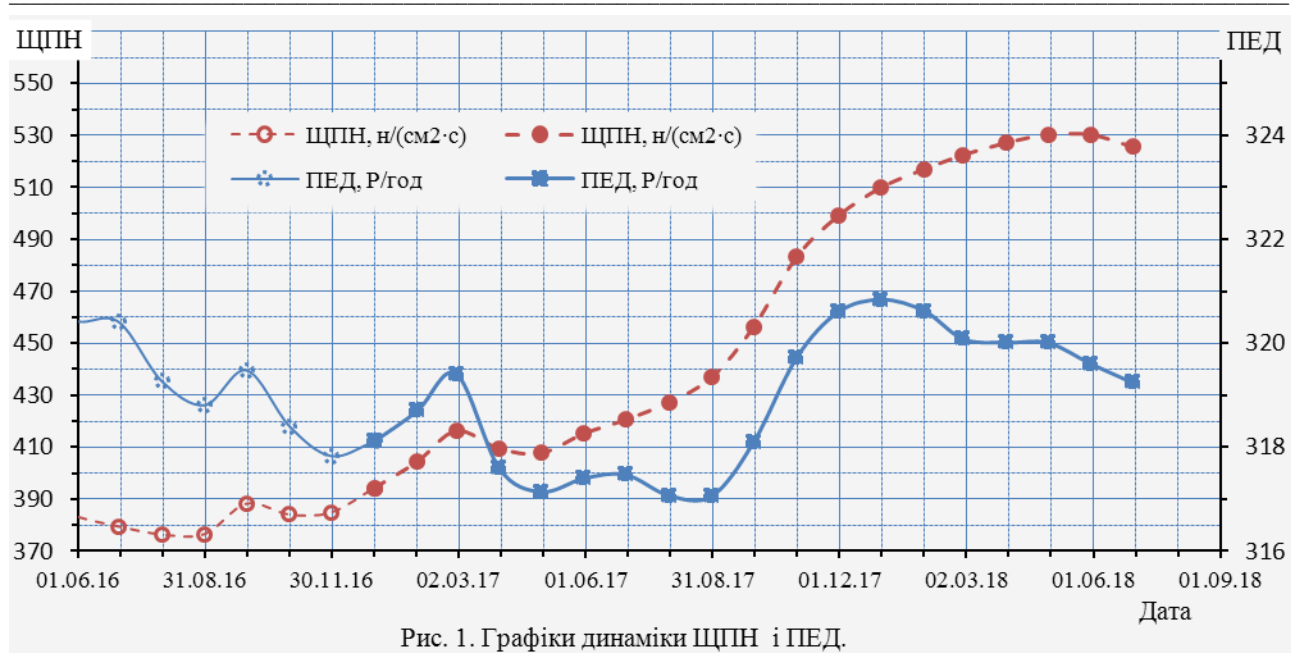
На рис. 1 показано графіки динаміки ЩПН і ПЕД, особливістю яких є спеціально вибраний вертикальний масштаб з урахуванням дисперсії їхнього середнього (1 мм = m_1 , де m_1 – стандартне відхилення) [6], що забезпечило чітке уявлення (візуалізацію) про парну кореляцію параметрів.

Коефіцієнт парної кореляції визначено за період від грудня 2016 р. по червень (включно) 2018 р., його числове значення становить 0,79, що за шкалою Чеддока відповідає сильному зв'язку між величинами. Слід зазначити, що НБК установлено у проектне положення в листопаді 2016 р. і, відповідно, з цього часу припинився доступ опадів в об'єкт «Укриття» через його негерметичність.

На рис. 2 наведено лінійну регресію за реальними статистичними даними та кореляційне поле або поле розсіювання (хмара розсіювання), це дає змогу висунути гіпотезу про можливий аналітичний зв'язок факторів.

Оскільки вибірка відібрана з двомірної генеральної сукупності випадково, то не можна зробити висновок, що коефіцієнт кореляції генеральної сукупності (r) також відмінний від нуля. Виникає необхідність при певному рівні значущості α перевірити нульову гіпотезу $H_0 = \{r = 0\}$ про рівність нулю генерального коефіцієнта кореляції при конкуруючій гіпотезі $H_1 = \{r \neq 0\}$.

Розраховане емпіричне значення критерію для вибірки об'ємом $n = 19$ і вибіркового коефіцієнта кореляції $r_e = 0,79$ становить $T_{емп} = 5,25$, а критична точка по таблиці критичних точок розподілу Стьюдента при вибраному рівню значущості $\alpha = 0,01$ і числу ступенів свободи $k = 17$ становить $t_{кр}(0,01; 17) = 2,8982$. Таким чином, $|T_{емп}| > t_{кр}$, нульова гіпотеза відкидається і вибіркового коефіцієнта кореляції значущо відрізняється від нуля, а ЩПН і ПЕД корельовані, тобто пов'язані лінійною залежністю. Навіть якщо підвищити рівень значущості до $\alpha = 0,001$ ($t_{кр}\{0,001; 17\} = 3,9651$), зв'язок між величинами вважається істотним.



Обговорення результатів

Досліджуючи часові ряди значень параметрів ЩПН і ПЕД (див. рис. 1) після установки НБК у проектне положення (листопад 2016 р.), починаючи з грудня 2016 р., можна відзначити, що величини параметрів корельовано незначно коливалися (зростали, зменшувалися), а з серпня 2017 р. темпи й величини росту збільшилися і ріст їх продовжився до грудня 2017 р. Після грудня почалося спадання градієнта ЩПН, а ПЕД навіть зменшилася, при цьому за цей період величина ЩПН збільшилася від мінімального значення на ~35 %, а величина ПЕД на ~1 %, середнє квадратичне (стандартне) відхилення від середнього ЩПН коливалося від 1,23 до 7,15 н/(см²·с) при середньому 3,23 (н/см²·с), а ПЕД від 0,0003 до 0,26 Р/год при середньому 0,07 Р/год.

Після установки НБК у проектне положення доступ опадів в об'єкт «Укриття» припинився й вологість ПВМ почала зменшуватися, це і призвело до росту значень параметрів ПЕД і ЩПН. Вода екранує фотонне випромінювання та потоки нейтронів, при чому екранування фотонів значно менше, що й пояснює незначне їхнє підвищення у процентному відношенні. Незначне зростання ПЕД у порівнянні із ЩПН свідчить про відсутність ініціювання нейтронами додаткового поділу ядер на час вимірювання.

Чи може підвищення ЩПН у ПВМ ініціювати СЛРД? Якщо так, то при яких умовах і значеннях ЩПН?

ПВМ вміщують ядерно-небезпечні потоки, тобто містять нукліди, при наявності яких може виникнути СЛРД. Величина критичної маси залежить від фізичної природи речовини (метал, оксид, солі), наявності в системі з речовинами, що діляться, відбивачів, уповільнювачів і поглиначів нейтронів, геометричних параметрів (форми та розмірів). Отже, основними критичними параметрами є об'єм, маса, геометрія, концентрація, наявність поглиначів нейтронів. Щоб система (скупчення ПВМ) була безпечною, достатньо одного критичного параметра, який би не перевищував критичного значення [7].

На даний час точна інформація про основні критичні параметри скупчень ПВМ майже відсутня і потребує подальших досліджень, тому прогноз виникнення СЛРД при збільшенні ЩПН за рахунок втрати води в скупченнях ПВМ не є коректним.

Висновки

1. Підвищення ЩПН на $\sim 35\%$ або на $\sim 122 \text{ н}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ пов'язане із поступовим зниженням відносної вологості у приміщеннях об'єкта «Укриття» на позначці +12,5 (і нижче), починаючи із серпня 2017 р., до 50 - 60 % у лютому 2018 р., а зменшення ЩПН у червні 2018 р. з поступовим її збільшенням, починаючи із квітня 2018 р., до 90 - 95 % у червні 2018 р. [8, 9], тому дане скупчення ПВМ можна вважати ядерно-безпечним на даний час.

2. При аналізі часових рядів динаміки ЩПН необхідно враховувати динаміку ПЕД та аналізувати темпи (градієнт) зростання величин ПЕД, оскільки вимушені ядерні реакції супроводжуються зростанням фотонного випромінювання значно більшим, ніж при зменшенні вологості ПВМ.

3. При побудові графіків (для наочності) ЩПН і ПЕД треба користуватися принципом вибору вертикального масштабу: $1 \text{ мм} = m_1$, де m_1 – стандартне відхилення або середнє квадратичне відхилення.

4. Основні критичні параметри скупчень ПВМ потребують подальших досліджень, що дасть змогу ввести більш точну інформацію у програми по моделюванню виникнення СЛРД у скупченнях ПВМ об'єкта «Укриття».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Боровой А. А.* Подпаратное помещение 305/2 4-го блока Чернобыльской АЭС: его состояние, оценка количества топлива / А. А. Боровой, А. С. Лагуненко, Э. М. Пазухин. – Чернобыль, 1997. – 12 с. – (Препр. / НАН Украины. Межотрасл. науч. центр «Укрытие»; 97-7).
2. *ИАСК СКЯБ.* Описание системы. SIP05-3-008-01. Идентификационный № IAMS-NSMS-GS-3101-R. 2005.
3. *Результати вимірювань ЩПН і ПЕД у свердловині Ю.12.78 каналами № 001 (NFD), № 001(GDR) системою СКЯБ.*
4. *Большев Л. Н.* Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М. : Наука, 1983.
5. *Гмурман В. Е.* Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов [4-е изд., доп.] / В. Е. Гмурман. – М. : Высш. шк., 1972. – 308 с.
6. *Инструкция по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка) / М-во геологии СССР. – Л. : Недра, 1981. – 263 с.*
7. *Критические параметры систем с делящимися веществами и ядерная безопасность: справочник / Б. Г. Дубовский, А. В. Камаев, Ф. М. Кузнецов и др. – М. : Атомиздат, 1966. – 226 с.*
8. *Оценка изменения динамики испарения-конденсации влаги в ОУ под НБК, поведения ТСМ в изменившихся условиях, и оценка изменения пылеобразования: (Отчет, заключительный, договор № 374/17) / ИПБ АЭС НАН Украины. ГР № 0117U002963. – Чернобыль, 2017. – 183 с.*
9. *Научно-техническое сопровождение на этапах введения в эксплуатацию и эксплуатации НБК-ОУ (аспекты ядерной и радиационной безопасности) : (Отчет, промежуточный, этап 1, договор № 377/18) / ИПБ АЭС НАН Украины. ГР № 0118U001405. – Чернобыль, 2018. – 139 с.*

Н. И. Павлюченко, В. А. Краснов

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

КОРОТКИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ІЗМЕРЕНІЙ ПЛОТНОСТІ ПОТОКА НЕЙТРОНІВ І МОЩНОСТІ ЕКСПОЗИЦІОННОЇ ДОЗИ В СКВАЖИНІ Ю.12.78 ОБ'ЄКТА "УКРИТТЯ"

Ізложено короткий аналіз динаміки параметрів щільності потоку нейтронів і потужності експозиційної дози в скважині Ю. 12.78 об'єкта "Укриття" після установа нового безпечного конфайнмента в

проектное положение, рассмотрена корреляция указанных параметров и возможность инициации самоподдерживающейся цепной реакция деления.

Ключевые слова: плотность потока нейтронов, ядерно-опасные скопления, система контроля ядерной безопасности, коэффициент корреляции, топливосодержащие материалы.

M. I. Pavliuchenko, V. A. Krasnov

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine

BRIEF ANALYSIS OF RESULTS OF MEASURED NEUTRON FLUX DENSITY AND GAMMA DOSE RATE IN BOREHOLE IO.12.78 OF "UKRYTTYA" OBJECT

After New Safe Confinement (NSC) was installed in its designed position above the "Ukryttya" (UO) object, microclimatic conditions in "NSC-UO" complex has changed. It, foremost, relates to the changes in temperature and humidity mode due to the fact that precipitation ingress through a roof inside UO was ceased. It can influence the existing nuclear and radiation hazard for UO conditions, for example, humidity drop in fuel-containing materials (FCM) would bring to a growth in neutron flux density (NFD) and in exposure dose rate (EDR). A brief analysis of NFD and EDR parameter dynamics is presented. The parameters were measured in the borehole IO. 12.78 of UO object after the NSC was installed in its designed position. The NSC was set in its designed position in November 2016, and a slight growth in NFD and EDR parameters began at the beginning of 2017 year. Correlation of NFD and EDR parameters in borehole was studied and their correlation factor was identified. Its value made 0,79, which corresponds to a strong relation between the values (parameters). A method to build NFD and GDR graphs (for illustrative proposes) is offered, in which the next principle of vertical scale choice is used: $1 \text{ mm} = m_1$, where m_1 is a standard deviation of values. It was stated that the increase in NFD and EDR values is provided by FCM humidity reduction, and it was determined that the controllable FCM cluster is now considered as a nuclear safe one; and basic critical parameters of FCM clusters require the further researches, which would enable entering more precise information in the programs for modeling of self-sustained chain reaction occurrence in FCM clusters of "Ukryttya" object.

Keywords: neutron flux density, nuclearly hazardous clusters, nuclear safety monitoring system, correlation factor, fuel-containing materials.

REFERENCE

1. *Borovoy A. A.* Under-reactor room of the Unit 4 of Chernobyl NPP: Its state, Fuel Quantity Evaluation / A. A. Borovoy, A. S. Lagunencko, E. M. Pazukhin. - Chernobyl, 1997. - 12 p. - (Prepr. NAS of Ukraine. Interdisciplinary Scientific and Technical Center "Shelter; 97-7). (Rus)
2. *NSMS System description.* SIP05 - 3-008-01. Identification Number NSMS - GS - 3101 - R. 2005.
3. *Results of measuring of neutron flux density and of gamma dose rate in mining hole of Number IO. 12.78 by channels № 001 (NFD), № 001(GDR) by the system of NSMS.* (Ukr)
4. *Bolshev L. N.* Tables of mathematical statistics / L. N. Bolshev, N. V. Smirnov. – Moskva : Science, 1983. (Rus)
5. *Gmurman V. E.* Theory of chances and mathematical statistics : Publ. 4th, complemented. Studies. manual for the institutes of higher / V. E. Gmurmanю. – Moskva : Higher school, 1972. - 308 p. (Rus)
6. *Instruction on magnetic survey (surface magnetic survey, airborne magnetics, hydromagnetic survey) / Dep-t of geology of the USSR.* – Leningrad : Nedra, 1981. - 263 p. (Rus)
7. *Critical parameters of the systems with the fissile materials and of nuclear safety: reference Book / B. G. Dubovskiy, A. V. Kamaev, F. M. Kuzneszov et al.* - Moskva : Atomizdat, 1966. - 226 p. (Rus)
8. *Estimation of changes in evaporation-condensation dynamics of moisture in the SO under the NSC, behavior of FCM under changed conditions, and assessment of the change in dust generation :* (Report, final, agreement No. 374/17) / Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine. SR No. 0117U002963. - Chernobyl, 2017. – P. 183. (Rus)
9. *Scientific and technical support during the stages of NSC-SO commissioning and operation (aspects of nuclear and radiation safety) :* (Report, interim, stage 1, agreement No. 377/18) / Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, National Academy of Sciences of Ukraine. SR No. 0118U001405. - Chernobyl, 2018. – P.139. (Rus)

Надійшла 13.08.2018

Received 13.08.2018