

УДК 504.75.054:621.311.25(045)

<sup>1</sup>Б.Т. Канунніков<sup>2</sup>О.П. Жигаченко<sup>3</sup>В.А. Лук'яничков<sup>4</sup>В.І. Применко, д-р техн. наук

## РОЗРАХУНОК СПАДУ РІВНЯ АКТИВНОСТІ РАДІОНУКЛІДІВ ПРИ АВАРІЇ НА АТОМНОМУ РЕАКТОРІ

<sup>1,2,4</sup> Інститут транспортних технологій НАУ, e-mail: itt@nau.edu.ua<sup>3</sup> Дочірня компанія "Газ України", e-mail: wluk@ukr.net

Наведено методику розрахунку рівня активності та еквівалентної дози опромінення на зараженій території як функції сумарної й індивідуальної дії радіонуклідів. Виведено рівняння для аналізу швидкості спаду активності радіонуклідів із часом.

### Вступ

Характеристика зараженої території найчастіше пов'язується з встановленням рівня радіації, який є похідним від активності радіонуклідів на місцевості, що дозволяє оперативно прогнозувати відповідні профілактичні контрзаходи [1].

### Розрахунок залежності рівня радіації від активності радіаційного зараження

Унаслідок довільного розпаду радіонуклідів на поверхні ґрунту, що зумовлено величиною періоду їх піврозпаду, з часом відбуватиметься зменшення активності – спад.

Спад активності можна характеризувати зміною рівня радіації з часом. При цьому зв'язок між ними відбувається згідно з рівнянням:

$$A = K\dot{X},$$

де коефіцієнт пропорційності  $K$  змінюється від 3 до 10.

Оскільки на площах осередку зараження, де можуть тривалий час проживати люди, він змінюється від 6 до 10, можна середнє значення його рівня взяти за вісім, тобто  $K_{\text{ср}} = 8$  [2].

Спад рівня радіації на місцевості, яка заражена внаслідок аварії на атомній електростанції, можна характеризувати рівнянням [1]:

$$\dot{X}t^{0,5} = \text{const},$$

звідки одержуємо:

$$\dot{X}_t = \dot{X}_1 t^{-0,5},$$

де  $\dot{X}_t$  – рівень радіації на час  $t$ ;  $\dot{X}_1$  – рівень радіації на 1 год після аварії.

Пропорційно спаду рівня радіації для випадку гамма-опромінення буде відбуватися і спад потужності еквівалентної дози:

$$\dot{H}_{Tt} = \dot{H}_{T1} t^{-0,5},$$

де  $\dot{H}_{Tt}$  – потужність еквівалентної дози на час  $t$ ;

$\dot{H}_{T1}$  – потужність еквівалентної дози на 1 год після аварії.

Інтегруючи потужність еквівалентної дози з часом, одержуємо еквівалентну дозу опромінення  $H_T$  [3]:

$$H_T = \int_{t_{\text{вх}}}^{t_{\text{вих}}} \dot{H}_{Tt} dt = \int_{t_{\text{вх}}}^{t_{\text{вих}}} \dot{H}_{T1} t^{-0,5} dt = 2\dot{H}_{T1} (t_{\text{вих}}^{0,5} - t_{\text{вх}}^{0,5}).$$

Оскільки зміни потужності еквівалентної дози у загальному вигляді можна характеризувати рівнянням

$$\dot{H}_{Tt} = \dot{H}_{T1} \left( \frac{t}{t_1} \right)^{-n},$$

то

$$n = \frac{\lg \frac{\dot{H}_{T1}}{\dot{H}_{T2}}}{\lg \frac{t_2}{t_1}},$$

де  $\frac{\dot{H}_{T1}}{\dot{H}_{T2}}$  – відношення потужностей еквівалентної дози при першому і другому вимірюванні;  $\frac{t_2}{t_1}$  – відношення часу після аварії при другому вимірюванні до часу після аварії при першому вимірюванні.

Як видно з наведеного, коефіцієнт  $n$  може бути змінною величиною, тому його застосування в розрахунках при значенні 0,5 потребує перевірки.

### Розрахунок залежності спаду активності з часом та зміни рівня радіації в зоні радіоекологічного контролю

Використовуючи банк даних зараження території Національного авіаційного університету (НАУ) за травень 1986 р., розрахували спад потужності еквівалентної дози, яка викликана зараженням території НАУ внаслідок чорнобильської катастрофи до 1997 р. (табл. 1).

Задача ускладнювалася тим, що вказана територія була заражена в результаті декількох викидів, які відбувалися на реакторі до 6 травня 1986 р.



Таблиця 1

## Зміна потужності еквівалентної дози на території НАУ

Дата вимірювання	Потужність еквівалентної дози, мкЗв·год <sup>-1</sup>	Дата вимірювання	Потужність еквівалентної дози, мкЗв·год <sup>-1</sup>
06.05.86	4,0	19.05.86	1,09
07.05.86	3,0	20.05.86	1,06
08.05.86	2,0	21.05.86	1,03
09.05.86	1,8	22.05.86	1,00
10.05.86	1,6	23.05.86	0,97
11.05.86	1,4	24.05.86	0,94
12.05.86	1,36	25.05.86	0,90
13.05.86	1,32	26.05.86	0,88
14.05.86	1,28	27.05.86	0,85
15.05.86	1,24	28.05.86	0,82
16.05.86	1,20	29.05.86	0,79
17.05.86	1,16	30.05.86	0,76
18.05.86	1,12		

Дані табл. 1 характеризують сумарне зараження території кількома викидами при певній вітровій обстановці.

Оскільки перше зараження території Києва відбулося з 28 на 29 квітня 1986 р., лінійно екстраполювали дані табл. 1 до 29 квітня 1986 р.

Знайдене значення потужності еквівалентної дози  $\dot{H}_{T1}$  становило 11 мкЗв·год<sup>-1</sup>. Значення коефіцієнта  $n$  згідно з роботою [1] дорівнювало 0,5. При цьому на 1995 р. одержали значення приросту потужності еквівалентної дози, обумовленої Чорнобильською катастрофою, 0,04 мкЗв·год<sup>-1</sup>, а на 1997 р. – 0,035 мкЗв·год<sup>-1</sup>.

Порівняння цих результатів з експериментально створеним банком даних для вказаної території свідчать про відповідність розрахункових результатів практичним даним (табл. 2).

До Чорнобильської катастрофи потужність еквівалентної дози у Києві дорівнювала близько 0,1 мкЗв·год<sup>-1</sup>, а відповідний приріст його за рахунок катастрофи на Чорнобильській атомній електростанції в період 1995–1997 рр. становив близько 0,04 мкЗв·год<sup>-1</sup>.

Залежність активності радіонуклідів, що випали, від часу для цього періоду можна одержати на базі рівнянь:

$$A_1 = K\dot{H}_{T1}; \quad (1)$$

$$\dot{H}_{Tt} = \dot{H}_{T1}t^{-0.5}. \quad (2)$$

Об'єднуючи рівняння (1), (2), маємо

$$A_1 = K\dot{H}_{T1}t^{0.5}, \quad (3)$$

але

$$A_t = K\dot{H}_{Tt}. \quad (4)$$

Розділивши рівняння (4) на формулу (3), отримаємо

$$\frac{A_t}{A_1} = \frac{K\dot{H}_{Tt}}{K\dot{H}_{T1}t^{0.5}},$$

звідси

$$A_t = A_1t^{-0.5},$$

тобто критерієм спаду активності є величина  $\frac{A_t}{A_1} = t^{-0.5}$ .

Таблиця 2

## Результати досліджень еволюції радіаційної обстановки НАУ в 1993–1997 рр.

Досліджувані параметри	Рік дослідження				
	1993	1994	1995	1996	1997
Потужність еквівалентної дози $H_T$ , мкЗв·год <sup>-1</sup>	0,13–0,25	0,11–0,20	0,10–0,15	0,10–0,14	0,10–0,135
Поверхнева забрудненість ґрунту:					
$\gamma$ -активність, мкЗв·год <sup>-1</sup>	0,11–0,22	0,09–0,18	0,09–0,14	0,09–0,14	0,08–0,11
$\beta$ -активність, розп.·хв <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup>	9–17*	8–14*	5–10*	19–31	18–30
$\alpha$ -активність, розп.·хв <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup>	21–35	20–36	19–32	0,1–0,2	0,1–0,2
Поверхнева забрудненість приміщень:					
$\gamma$ -активність, мкЗв·год <sup>-1</sup>	0,11–0,16	0,10–0,12	0,09–0,11	0,09–0,11	0,09–0,11
$\beta$ -активність, розп.·хв <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup>	11–18	11–15	10–14	10–14	10–14
$\alpha$ -активність, розп.·хв <sup>-1</sup> ·см <sup>-2</sup>	0,02–1,10	0,02–0,05	0,01–0,05	0,01–0,05	0,04–0,07
Питома активність у шарі ґрунту, Бк·кг <sup>-1</sup> :					
0–10 см	(7,62–8,21)·10 <sup>2</sup>	(6,22–4,48)·10 <sup>2</sup>	(5,55–5,74)·10 <sup>2</sup>	(5,74–5,92)·10 <sup>2</sup>	(5,81–5,99)·10 <sup>2</sup>
10–20 см	(5,66–6,25)·10 <sup>2</sup>	(5,74–6,11)·10 <sup>2</sup>	(5,62–5,99)·10 <sup>2</sup>	(5,66–5,99)·10 <sup>2</sup>	(5,62–5,77)·10 <sup>2</sup>

\* Взимку.



Більшість  $\gamma$ -випромінюючих радіонуклідів чорнобильського викиду, маючи невеликий період піврозпаду, розклалися вже протягом кількох місяців.

З довготривалих  $\gamma$  і  $\beta$  радіонуклідів залишилися церій-144 із

$$T_{\frac{1}{2}} = 284 \text{ доби,}$$

цезій-134 із  $T_{\frac{1}{2}} = 28 \text{ р.}$

У зв'язку з наведеним складом радіонуклідів час сумарної дії їх як  $\gamma$ -випромінювання буде переважно характеризуватися активністю цезію-137.

Для цього випадку залежність активності від часу можна характеризувати рівнянням [3]

$$A_t = \frac{A_1}{2^{\frac{t}{T}}}, \quad (5)$$

де  $T$  – період піврозпаду радіонуклідів.

Відповідно до рівняння (5) можна записати:

$$\dot{H}_{Tt} = \frac{\dot{H}_{T1}}{2^{\frac{t}{T}}}, \quad (6)$$

при цьому

$$\dot{H}_{T1} = 0,2\mu EA_1 h, \quad (7)$$

де  $\mu$  – лінійний коефіцієнт ослаблення  $\gamma$ -випромінювання повітрям;  $E$  – енергія  $\gamma$ -квантів;  $A_1$  – питома активність поверхні землі за цезієм-137;  $h$  – кількість  $\gamma$ -квантів, що припадають на одне ділення ядра.

Об'єднуючи рівняння (6), (7), одержуємо формулу для розрахунку спаду потужності еквівалентної дози з часом:

$$\dot{H}_{Tt} = \frac{0,2\mu EA_1 h}{2^{\frac{t}{T}}}.$$

Доза опромінення при цьому може бути розрахована на базі рівняння:

$$\begin{aligned} H_T &= \int_{t_1}^{t_2} \dot{H}_{Tt} dt = \int_{t_1}^{t_2} \dot{H}_{T1} 2^{-\frac{t}{T}} dT = \\ &= \frac{T \dot{H}_{T1} 2^{-\frac{t}{T}}}{\ln 2} \Big|_{t_1}^{t_2} = -\frac{T \dot{H}_{T1}}{\ln 2} \left( 2^{-\frac{t_2}{T}} - 2^{-\frac{t_1}{T}} \right) = \\ &= \frac{1,44 T \dot{H}_{T1} \left( 2^{-\frac{t_2}{T}} - 2^{-\frac{t_1}{T}} \right)}{K_{\text{осл}}}, \end{aligned}$$

де  $K_{\text{осл}}$  – коефіцієнт ослаблення  $\gamma$ -випромінювання;  $t_1, t_2$  – час початку та закінчення розрахунку дози.

### Висновки

Отриманий математичний опис залежності активності радіонуклідів від часу сумарної й індивідуальної їх дії, а також зв'язку активності з рівнем радіації дозволяє відповідно до вітрової ситуації в перші години після аварії (установлення активності викиду радіонуклідів із реактора) прогнозувати рівень радіаційного забруднення територій, пов'язаних з проходом радіоактивної хмари.

### Список літератури

1. Иванов Б.Б., Наумов Н.Ф., Пастухов В.К., Применко В.И. Радиационная и химическая безопасность на воздушном транспорте. – К.: КИИГА, 1993. – 32 с.
2. Канунников Б.Т., Лук'янчиков В.А., Применко В.И. Моделирование осередку радиоактивного заражения при аварии на атомном реакторе // Вісн. НАУ. – 2002. – №4. – С. 186–189.
3. Шубин Е.П. Гражданская оборона. – М.: Просвещение, 1991. – С. 80–82.

Стаття надійшла до редакції 02.06.03.

Б.Т. Канунников, О.П. Жижченко, В.А. Лук'янчиков, В.И. Применко

Расчет снижения уровня активности радионуклидов при аварии на атомном реакторе

Приведена методика расчета уровня активности и эквивалентной дозы облучения на зараженной территории как функции суммарного и индивидуального действия радионуклидов. Выведено уравнение анализа скорости снижения активности радионуклидов со временем.

B.T. Kanunnikov, O.P. Zhizhchenko, V.A. Luk'yanchikov, V.I. Primenko

Falling radionuclides activity calculation in circumstances of wreck on atomic reactor

The methodics of falling radionuclides activity calculation and equal radiation dose in the radioactive contamination zone is represented as a function of total and individual radionuclides impact. The equation for analysing the speed of falling of radionuclides activity in time is derived.