

В. К. Шинкаренко, В. О. Кашпур, Г. Г. Скоряк, О. А. Свирид

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

## Новий безпечний конфайнмент і радіоактивні аерозолі в ближній зоні Чорнобильської атомної електростанції

### Ключові слова:

об'єкт «Укриття»,  
Новий безпечний конфайнмент,  
об'ємна активність повітря,  
гарячі частинки,  
авторадіографія.

Наведено дані про стан забруднення радіоактивними аерозолями приземного шару атмосфери ближньої зони Чорнобильської атомної електростанції після спорудження арки нового безпечного конфайнмента (НБК). Незважаючи на досить високу питому активність повітря під накриттям НБК внаслідок проведення робіт під ним, на прилеглий території спостерігається зменшення рівня забруднення приземного шару повітря не лише порівняно з рівнем під час будівництва арки, а й з рівнем, що передував початку будівництва. На повітряних фільтрах, що були експоновані під аркою НБК, спостерігається зменшення частки крупних гарячих частинок, що пояснюється особливостями розташування пробовідбірника.

### Вступ

Відомо, що створення об'єкта «Укриття» повністю не ліквідувало проблему викидів радіоактивних матеріалів у навколишнє середовище [1–3]. Будівництво нового безпечного конфайнмента (НБК) є одним з основних етапів перетворення 4-го енергоблока Чорнобильської атомної електростанції (ЧАЕС) на екологічно безпечну систему, покликану забезпечити безпеку персоналу, населення та навколишнього середовища [4]. У ході будівництва під час виконання комплексу робіт на промисловому майданчику та на прилеглий до об'єкта «Укриття» території відбувалося розпорошення раніше накопичених радіоактивних матеріалів з утворенням радіоактивних аерозолів. Наявність таких антропогенних джерел радіоактивного аерозолі змінної інтенсивності і тривалості в поєднанні з мінливістю метеорологічних умов істотно впливали на радіоаерозольну ситуацію поблизу об'єкта «Укриття» [5–7]. Основний елемент НБК – об'єкт «Арка» – було встановлено в кінці 2016 р., але сам об'єкт ще не зданий в експлуатацію, зокрема не проведена повна його герметизація. Необхідно відзначити, що крім завдання ізоляції 4-го енергоблока від навколишнього середовища, будівництво НБК повинно

дати змогу безпечно проводити роботи з залишками блока, при цьому проектом допускаються досить високі рівні об'ємної активності радіоактивних аерозолів всередині НБК – до 210 Бк/м<sup>3</sup> за загальною бета-активністю [8].

Метою роботи є дослідження динаміки аерозольної ситуації в ближній зоні ЧАЕС в умовах НБК протягом 2017 р.

### Матеріали та методика експерименту

Відповідно до програми контролю радіаційного забруднення приземного шару атмосфери поблизу об'єкта «Укриття» протягом року в безперервному режимі працювали чотири фільтровентиляційні установки (ФВУ): ФВУ-1 «Ventmeca» – розташована на схід від санпропускника СП-1430 приблизно за 500 м від південно-західного кута машинного залу; ФВУ-2 «Тайфун» – знаходиться на відстані 1,4 км, біля адміністративного корпусу об'єкта «Укриття»; ФВУ-3 «Град-1.8», яка була розміщена безпосередньо біля південної стіни машинного залу. Після монтажу об'єкта «Арка» ця ФВУ виявилась всередині НБК, де і продовжує працювати. ФВУ-4 – «Град-1.0» розташована з північної сторони 4-го блока (рис. 1).

© В. К. Шинкаренко, В. О. Кашпур, Г. Г. Скоряк, О. А. Свирид, 2019

Таблиця 1. Основні технічні характеристики ФВУ

Характеристики ФВУ	ФВУ-1 «Ventmeca»	ФВУ-2 «Тайфун»	ФВУ-3 «Град-1.8»	ФВУ-4 «Град-1.0»
Широта місцезнаходження	51°23'13.0"	51°23'39.9"	51°23'17.9"	51°23'26.8"
Довгота місцезнаходження	30°05'31.4"	30°04'50.8"	30°05'52.4"	30°06'09.2"
Висота відбирання проби, м	1,0	2,5	1,8	1,0
Продуктивність, м <sup>3</sup> /год	300	4500	450	450
Площа фільтра, м <sup>2</sup>	0,36	0,78	0,56	0,56

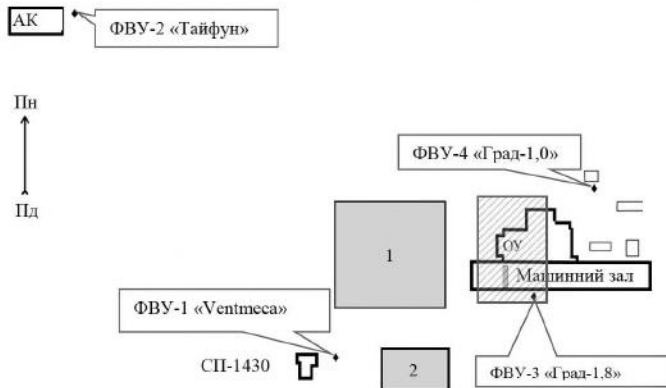


Рис. 1. Схема розташування ФВУ в ближній зоні об'єкта «Укриття»:

- – орієнтовне положення об'єкта «Арка» (НБК-2);
- – основний (1) та допоміжний (2) промислові майданчики

Основні характеристики ФВУ наведено в табл. 1. Матеріал повітряних фільтрів – тканина Петрянова ФПП-15-1,5. Періодичність зміни фільтрів 7 діб.

Вимірювання активності  $^{137}\text{Cs}$  на повітряних фільтрах проводили за допомогою напівпровідникового гамма-спектрометра.

Одержання та обробку авторадіограм фрагментів фільтрів проводили відповідно до методик, описаних в [9, 10] з використанням медичної рентгеновської плівки фірми Carastream.

### Результати та їх обговорення

Динаміка питомої активності повітря у приземному шарі атмосфери поблизу об'єкта «Укриття» представлена на рис. 2. (ФВУ-3 («Град-1.8») з 01.03 по 15.05.2017 р. не працювала у зв'язку з проведенням робіт безпосередньо біля ФВУ та її ремонтом.) Необхідно зазначити, що на ФВУ, розташованих поза межами НБК, спостерігається суттєве зниження об'ємної активності  $^{137}\text{Cs}$  у порівнянні з роками до будівництва НБК і особливо в період будівництва самого НБК (рис. 3).

У той же час активність  $^{137}\text{Cs}$  в повітрі під накриттям НБК внаслідок виконання робіт з демонтажу радіоактивно забруднених об'єктів залишалась досить високою. Матрицю кореляцій між об'ємними активностями  $^{137}\text{Cs}$  в приземному шарі повітря поблизу ФВУ 1–4 наведено в табл. 2. Спостерігаються незначні, але статистично достовірні кореляції між об'ємними активностями для ФВУ, розташованих поза межами НБК (ФВУ-1, -2, -4). Водночас достовірні кореляції між об'ємними активностями всередині (ФВУ-3) і зовні НБК відсутні. Це свідчить про відсутність суттєвого впливу виносу радіоактивного аерозолі з-під об'єкта «Арка» на об'ємну активність аерозолі в інших пунктах спостережень.

Зауважимо, що в період будівництва спостерігались достовірні кореляції між об'ємними активностями поблизу ФВУ-3 та розташованими неподалік ФВУ-1 і ФВУ-4. Це свідчило про перекриття аерозольними хмарами, що виникли під час проведення демонтажу фрагментів машинного залу, місць розташування цих ФВУ [7].

Авторадіограми, наведені на рис. 4, ілюструють відмінності картини аерозольного забруднення всередині і зовні НБК. Авторадіограма зліва містить велику кількість плям, обумовлених гарячими частинками (ГЧ). Для порівняння взято авторадіограму повітряного фільтра ФВУ-1 «Ventmeca» від 18–25.07.2017 р., оскільки авторадіограма від 20–26.09.2017 р. виявилася неінформативною, тобто практично чистою внаслідок малої об'ємної активності  $^{137}\text{Cs}$  поблизу ФВУ-1 у цей час.

Результати визначень числа ГЧ, сумарної бета-активності досліджених фрагментів, мінімальні і максимальні значення активності виявлених ГЧ представлено в табл. 3. Зауважимо, що мінімальні значення активності ГЧ, які виявлено на фільтрі, відповідають обмеженням авторадіографічного методу визначення за таких умов, а аж ніяк не відсутністю



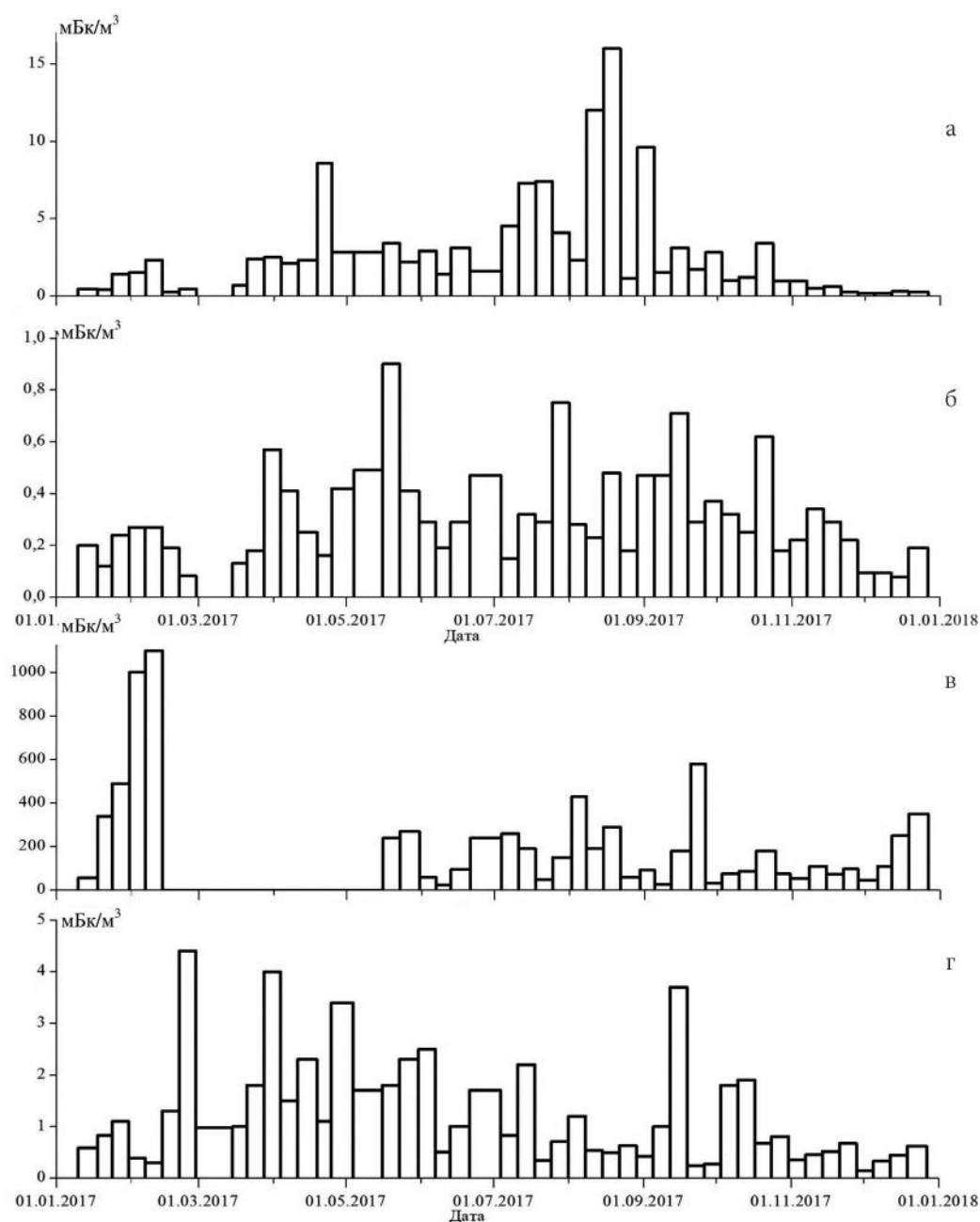


Рис. 2. Динаміка об'ємної активності  $^{137}\text{Cs}$  у приземному шарі повітря поблизу об'єкта «Укриття»: а – ФВУ-1 «Ventmesa»; б – ФВУ-2 «Тайфун»; в – ФВУ-3 «Град-1.8»; г – ФВУ-4 «Град-1.0»

Таблиця 2. Коефіцієнти парних кореляцій об'ємних активностей аерозолів  $^{137}\text{Cs}$  у місцях розташування ФВУ

	ФВУ-1	ФВУ-2	ФВУ-3	ФВУ-4
ФВУ-1	1	<b>0,36</b>	0,01	-0,07
ФВУ-2	<b>0,36</b>	1	0,00	<b>0,37</b>
ФВУ-3	0,01	0,00	1	-0,16
ФВУ-4	-0,07	<b>0,37</b>	-0,16	1

Примітка. Жирним шрифтом виділено коефіцієнти з рівнем достовірності  $p > 0,95$ .

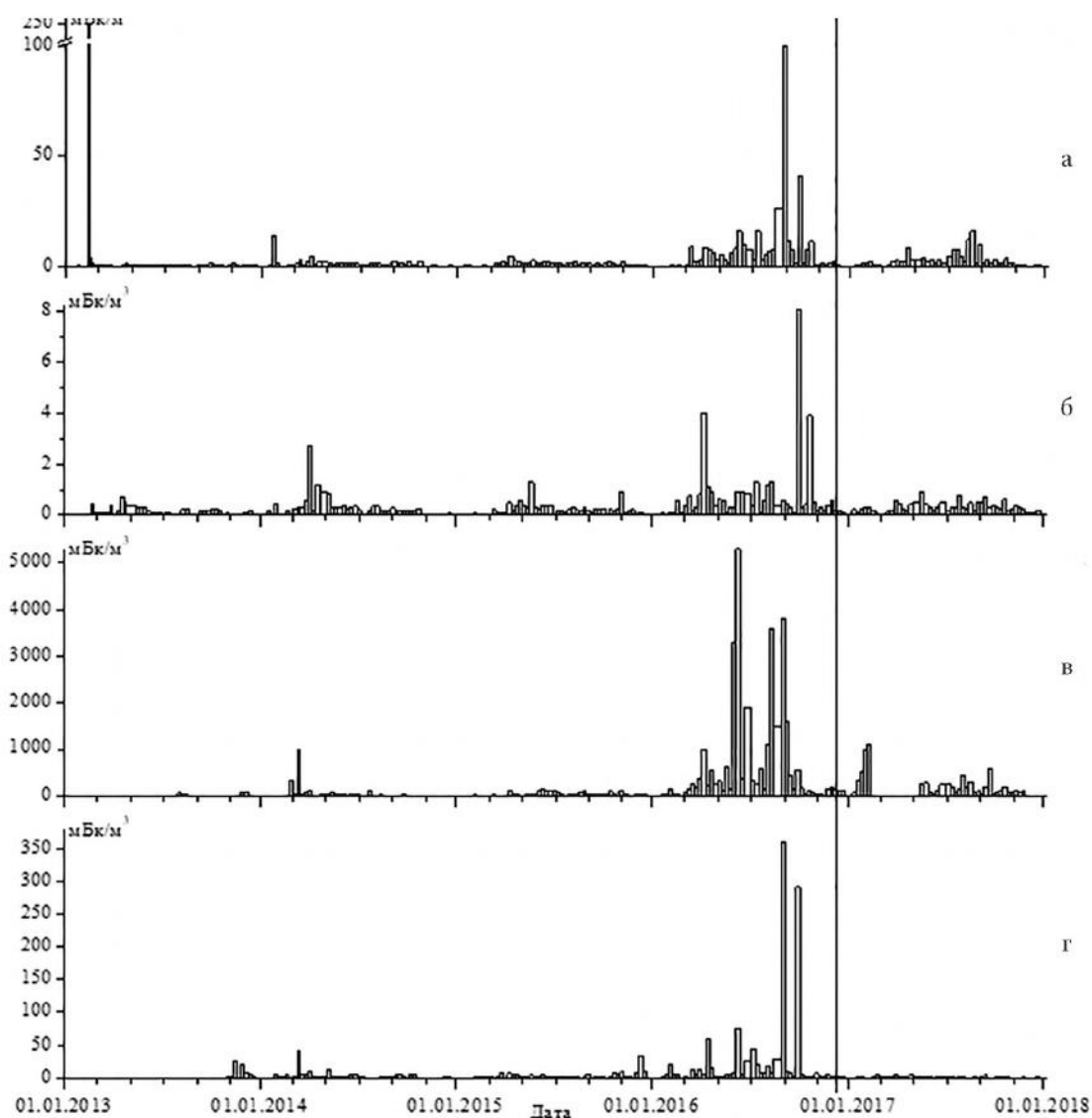


Рис. 3. Динаміка об'ємної активності  $^{137}\text{Cs}$  у приземному шарі повітря поблизу об'єкта «Укриття»: а – ФВУ-1 «Ventmesa»; б – ФВУ-2 «Тайфун»; в – ФВУ-3 «Град-1.8»; г – ФВУ-4 «Град-1.0». Вертикальною лінією відмічено час насування об'єкта «Арка»

Таблиця 3. Результати досліджень ГЧ на фрагментах фільтрів

Установка	Дата експозиції	Прокачаний об'єм повітря, м <sup>3</sup>	Активність $^{137}\text{Cs}$ на фільтрі, Бк	Знайдена бета-активність на фрагменті, Бк	Активність частинки, Бк		Число ГЧ на фрагменті
					max	min	
ФВУ-3	24–31.01.2017	40723	$2,00 \cdot 10^4$	$3,57 \cdot 10^3$	21,4	0,304	3725
	31.01–7.02.2017	40382	$4,04 \cdot 10^4$	$4,63 \cdot 10^3$	36,5	0,201	6450
	07–14.02.2017	6000	$6,60 \cdot 10^3$	949	41	0,034	4770
	02–08.08.2017	30836	$1,33 \cdot 10^4$	979	6,81	0,24	2284
	20–26.09.2017	9000	$5,31 \cdot 10^3$	723	4,44	0,034	3770
ФВУ-4	21–28.02.2017	40966	$1,80 \cdot 10^2$	75	1,85	0,10	470
ФВУ-1	18–25.07.2018	60390	$4,47 \cdot 10^2$	173	18,5	0,10	789

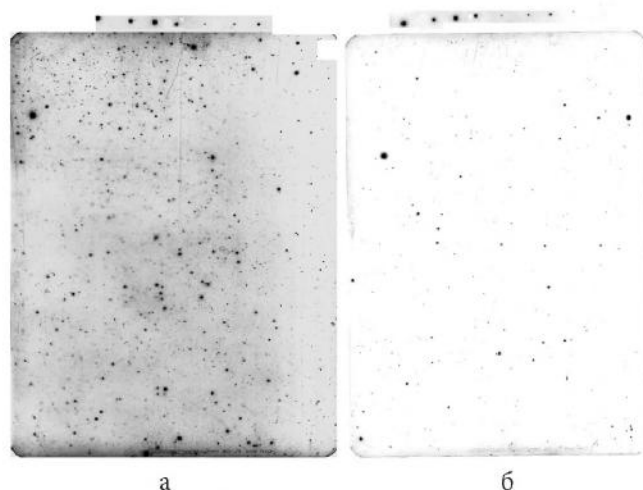


Рис. 4. Авторадіограми фрагментів повітряних фільтрів: а – ФВУ-3 «Град-1,8» від 20–26.09.2017 р.; б – ФВУ-1 «Ventmeca» від 18–25.07.2017 р. Вгорі – авторадіограми лінійки частинок з відомою активністю

ГЧ з меншими активностями. Бачимо, що мінімальні виявлені активності для фільтрів, експонованих всередині об'єкта «Арка», відповідають випадкам з мінімальними прокачаними об'ємами повітря. Це вказує на перевантаження фільтра ГЧ.

Одержані розподіли за логарифмом активності числа частинок та сумарної активності ГЧ на інтервалі наведено на рис. 5. Для зручності замість логарифмів активності наведені значення активностей, що відповідають цим інтервалам, в верхній частині наведено значення мінімально можливих діаметрів<sup>1</sup> ГЧ. Зліва гістограми обмежені мінімальними активностями, що їх може виявити метод авторадіографії за таких умов. Для фрагмента (а) межа визначення зміщена в сторону більш активних часток. На фільтрі, що був експонований на тій же установці протягом меншого часу (б), спостерігаються ГЧ з суттєво меншими активностями.

## Висновки

1. Після встановлення арки НБК у проектне положення в ближній зоні об'єкта «Укриття» спостерігається зменшення рівня забруднення приземного шару повітря, незважаючи на те, що внаслідок

1. Авторадіографічні дослідження дозволяють оцінити сумарну бета-активність окремих ГЧ. Знаючи середню питому активність опроміненого палива, можна знайти мінімальний аеродинамічний діаметр паливної частки з даною бета-активністю. Гаряча частинка з такою ж активністю, але іншого ізотопного складу (з меншою питомою активністю) матиме відповідно більший аеродинамічний діаметр. Аналогічне збільшення аеродинамічного діаметра відбудеться в разі об'єднання паливної частки з неактивною пиловою часткою з утворенням великої частинки-наїзника.

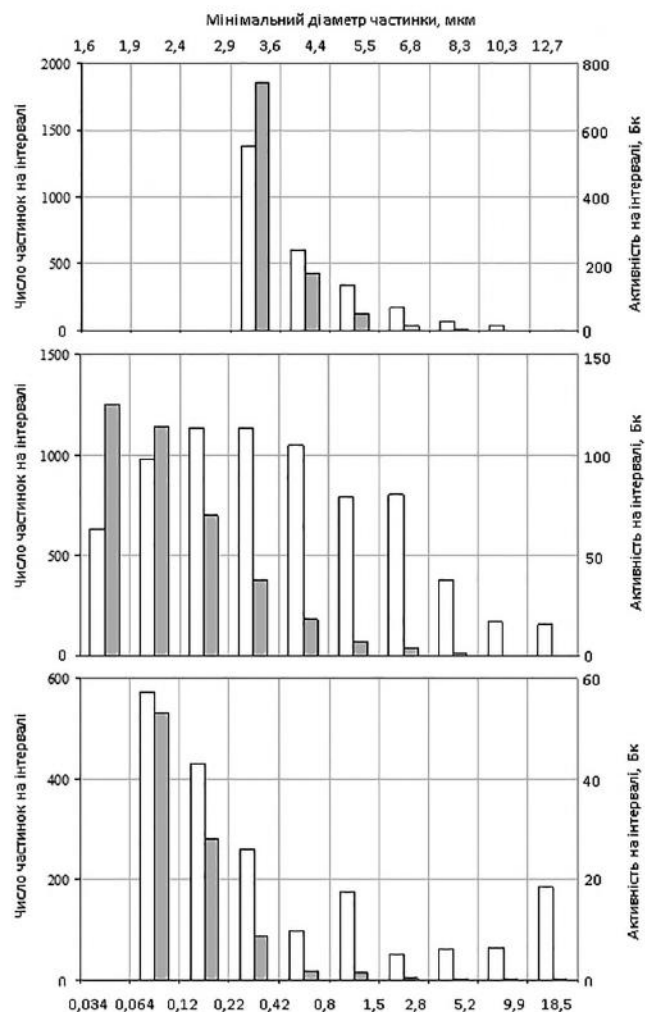


Рис. 5. Розподіл числа частинок та їхньої сумарної активності за інтервалами логарифма активності:   
 □ – активність, ■ – число частинок;   
 а – ФВУ-3, 02–08.08.2017 р.,  $V = 30836 \text{ м}^3$ ; б – ФВУ-3, 20–26.09.2017 р.,  $V = 9000 \text{ м}^3$ ; в – ФВУ-1, 28–25.07.2017 р.,  $V = 60390 \text{ м}^3$

проведення монтажних робіт питома активність повітря під накриттям НБК залишається досить високою.

2. Відсутність кореляцій між об'ємними активностями <sup>137</sup>Cs у повітрі всередині (ФВУ-3) і зовні НБК свідчить про відсутність суттєвого впливу виносу радіоактивного аерозолу з-під об'єкта «Арка» на об'ємну активність аерозолу в інших пунктах спостережень.



3. Розташований в ізольованій частині простору під аркою НБК (між південною стіною машинного залу і стіною самої арки) пробовідбірник Град-1,8 дає дещо спотворену картину розподілу ГЧ за активністю, що виражається у відсутності великих високоактивних частинок, що, імовірно, випадають поблизу місць проведення робіт під аркою раніше, ніж встигають перелетіти стіну машинного залу.

4. Для одержання об'єктивної картини розподілу ГЧ в просторі під аркою НБК необхідно встановити хоча б один додатковий пробовідбірник в районі центральної частини під аркою. З огляду на досить високі активності радіоактивних аерозолів бажано зменшити час експозиції повітряних фільтрів.

5. Для з'ясування питання про дійсні аеродинамічні діаметри ГЧ необхідні вимірювання за допомогою імпактора.

### Список використаної літератури

1. Гаргер Е. К. Физико-химические характеристики аэрозоля 30-километровой зоны ЧАЭС в 1986–2013 гг. / Е. К. Гаргер, В. О. Кашпур, Г. Г. Скоряк, В. К. Шинкаренко // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2014. – Вып. 23. – С. 54–65.
2. Огородников Б. И. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986–2006 гг. : монография / Б. И. Огородников, Э. М. Пазухин, А. А. Ключников. – Чернобыль : ИПБ АЭС НАН Украины, 2008. – 456 с.
3. Огородников Б. И. Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие» (обзор). Ч. 2.2: Концентрации радиоактивных аэрозолей на промплощадке объекта «Укрытие» / Б. И. Огородников, Н. И. Павлюченко, Э. М. Пазухин – Чернобыль, 2004. – 44 с. – (Препринт / НАН Украины, МНТЦ «Укрытие»; 04-1).
4. Закон України «Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чернобыльської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблока цієї АЕС на екологічно безпечну систему» від 11.12.1998 р. № 309-XIV // Відомості Верховної Ради України. – 1999. – № 4. – С. 33.
5. Шинкаренко В. К. Результаты исследований аэрозольных фильтров, экспонированных до, во время и после разрушения крыши машинного зала 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС / В. К. Шинкаренко, В. О. Кашпур, Г. Г. Скоряк // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2014. – Вып. 23. – С. 45–53.
6. Шинкаренко В. К. Оценка аэрозольной радиационной обстановки на промплощадке ЧАЭС во время проведения работ по строительству НБК / В. К. Шинкаренко, В. О. Кашпур, Г. Г. Скоряк, А. К. Калиновский // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2016. – Вып. 27. – С. 58–66.
7. Garger E. K. Assessment of aerosol radiation environment in short-range region of ChNPP during building of the new safe confinement // E. K. Garger, V. K. Shynkarenko, V. A. Kashpur, G. G. Skorjak, A. K. Kalinovsky. – 2017. – No. 29. – pp. 78–84.
8. Документ з безпеки в рамках концепції проекту ПК-1 НБК / SIP-N-LI-22-A500\_CDS-001-01. Revision 1-Appendix. – 2008. – 63 с.
9. Шинкаренко В. К. К определению активности «горячих» частиц радиографическим методом / В. К. Шинкаренко // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2008. – Вып. 9. – С. 130–139.
10. Шинкаренко В. К. К вопросу о погрешностях определения  $\beta$ -активности горячих частиц методом автордиографии / В. К. Шинкаренко // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. – 2018. – Вып. 30. – С. 109–118. – doi.org/10.31717/1813-3584.18.30.13.

**В. К. Шинкаренко, В. А. Кашпур, Г. Г. Скоряк, А. А. Свирид**

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

### **Новый безопасный конфайнмент и радиоактивные аэрозоли в ближней зоне Чернобыльской атомной электростанции**

Приведены данные о состоянии загрязнения радиоактивными аэрозолями приземного слоя атмосферы ближней зоны Чернобыльской атомной электростанции после сооружения арки нового безопасного конфайнмента (НБК). Несмотря на достаточно высокую удельную активность воздуха под навесом НБК в результате проведения работ под ним, на прилегающей территории наблюдается уменьшение уровня загрязнения приземного слоя воздуха не только по сравнению с уровнем при строительстве арки, но и с уровнем, предшествовавшим началу строительства.

На воздушных фильтрах, экспонированных под аркой НБК, наблюдается уменьшение доли крупных горячих частиц, что объясняется особенностями расположения установленного здесь пробоотборника.

*Ключевые слова:* объект «Укрытие», новый безопасный конфайнмент, объемная активность воздуха, горячие частицы, автордиография.



**V. K. Shynkarenko, V. A. Kashpur, G. G. Skorjak, A. A. Svirid**

*Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants,  
NAS of Ukraine, Lysogirska str., 12, Kyiv, 03028, Ukraine*

**New Safe Confinement and Radioactive Aerosols in Short-Range Region of Chernobyl Nuclear Power Plant**

The construction of a new safe confinement (NSC) is one of the main stages in transforming the 4th power unit of the Chernobyl Nuclear Power Plant into an environmentally safe system designed to ensure safety of personnel, public and environment. Additionally to the task of isolating the 4th power unit from the environment, the construction of the NSC should enable safe work with residues of the 4th unit, while the project allows quite high levels of volumetric activity of radioactive aerosols inside the NSC – up to 210 Bq/m<sup>3</sup> in total beta activity. The purpose of this work is to study the dynamics of the aerosol situation in the near zone of the Chernobyl NPP under the influence of the NSC during 2017.

The sampling of the aerosol was carried out by filtering air through filters from Petryanov tissue, the exposure time was 7 days.

The data on the contamination by radioactive aerosols of the atmosphere surface layer in the near zone of the Chernobyl NPP after constructing the Arch of the new safe confinement are represented. Despite the relatively high air activity there the roof of the NSC, caused by work made under, the decrease of the surface air layer pollution on the adjacent territory comparable not only to the pollution level during the Arch construction, but also comparable to the level before the start of constructing, is observed. There are statistically significant correlations between the <sup>137</sup>Cs volume activities in the air near samplers located outside the NSC observed, while there are no significant correlations between the volume activities inside and outside the NSC. This indicates the absence of a significant effect of the radioactive aerosol release from the “Arch” object on the volume activity of the aerosol at other observation points.

On air filters exposed under the NSC Arch, a decrease in the proportion of large hot particles is observed, that could be explained by the peculiarities of local sampler positioning.

**Keywords:** Shelter object, new safe confinement, volumetric air activity, hot particles, autoradiography.

**References**

1. Garger E. K., Kashpur V. A., Skorjak G. G., Shynkarenko V. K. (2014). [Physical and chemical characteristics of

the aerosol of the 30 km zone of ChNPP in 1986–2013]. *Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya* [Problems of nuclear power plants safety and of Chernobyl], vol. 23, pp. 54–64. (in Ukr.)

2. Ogorodnikov B. I., Pazukhin E. M., Kliuchnykov A. A. (2008). *Radioaktivnye aerosoli obekta “Ukrytie”: 1986–2006 gg.* [Radioactive aerosols of the Shelter object: 1986–2006]. Chernobyl: ISP NPP NAS of Ukraine, 456 p. (in Russ.)

3. Ogorodnikov B. I., Pavlyuchenko N. I., Pazukhin E. M. (2004). *Radioaktivnye aerosoli obekta “Ukrytie” (obzor).* Ch. 2.2: Kонтсentratsii radioaktivnykh aerorozoley na promploshchadke obekta “Ukrytie” [Radioactive aerosols of the Shelter object (a review). Part 2.2. Concentrations of radioactive aerosols in industrial site of the Shelter object] [Preprint]. Chernobyl: ISTC “Shelter”, 44 p. (in Russ.)

4. The Law of Ukraine “On General Principles of Further Operation and Decommissioning of Chernobyl NPP and Transformation of Ruined Fourth Power Unit of This NPP into Ecologically Safe System” of December 11, 1998, No. 309-XIV. Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, no. 4, p. 33. (in Ukr.)

5. Shynkarenko V. K., Kashpur V. A., Skorjak G. G. (2014). [Results of studies of the aerosol filters exposed before, during and after the destruction of the roof of the machine hall of Chernobyl NPP 4th block]. *Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya* [Problems of nuclear power plants safety and of Chernobyl], vol. 23, pp. 45–53. (in Russ.)

6. Shynkarenko V. K., Kashpur V. A., Skorjak G. G., Kalinovsky A. K. (2016). [Assessment of aerosol radiation situation on ChNPP industrial platform during work on building a New safe confinement]. *Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya* [Problems of nuclear power plants safety and of Chernobyl], vol. 27, pp. 58–66. (in Russ.)

7. Garger E. K., Shynkarenko V. K., Kashpur V. A., Skorjak G. G., Kalinovsky A. K. (2017). [Assessment of aerosol radiation environment in short-range region of ChNPP during building of the New safe confinement]. *Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya* [Problems of nuclear power plants safety and of Chernobyl], vol. 29, pp. 78–84.

8. *NSC CS-1 Concept Design Safety Document SIP-N-LI-22-A500\_-CDS-001-01.* Revision 1-Appendix, 2008, 63 p.

9. Shynkarenko V. K. (2008). [To definition of activity of hot particles by a radiographic method]. *Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya* [Problems of nuclear power plants safety and of Chernobyl], vol. 9, pp. 130–139. (in Russ.)

10. Shynkarenko V. K. (2018). [To problems of hot particles β-activity determination errors by the autoradiography method]. *Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya* [Problems of nuclear power plants safety and of Chernobyl], vol. 30, pp. 109–118. doi.org/10.31717/1813-3584.18.30.13. (in Russ.)

Надійшла 12.12.2018  
Received 12.12.2018