

УДК 621.318

В.М. Триснюк<sup>1</sup>, А.А.Нікітін<sup>2</sup>, В.О. Шумейко<sup>1</sup><sup>1</sup> Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України, Київ,<sup>2</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

## АЛГОРИТМ ОБРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО РАДІОАКТИВНЕ ЗАБРУДНЕННЯ МІСЦЕВОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ДЗЗ ТА ГІС

Стаття присвячена розробленню алгоритму оброблення інформації про радіоактивне забруднення місцевості з використанням даних ДЗЗ та ГІС. Радіоактивне забруднення місцевості є потужним фактором впливу на життєдіяльність населення, роботу адміністративних структур і органів державного управління в цілому. Виявлення радіоактивного забруднення місцевості являється першочерговою задачею ліквідації наслідків радіоактивного забруднення.

**Ключові слова:** радіаційної обстановки, математична модель, ядерна енергетика, радіаційна розвідка.

### Вступ

Питання постійного контролю радіаційної обстановки (РО) і своєчасного виявлення радіоактивного забруднення місцевості (РЗМ) продовжують залишатися актуальними і в наш час. Це обумовлено трьома факторами: збільшенням кількості об'єктів ядерної енергетики, старінням існуючих атомних реакторів, активізацією сил міжнародного екстремізму, які сприяють активізації терористичних актів по всьому Світу. У випадку загострення міжнародної обстановки неможливо виключити можливість атаки терористів на об'єкти атомної енергетики, підприємства атомної енергетики, а також могильники радіоактивних відходів. Таким чином, можливе виникнення ситуації, коли значні території будуть радіоактивно забруднені від декількох джерел.

### Виклад основного матеріалу

Джерелами радіоактивного забруднення в мирний час можуть бути:

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

На сьогоднішній день виявлення РЗМ може здійснюватися за допомогою прогнозу і на основі фактичних даних радіаційної розвідки і спостереження [1].

При прогнозуванні використовуються відомості про джерела радіоактивного забруднення (рис. 1) і метеорологічна інформація (рис. 2).

Виявлення і оцінка радіаційної обстановки здійснюється, як правило, в два етапи. На першому

– на основі даних про джерела радіоактивного забруднення і метеорологічної обстановки проводиться прогноз РЗМ. На другому – виявляється фактична радіаційна обстановка по даним розвідки (контролю). Прогноз РМЗ здійснюється шляхом вирішення інформаційно-розрахункової задачі (рис. 3).

**Вихідною інформацією для інформаційно-розрахункової задачі є (табл. 1):**

#### 1) Інформація про АЕС:

- тип ядерного енергетичного реактору (ЯЕР) (РВБК або ВВЕР);
- електрична потужність ЯЕР (МВт);
- кількість аварійних ЯЕР – n;
- координати ЯЕР (АЕС);
- астрономічний час аварії ( $T_{ав}$ , доба, год.);
- доля викинутих із ЯЕР радіоактивних речовин (h, %).

#### 2) Метеорологічні характеристики:

- швидкість вітру на висоті 10 м ( $V_{10}$ , м/сек);
- напрямок вітру на висоті 10 м ( $L_{10}$ , град);
- стан хмарності (відсутній, середній або суцільний);
- температура повітря ( $T_{пов}$ );
- вид місцевості (лісиста, лісисто-болотиста, степова, лісостепова);
- тип рослинності (хвойна, змішана, листяна);
- вид рельєфу: рівнинний, рівнинно-хвилястий, рівнинно-горбистий, горбисто-балочний, горбистий, передгір'я);
- пора року (літо, зима).

При врахуванні в розрахунках пори року літо приймається з 15 травня до 30 жовтня, зима – з 30 жовтня по 15 травня. Вказані періоди обумовлюються наявністю листя на деревах, яке впливає на швидкість та дальність розповсюдження радіоактивних речовин.

Достовірність прогнозу буде залежати від відповідності математичної моделі, яка застосовується для конкретної аварії і від точності вхідних даних.

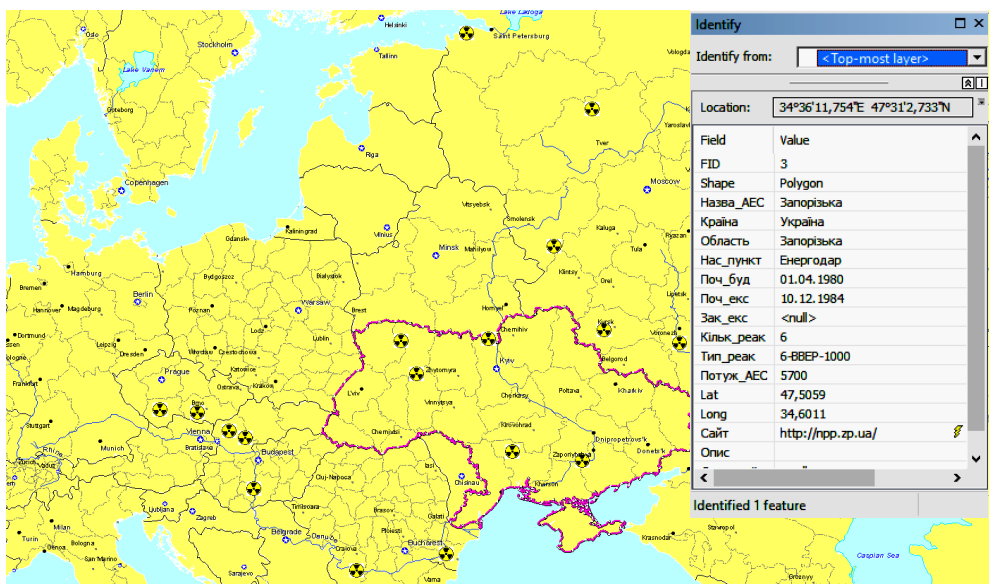


Рис. 1. База геоданих атомних електростанцій (АЕС)



Рис. 2. Метеорологічна інформація

Таблиця 1

Характеристика змінної інформації

Параметр	Найменування параметру	Розмірність	Межі зміни
n	Кількість аварійних ЯЕР	од.	1→4
T <sub>AB</sub>	Астрономічний час аварії	год., доба	1→356
h	Доля викинутих із ЯЕР радіоактивних речовин	%	3→50
V <sub>10</sub>	Швидкість вітру	од.	< 2→ < 6
L <sub>10</sub>	Напрямок вітру	град.	0→360
T <sub>пов</sub>	Температура повітря	град.С	- 40 до + 40

Результати прогнозу можуть бути використані тільки для приблизної оцінки радіаційної обстановки [2]. З часом актуальність прогнозу втрачається, чим більше часу пройшло з моменту аварії, тим нижче достовірність моделі, а також, при певних умовах, модель може некоректно описувати РЗМ.

Для отримання уточненої карти РЗМ необхідно проводити радіаційну розвідку місцевості.

Радіаційна розвідка проводиться підрозділами РХБ розвідки в районах визначених для розвідки, як правило після проведення прогнозування за фактом аварії (руйнуванні) на ПНО. Основним способом ведення радіаційної розвідки районів є спосіб опорних точок, якій передбачає завчасний вихід до спланованих районів підрозділів РХБ розвідки і ведення

радіаційного спостереження або розвідки в визначених пунктах і періодичний об'їзд районів по намічених маршрутах. Вся інформація про потужності доз опромінення та метеобстановку, передається по каналам зв'язку в розрахунково-аналітичні станції (групи) для аналізу для створення реальної картини про фактичну радіаційну обстановку.

Дані радіаційної розвідки:

- значення вимірювання потужності дози опромінювання (D<sub>вим</sub>, рад/год);
- час виміру потужності дози опромінювання (T<sub>вим</sub>, доба, год.).

Найбільш перспективним є розробка методики послідовної параметричної адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки.

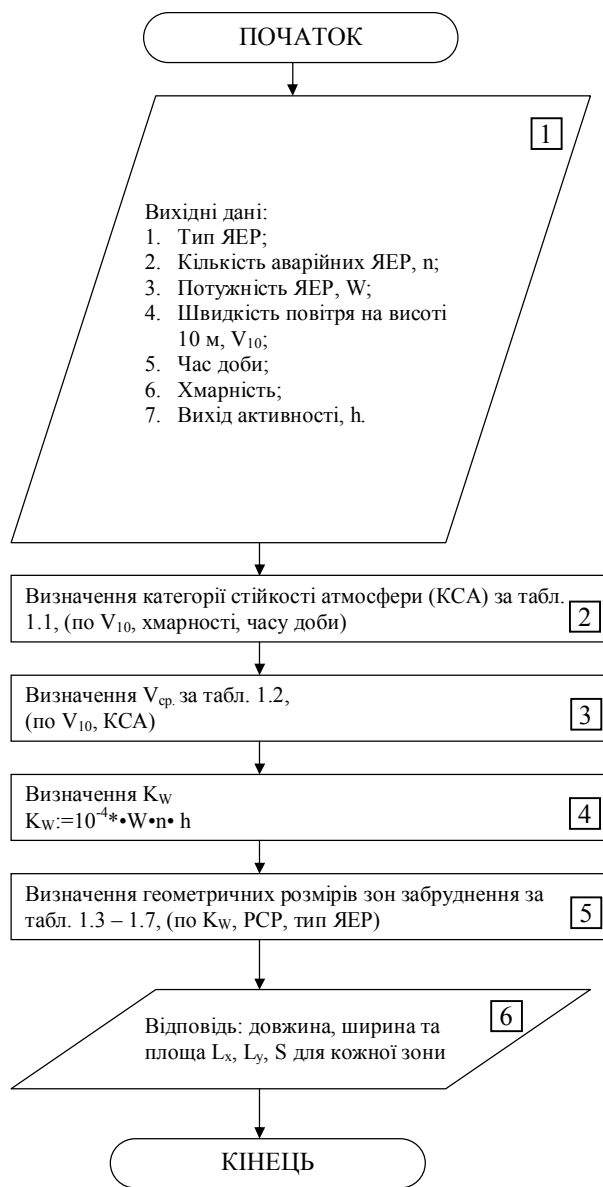


Рис. 3. Алгоритм визначення геометричних розмірів зон забруднення

Під час аварії ядерної енергетичної установки може бути використана така модель [2]:

$$D_x = K_w \cdot \left( 10^\alpha / (u_p^\beta \cdot x^\gamma) \right) \cdot \mathfrak{Z}; \quad (1)$$

$$D_{xy} = D_x \exp\left(-y^2 / (2\sigma_y^2)\right); \quad (2)$$

$$D_t = D_0 \cdot 0.5 \left[ 1 - \operatorname{erf}\left(\sqrt{k} \cdot \ln(t/t_{50})\right) \right], \quad (3)$$

де  $D_x$  – потужність дози випромінювання на осі сліду через 1 годину, рад/г;  $u_p$  – середня швидкість вітру в шарі 0-200 м, м/с;  $\alpha, \beta$  – коефіцієнти, що залежать від категорії стійкості атмосфери і типу ядерного реактора;  $\gamma = a - b \cdot \lg u_p$ ;  $a, b$  – регресивні коефіцієнти, що залежать від категорії стійкості атмосфери і типу ядерного реактора;  $x$  – відстань від АЕС по осі сліду, км;  $\mathfrak{Z}$  – поправочний коефіцієнт, що враховує збільшення потужності дози на початковій ділянці сліду;  $K_w = 10^{-4} \cdot n \cdot \eta_p \cdot W$ ;  $n$  – кількість

ядерних енергетичних реакторів (ЯЕР);  $\eta_p$  – частка радіоактивних речовин, викинутих з ЯЕР, %;  $W$  – електрична потужність ЯЕР, МВт;  $D_{xy}$  – потужність дози випромінювання в перпендикулярному напрямку від осі сліду на відстані  $y$  км, рад/год.;  $C_3$  – коефіцієнт, що залежить від категорії стійкості атмосфери;  $D_t$  – потужність дози випромінювання на момент часу  $t$  після аварії, рад/год;  $D_0$  – потужність дози випромінювання на момент часу  $0$  після аварії, рад/год;  $\sqrt{k}$  – параметр закону, що залежить від типу ЯЕР і тривалості кампанії;  $t$  – заданий час після аварії ЯЕР, год.;  $t_{50}$  – параметр закону (час, за який потужність дози  $D_0$  зменшується вдвічі), год; інтеграл помилок –  $\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz$ ;  $\sigma_H = \frac{C_3 x}{\sqrt{1 + 0.1x}}$ .

Ця модель вимагає наявності векторів параметрів об'єкта аварії  $V$  і метеоумов  $U$ .

Достовірність прогнозу залежить від достовірності джерел інформації, тобто чим точніше дані про джерела радіоактивного забруднення і інформація про погоду, тим надійніше прогноз. Звичайно те, що на якості прогнозу позначаються не тільки помилки визначення параметрів джерел радіоактивного забруднення (координати джерела, потужність викиду, час), але й наявність незареєстрованих або помилкових (що не мали місця в дійсності) джерел. Слід зауважити, що при пульсуючому характері викидів радіоактивних речовин з аварійного реактора, кожен такий викид може розглядатися як самостійне джерело радіоактивного забруднення.

Достовірність прогнозу, з точки зору надійності прийнятих рішень, вкрай низька через неповноту інформації про джерела радіоактивного забруднення або великих похибок визначення їх параметрів [2, 3]. Виходячи з цього, як вже було зазначено вище, результати прогнозування повинні бути обов'язково уточнені даними розвідки.

Рішення такого завдання можливе шляхом виявлення фактичного РЗМ за даними радіаційної розвідки. Однак, з одного боку, це вимагає досить великих витрат часу на збір даних радіаційної розвідки (з щільністю достатньою для виявлення фактичного РЗМ), а з іншого – після виявлення фактичної радіаційної обстановки відпадає необхідність у використанні прогнозу. Було б логічно спробувати підвищити достовірність прогнозу не після повного виявлення РЗМ, а в той час, коли дані розвідки ще не повністю зібрані, та тільки частково надійшли на пункт управління. При цьому, в разі необхідності, потрібно уточнити, скоригувати прогноз.

Таким чином, ми стикаємося з окремим випадком завдання розпізнавання образів. Перші спроби вивчення можливостей автоматизації таких процесів відносяться до 50-х років. В даний час вже склалися основні концепції теорії розпізнавання. Так, в роботі [4] сформульовані основні завдання, що виникають при розробці систем розпізнавання образів:

надання вихідних даних;

виділення характерних ознак з отриманих вихідних даних і зниження розмірності векторів образів (попередня обробка та вибір ознак);

побудова систем розпізнавання образів, визначення оптимальних вирішальних процедур, необхідних при ідентифікації та класифікації.

Отже, для підвищення достовірності прогнозу РЗМ необхідно побудувати розпізнавальну систему,

яка є стійкою до перешкод, здатна впоратися з істотними відхиленнями розпізнаваних об'єктів і володіє здатністю до самонастроювання, тобто вирішити задачу адаптації. Функціональна блок-схема такої системи зображена на рис. 4. Ідея рішення задачі адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки, з використанням теорії розпізнавання образів представлена на рис. 5.

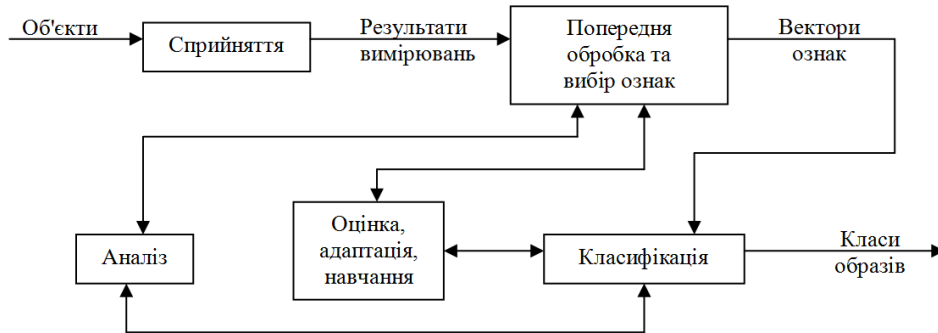


Рис. 4. Функціональна блок-схема адаптивної системи розпізнавання образів

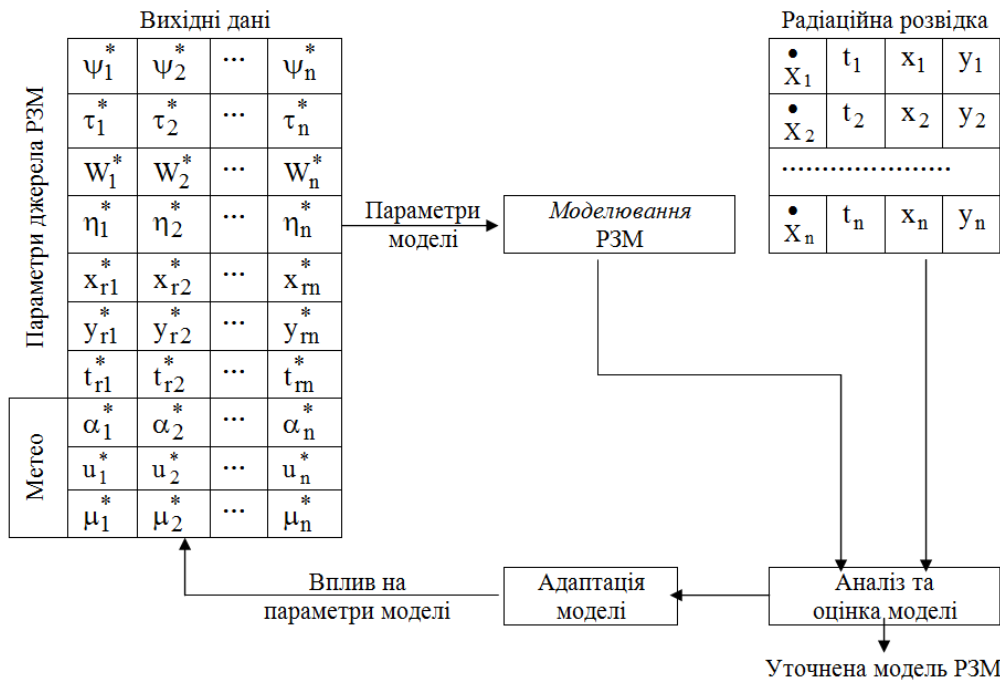


Рис. 5. Функціональна блок-схема послідовної параметричної адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки місцевості

Вихідні дані, представлені на схемі, позначені зірочкою. Це вказує на те, що величини, які розглядаються в даному випадку, інтерпретуються тільки як параметри моделі РЗМ, що дозволяє на етапі адаптації змінювати значення параметрів з метою максимально узгодити модель з даними радіаційної розвідки. При цьому знову отримані величини, можуть відрізнятися від фактичних значень, тому що одне й теж поле РЗМ може бути описано за допомогою різних комбінацій значень параметрів. Надалі таке уявлення моделі будемо називати параметричною моделлю.

Таким чином, вихідні дані можна записати у вигляді матриці

$$\begin{pmatrix} V_1^*, U_1^* \\ V_2^*, U_2^* \\ \dots \\ V_n^*, U_n^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{r1}^*, y_{r1}^*, t_{r1}^*, \psi_1^*, \tau_1^*, w_1^*, \eta_{p1}^*, \alpha_1^*, u_1^*, \mu_1^* \\ x_{r2}^*, y_{r2}^*, t_{r2}^*, \psi_2^*, \tau_2^*, w_2^*, \eta_{p2}^*, \alpha_2^*, u_2^*, \mu_2^* \\ \dots \\ x_{rn}^*, y_{rn}^*, t_{rn}^*, \psi_n^*, \tau_n^*, w_n^*, \eta_{pn}^*, \alpha_n^*, u_n^*, \mu_n^* \end{pmatrix} \quad (4)$$

де  $V^*, U^*$  – множини векторів параметрів моделі РЗМ при аварії ЯЕР;  $x_{ri}^*$  – параметр, що описує координату  $x$   $i$ -го джерела радіоактивного забруднення місцевості;  $y_{ri}^*$  – параметр, що описує координату  $y$   $i$ -го джерела радіоактивного забруднення місцевості;  $t_{ri}^*$  – параметр, що описує час аварії  $i$ -го джерела радіоактивного

забруднення місцевості, год.;  $\psi_i^*$  – параметр, що описує тип ЯЕР  $i$ -го джерела радіоактивного забруднення місцевості;  $\tau_i^*$  – параметр, що описує тривалість кампанії  $i$ -го джерела радіоактивного забруднення місцевості, доб.;  $w_i^*$  – параметр, що описує електричну потужність  $i$ -го джерела радіоактивного забруднення місцевості, МВт;  $\eta_{pi}^*$  – параметр, що описує частку викиду радіонуклідів  $i$ -го джерела радіоактивного забруднення місцевості, %;  $\alpha_i^*$  – параметр, що описує напрямок середнього вітру в шарі 0-200 м для  $i$ -го джерела радіоактивного забруднення місцевості, град.;  $u_i^*$  – параметр, що описує швидкість середнього вітру в шарі 0-200 м для  $i$ -го джерела радіоактивного забруднення місцевості, м/с;  $\mu_i^*$  – параметр, що описує категорію стійкості атмосфери для  $i$ -го джерела радіоактивного забруднення місцевості.

Основна відмінність такої параметричної моделі від раніше розглянутих полягає в тому, що кожен рядок матриць розглядається не як характеристика джерела радіоактивного забруднення, а як вектори  $V_i^*, U_i^* (V_{si}^*, U_{si}^*)$  параметрів моделі.

Таке уявлення вихідних даних дозволяє коригувати окремі параметри моделі з метою максимально наблизити її до фактичної радіаційної обстановки. Крім того, допускається введення в матрицю додаткових рядків (або видалення наявних) для підвищення достовірності моделі.

Слід особливо підкреслити, що параметрична модель може служити тільки для опису радіоактивного забруднення місцевості, але не може використовуватися для виявлення фактичних характеристик джерел радіоактивного забруднення.

Адаптація моделі може проводитися послідовно, у міру надходження даних радіаційної розвідки. Необхідність подальшої розробки цієї ідеї зумовлена потребою уточнення прогнозу РЗМ на етапі збору даних радіаційної розвідки, коли їх щільність ще недостатня для виявлення фактичного забруднення, або коли дані розвідки згруповані в компактні множини, що теж може мати місце на початкових стадіях виявлення фактичної радіаційної обстановки.

#### АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДЗЗ И ГИС

В.Н.Триснюк, А.А.Никитин, В.О.Шумейко

*Статья посвящена разработке алгоритма обработки информации о радиоактивном загрязнении местности с использованием данных ДЗЗ и ГИС. Радиоактивное загрязнение местности является мощным фактором влияния на жизнедеятельность населения, работу административных структур и органов государственного управления в целом. Выявление радиоактивного загрязнения местности является первоочередной задачей ликвидации последствий радиоактивного загрязнения.*

**Ключевые слова:** радиационной обстановки, математическая модель, ядерная энергетика, радиационная разведка.

#### ALGORITHM FOR PROCESSING INFORMATION ON RADIOACTIVE POLLUTION WITH THE USE OF ERS AND GIS DATA

V.N. Trysnyuk, A.A. Nikitin, V.O. Shumeyko

*The article is devoted to the development of an algorithm for processing information on radioactive contamination of the terrain using remote sensing and GIS data. Radioactive contamination of the terrain is a powerful factor in influencing people's livelihoods, the work of administrative structures and public administration in general. Detection of radioactive contamination of the terrain is a top priority task to eliminate the consequences of radioactive contamination.*

**Keywords:** radiation situation, mathematical model, nuclear power engineering, radiation prospecting.

Методика послідовної параметричної адаптації передбачає як налаштування на наявну вихідну інформацію, так і уточнення моделі РЗМ за мірою надходження даних радіаційної розвідки.

#### Висновки

Таким чином, метод послідовної параметричної адаптації моделі РЗМ даними радіаційної розвідки дає можливість в ряді випадків уточнювати прогноз радіоактивного забруднення і може бути використаний з метою виявлення радіаційної обстановки. Методика, яку можливо розробити на його основі, дозволить в кілька разів зменшити помилку відновлення потужності дози випромінювання. Вона може застосовуватися при щільності точок контролю значно нижче нормативних.

Запропонована методика послідовної параметричної адаптації моделі радіоактивного забруднення місцевості даними радіаційної розвідки дозволить оцінити і в ряді випадків поліпшити якість прогнозу РЗМ. Методика може бути використана при малій щільності точок розвідки, що важливо на початкових стадіях виявлення фактичної радіаційної обстановки.

#### Список літератури

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. *Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗОВ.* – М.: Наука, 1986. – 544с.
2. Кармишин А.М. и др. *Радиационная обстановка в ближней зоне Чернобыльской АЭС и динамика ее изменения.* – М.: ВАНЭ, 1990. – 86 с.
3. Минзов А.С., Ужель С.В., Боголюбов О.Ю. *Разработка математических методов обработки информации о радиоактивном загрязнении местности при авариях на объектах ядерного топливного цикла.* – М.: НППЦ “Гражданская защита”, 1994. – 212с.
4. *Статистическая диагностика электротехнического оборудования: Монография / С.В. Бабак, М.В. Мыслович, Р.М. Сысак.* – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2015. – 456 с.
5. Ту Дж., Гонсалес Р. *Принципы распознавания образов* – М.: Мир, 1978. – 410с

Надійшла до редколегії 25.10.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.С. Бутенко, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.