

В. М. Триснюк, Є. І. Нагорний, Т. В. Триснюк, О. О. Конецька, А. В. Курило

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ ТА ЙОГО РИЗИКІВ

Анотація. Питання безперервного контролю радіаційної обстановки (РО) і своєчасного виявлення радіоактивного забруднення місцевості (РЗМ) продовжують залишатися актуальними і нині. **Актуальність теми** обумовлена вимогами перспективних автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки і АСУ по скороченню часу обробки даних про радіоактивне забруднення місцевості і підвищенню достовірності результатів виявлення радіаційної обстановки. Виявлення радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки, призначений для виявлення радіоактивного забруднення місцевості за даними радіаційної розвідки і може враховувати апіорну інформацію про джерела забруднення і стану довкілля з подальшим відображенням результатів виявлення на об'єктах відображення інформації. **Метою статті** є формулювання постановки задачі ліквідації наслідків техногенних катастроф на території України, користуючись принципами системного підходу. **Результати дослідження.** У статті сформульована постановка задачі ліквідації наслідків техногенних катастроф на території України. Запропоновано методику і алгоритм обробки інформації про радіоактивне забруднення місцевості при виявленні радіаційної обстановки з урахуванням апіорної інформації про джерела радіоактивного забруднення місцевості, яка дозволяє підвищити достовірність і оперативність виявлення фактичного радіоактивного забруднення місцевості. Розроблені методики і алгоритм можуть бути реалізовані в спеціальному математичному забезпеченні автоматизованих робочих місць різних посадовців в перспективних комплексних завданнях виявлення радіаційної обстановки при виникненні надзвичайних ситуацій. На наш погляд ця модель може використовуватися для складання прогнозу радіоактивного забруднення місцевості у тому разі якщо активна фаза розвитку ядерної реакції припиниться після викиду радіоактивних речовин в атмосферу.

Ключові слова: радіоактивне забруднення; техногенні катастрофи, радіоактивних речовин, ядерні енергетичні установки.

Вступ

Питання безперервного контролю радіаційної обстановки (РО) і своєчасного виявлення радіоактивного забруднення місцевості (РЗМ) продовжують залишатися актуальними і нині. Це обумовлено двома чинниками: збільшенням кількості об'єктів ядерної енергетики, як джерела дешовшої енергії, і активізацією сил міжнародного екстремізму та військових дій на території України. У разі загострення міжнародного стану не можна унеможливити масову атаку терористів на об'єкти атомної енергетики, підприємства ядерного паливного циклу, а також могильники радіоактивних відходів. Як показує практика, превентивні заходи захисту не завжди виявляються ефективними. Таким чином, можливе виникнення ситуації, коли значні території піддаються радіоактивному забрудненню одночасно від декількох джерел. Виявлення радіоактивного забруднення місцевості буде першим завданням ліквідації наслідків подібних ситуацій. **Метою статті** є формулювання постановки задачі ліквідації наслідків техногенних катастроф на території України, користуючись принципами системного підходу. Нині усі АЕС обладнані апаратурою, що забезпечує безперервний цілодобовий контроль скидань і викидів радіоактивних речовин в довкілля, сигналізацію перевищення в повітрі допустимих концентрацій, автоматичне, без участі оператора, фіксацію об'ємної активності радіонуклідів у воді і повітрі (інформаційно-вимірювальна система «Кільце», апаратура РКС-03-01, АК РБ-06 та ін.). Деякі АЕС частково обладнані датчиками, які досягли потужності дози гамма випромінювання порогового значення, авто-

матично включають прилади, що вимірюють сумарну активність ізотопів йоду, інертних радіоактивних газів (ИРГ) і потужність дози бета випромінювання. Отримана таким чином інформація передається по дротяних засобах зв'язку Радіоактивне забруднення місцевості є потужним чинником, що робить істотний вплив на життєдіяльність населення, роботу адміністративних структур і органів державного управління в цілому [1].

Джерелами радіоактивного забруднення в мирний час можуть бути:

- аварії ядерних енергетичних установок з викидом продуктів реакції;
- руйнування сховищ (контейнерів) з радіоактивними речовинами;
- руйнування активної зони або системи теплоносія ядерних енергетичних установок в результаті терористичних актів;
- руйнування могильників радіоактивних відходів.

Виклад основного матеріалу

У разі виявлення радіоактивного забруднення місцевості за фактичними даними через відсутність практично реалізованого програмного забезпечення для цих систем можна говорити лише про певні наукові опрацювання завдання. Деякі з причин такого стану справ очевидні. Ця невідповідність, в тому або іншому ступені, між фактичним РЗМ і модельним, неповна і неточна інформація про джерела радіоактивного забруднення, значні помилки визначення потужності дози випромінювання приладами радіаційної розвідки, великий об'єм оброблюваних даних, що мають розкид за часом вимірів.

Найважче математичне забезпечення для обробки інформації про РЗМ в автоматизованих системах контролю РО, на наш погляд, має істотний недолік. Апарат оцінки РЗМ в АСКРО створювався після аварії на Чорнобильській АЕС і тому значною мірою орієнтований на специфіку завдань, що вирішуються в системах контролю радіаційної обстановки. Виявлення і оцінка радіаційної обстановки здійснюється, як правило, в два етапи. На першому - на підставі даних про джерела радіоактивного забруднення і метеобстановку, здійснюється прогноз РЗМ. На другому - виявляється фактична радіаційна обстановка за даними розвідки (контролю). Результати прогнозу можуть бути використані тільки для орієнтовної оцінки радіаційної обстановки [2]. Необхідно особливо відмітити, що ці прогнозування повинні обов'язково уточнюватися радіаційною розвідкою [1].

Такий порядок роботи характерний як для систем контролю радіаційної обстановки, так і для систем військового. Завданням досліджень є виявлення і оцінка (за прогнозом і фактичними даними) масштабів і наслідків погіршення екологічної обстановки на контрольованій території і об'єктах [3]. Нині досить добре пропрацювали методи прогнозування радіоактивного забруднення місцевості при ядерних вибухах. Проте, ці підходи неприйнятні при виникненні надзвичайних ситуацій на об'єктах атомної енергетики і підприємствах ядерного паливного циклу. Це пов'язано з тим, що набір радіонуклідів, що забруднюють навколишній простір при аварії на АЕС, істотно відрізнятиметься від їх складу при ядерному вибуху. Так, при аварії ядерного енергетичного реактора довгоживучих радіонуклідів буде в 100-2200 разів більше, ніж при використанні ядерної зброї [4].

Крім того, принципово іншим буде процес поширення продуктів реакції. Це обумовлено: різною висотою підйому радіоактивних хмар з аварійного реактора і від ядерного вибуху; пульсуючим характером витікання радіоактивних речовин із зруйнованої зони ядерного реактора; нестабільністю метеопараметрів в приземному (пограничному) шарі атмосфери в порівнянні з високими шарами атмосфери, де відбувається поширення радіоактивної хмари ядерного вибуху.

Розглянемо модель поширення радіоактивної хмари в пограничному шарі атмосфери. Ця модель [5] дозволяє розрахувати потужність дози випромінювання на слідові радіоактивної хмари при аварії ядерного реактора.

У основу моделі покладені такі залежності.

$$\dot{X}_1 = \frac{(1 - 0.9\tau^{-0.18})W_{el}\eta R}{V^\beta X^\gamma} K_r \exp\left(-\frac{Y^2}{2\sigma_y^2}\right), \quad (1)$$

У формулі (1) присутні такі змінні:

X - потужність дози випромінювання на сліду радіоактивної хмари за годину після аварії на АЕС, Р/ч;

τ - тривалість компанії, діб (стандартна компанія ядерних реакторів РБМК і ВВЭР на території України близько трьох років або 1100 діб);

W_{el} - електрична потужність ядерного реактора, МВт; η - доля викиду радіоактивних речовин з ядерного реактора, % (якщо доля викиду невідома (типова ситуація в початковій стадії аварії), то вона приймається рівною 10%, причому для ядерних реакторів РБМК 25% викиду вважається хмарою, а 75% викиду - струмь, а для ядерних реакторів ВВЭР 75% викиду - хмара і 25% - струмь;

R - коефіцієнт, величина якого залежить від типу ядерного реактора і категорії стійкості атмосфери, значення R приведені в табл. 1;

Таблиця 1 – Значення коефіцієнта R

Тип ядерного реактора	Категорія стійкості атмосфери		
	Конвекція (А)	Ізотермія (D)	Інверсія (F)
РБМК	0,01104	0,11435	0,17282
ВВЭР	0,00644	0,01421	0,03044

V - швидкість вітру в шарі 0-200 м, м/с;

X - відстань від аварійного ядерного реактора по напрямку вітру, км;

K_r - коефіцієнт, що враховує зменшення потужності дози на початковій ділянці сліду,

$$K_r = 0.5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\sqrt{K_1} \ln \left(X / X_{50} \right) \right) \right], \quad (2)$$

для категорії стійкості атмосфери A і D $K = 1$, але його величину необхідно враховувати для категорії стійкості атмосфери F ;

$\operatorname{erf} \left(\sqrt{K_1} \ln \left(X / X_{50} \right) \right)$ - інтеграл імовірності (функція Лапласа);

X_{50} - відстань від АЕС до точки, в якій потужність дози випромінювання в два рази менше максимальної на осі сліду, км;

Y - відстань точки від осі сліду, км;

σ_y - дисперсія бічного відхилення сліду на відстані X км від АЕС,

$$\sigma_y = \frac{C_3 X}{\sqrt{1 + 0.1X}}, \quad (3)$$

C_3 - критерій Пасквилла, величина якого залежить від категорії стійкості атмосфери (табл. 2);

Таблиця 2 – Значення критеріїв Пасквилла

Категорія стійкості атмосфери	Конверсія	Ізотермія	Інверсія
С3	0,00644	0,01421	0,03044

γ - коефіцієнт, величина якого залежить від типу ядерного реактора, категорії стійкості атмосфери і швидкості вітру

$$\gamma = a - b \lg V. \quad (4)$$

Значення коефіцієнтів a і b , а також β , $\sqrt{K_1}$, X_{50} , величини яких залежать від типу ядерного реактора і категорії стійкості атмосфери, приведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Значення коефіцієнтів $a, b, \beta, \sqrt{K_1}, X50$

Тип ядерного реактора	Категорія стійкості атмосфери	a	b	β	$\sqrt{K_1}$	$X50$
РБМК-1000	A	1.75064	0.43463	1.27297	1.90623	27.958
	D	2.02097	0.59085	1.23651	1.90623	27.958
	F	2.08716	0.36056	0.85016	1.90623	27.958
ВВЭР-1000	A	1.52343	0.33194	1.15853	1.90859	28.000
	D	1.76039	0.50074	1.24020	1.90859	28.000
	F	2.08914	0.35439	0.83993	1.90859	28.000

Зауважимо, що за відсутності даних величина $X50$ приймається рівною 27,958 для РБМК-1000 і 28,000 - для ВВЭР-1000 (табл. 3).

Знаючи значення потужності дози випромінювання в точці на сліді хмари на 1 годину після аварії можливо розрахувати рівень радіації на будь-який час

$$\dot{X}_t = \dot{X}_1 f(t), \quad (5)$$

де t - час з моменту зупинки ядерного реактора, ч.

У рамках розвитку цієї моделі [6] була запропонована методика розрахунку розподілу потужності дози випромінювання на сліді радіоактивної хмари.

У напрямі сліду розподіл потужності дози випромінювання визначається

$$\dot{X}_x = \frac{10^\alpha K \cdot K_W}{V^\beta X^\gamma}, \quad (6)$$

де K - коефіцієнт, величина якого залежить від типу ядерного реактора і стійкості атмосфери (табл. 4);

Таблиця 4 – Значення коефіцієнту K

Тип ядерного реактора	Категорія стійкості атмосфери		
	A	D	F
РБМК-1000	1,89180	2,90735	3,08670
ВВЭР-1000	1,65788	2,00169	2,33355

K_W - коефіцієнт, що враховує кількість аварійних ядерних реакторів (n), їх електричну потужність (W_{el} , МВт) і долю викиду радіоактивних речовин з ядерного реактора при аварії (%)

$$K_W = 10^{-4} n W_{el}, \quad (7)$$

Розподіл потужності дози випромінювання в напрямі перпендикулярному осі сліду описується таким рівнянням:

$$\dot{X}_{xy} = \dot{X}_x \exp\left(\frac{-Y^2}{2\sigma_y^2}\right), \quad (8)$$

де Y - відстань від осі сліду, км; σ_y^2 - дисперсія розподілу домішки в поперечному перерізі сліду хмари.

Проте критерій по Пасквиллу в даному випадку визначається інакше (табл. 5).

Таблиця 5 – Значення критеріїв Пасквилла

Категорія стійкості атмосфери	A	D	F
C3	0,22	0,08	0,04

Виходячи з вищевикладеного модель дозволяє визначити геометричні розміри зон радіоактивного забруднення місцевості.

Довжина зони забруднення

$$L_x = \sqrt{\frac{K_W \cdot K \cdot A \cdot 10^\alpha}{V^\beta \cdot \dot{X}_3}}. \quad (9)$$

Ширина сліду радіоактивної хмари

$$L_y = \sqrt{2\sigma_y^2 \left(\ln \dot{X}_{1/2L_x} - \ln \dot{X}_3 \right)}, \quad (10)$$

де L_x - потужність дози випромінювання на осі сліду на відстані $\frac{1}{2L_x}$ від АЕС на 1 годину після зупинки ядерного реактора;

\dot{X}_3 - потужність дози випромінювання на зовнішній межі визначуваної зони на 1 годину після аварії ядерного реактора;

A - добова доля радіонуклідів, що викидаються, від їх загальної кількості, %.

Як показує аналіз цієї моделі, запропонований алгоритм досить добре формалізований [7]. Проте в якості початкових даних є присутньою велика кількість змінних, значення яких невідоме, принаймні в початковий період розвитку аварії.

До таких параметрів відносяться:

доля викиду радіоактивних речовин з ядерного реактора;

відстань від АЕС до точки, в якій потужність дози випромінювання в два рази менше максимальної на осі сліду;

добова доля радіонуклідів, що викидаються, від їх загальної кількості (A) і деякі інші.

Привласнення невідомим параметрам моделі фіксованих значень, поза сумнівом, погіршує якість моделі в цілому.

Крім того, ця модель не враховує пульсуючий характер викиду радіоактивних речовин з аварійного реактора, що цілком імовірно, як показав досвід аварії на Чорнобильській АЕС.

На наш погляд ця модель може використовуватися для складання прогнозу радіоактивного забруднення місцевості у тому разі якщо активна фаза розвитку ядерної реакції припиняється після викиду радіоактивних речовин в атмосферу.

Висновки

Як показує аналіз цієї моделі привласнення невідомим параметрам моделі фіксованих значень, поза сумнівом, погіршує якість моделі в цілому.

Крім того, ця модель не враховує пульсуючий характер викиду радіоактивних речовин з аварійного реактора, що цілком імовірно, як показав досвід аварії на Чорнобильській АЕС.

На наш погляд ця модель може використовуватися для складання прогнозу радіоактивного

забруднення місцевості у тому разі якщо активна фаза розвитку ядерної реакції припиняється після викиду радіоактивних речовин в атмосферу [8].

Виходячи з вищесказаного, можна зробити висновок про те, що методики прогнозування радіоактивного забруднення місцевості, що базуються на використанні модельних уявлень про формування сліду ядерного вибуху, непридатні відносно радіаційних аварій, або вимагають істотної переробки.

Інші методики, при обробці інформації про аварії на ядерних енергетичних установках, повинні враховувати радіонуклідний склад продуктів реакції.

Отриманий формальний опис досліджуваної системи і оточуючого її середовища, виходячи із принципів системного підходу.

Напрямок подальших досліджень – використання методів інтерполяції для обробки даних радіаційної розвідки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України "Про Цивільну оборону України" від 28.02.1991 р.
2. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. –2016. –№12. – С.185-188. Index Copernicus
3. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере: Методическое пособие. – К.: КМУГА, 1999. – 124 с.
4. Загальні вимоги до розвитку і розміщення потенційно небезпечних виробництв з урахуванням ризику надзвичайних ситуацій техногенного походження/ НАН України, Рада по вивченню продуктивних сил України. Наукові керівники: чл.-кор. НАН України С.І. Дорогунцов і генерал-лейтенант В.Ф. Гречанінов. – К., 1995. – 120 с.
5. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI (Редакція від 12.05.2017)
6. В.П.Романюк, В.М.Триснюк, Т.Л.Куртсеїтов. Постановка задач ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф на території України.. Системи управління, навігації та зв'язку. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Полтава. Випуск 3 (61) 2020р. – С. 138-143.
7. Trysnyuk, V., Trysnyuk, T., Okhariev, V., Shumeiko, V., Nikitin, A. [2018] Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. Centrul Universitar Nord Din Bala Mare - UTPRESS ISSN 1582-0548, №1. 61-67.
8. Михайлова А.В., Чумаченко С.М. Особливості класифікації джерел небезпеки, що призводять до надзвичайних ситуацій воєнного характеру // 36. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика», 21-22 листопада 2019, Харків, НУЦЗУ. – С. 51-53.

Received (Надійшла) 22.06.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.08.2022

Statement of the consequence's liquidation problem of natural and technogenic disasters on the Ukraine territory

Vasyl Trysnyuk, Evgeny Nagorny, Taras Trysnyuk, Olha Konetska, Anatoly Kurilo

Abstract. The issues of continuous monitoring of the radiation situation (RO) and timely detection of radioactive contamination of the area (RZM) continue to remain relevant even today. The topicality of the topic is due to the requirements of promising automated systems for monitoring the radiation situation and ACS to reduce the time of processing data on radioactive contamination of the area and increase the reliability of the results of detecting the radiation situation. Detection of radioactive contamination of the area according to radiation reconnaissance data is intended for detection of radioactive contamination of the area according to radiation reconnaissance data and can take into account a priori information about the sources of pollution and the state of the environment with subsequent display of detection results on information display devices. The purpose of the article is to formulate the problem of elimination of the consequences of man-made disasters on the territory of Ukraine, using the principles of a systemic approach. Research results. The article formulates the formulation of the task of eliminating the consequences of man-made disasters on the territory of Ukraine. A methodology and algorithm for processing information about radioactive contamination of the area when detecting the radiation situation, taking into account a priori information about the sources of radioactive contamination of the area, which allows to increase the reliability and efficiency of detecting the actual radioactive contamination of the area, is proposed. The developed methods and algorithm can be implemented in the special mathematical provision of automated workplaces of various officials in promising complex tasks of detecting the radiation situation in emergency situations. In our opinion, this model can be used to make a forecast of radioactive contamination of the area in the event that the active phase of the development of the nuclear reaction stops after the release of radioactive substances into the atmosphere.

Keywords: radioactive pollution; man-made disasters, radioactive substances, nuclear power plants.