

О. В. Михайлов, А. О. Дорошенко, М. І. Павлюченко, С. А. Аттарян

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

Температура бетону навколо границь зони локалізації ядерно-небезпечних скупчень паливовмісних матеріалів в об'єкті «Укриття» Чорнобильської АЕС

Ключові слова:

Чорнобильська АЕС,
новий безпечний конфайнмент,
об'єкт «Укриття»,
паливовмісні матеріали,
температура бетону,
регресійний аналіз,
коефіцієнт кореляції

Проведено аналіз даних, отриманих за допомогою експертно-дослідної системи щодо температури бетону навколо границь зони локалізації ядерно-небезпечних скупчень паливовмісних матеріалів (ЯНС ПВМ) у приміщенні 305/2 зруйнованого 4-го енергоблока Чорнобильської АЕС. Досліджено загальні тенденції зміни температури впродовж 2017–2023 рр. Здійснено порівняння результатів аналізу з даними, отриманими за допомогою інформаційно-вимірювальної системи «Фініш» до введення в експлуатацію нового безпечного конфайнмента об'єкта «Укриття» (комплекс НБК-ОУ). Визначено тренди зміни температури для 16 точок контролю. Зроблено висновки щодо особливостей формування динаміки температури в різних напрямках розсіювання тепла від ЯНС ПВМ після введення комплексу НБК-ОУ в експлуатацію. Установлено, що навколо границь зони локалізації ЯНС ПВМ досі зберігаються градієнти температур, що забезпечують охолодження скупчень ПВМ з високим вмістом урану в приміщенні 305/2. Висунуто припущення щодо припинення подальшого сталого зростання температури бетону підреакторної плити, що спостерігалось упродовж 2017–2021 рр.

Вступ

Дані стосовно розподілу температури навколо границь зони локалізації ядерно-небезпечних скупчень паливовмісних матеріалів (ЯНС ПВМ) у приміщенні 305/2 зруйнованого 4-го енергоблока ЧАЕС [1–5] отримані в процесі виконання багаторічних наукових досліджень на об'єкті «Укриття» і належать до двох періодів моніторингу температури. Перший охоплює період часу з моменту будівництва об'єкта «Укриття» і до початку створення комплексу «Новий безпечний конфайнмент — об'єкт «Укриття» (далі — комплекс НБК-ОУ), другий — після введення комплексу НБК-ОУ в експлуатацію до теперішнього часу.

Упродовж першого періоду моніторингу (1988–2015 рр.) було створено базу даних вимірювань тем-

ператури, виконаних за допомогою інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) «Фініш», та проведено комплекс аналітичних досліджень [2–4], що дало змогу визначити основні закономірності формування динаміки температури в бетоні внаслідок розсіювання в навколишнє середовище залишкового енерговиділення відпрацьованого ядерного палива у складі ЯНС ПВМ.

Джерелом інформації, отриманої впродовж другого періоду моніторингу, є результати вимірювань температури, виконаних за допомогою експертно-дослідної системи (ЕДС), яка була створена замість виведеної з експлуатації ІВС «Фініш» [5]. Це було пов'язано з тим, що під час виконання підготовчих робіт до введення в експлуатацію комплексу НБК-ОУ датчики ІВС «Фініш» було демонтовано зі свердловин

© О. В. Михайлов, А. О. Дорошенко, М. І. Павлюченко, С. А. Аттарян, 2023

для розміщення на їхнє місце датчиків вимірювальних каналів (ВК) системи контролю ядерної безпеки (СКЯБ) інтегрованої автоматизованої системи контролю (ІАСК). Але в переліку завдань СКЯБ ІАСК контроль температури не передбачався. Поновлення контролю за температурою навколо границь ЯНС ПВМ було здійснено за допомогою ЕДС, побудованої на базі обладнання ІВС «Фініш». Датчики ЕДС було розташовано у свердловинах, які були не задіяні для встановлення блоків детектування СКЯБ ІАСК. За період роботи ЕДС була накопичена нова база даних, однак комплексного аналізу результатів вимірювань за всіма датчиками ЕДС, розташованими навколо ЯНС ПВМ, не проводилось. Деякі особливості динаміки температури в бетоні після спорудження комплексу НБК-ОУ було відмічено в роботі [5] лише для окремих точок контролю.

Метою роботи є комплексний аналіз даних, отриманих за допомогою ЕДС, і дослідження тенденцій щодо формування динаміки температури бетону навколо границь зони локалізації ЯНС ПВМ після введення в експлуатацію комплексу НБК-ОУ.

Об'єкти та методи досліджень

Джерелом інформації щодо температури навколо границь зони локалізації ЯНС ПВМ у бетоні підреакторної плити (ПП) після введення в експлуатацію комплексу НБК-ОУ була база даних вимірювань, виконаних за допомогою ЕДС. ЕДС була створена

і введена в експлуатацію під час виконання робіт з науково-технічного супроводу на етапах введення в експлуатацію та експлуатації комплексу НБК-ОУ в частині моніторингу ПВМ (2018–2023 рр.). У складі ЕДС, крім датчиків температури, є блоки детектування щільності потоку нейтронів (ЩПН) і потужності експозиційної дози (ПЕД) гамма-випромінювання. Загальну структуру ЕДС показано на рис. 1 у вигляді блок-схеми.

До набору ВК, що можуть бути підключені (до 30), ЕДС є інваріантною. Станом на 2023 р. базова кількість ВК становить 22, у тому числі: 4 ВК контролю ЩПН; 2 ВК контролю ПЕД; 16 ВК контролю температури. Координати установки датчиків температури, які сьогодні використовуються для проведення вимірювань, та схема їхнього розташування в проекції на площину висотної відмітки +9,0 м у будівельних осях будівлі 4-го енергоблока, наведено в табл. 1 і на рис. 2.

Дані вимірювань температури, отримані за допомогою ЕДС з 04.05.2017 по 07.08.2023 рр., було досліджено для визначення динаміки середньомісячного значення температури в точках контролю (див. табл. 1), проведення регресійного аналізу й побудови графічних ілюстрацій із використанням стандартних функцій програми Excel 2003. Для кожної точки контролю (датчика температури) було оцінено середньорічне значення температури, а виявлені тренди середньомісячних значень описано рівнянням регресії з оцінкою достовірності апроксимації лінійною функцією за величиною R^2 .

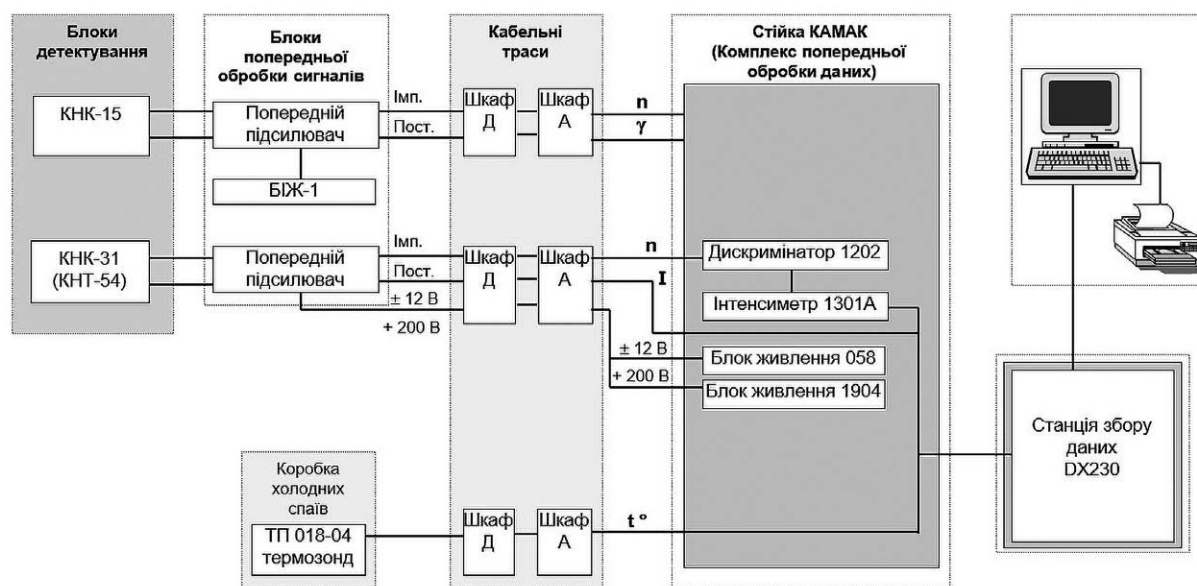


Рис. 1. Блок-схема ЕДС

Таблиця 1. Координати установки датчиків контролю температури ЕДС

№ ВК	Приміщення, що контролюється	Місце встановлення датчика температури			
		Найменування свердловини	Координата центра		
			Висотна відмітка, м	Вісь	Ряд
5	304/3	3-9-Р	+8,9	45 ₊₄₄₀₀	И ₋₂₀₀₀
6	304/3	3-9-Р	+8,9	45 ₊₅₄₀₀	И ₋₂₀₀₀
7	305/2	Ю-12-109	+13,1	46 ₊₁₁₀₀	И ₊₃₄₀₀
8	305/2	Ю-12-109	+12,9	46 ₊₁₂₀₀	И ₊₁₉₀₀
11	305/2	Ю-9-В	+8,8	45 ₊₂₇₀₀	И ₊₁₁₀₀
12	304/3	Ю-9-В	+8,8	45 ₊₂₇₀₀	И ₋₁₁₀₀
13	305/2	Ю-9-Б	+8,8	46 ₊₇₀₀	И ₊₉₀₀
14	304/3	Ю-9-Б	+8,8	46 ₊₇₀₀	И ₋₃₀₀
21	307/2	Ю-9-В	+8,8	45 ₊₂₇₀₀	К ₊₂₂₀₀
23	305/2	Ю-12-83	+12,0	46 ₊₂₈₀₀	К ₋₃₀₀₀
25	210/5, ПРК*	—	+6,5	45 ₊₃₀₀₀	И ₋₁₈₀₀
26	210/5, ПРК	—	+6,5	45 ₊₁₅₀₀	И ₋₁₈₀₀
27	210/6, ПРК	—	+6,5	46 ₊₃₁₀₀	И ₋₁₈₀₀

* Паророзподільний коридор

Результати та обговорення

Результати статистичної обробки даних, отриманих за допомогою ЕДС, дали змогу оцінити особливості динаміки середньомісячної та середньорічної температур навколо границь локалізації ЯНС ПВМ у бетоні ПП впродовж 2017–2023 рр. (рис. 3–7, табл. 2) та визначити рівняння регресії (табл. 3).

Слід зазначити, що в 2022 р. перші дані щодо температури бетону ПП було отримано лише у вересні, коли співробітники ІПБ АЕС змогли продовжити роботи в комплексі НБК-ОУ й експлуатацію обладнання ЕДС в умовах російсько-української війни. Недостатня статистика вимірювань у 2022 р. призвела до отримання занижених середньорічних значень температури в усіх точках контролю ЕДС (див. табл. 2). Дані щодо динаміки середньомісячної температури дають змогу отримати повне уявлення про характер змін у тепловому режимі бетону ПП навколо границь ЯНС ПВМ.

Динаміка середньомісячної температури в точках контролю (див. рис. 3–7) показана на фоні лінійного тренда температури, параметри якого наведено в табл. 3. Дані щодо рівнянь регресії, установлених для трьох періодів моніторингу, наведено з метою продемонструвати, наскільки суттєво змінився

тренд до сталого підвищення температури навколо ЯНС ПВМ, починаючи з 2017 р. Як видно з табл. 3, тренд до підвищення температури, який з високим ступенем достовірності (R_{21}^2) можна було апроксимувати лінійною функцією практично в усіх точках контролю, змінився на тенденцію до повільного падіння середньомісячних значень температури. Як можна переконалися з наведених на рис. 3–7 ілюстрацій динаміки температури, цей процес набув чіткого прояву після 2021 р., унаслідок чого ступінь достовірності апроксимації даних лінійною функцією почав суттєво зменшуватись ($R_{23}^2 < R_{22}^2 < R_{21}^2$). При цьому зміна тренда з поступового і сталого підвищення середньомісячної температури навколо ЯНС ПВМ на зменшення в останні роки спостерігається в усіх точках контролю. Подане твердження потребує уточнення, яке можна буде зробити за результатами дослідження даних ЕДС у наступних роках моніторингу температури.

Щодо розподілу температури в різних напрямках відносно границь ЯНС ПВМ отримані дані (див. табл. 2) свідчать про те, що найбільш висока температура бетону ПП спостерігається в безпосередній близькості від зони локалізації ЯНС ПВМ у приміщенні 305/2 (К7, К8, К13, див. рис. 4, 6). Найменші температури були в приміщеннях ПРК (К25, К26 і К27, див.

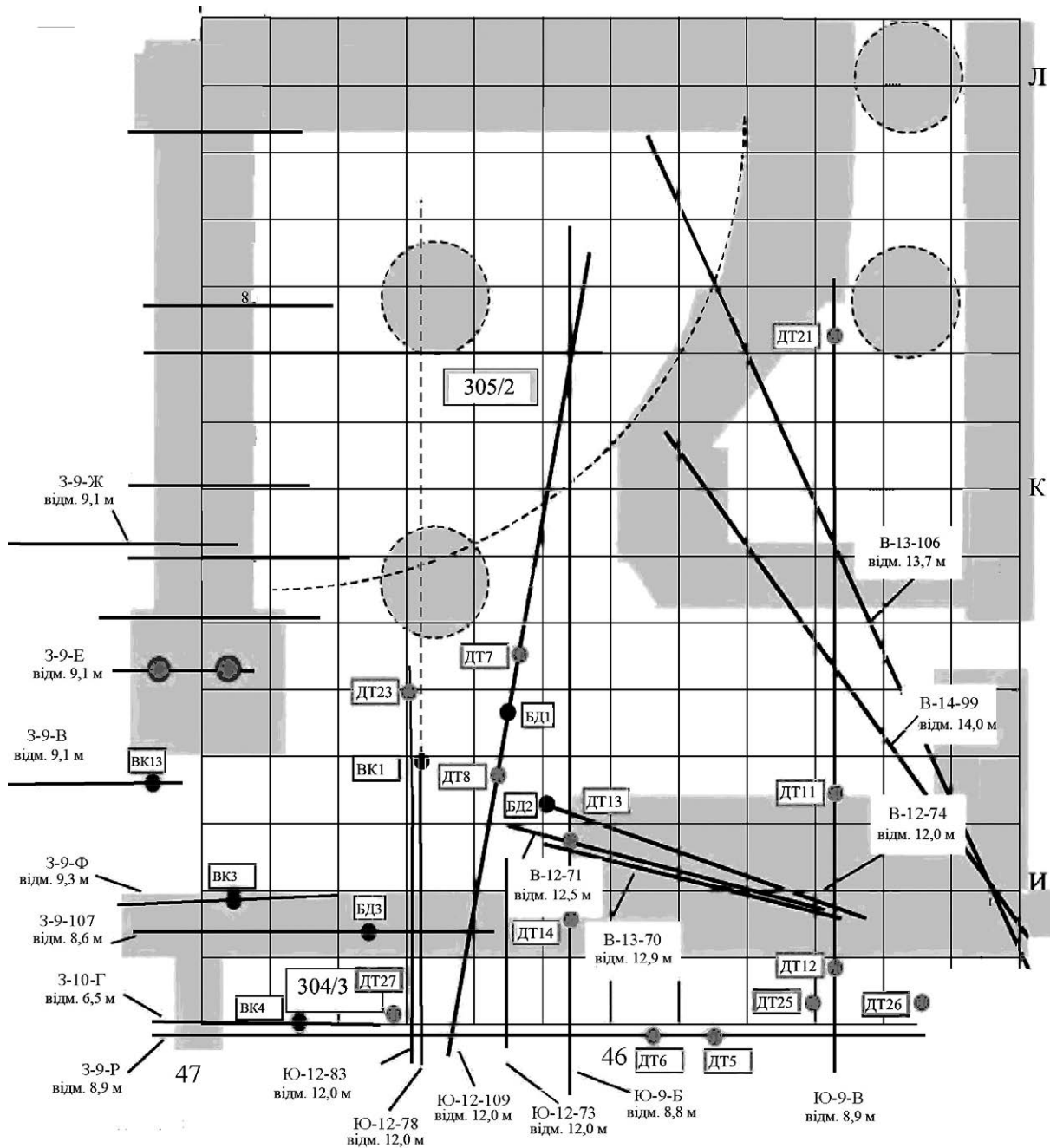


Рис. 2. Схема розташування датчиків температури (ДТ) та блоків детектування (БД) ЩПН ЕДС навколо зони локалізації ЯНС ПВМ (БК 1, 3, 4 і 13 — БД ЩПН СКЯБ ІАСК)

рис. 7) і в приміщенні 305/2 (К23, див. рис. 4). Остання точка контролю, на нашу думку, належить до деякого виключення, тому що на відстані 1,5–2,0 м у точках К7 і К8 в однаковий період часу спостерігаються найбільші за результатами вимірювань значення (див. рис. 4). Можливо, датчик температури в К23 знаходиться в іншому теплопровідному середовищі, ніж бетон ПП, або безпосередньо контактує з повітрям у шахті реактора, що призводить до результатів вимірювань

температури із суттєво меншими значеннями.

На рис. 3–7 можна бачити, що температура навколо ЯНС ПВМ має сезонні коливання, але її значення в сусідніх точках контролю змінюються синхронно в часі. Це дозволяє стверджувати про наявність у бетоні ПП стійких градієнтів температури, які за даними табл. 2 можна кількісно оцінити, а також порівняти їхні значення з тими, що спостерігались до насування арки НБК [2, 3].

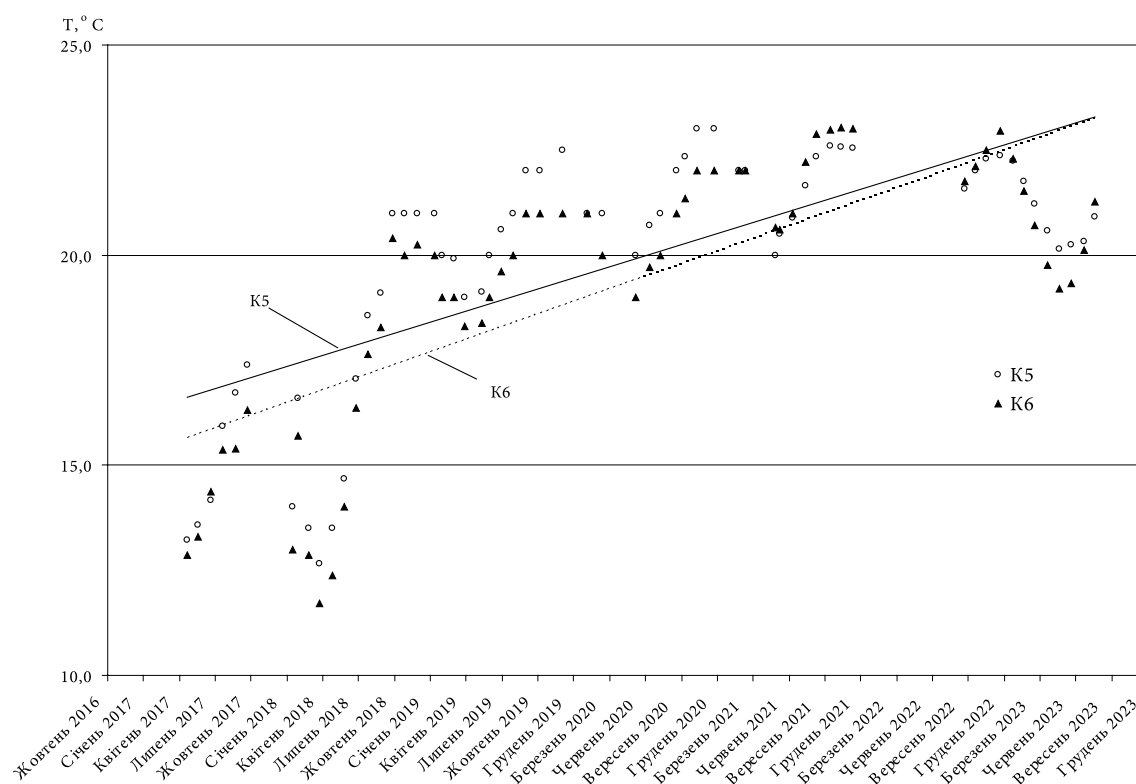


Рис. 3. Динаміка середньомісячної температури бетону ПП в точках контролю 5 і 6

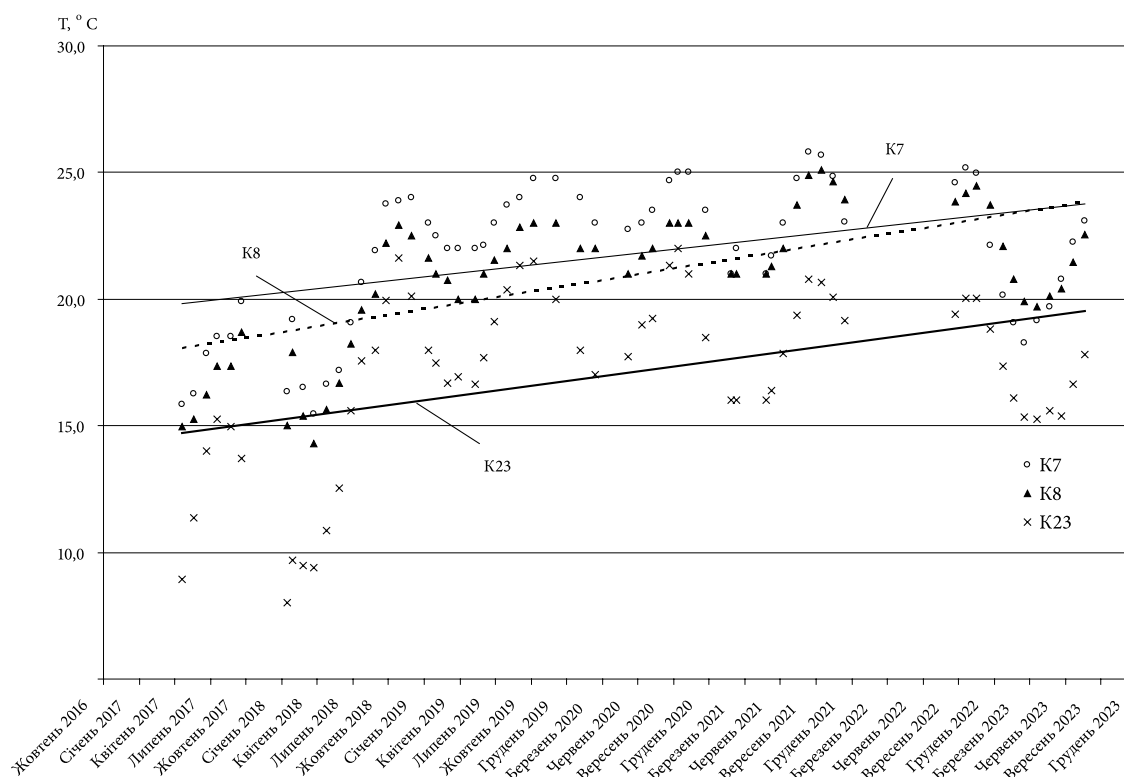


Рис. 4. Динаміка середньомісячної температури бетону ПП у точках контролю 7, 8 і 23

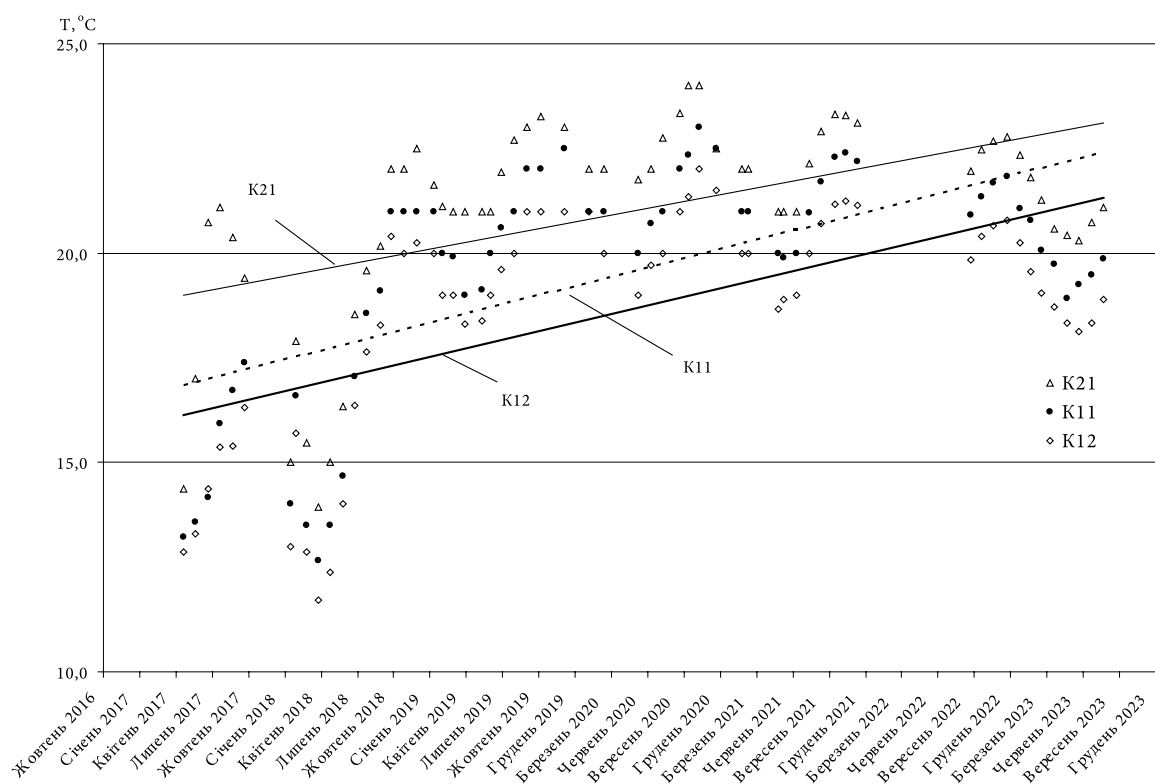


Рис. 5. Динаміка середньомісячної температури бетону ПП у точках контролю 11, 12 і 21

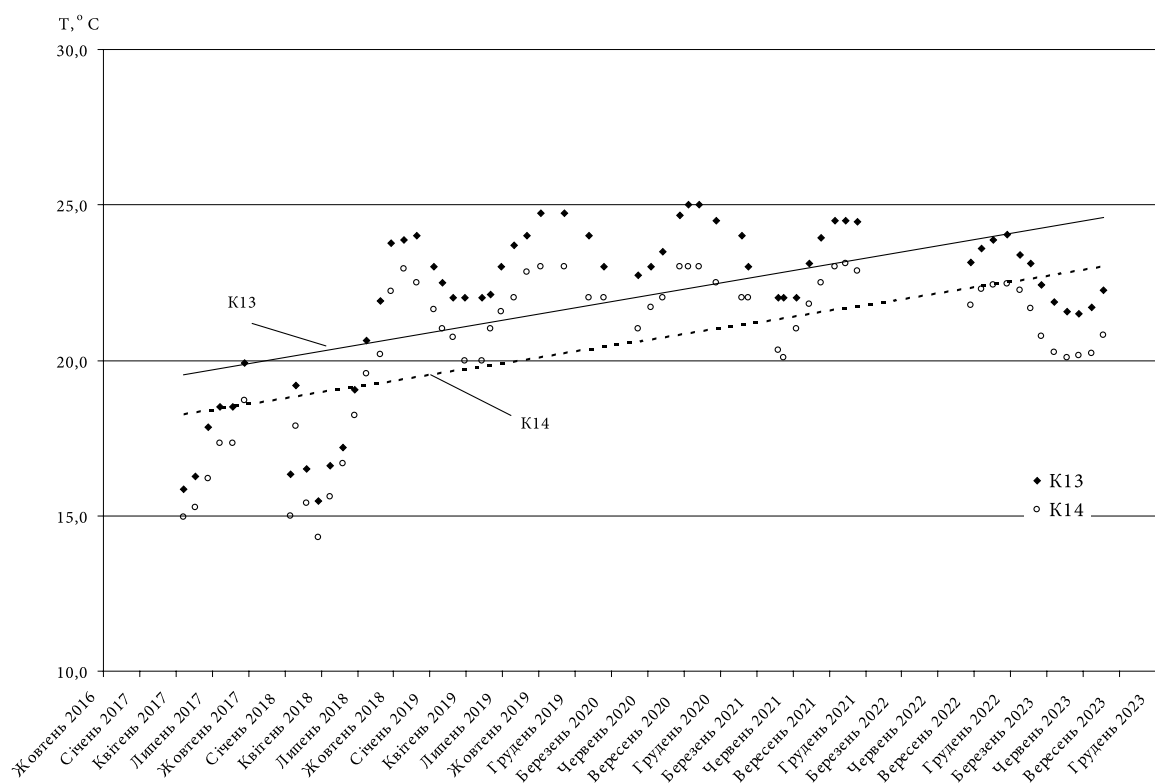


Рис. 6. Динаміка середньомісячної температури бетону ПП у точках контролю 13 і 14

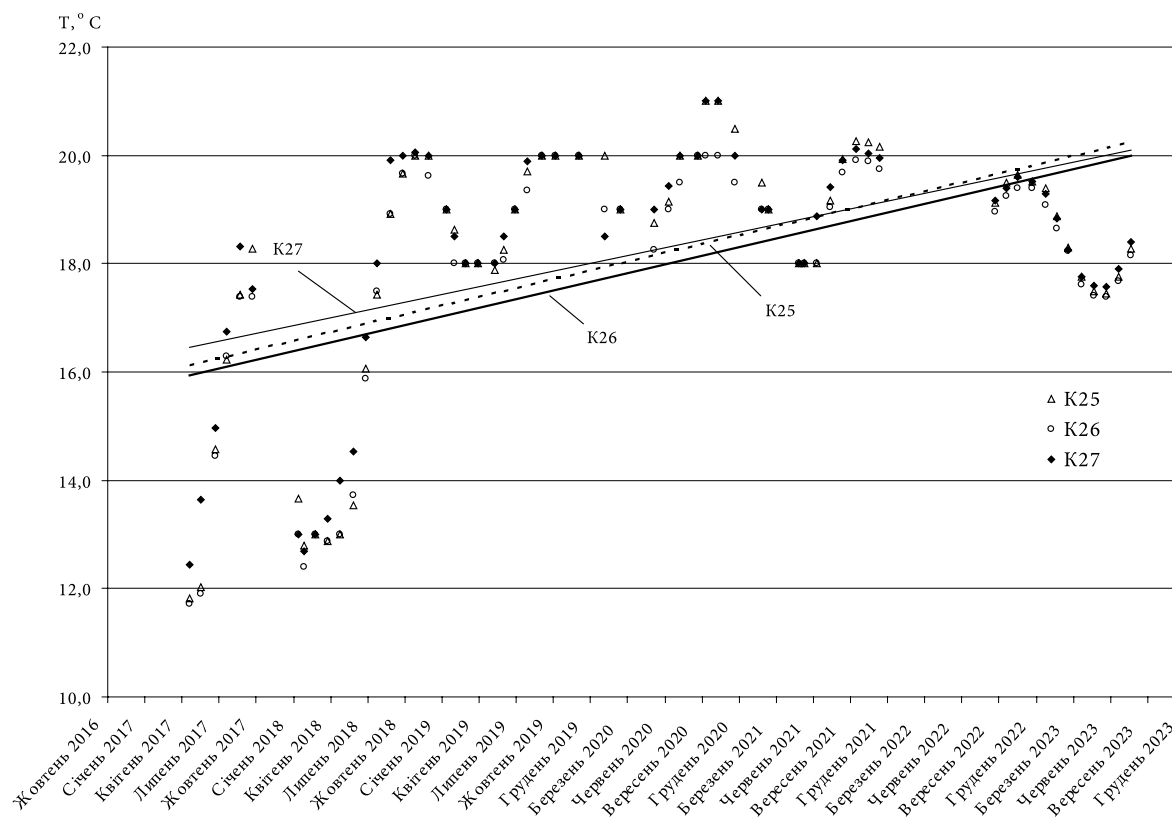


Рис. 7. Динаміка середньомісячної температури на стелі ПРК у точках контролю 25, 26 і 27

Таблиця 2. Середньорічні значення температури у точках контролю ЕДС ($m \pm \text{std}$)

Точка контролю (приміщення)	Період моніторингу, рік						
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023*
К 5 (304/3)	15,2 $\pm$ 1,7	16,9 $\pm$ 3,2	20,7 $\pm$ 1,2	21,6 $\pm$ 1,1	21,7 $\pm$ 0,9	22,1 $\pm$ 0,4	20,9 $\pm$ 0,8
К 6 (304/3)	14,6 $\pm$ 1,3	16,0 $\pm$ 3,2	19,7 $\pm$ 1,0	20,7 $\pm$ 1,0	22,0 $\pm$ 1,0	22,3 $\pm$ 0,5	20,5 $\pm$ 1,1
К 7 (305/2)	17,8 $\pm$ 1,5	19,5 $\pm$ 3,2	23,1 $\pm$ 1,1	23,8 $\pm$ 0,9	23,3 $\pm$ 1,9	24,2 $\pm$ 1,4	20,3 $\pm$ 1,7
К 8 (305/2)	16,6 $\pm$ 1,4	18,4 $\pm$ 3,1	21,5 $\pm$ 1,1	22,2 $\pm$ 0,7	22,9 $\pm$ 1,8	24,1 $\pm$ 0,3	20,9 $\pm$ 1,1
К 11 (305/2)	15,2 $\pm$ 1,7	16,9 $\pm$ 3,2	20,7 $\pm$ 1,2	21,5 $\pm$ 1,0	21,1 $\pm$ 1,0	21,4 $\pm$ 0,4	19,9 $\pm$ 0,7
К 12 (304/3)	14,6 $\pm$ 1,3	16,0 $\pm$ 3,2	19,7 $\pm$ 1,0	20,6 $\pm$ 1,0	20,1 $\pm$ 1,0	20,4 $\pm$ 0,4	18,9 $\pm$ 0,7
К 13 (305/2)	17,8 $\pm$ 1,5	19,5 $\pm$ 3,2	23,1 $\pm$ 1,1	23,9 $\pm$ 0,9	23,3 $\pm$ 1,1	23,7 $\pm$ 0,4	22,2 $\pm$ 0,7
К 14 (304/3)	16,6 $\pm$ 1,4	18,4 $\pm$ 3,1	21,5 $\pm$ 1,1	22,2 $\pm$ 0,7	21,9 $\pm$ 1,1	22,2 $\pm$ 0,3	20,8 $\pm$ 0,8
К 21 (307/2)	18,8 $\pm$ 2,6	18,2 $\pm$ 3,1	21,9 $\pm$ 0,9	22,7 $\pm$ 0,9	22,2 $\pm$ 1,0	22,5 $\pm$ 0,4	21,1 $\pm$ 0,7
К 23 (305/2)	13,0 $\pm$ 2,4	14,4 $\pm$ 4,9	18,7 $\pm$ 1,8	19,3 $\pm$ 1,7	18,2 $\pm$ 2,0	19,6 $\pm$ 0,6	16,2 $\pm$ 1,0
К 25 (210/5)	15,1 $\pm$ 2,7	15,9 $\pm$ 3,1	19,0 $\pm$ 0,9	19,9 $\pm$ 0,8	19,2 $\pm$ 0,9	19,4 $\pm$ 0,2	18,2 $\pm$ 0,7
К 26 (210/5)	14,9 $\pm$ 2,6	15,8 $\pm$ 3,1	18,9 $\pm$ 0,9	19,4 $\pm$ 0,6	19 $\pm$ 0,8	19,3 $\pm$ 0,2	18,0 $\pm$ 0,6
К 27 (210/6)	15,6 $\pm$ 2,3	16,3 $\pm$ 3,2	19,0 $\pm$ 0,9	19,8 $\pm$ 0,9	19,2 $\pm$ 0,8	19,4 $\pm$ 0,2	18,2 $\pm$ 0,6

* По 07.08.2023 р. включно

Таблиця 3. Параметри регресійної залежності (рівнянь регресії) середньомісячних значень температури бетону ПП, оцінених для трьох періодів часу після введення в експлуатацію комплексу НБК-ОУ

Точка контролю	Параметр регресійної залежності $f(x) = A \cdot x + B$								
	A21	A22	A23	B21	B22	B23	R_{21}^2	R_{22}^2	R_{23}^2
К 5	0,005	0,0042	0,0030	-197,4	-162,9	-109,0	0,65	0,62	0,48
К 6	0,006	0,0048	0,0033	-222,3	-190,3	-127,8	0,74	0,72	0,56
К 7	0,0043	0,0036	0,0017	-165,1	-137,4	-54,7	0,54	0,52	0,18
К 8	0,0046	0,0042	0,0025	-187,7	-161,0	-91,2	0,65	0,66	0,40
К 11	0,0046	0,0038	0,0024	-182,8	-147,3	-87,8	0,60	0,55	0,37
К 12	0,0044	0,0036	0,0023	-172	-138,4	-81,6	0,58	0,53	0,35
К 13	0,0043	0,0035	0,0022	-166	-132,0	-76,0	0,57	0,52	0,34
К 14	0,0040	0,0033	0,0021	-153,8	-123,8	-71,1	0,56	0,52	0,34
К 21	0,0035	0,0029	0,0018	-133,3	-106,6	-58,4	0,45	0,43	0,27
К 23	0,0046	0,0039	0,0021	-186,2	-155,5	-75,4	0,40	0,38	0,18
К 25	0,0036	0,0029	0,0018	-140,3	-110,4	-61,3	0,48	0,44	0,27
К 26	0,0035	0,0028	0,0018	-134,2	-106,4	-60,2	0,47	0,44	0,28
К 27	0,0032	0,0026	0,0016	-123,8	-97,0	-52,0	0,45	0,41	0,25

Примітка. Індеси в назвах параметрів рівняння регресії — 21, 22 і 23 — указують на результати регресійного аналізу даних за періоди 2017–2021 рр., 2017–2022 рр. і 2017–2023 рр. відповідно.

Якщо звернутись до схем розташування датчиків температури ЕДС навколо границь ЯНС ПВМ (див. рис. 2, табл. 1) і ІВС «Фініш» [3], то можна дійти висновку, що, на жаль, після вводу комплексу НБК-ОУ в експлуатацію контроль за температурою було відновлено в обмеженому масштабі. Західний напрямок розсіювання в навколишнє середовище теплової енергії від залишкового тепловиділення відпрацьованого ядерного палива в складі силікатної матриці ЯНС ПВМ не охоплений контролем взагалі. Однак збіг координат точок контролю ІВС «Фініш» і ЕДС (табл. 4) дає підставу провести хоча обмежений, але достатньо коректний порівняльний аналіз виявлених особливостей прояву динаміки температури навколо границь ЯНС ПВМ у періоди моніторингу до і після вводу в експлуатацію НБК.

За результатами попередніх досліджень [3], до насування арки НБК і введення в експлуатацію комплексу НБК-ОУ градієнти температури оцінювались таки-

ми значеннями: для західного та південно-західного напрямків — від 0,60 до 1,68 °С/м; для східного напрямку — від 0,65 до 1,34 °С/м; для південно-східного та південного напрямків — від 0,42 до 1,54 °С/м. Найбільша швидкість падіння температури спостерігалася в межах 2 м від зони локалізації джерела тепла. При цьому порівняно з температурою довкілля температура в центральному залі змінювалась із запізненням в один календарний місяць, а температура бетону ПП та стелі ПРК — із запізненням у два місяці. У результаті мінімальна температура бетону ПП навколо границь ЯНС ПВМ спостерігалась у березні-квітні, а максимальна — у вересні-жовтні [3].

За даними, отриманими в роботі, можна стверджувати, що на сьогодні в умовах експлуатації комплексу НБК-ОК градієнти температури в бетоні ПП досі зберігаються і знаходяться в таких інтервалах значень: для східного напрямку — від 0,48 до 0,60 °С/м; для південно-східного напрямку — від 0,60

Таблиця 4. Номери датчиків контролю ЕДС і ІВС «Фініш», координати яких збігаються

Система контролю	Номер датчика контролю									Примітка
ЕДС	5	6	11	12	13	14	23	25	27	Див. рис. 2
ІВС «Фініш»	5	51	8	9	60	61	15 (23)	16 (25)	18 (27)	Див. рис. 1 [3]

до 0,80 °С/м; для південного напрямку — від 0,42 до 1,0 °С/м. На жаль, відносно західного напрямку таких оцінок зробити немає можливості через відсутність точок контролю температури. У вертикальному напрямку для зони розташування точок контролю К5 і К25 градієнт температури в бетоні ПП оцінюється як 0,2 °С/м. При цьому мінімальна температура бетону навколо границь ЯНС ПВМ, як і раніше, спостерігається в березні-квітні, а максимальна — у жовтні-листопаді. Те, що сьогодні максимум температури пересунувся на місяць, можна пояснити тим, що в умовах герметичної будівлі НБК тепло всередині об'єкта «Укриття» довше утримується і розсіюється в навколишнє середовище більш повільно.

Висновки

Аналіз даних вимірювань температури, отриманих за допомогою ЕДС, дав змогу визначити особливості формування динаміки температури в різних напрямках розсіювання тепла від зони локалізації ЯНС ПВМ в умовах експлуатації комплексу НБК-ОУ.

Результати роботи підтверджують той факт, що інтенсивність тепловиділення від ЯНС ПВМ поступово з роками знижується, але в умовах комплексу НБК-ОУ градієнти температури, що забезпечують охолодження ПВМ з високим вмістом урану в приміщенні 305/2, досі зберігаються.

Є підстави вважати, що тенденція до поступового збільшення температури бетону ПП навколо границь ЯНС ПВМ, яка фіксувалася впродовж 2017–2021 рр., змінилася. Подальшого зростання температури не спостерігається. Практично за всіма точками контролю можна очікувати, що в 2023 р. середньорічна температура повернеться до значень, характерних для 2021 р.

Список використаної літератури

1. Анализ путей доступа к скоплениям топливосодержащих материалов в помещении 305/2 объекта «Укрытие». Ч. 2. Исследовательские скважины в подреакторной плите / Е. Д. Высотский, А. И. Довыдьков, С. А. Довыдьков [и др.]. — Чернобыль : Ин-т пробл. безопасности АЭС НАН Украины, 2011. — 36 с. — (Препринт / НАН Украины, Ин-т пробл. безопасности АЭС; 11-2).
2. Высотский Е. Д. Температурные аномалии в зонах критмассового риска / Е. Д. Высотский, А. В. Михайлов // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. — 2011. — Вып. 16. — С. 101–109.
3. Высотский Е. Д. Динамика температуры подреакторной плиты на фоне спада остаточного тепловыделения топлива в зонах критмассового риска / Е. Д. Высотский, А. В. Михайлов, А. А. Дорошенко // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. — 2014. — Вып. 22. — С. 76–83.
4. Михайлов А. В. Результаты уточнения динамики температуры подреакторной плиты и суммарного тепловыделения из зоны локализации ядерно-опасных скоплений в помещении 305/2 объекта «Укрытие» ЧАЭС / А. В. Михайлов, А. А. Дорошенко // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. — 2017. — Вып. 29. — С. 105–111.
5. Long-term temperature dynamics at the peripherals on nuclearly hazardous clusters of fuel-containing materials located in room 305/2 of Shelter object before and after NSC installation into design position / О. V. Mykhailov, M. V. Saveliev, R. L. Godun, V. V. Avgustov // Nuclear Physics and Atomic Energy. — 2022. — № 23 (4). — P. 245–254.

**O. V. Mykhailov, A. O. Doroshenko,
M. I. Pavliuchenko, S. A. Attarian**

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

Temperature of Concrete Around Localization Area Boundaries of Nuclear Hazardous Clusters of Fuel-Containing Materials Inside the Shelter Object of the Chornobyl NPP

Data regarding the concrete temperature distribution around localization area boundaries of nuclear hazardous clusters of fuel-containing materials (NHC FCM) inside the ChNPP Shelter object (SO) were obtained during many-year scientific research. After the commissioning of a New Safe Confinement — SO complex (hereinafter NSC-SO), an expert research system (ERS) was created. ERS was put into operation instead of the information-measuring system “Finish”, which was decommissioned. A new database has been accumulated during the ERS period, but a comprehensive analysis of the measurement results was not conducted.

The data obtained by ERS during 2017–2023 was investigated in detail. The general trends of temperature changes around localization area boundaries of NHC FCM are analyzed for 16 monitoring points. The results of the analysis are compared with the data obtained before the commissioning of the

NSC-SO. The identified temperature trends are described using regression equations.

Analysis of data measurements obtained by the ERS made it possible to determine the peculiarities of the formation of temperature dynamics in different directions of heat scattering from the localization area boundaries of NHC FCM in the conditions of the NSC-SO operation. The results of the work confirmed that the intensity of heat from NHC FCM is gradually decreasing, but in the NSC-SO, temperature gradients that provide FCM cooling with high uranium content in room 305/2 are still stored. There is reason to believe that the tendency to gradually increase the temperature of the concrete of under-reactor slab around localization area boundaries of NHC FCM, which was observed during 2017–2021, has changed. There is no further increase in temperature. For almost all monitoring points, it can be expected that in 2023 the average annual temperature will return to the values set in 2021.

Keywords: Chornobyl NPP, New Safe Confinement, Shelter object, fuel-containing materials, concrete temperature, regression analysis, correlation coefficient.

References

1. Vysotskyi Ye. D., Dovydkov A. I., Dovydkov S. A. et al. (2011). [Analysis of access paths to agglomeration of fuel-containing materials in room 305/2 of the Shelter object. Part 2. Research boreholes at the under-reactor plate]. Preprint of the ISP NPP, NAS of Ukraine 11-2. Chornobyl, 36 p. (in Rus.)
2. Vysotskyi Ye. D., Mykhailov O. V. (2011). [Temperature anomalies in zones of critical mass risk]. *Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chornobyl*, vol. 16, pp. 101–103. (in Rus.)
3. Vysotskyi Ye. D., Mykhailov O. V., Doroshenko A. O. (2014). [Dynamics of under-reactor slab temperature on the background of fuel afterheat decrease within critical mass risk zones]. *Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chornobyl*, vol. 22, pp. 76–83. (in Rus.)
4. Mykhailov O. V., Doroshenko A. O. (2017). [Update results about dynamics of under-reactor slab temperature and total heat extraction from the zone of localization of nuclearly hazardous clusters in room 305/2 of the Chornobyl NPP Shelter object]. *Problems of Nuclear Power Plants Safety and of Chornobyl*, vol. 29, pp. 105–111 (in Rus.)
5. Mykhailov O. V., Saveliev M. V., Godun R. L., Avgustov V. V. (2022). Long-term temperature dynamics at the peripherals on nuclearly hazardous clusters of fuel-containing materials located in room 305/2 of Shelter object before and after NSC installation into design position. *Nuclear Physics and Atomic Energy*, vol. 23, no. 4, pp. 245–254.

Надійшла 12.10.2023

Received 12.10.2023