

Г. М. Новосолов, О. М. Масько

ДП «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування», просп. Героїв Сталінграда, 64/56, м. Київ, 04213, Україна

Про радіаційний вплив Запорізької та Южно-Української АЕС на довкілля

Ключові слова:

атомна електростанція,
радіаційний вплив,
довкілля,
викиди,
скиди.

На прикладі роботи двох найбільших атомних електростанцій України — Запорізької (ЗАЕС) і Южно-Української (ЮУАЕС) — розглянуто питання радіаційного впливу АЕС на довкілля за тривалої експлуатації в нормальному режимі.

Розглянуто джерела та основні результати такого впливу, зокрема: динаміку зміни потужності дози гамма-випромінювання на проммайданчиках ЮУАЕС за 34 роки спостережень (1983–2017 рр.) та ЗАЕС за 29 років (1984–2012 рр.), розподіл річних сумарних показників радіоактивних викидів в атмосферу і радіоактивних скидів у зовнішні водойми обох АЕС за роки експлуатації; динаміку змін середньої об'ємної активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr в атмосферному повітрі на проммайданчиках АЕС в аналізовані періоди; зміни середньорічних значень сумарної бета-активності атмосферних випадань на проммайданчиках ЮУАЕС за період 1983–2017 рр. та ЗАЕС за період 1985–2012 рр. Результати спостережень порівняно з аналогічними даними, одержаними до пуску в експлуатацію кожної АЕС.

На підставі проведеного аналізу зроблено висновок, що робота ЮУАЕС і ЗАЕС практично не впливає на радіаційний стан у районі розташування станцій.

Вступ

За результатами проведення Державним підприємством «Державний науково-інженерний центр систем контролю та аварійного реагування» (ДП «ДНІЦ СКАР») екологічних аудитів Южно-Української АЕС (ЮУАЕС) у 2012 р. та Запорізької АЕС (ЗАЕС) у 2015 р. [1, 2], а також у рамках періодичної переоцінки безпеки виконання оцінки впливу ЮУАЕС на навколишнє середовище у 2019 р. [3] розглянуто питання радіаційного впливу цих двох найбільших в Україні АЕС на довкілля протягом усього періоду їхньої експлуатації. Наведені у статті дані є результатами постійних вимірювань радіаційної ситуації, що здійснюються службами радіаційної безпеки АЕС.

Запорізька АЕС є найбільшою в Україні і Європі станцією. Щороку вона генерує 40–42 млрд кВт · год електроенергії, що становить п'яту частину загаль-

норічного виробництва електроенергії в державі та половину її виробництва на АЕС України. До складу ЗАЕС входить шість енергоблоків з реакторами типу ВВЕР-1000/В-320, сумарна електрична потужність яких становить 6000 МВт. Час введення в експлуатацію енергоблоків № 1–6 — відповідно 1984, 1985, 1986, 1987, 1989, 1995 рр. На ЮУАЕС, другій за потужністю АЕС України, сьогодні експлуатуються три енергоблоки ВВЕР-1000, уведені в експлуатацію в 1982, 1985 і 1989 рр.

Проектний термін експлуатації всіх зазначених енергоблоків 30 років. Однак практичний досвід експлуатації показав, що фактичний термін служби основних компонентів АЕС набагато більший, ніж це припускалося за проектом. Тому Енергетичною стратегією України на період до 2035 р. [4] продовження терміну експлуатації діючих енергоблоків АЕС за результатами періодичної переоцінки їхньої безпеки визнано одним з основних

© Г. М. Новосолов, О. М. Масько, 2019

заходів для реалізації стратегічних цілей у сфері генерації електроенергії і є пріоритетним напрямом діяльності ДП «Національна атомна енергогенеруюча компанія (НАЕК) «Енергоатом»».

В основу проекту АЕС з реакторами типу ВВЕР покладено принцип модульного компонування: у кожному енергоблоці крім систем нормальної експлуатації передбачено всі системи, що забезпечують радіаційну і ядерну безпеку блока, а також аварійне зупинення, розхолодження, відведення залишкових тепловиділень незалежно від режиму роботи інших енергоблоків.

Робота реактора ВВЕР-1000 базується на регульованій ланцюговій реакції поділу ядер ^{235}U , що входять до складу ядерного палива. Енергоблок працює за двоконтурною схемою: перший контур (радіоактивний) — водяний, який безпосередньо бере тепло від реактора; другий контур (нерадіоактивний) — паровий, який отримує тепло від першого контура і використовує його в турбогенераторі.

Основними видами можливого впливу на навколишнє середовище під час роботи АЕС відповідно до технологічного процесу є радіаційний, хімічний і фізичний впливи. В умовах нормальної експлуатації енергоблоків значущими (за убуванням значущості) є тепловий, хімічний і радіаційний впливи. І лише в малоймовірних, але принципово можливих випадках максимальної проектної або запроектної аварії радіаційний вплив стає домінуючим. Проте традиційно саме радіаційний вплив роботи АЕС викликає найбільше занепокоєння громадськості.

Тепловий вплив на навколишнє середовище можливий від теплових вентиляційних викидів в атмосферу та теплових скидів при роботі гідротехнічних споруд: від бризкальних басейнів системи технічного водопостачання відповідальних споживачів та від охолоджувачів теплообмінного устаткування конденсаторів турбін і невідповідальних споживачів.

Джерелами хімічного впливу АЕС на навколишнє середовище є періодичні нерадіоактивні викиди і скиди, що виникають на об'єктах і спорудах промайданчика та мають у своєму складі хімічні елементи і речовини, граничний вміст яких регламентується діючими санітарними нормами і правилами.

У процесі експлуатації АЕС неминучим є утворення газоподібних, твердих і рідких продуктів, що містять у своєму складі радіоактивні елементи. Радіаційний вплив енергоблока пов'язаний з їхнім виходом у навколишнє середовище.

Відпрацьоване ядерне паливо (ВЯП), що утворюється після використання свіжого палива в актив-

ній зоні реактора, після досягнення проектної глибини вигорання вивантажується в приреакторні басейни витримки, де зберігається протягом 4–5 років для зменшення радіоактивності і залишкового тепловиділення. Середньорічний обсяг ВЯП, що вивантажується з одного реактора типу ВВЕР-1000, становить 42 паливні збірки. На ЗАЕС щороку загалом використовується близько 252 збірки, на ЮУАЕС — 126.

Проектними рішеннями АЕС з ВВЕР-1000 передбачено переробку ВЯП з вилученням цінних продуктів, для чого воно відправлялось до Російської Федерації на попереднє технологічне зберігання. Однак оскільки на початку 1990-х років виникли проблеми з вивезенням ВЯП, ЗАЕС оголосила міжнародний конкурс на кращий проект пристанційного тимчасового сховища ВЯП. У результаті на ЗАЕС було побудовано і в 2004 р. введено в промислову експлуатацію сухе сховище ВЯП (ССВЯП) на основі технології американської компанії Duke Engineering & Services. Сховище розраховане на розміщення 380 контейнерів, в яких можна зберігати 9000 паливних збірок, що забезпечує безпечне зберігання ВЯП ЗАЕС за весь період її експлуатації.

Для зберігання ВЯП інших реакторів типу ВВЕР АЕС України нині у зоні відчуження Чорнобильської АЕС ДП «НАЕК «Енергоатом»» здійснює будівництво Централізованого сховища ВЯП реакторів ВВЕР АЕС України (ЦСВЯП), яке передбачає сухе зберігання ВЯП за технологією американської компанії Holtec International. ЦСВЯП розраховане на зберігання 16 500 збірок терміном до 100 років. Введення в експлуатацію першого пускового комплексу об'єкта планується у другому кварталі 2020 р.

Аналіз впливу АЕС на довкілля

Метою здійснення екологічних аудитів ЗАЕС та ЮУАЕС було визначення екологічної обґрунтованості та ефективності роботи енергоблоків у разі продовження термінів їхньої експлуатації, встановлення відповідності цієї діяльності (із продовження термінів) вимогам законодавства з охорони довкілля.

У процесі екологічного аудиту для нормальних умов експлуатації енергоблоків та можливих проектних аварій було проаналізовано такі впливи:

- на довкілля (геологічне середовище, повітряне середовище, водне середовище, ґрунти, рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти);
- на навколишнє соціальне середовище;
- на навколишнє техногенне середовище;
- на навколишнє середовище у транскордонному контексті.

Санітарно-захисні зони, установлені для ЗАЕС та ЮУАЕС відповідно до проекту та законодавчо-нормативних вимог, мають радіус 2,5 км, а зони спостереження — 30 км.

Статистика порушень у роботі енергоблоків ЗАЕС та ЮУАЕС, як і взагалі статистика порушень у роботі всіх енергоблоків ВВЕР, що експлуатуються в Україні, показує, що з 2000 р. порушень вище 1-го класу (аномалія) за міжнародною шкалою INES на цих енергоблоках не відбувалось.

За експлуатації АЕС у нормальному режимі забезпечується локалізація основної кількості радіоактивних продуктів у реакторній установці та у спеціальних системах водо- та газоочищення. Однак через деякі причини незначна частина радіонуклідів все ж виходить у навколишнє середовище. Величина їхнього надходження здебільшого обумовлена виходом радіоактивних газів з деаераторів підживлення та баків організованих протікань, а також можливою наявністю нещільностей у різних технологічних системах енергоблоку.

Зняття «нульового фону»

Вивчення радіаційної ситуації в зоні впливу ЮУАЕС та ЗАЕС було розпочато за 2 роки до передбачуваного пуску кожної станції. Програма вивчення радіаційної ситуації в районі розташування АЕС (зняття «нульового фону»), зокрема, передбачала [5, 6]:

спектрометричні і радіометричні вимірювання, радіохімічний аналіз вмісту штучних (^{90}Sr та ^{137}Cs) та природних (^{238}U , ^{226}Ra) радіонуклідів у пробах атмосферного повітря, атмосферних випадань, ґрунту, води та донних відкладень, наземної і водної рослинності.

вимірювання природного гамма-фону на місцевості та ін.

Потужність дози гамма-випромінювання на місцевості

Потужність дози гамма-випромінювання вимірювалася з похибкою $\pm 20\%$ на рівні 1 м від поверхні землі. Згідно з результатами вимірювань у 1983 р. поблизу ЗАЕС середній рівень гамма-фону тут становив $(0,72 \pm 0,086)$ мЗв/рік, що відповідає звичайному рівню, характерному для більшої частини території колишнього СРСР. Деяко вищі середні показники потужності дози за даними вимірювань, проведених у 1979 і 1980 рр. поблизу ЮУАЕС: $(0,92 \pm 0,03)$ і $(0,88 \pm 0,04)$ мЗв/рік відповідно, є характерними для Миколаївської області. При цьому найбільші рівні потужності дози гамма-випромінювання спостерігаються в місцях, де скельні породи представлені рожево-сірими гранітами, що виходять на поверхню.

На рис. 1 і 2 представлена динаміка зміни значень середньорічної потужності дози гамма-фону на проммайданчиках ЮУАЕС за 34 роки спостережень (1983–2017 рр.) та ЗАЕС за період 1984–2012 рр. Прямі

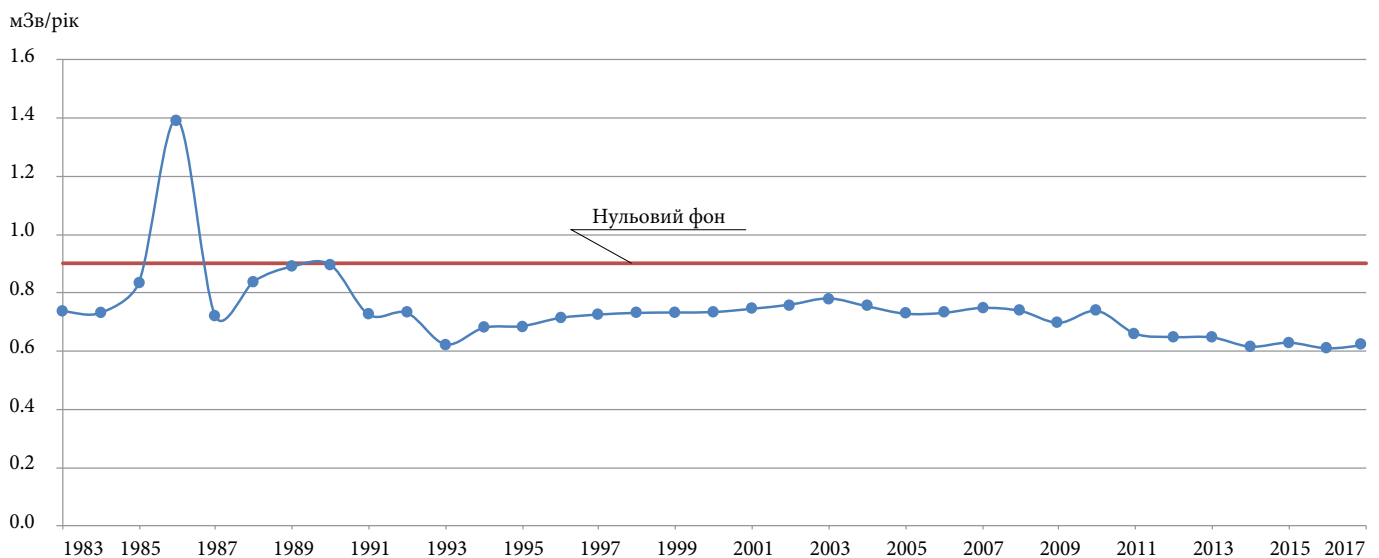


Рис. 1. Динаміка зміни потужності дози гамма-випромінювання на проммайданчику ЮУАЕС за період 1983–2017 рр.

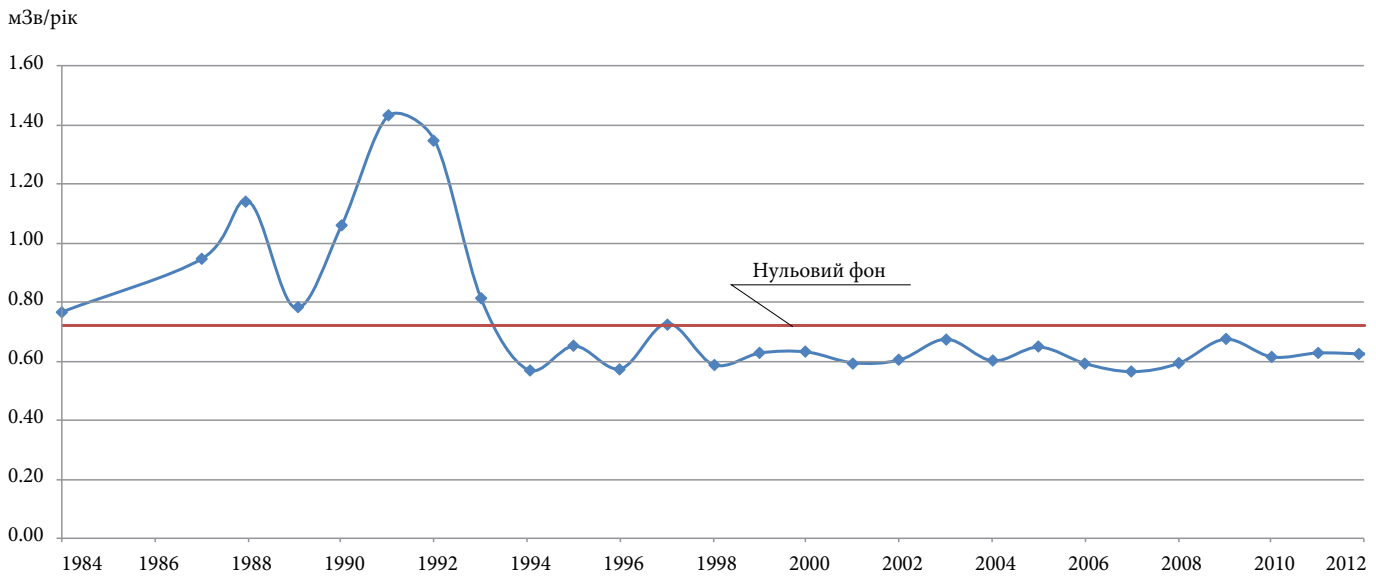


Рис. 2. Динаміка зміни потужності дози гамма-випромінювання на проммайданчику ЗАЕС за період 1984–2012 рр.

лінії на цих рисунках — середні значення гамма-фону, виміряного до введення в експлуатацію кожної з АЕС («нульовий фон»).

Як можна бачити з рисунків, значення середньорічної потужності дози гамма-випромінювання практично не змінюються і навіть на проммайданчиках ЮАЕС та ЗАЕС здебільшого не перевищують значень потужності дози, виміряних до пуску першого блока кожної зі станцій. Винятком є пов'язаний з подіями на Чорнобильській АЕС 1986 р. та найближчі післячорнобильські роки.

Викиди атомних електростанцій

Кількість радіоактивних речовин, надходження яких у навколишнє середовище допускається з газо-аерозольними викидами і водними скидами в процесі роботи ЮАЕС і ЗАЕС, визначено в документах [7–9]. Зокрема, у цих документах наведено переліки радіонуклідів та значення допустимих викидів та скидів АЕС, встановлені відповідно до норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97) [10] на основі квоти ліміту дози і вихідних даних, специфічних для АЕС. Встановлений допустимий викид не залежить від кількості енергоблоків АЕС, що знаходяться в експлуатації, та їх потужності. Перевищення допустимого викиду при нормальному режимі експлуатації АЕС не допускається.

Числові значення лімітів викиду, встановлені в ЮАЕС та ЗАЕС, наведено в табл. 1.

Для кількісної оцінки надходжень радіоактивних речовин в атмосферу в процесі роботи АЕС і характеристики ефективності заходів, спрямованих на зниження радіаційного впливу на довкілля, вводиться показник радіоактивних надходжень в атмосферу (K_{PNA}):

$$K_{PNA} = \sum_i \frac{B_i}{LB_i} \times 100 \%, \quad (1)$$

де B_i — середньодобове значення викиду в атмосферу i -го радіонукліда (групи радіонуклідів) за звітний період, МБк/період; LB_i — ліміт викиду i -го радіонукліда (групи радіонуклідів) в атмосферу, МБк/період (див. табл. 1).

Допустимий викид вважається не перевищеним, якщо виконуються обидві з двох нерівностей:

$$\sum_{i=1}^3 \frac{B_i}{LB_i} \leq 1; \quad \sum_{i=2}^{16} \frac{B_i}{LB_i} \leq 1, \quad (2)$$

де номери підсумовування за i відповідають порядковим номерам радіонуклідів (групам радіонуклідів) табл. 1.

На рис. 3 і 4 наведені розподіли сумарного показника K_{PNA} ЮАЕС за період 1984–2017 рр. та ЗАЕС за період 1985–2012 рр. Сумарні показники радіоактивних надходжень в атмосферу розраховані для декількох періодів, за які діяли розроблені та введені в цей час ліміти викидів у встановленому на АЕС порядку.

З рисунків видно, що за означені періоди експлуатації значення показника радіоактивних викидів в атмосферу ЮАЕС перебували на рівні $0,12 \div 1,24 \%$,

а ЗАЕС — 0,11÷2,37 % від допустимих значень, що відповідає рівню нормальної експлуатації.

Таблиця 1. Значення лімітів викиду (ЛВі) контрольованих радіонуклідів, ГБк/доба [7, 9]

№ п/п	Вид, параметр контролю	ЮУАЕС	ЗАЕС
1	Довгоживучі радіонукліди (ДЖН)	0,75	2,2
2	Інертні радіоактивні гази (ІРГ)	45 000	69 000
3	Радіонукліди йоду	3,9	6,0
4	⁵¹ Cr	850	1600
5	⁵⁴ Mn	5,9	9,3
6	⁵⁹ Fe	12	25
7	⁵⁸ Co	15	27
8	⁶⁰ Co	0,32	0,53
9	⁸⁹ Sr	20	31
10	⁹⁰ Sr	0,38	0,60
11	⁹⁵ Zr	19	16
12	⁹⁵ Nb	41	61
13	^{110m} Ag	0,53	0,79
14	¹³⁴ Cs	0,45	1,00
15	¹³⁷ Cs	0,45	0,94
16	³ H	2 100	1 900

Примітки.

1. Під терміном ДЖН умовно розуміється будь-яка суміш середньодовгоживучих радіоактивних аерозолів, експонованих на фільтрі протягом однієї доби і виміряних через одну добу після зняття проби.
2. Під терміном ІРГ розуміється будь-яка суміш інертних радіоактивних газів — ізотопів аргону, криптону і ксенону.

Скиди атомних електростанцій

Значення лімітів річних скидів (ЛС_і) радіоактивних речовин, надходження яких у навколишнє середовище допустиме з водними скидами ЮУАЕС і ЗАЕС, наведено в табл. 2.

Допустимий скид, відповідно до норм НРБУ-97, встановлюється на основі квоти ліміту дози та вихідних даних, які є специфічними для АЕС. Допустимий скид не залежить від кількості енергоблоків АЕС, що знаходяться в експлуатації, та їхньої потужності. Допустимий скид не перевищується, якщо виконується нерівність

$$\sum_{i=1}^{17} \frac{C_i}{ЛС_i} \leq 1, \quad (3)$$

де C_і — значення річного скиду і-го радіонукліда.

Таблиця 2. Значення ЛС_і для ЮУАЕС та ЗАЕС [8, 9]

№ п/п	Контрольований радіонуклід	ЮУАЕС, ГБк/рік	ЗАЕС, ГБк/рік
1	³ H	120 000	1 900
2	⁵¹ Cr	44 000	100
3	⁵⁴ Mn	220	3,30
4	⁵⁹ Fe	110	0,32
5	⁵⁸ Co	620	3,50
6	⁶⁰ Co	31	1,10
7	⁶⁵ Zn	25	0,30
8	⁸⁹ Sr	2 200	6,30
9	⁹⁰ Sr	4	0,24
10	⁹⁵ Zr	250	1,40
11	⁹⁵ Nb	1 400	4,50
12	¹⁰⁶ Ru	440	2,10
13	^{110m} Ag	110	1,60
14	¹³¹ I	2 200	0,95
15	¹³⁴ Cs	18	0,062
16	¹³⁷ Cs	16	0,091
17	¹⁴⁴ Ce	28	0,35

Перевищення допустимого скиду при нормальному режимі експлуатації АЕС не допускається.

На рис. 5 і 6 представлено динаміку зміни сумарного показника радіоактивних скидів у зовнішній водоймі (K_{РНВ}) ЮУАЕС за період 1991–2017 рр. та ЗАЕС за період 2001–2012 рр. Показник був розрахований за формулою

$$K_{РНВ} = \sum_i \frac{C_i}{ЛС_i} \times 100 \%. \quad (4)$$

Контроль вмісту радіонуклідів у приземному шарі атмосферного повітря

Поширення та розсіювання викиду АЕС в атмосфері відбувається в результаті перенесення його

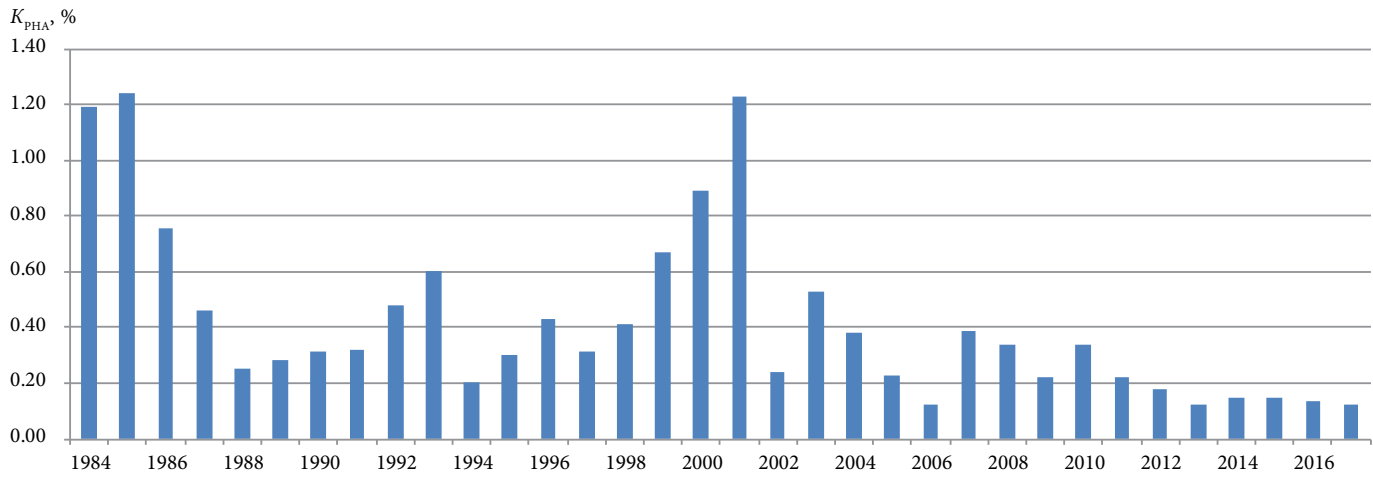


Рис. 3. Розподіл сумарного показника радіоактивних викидів в атмосферу ЮУАЕС за період 1984–2017 рр.

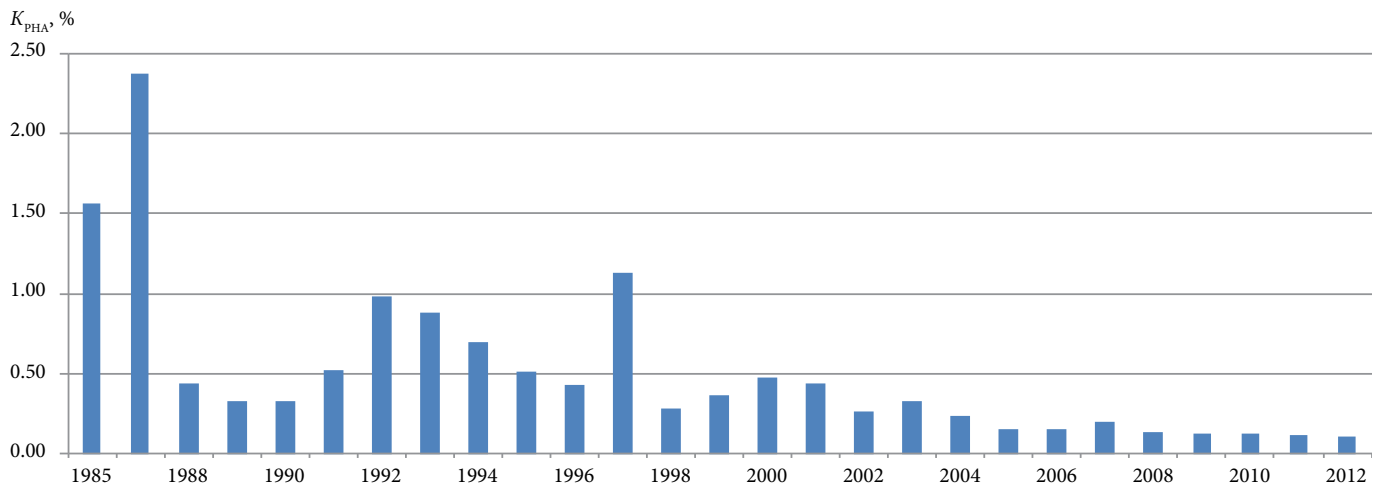


Рис. 4. Розподіл сумарного показника радіоактивних викидів в атмосферу ЗАЕС за період 1985–2012 рр.

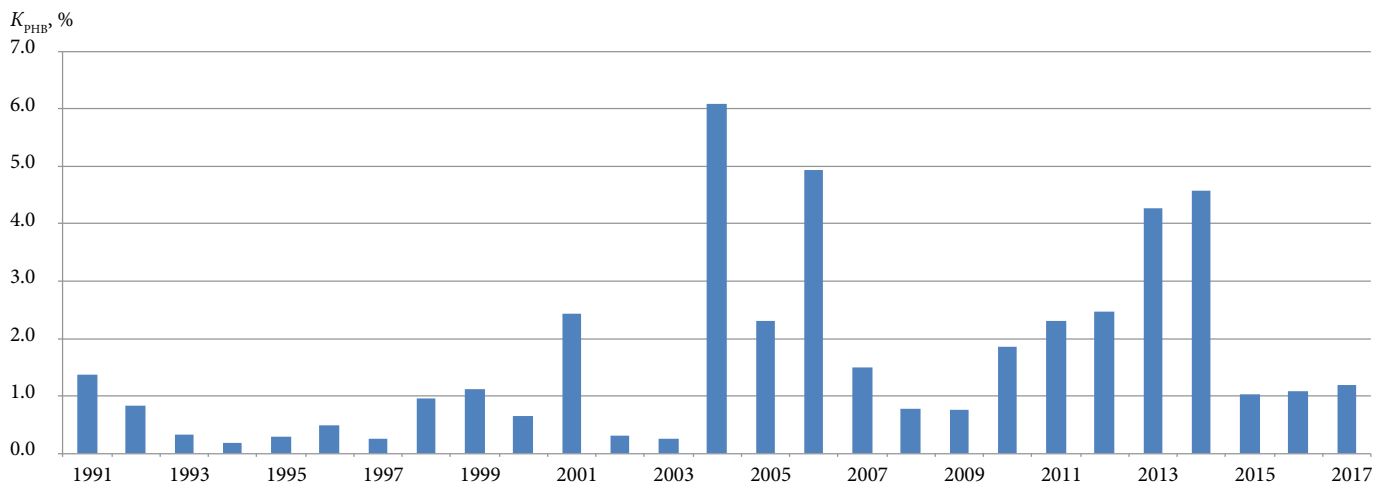


Рис. 5. Динаміка зміни сумарного показника радіоактивних скидів у зовнішні водойми ЮУАЕС за період 1991–2017 рр.

вітром і турбулентної дифузії, зумовленої наявністю в атмосфері завихрень, які складним чином взаємодіють між собою і з поверхнею землі. Штучна радіоактивність приземного шару повітря зони спостереження обумовлена в основному ізотопом ^{137}Cs на фоні природних і космогенних радіонуклідів (^{40}K , ^7Be та ін.).

Значення об'ємної активності ^{137}Cs та ^{90}Sr у пробах атмосферного повітря, відібраних у районі розташування ЮУАЕС і ЗАЕС в допусковий період, представлені в табл. 3.

Динаміка змін середньорічної об'ємної активності радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr в атмосферному повітрі промайданчиків ЮУАЕС за період 1983–2017

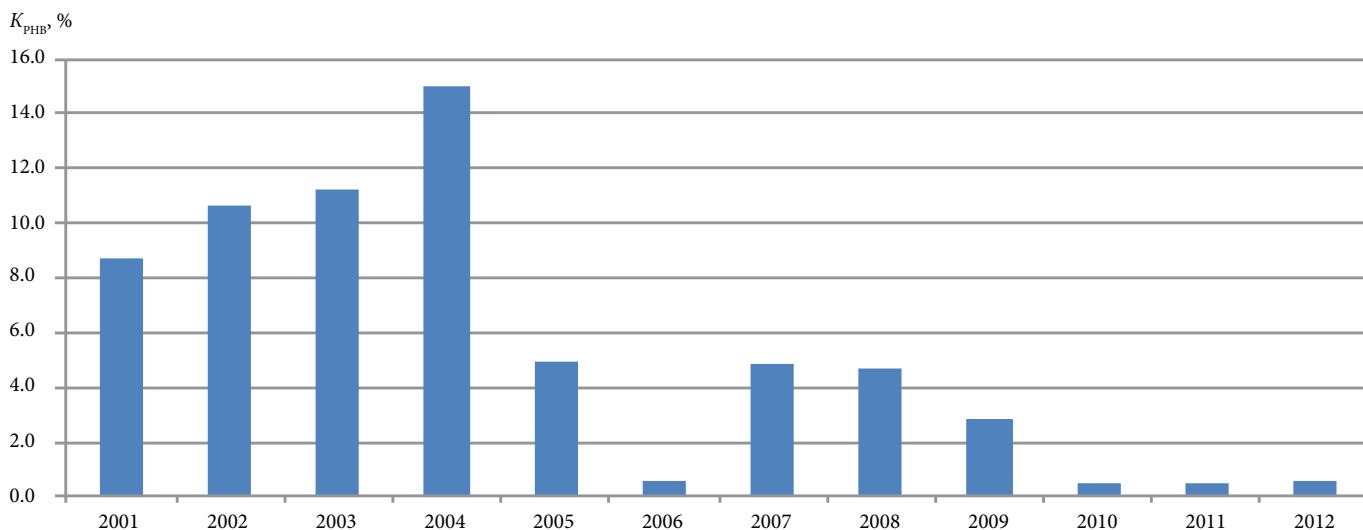


Рис. 6. Динаміка зміни сумарного показника радіоактивних скидів у зовнішні водойми ЗАЕС за період 2001–2012 рр.

Таблиця 3. Середня за рік об'ємна активність радіонуклідів в атмосферному повітрі в районі ЮУАЕС і ЗАЕС у допусковий період, мкБк/м³ [5, 6]

ЮУАЕС				ЗАЕС			
Рік	Кількість спостережень	^{90}Sr	^{137}Cs	Рік	Кількість спостережень	^{90}Sr	^{137}Cs
1976	5	1 776	2 664	1982	5	3,70	3,33
1977	11	925	1 369	1983	28	13,57	1,85
Середнє значення		1 191	1 774	Середнє значення		12,07	2,074

Таблиця 4. Питома активність радіонуклідів в атмосферних випаданнях у допусковий період, Бк/(м² · міс)

Рік	Сумарна бета-активність	^{90}Sr	^{137}Cs	Рік	Сумарна бета-активність	^{90}Sr	^{137}Cs
ЮУАЕС				ЗАЕС			
1977	38 (7)*	7,77 (5)	11,84 (5)	1980	22 (8)	2,22 (23)	2,96 (18)
1978	25 (21)	3,33 (21)	3,33 (20)	1982	8,51 (9)	0,37 (9)	0,25 (9)
1979	17 (12)	8,14 (20)	9,25 (14)	1983	8,51 (10)	0,37 (10)	0,25 (10)

* У дужках вказано кількість вимірювань.

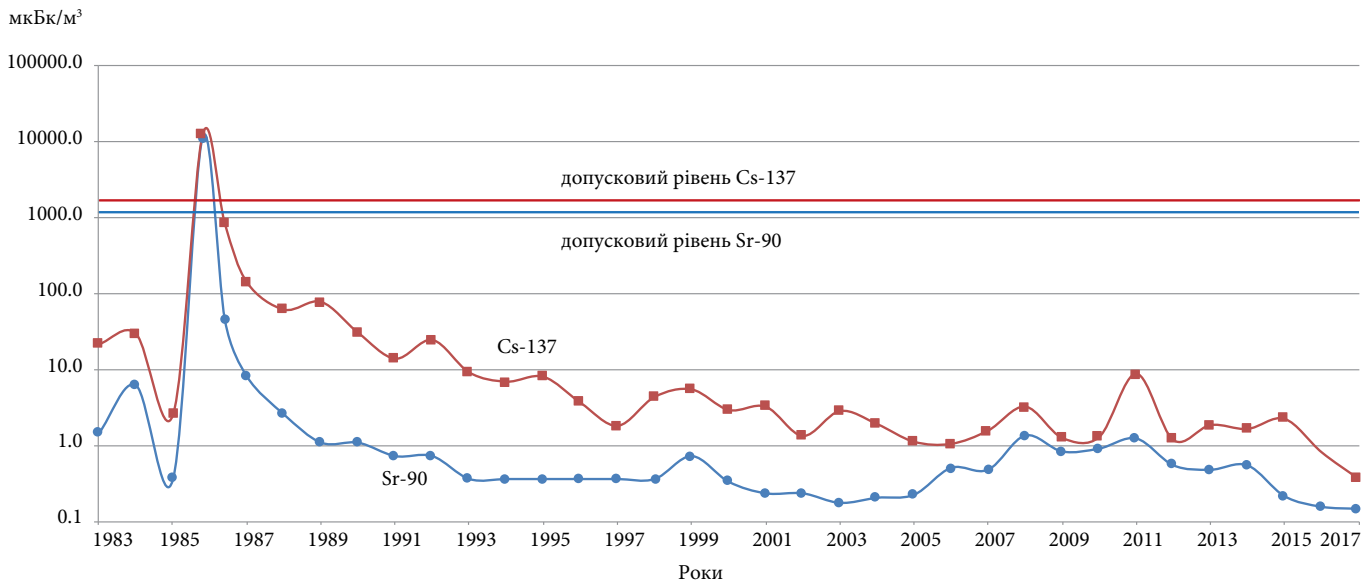


Рис. 7. Динаміка зміни середньорічної об'ємної активності ^{137}Cs та ^{90}Sr у повітрі на проммайданчика ЮАЕС за період 1983–2017 рр.

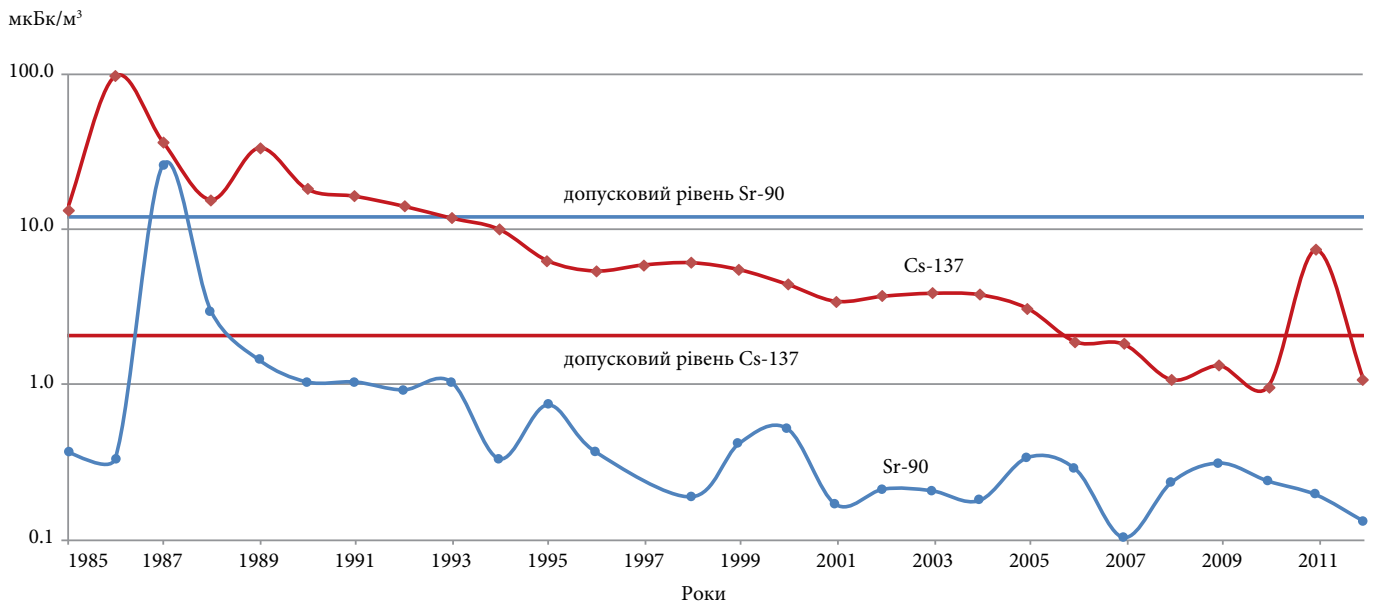


Рис. 8. Динаміка зміни середньорічної об'ємної активності ^{137}Cs та ^{90}Sr у повітрі проммайданчика ЗАЕС за період 1985–2012 рр.

рр. і ЗАЕС у 1985–2012 рр. наведено на рис. 7 і 8. Суцільними лініями на цих рисунках показано відповідні середні значення, виміряні в допустовий період (див. табл. 3).

Багаторічні спостереження за значеннями питомої концентрації ^{137}Cs та ^{90}Sr у приземному шарі атмосферного повітря поблизу АЕС демонструють тенденцію до її зниження з року в рік (без урахуван-

ня внеску від Чорнобильської АЕС). Пояснюється це тим, що спостереження фіксують не тільки цезій та стронцій з АЕС, а й цезій та стронцій глобального походження, на фоні яких чутливість приладів не дозволяє виділити елементи, що надходить в атмосферу з працюючих АЕС.

Випробування ядерної зброї в атмосфері, що були проведені у світі до 1980 р., призводили до

того, що практично всі продукти вибуху надходили в стратосферу; при цьому був сформований основний (до 70 %) стратосферний запас довгоживучих техногенних радіонуклідів. Радіонукліди, які потрапили в стратосферу, потім випадали на земну поверхню протягом багатьох років.

Зменшення питомої концентрації ^{137}Cs та ^{90}Sr глобального походження в приземному шарі атмосфери, що спостерігається на рисунках, пов'язане з виснаженням його запасів у стратосфері (розпад, надходження в нижні шари атмосфери).

У той же час значення об'ємної активності ^{137}Cs та ^{90}Sr у повітрі промайданчиків ЮАЕС та ЗАЕС значно нижчі за допустимі відповідно до НРБУ-97 [10].

Вміст радіонуклідів в атмосферних випаданнях

Газові і аерозольні викиди радіоактивних речовин, що надходять в атмосферу через вентиляційні труби, розсіюються в атмосфері, утворюючи хмару викиду. У режимі нормальної експлуатації АЕС в атмосфері

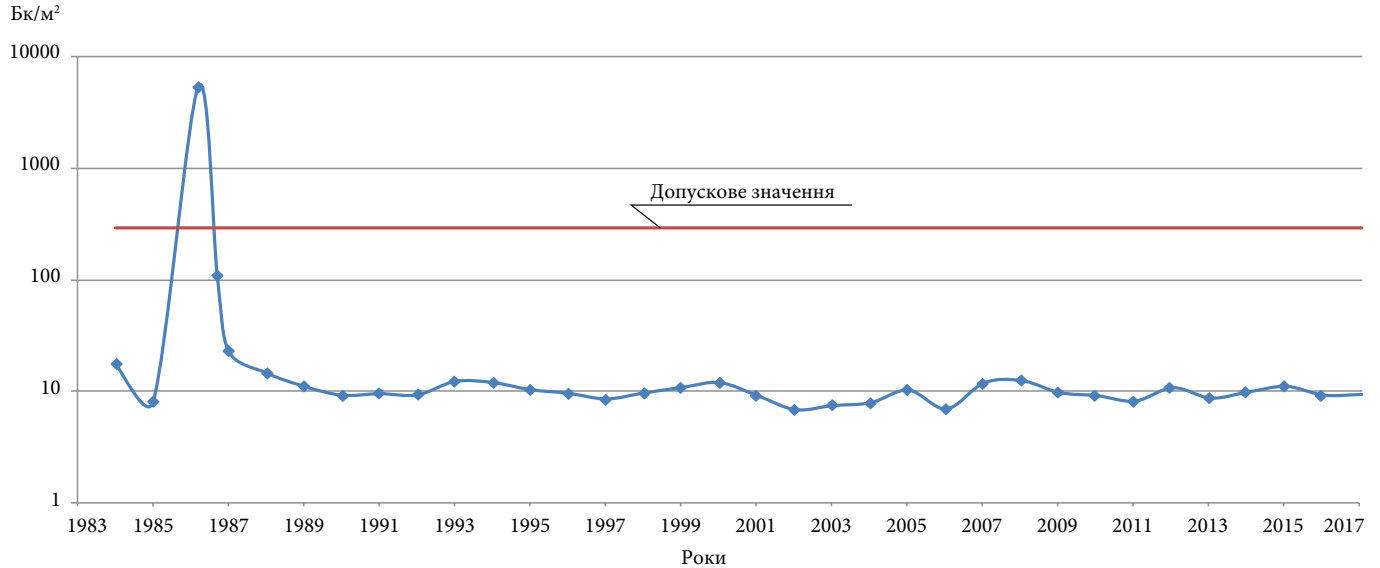


Рис. 9. Середньорічні значення сумарної бета-активності атмосферних випадань на промайданчику ЮАЕС за період 1983–2017 рр.

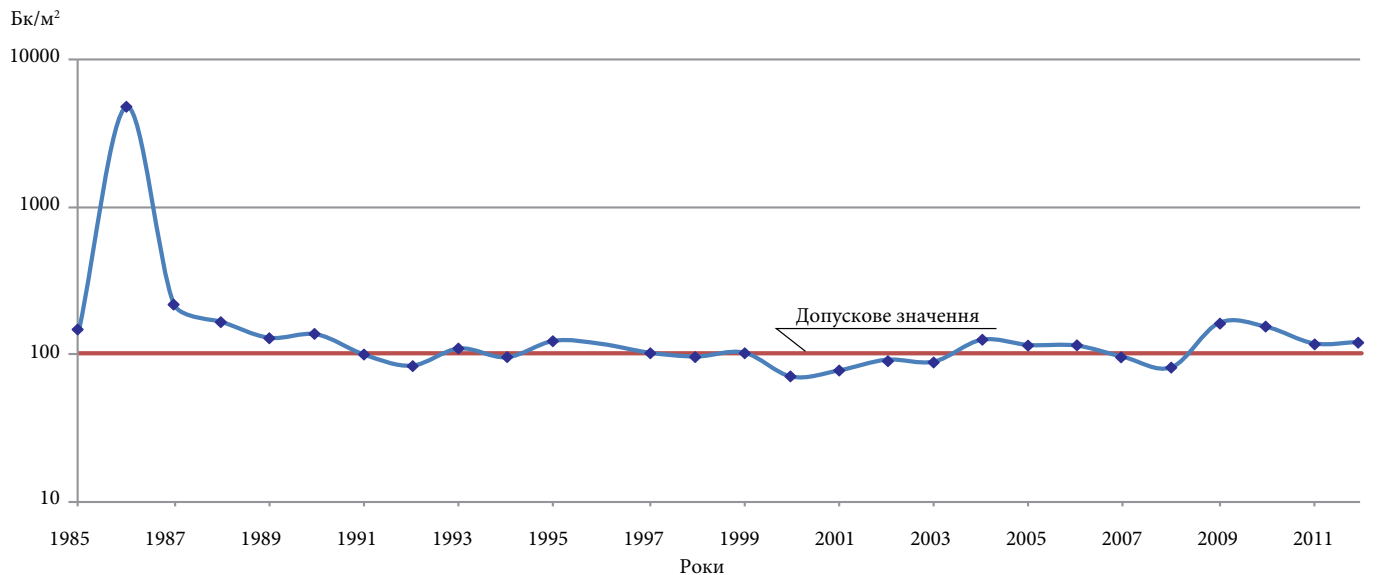


Рис. 10. Середньорічні значення сумарної бета-активності атмосферних випадань на промайданчику ЗАЕС за період 1985–2012 рр.

надходять досить дрібні аерозолі, що рухаються як і газ, в якому вони зависли. Аерозольні частинки випадають з хмари, осідаючи на місцевості та мігруючи в елементах прилеглих до АЕС екологічних систем.

Контроль за вмістом радіоактивних речовин в атмосферних випаданнях проводять седиментаційним методом — шляхом збору атмосферних опадів на збірні планшети-кювети. Седиментаційний метод дає можливість визначити кількість радіоактивних речовин, що випадають з атмосфери з пилом і опадами на одиницю площі за певний час (добу, місяць тощо). Ефективність такого методу становить 30%.

У табл. 4 представлено питому активність радіонуклідів в атмосферних випаданнях (середня за рік), виміряну до пуску АЕС в експлуатацію.

Середньорічні значення сумарної бета-активності атмосферних випадань на промайданчиках ЮУАЕС за період 1983–2017 рр. та ЗАЕС у 1985–2012 рр. представлені на рис. 9 і 10. Суцільні прямі на цих рисунках — середні допускові значення, що відповідають табл. 4.

Рисунки показують, що значення середньорічної сумарної бета-активності атмосферних випадань на промайданчиках ЮУАЕС і ЗАЕС перебувають практично на одному й тому ж рівні, за винятком 1986 р., пов'язаного з подіями на Чорнобильській АЕС. Тобто радіоактивні випадання з атмосферного повітря, що спостерігаються, обумовлені в основному глобальними випаданнями і лише незначною мірою викидами АЕС.

Висновки

На підставі аналізу наведених у статті даних можна зробити загальний висновок, що робота ЮУАЕС та ЗАЕС практично не впливає на радіаційну ситуацію в районі розташування станцій.

Тобто радіаційна ситуація поблизу АЕС, що працюють у нормальному режимі, здебільшого визначається випромінюванням природних радіонуклідів, радіонуклідів космогенного походження та радіонуклідів глобального забруднення атмосфери продуктами поділу, що утворилися під час колишніх випробувань ядерної зброї. Частки викидів АЕС суттєво менші, іноді нижче мінімальної вимірюваної активності, та не перевищують значень, регламентованих нормативними документами.

Список використаної літератури

1. Звіт про екологічний аудит енергоблоків ЮУАЕС / Міненерговугілля України, ДП «ДНІЦ СКАР». — Київ, 2012. — 250 с.

2. Звіт про екологічний аудит ВП «Запорізька АЕС» / Міненерговугілля України, ДП «ДНІЦ СКАР». — Київ, 2015. — 479 с.
3. Южно-Українська АЕС. Енергоблок № 3. Звіт з періодичної переоцінки безпеки. Фактор № 14. Вплив експлуатації АЕС на навколишнє середовище / Міненерговугілля України, ДП «НАЕК «Енергоатом», ДП «ДНІЦ СКАР». — Київ, 2019. — 158 с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Схвалено розпорядженням КМУ від 18.08.2017 р. № 605-р. — 66 с.
5. Радиационная обстановка вокруг Южно-Украинской АЭС в предпусковой период (снятие нулевого фона). Отчёт ИЯИ АН УССР, ИБФ МЗ СССР. — Николаевская облСЭС, Киев, 1980.
6. Радиационная обстановка в районе размещения Запорожской АЭС до пуска ее в эксплуатацию. Отчет ИБФ МЗ СССР. — М., 1983.
7. 00.РБ.ХQ.Pr.04–12. Допустимый газо-аэрозольный выброс Запорожской АЭС (радиационно-гигиенический регламент первой группы) [Утвержден МОЗ Украины, письмо № 7.03–58/122/2673 от 30.01.2013 г.]. — 8 с.
8. 00.РБ.ХQ.Pr.05–12. Допустимый водный сброс радиоактивных веществ Запорожской АЭС (радиационно-гигиенический регламент первой группы) [Утвержден МОЗ Украины, письмо № 7ю03–58/3048/13695 от 02.10.2012 г.]. — 7 с.
9. РГ.0.0026.0159. Допустимый газо-аэрозольный выкид и допустимый водный скид радиоактивных речовин у навколишнє середовище ВП «Южно-Українська АЕС» (радіаційно-гігієнічний регламент першої групи) [Введено наказом № 13 від 02.01.2018 р.]. — 11 с.
10. НРБУ-97, ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Норми радіаційної безпеки України. Державні гігієнічні нормативи [Затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1997 р. № 62]. — 127 с.
11. ДСП 6.177–2005–09–02. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України ОСПУ. [Затверджені наказом МОЗ України від 02.02.2005 р. № 54]. — 120 с.
12. РГ.0.0026.0120. Регламент радиационного контроля ОП ЮУАЭС от 22.12.2015 г. — 153 с.
13. Отчет по периодической переоценке безопасности энергоблоков № 1, 2 ОП ЗАЭС. Фактор безопасности № 14. Воздействие эксплуатации на окружающую среду 21.12.59 ОППБ.14. 05.08.2013. — ОП «Запорожская АЭС», 2013. — 229 с.

Г. М. Новоселов, А. Н. Масько

ГП «Государственный научно-инженерный центр систем контроля и аварийного реагирования», просп. Героев Сталинграда 64/56, Киев, 04213, Украина

О радиационном воздействии Запорожской и Южно-Украинской АЭС на окружающую среду

На примере работы двух крупнейших атомных электростанций Украины — Запорожской (ЗАЭС) и Южно-Украинской (ЮУАЭС) — рассматриваются вопросы радиационного воздействия АЭС на окружающую среду при длительной эксплуатации в нормальном режиме.

Рассмотрены источники и основные результаты такого воздействия, в частности: динамика изменения мощности дозы гамма-излучения на промплощадках ЮУАЭС за 34 года наблюдений (1983–2017 гг.) и ЗАЭС за 29 лет (1984–2012 гг.); распределение годовых суммарных показателей радиоактивных выбросов в атмосферу и радиоактивных сбросов во внешние водоемы обеих АЭС за годы эксплуатации; динамика изменений средней объемной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в атмосферном воздухе на промплощадках АЭС в анализируемые периоды; изменения среднегодовых значений суммарной бета-активности атмосферных выпадений на промплощадках ЮУАЭС за период 1983–2017 гг. и ЗАЭС за период 1985–2012 гг.

Проведенный анализ показал, что значения среднегодовой мощности дозы гамма-излучения практически не меняются и даже на промплощадках ЮУАЭС и ЗАЭС в основном не превышают значений мощности дозы, измеренных до пуска первого блока каждой из станций. Исключением являются связанные с событиями на Чернобыльской АЭС 1986 г. и ближайшие послечернобыльские годы.

За период наблюдений значения показателя радиоактивных выбросов в атмосферу ЮУАЭС находились на уровне $0,12 \div 1,24$ %, а ЗАЭС — $0,11 \div 2,37$ % допустимых значений, что соответствует уровню нормальной эксплуатации.

Многолетние наблюдения за значениями удельной концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в приземном слое атмосферного воздуха вблизи АЭС демонстрируют тенденцию к ее снижению из года в год (без учета влияния Чернобыльской АЭС). Объясняется это тем, что наблюдения фиксируют не только цезий и стронций, поступающий с АЭС, но и цезий и стронций глобального происхож-

дения, на фоне которых чувствительность приборов не позволяет выделить радионуклиды, поступающие в атмосферу с работающих АЭС. Испытания ядерного оружия в атмосфере, проводившиеся в мире до 1980 г., привели к поступлению в стратосферу большого количества долгоживущих техногенных радионуклидов и их дальнейшему выпадению на земную поверхность в течение многих лет. Наблюдаемое уменьшение удельной концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в приземном слое атмосферы связано с истощением его запасов в стратосфере.

В то же время значения объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в воздухе промплощадок ЮУАЭС и ЗАЭС значительно ниже допустимых.

Значения среднегодовой суммарной бета-активности атмосферных выпадений на промплощадках ЮУАЭС и ЗАЭС находятся практически на одном и том же уровне. То есть наблюдаемые радиоактивные выпадения из атмосферного воздуха обусловлены в основном глобальными выпадениями и лишь в незначительной степени выбросами АЭС.

Результаты наблюдений сравниваются с аналогичными данными, полученными до пуска в эксплуатацию каждой АЭС. На основании проведенного анализа сделан вывод, что работа ЮУАЭС и ЗАЭС практически не влияет на радиационную обстановку в районе расположения станций.

Ключевые слова: атомная электростанция, радиационное влияние, окружающая среда, выбросы, сбросы.

G. M. Novosolov, A. M. Masko

SE “State Scientific Engineering Center of Control System and Emergency Response”, 64/56, Heroiv Stalinhradu ave, Kyiv, 04213, Ukraine

On Radiation Impact of Zaporizhzhya NPP and South Ukraine NPP on the Environment

On the example of the work of two largest nuclear power plants in Ukraine – Zaporizhzhya NPP (ZNPP) and South Ukraine NPP (SUNPP) – the issues of the radiation impact of nuclear power plants on the environment during long-term normal operational conditions are considered.

The sources and main results of such impact are considered, in particular: the dynamics of changes in the gamma-radiation dose rate at the industrial sites of SUNPP for 34 years of observations (1983–2017) and ZNPP for the period

from 1984 to 2012; distribution of the total annual parameters of radioactive emissions in an atmosphere and radioactive discharges into the external water bodies of both NPPs for years of operation; dynamics of variations in the average volumetric activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr radionuclides in atmospheric air at the NPP industrial sites during the analyzed periods; variations in the average annual values of the total beta-activity of atmospheric precipitation at the industrial sites of SUNPP for the period from 1983 to 2017 and for the ZNPP from 1985 to 2012.

Results of observation are compared to the similar data received before putting into operation each NPP.

The analysis showed that the values of the average annual dose rate of gamma-radiation remains virtually unchanged, and even at the industrial sites of SUNPP and ZNPP basically do not exceed the dose rate values measured before the first unit of each station was put into operation. The exceptions are the events associated with the events at the Chernobyl NPP in 1986 and the next post-Chernobyl years.

During the observation period, the values of the indicator of radioactive emissions into the atmosphere of SUNPP were at the level of $0.12 \div 1.24$ %, and ZNPP — $0.11 \div 2.37$ % of acceptable values, which corresponds to the level of normal operation.

Long-term observations of the specific concentrations of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the surface layer of atmospheric air near nuclear power plants show a tendency to decrease from year to year (without taking into account the contribution from the Chernobyl nuclear power plant). This is explained by the fact that observations record not only cesium and strontium coming from nuclear power plants, but also cesium and strontium of global origin, against which the sensitivity of the instruments does not allow to isolate radionuclides released into the atmosphere from operating NPPs. Tests of nuclear weapons in the atmosphere, conducted in the world before 1980, led to the entry into the stratosphere of a large number of long-lived man-made radionuclides and their further fall to the earth's surface for many years. The observed decrease in the specific concentration of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the surface layer of the atmosphere is associated with the depletion of its reserves in the stratosphere.

At the same time, the values of volumetric activity of ^{137}Cs and ^{90}Sr in the air at the industrial sites of SUNPP and ZNPP are much lower than permissible.

The average annual values of the total beta activity of atmospheric precipitation at the industrial sites of SUNPP and ZNPP are practically at the same level. That is, the observed radioactive fallout from the atmospheric air is mainly due to global deposition and only to a small extent by nuclear power plant emissions.

Based on the analysis it was concluded that the work of SUNPP and ZNPP practically does not affect the radiation situation near the stations.

Keywords: nuclear power plant, radiative forcing, environment, emissions, discharges.

References

1. *Report on environmental auditing of the SUNPP power units.* Ministry of Energy and Coal Mining of Ukraine, State Scientific Engineering Center of Control System and Emergency Response, Kyiv, 2012, 250 p. (in Ukr.)
2. *Report on environmental auditing of the ZNPP power units.* Ministry of Energy and Coal Mining of Ukraine, State Scientific Engineering Center of Control System and Emergency Response, Kyiv, 2015, 479 p. (in Ukr.)
3. *South Ukrainian NPP. Unit No. 3. Periodic reassessment safety report. Factor no. 14. Impact of the operation of the NPP on the environment.* Ministry of Energy and Coal Mining of Ukraine, State Scientific Engineering Center of Control System and Emergency Response, Kyiv, 2019, 158 p. (in Russ.)
4. *Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 «Safety, Energy Efficiency, Competitiveness».* Approved by the CMU of 18.08.2017, no. 605-p., 66 p. (in Ukr.)
5. *Radiation situation around the South-Ukrainian NPP in the pre-launch period (measurement of zero background).* Report of the INR of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, IBF, Ministry of Health of the USSR, Nikolaev OblSES, Kyiv, 1980. (in Russ.)
6. *Radiation situation in the Zaporizhzhya NPP location prior to its commissioning.* Report of the IBF of the USSR Ministry of Health, Moscow, 1983. (in Russ.)
7. 00.RB.XQ.Pr.04-12. *Permissible gas-aerosol release of Zaporizhzhya NPP (radiation hygiene regulations of the first group).* Approved by the Ministry of Health of Ukraine, letter no. 7.03-58/122/2673 of 30.01.2013, 8 p. (in Russ.)
8. 00.RB.XQ.Pr.05-12. *Permissible water discharge of Zaporizhzhya NPP (radiation hygiene regulations of the first group).* Approved by the Ministry of Health of Ukraine, letter no. 7.03-58/3048/13695 of 02.10.2012, 7 p. (in Russ.)
9. RG.0.0026.0159. *Permissible gas-aerosol release and permissible water discharges of radioactive substances into the environment of SE «South-Ukrainian NPP» (radiation and hygiene regulations of the first group).* Introduced by order of 02.01.2018, no. 13, 11 p. (in Russ.)
10. NRBU-97, DGN 6.6.1.-6.5.001-98. *Norms of radiation safety of Ukraine. State Hygiene Standards.* Approved by the decision of the Chief State Sanitary Doctor of Ukraine of 01.12.1997, no. 62, 127 p.

11. DSP 6.177-2005-09-02. *Basic sanitary rules of radiation safety of Ukraine OSSP*. Approved by the order of the Ministry of Health of Ukraine of 02.02.2005, no. 54, 120 p. (in Ukr.)
12. RG.0.0026.0120 *Regulations of radiation control of SE SUNPP of 22.12.2015*, 153 p. (in Russ.)
13. SE "Zaporizhzhya NPP". *Report on the periodic reassessment of the safety of power units no. 1.2 SE ZNPP. Safety Factor no. 14. Impact of operation on the environment. 21.12.59 OPSP*. 14. of 05.08.2013, 229 p. (in Russ.)

Надійшла 05.06.2019

Received 05.06.2019