



УКРАЇНА

(19) UA (11) 56833 (13) U  
(51) МПК  
G01T 1/167 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) СПОСІБ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ РЕАЛЬНОЇ МІСЦЕВОСТІ З РЕАЛЬНИМ РЕЛЬЄФОМ

1

2

(21) u201009261

(22) 23.07.2010

(24) 25.01.2011

(46) 25.01.2011, Бюл.№ 2, 2011 р.

(72) ГЕТМАНЕЦЬ ОЛЕГ МИХАЙЛОВИЧ, ГОРДІЄНКО ВІКТОР ГРИГОРОВИЧ, ДРОЗДОВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ПЕЛІХАТИЙ МИКОЛА МИХАЙЛОВИЧ

(73) ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА ЗООВЕТЕРИНАРНА АКАДЕМІЯ

(57) Спосіб радіаційного моніторингу місцевості з реальним рельєфом за допомогою розміщення датчиків іонізуючих випромінювань в певних точ-

ках контрольованої території, коли на підставі показань датчиків безперервно будується нелінійна регресійна модель поля випромінювання, згідно з якою неперервно визначається поле радіаційного фону та поле градієнта радіаційного фону, який відрізняється тим, що модель поля випромінювання будується у тривимірному вигляді з урахуванням висоти розміщення датчиків відносно рівня моря, що дозволяє побудувати поверхні рівня поля іонізуючого випромінювання над контрольованою зоною та здійснити його картографічну прив'язку, а також екстраполювати результати моніторингу за межі території, яка контролюється.

Корисна модель відноситься до техніки контролю радіаційного забруднення довкілля і може бути використана для виявлення радіоактивних викидів і локалізації їх джерел при проведенні радіаційного моніторингу реальної місцевості в режимі реального часу.

Спосіб радіаційного моніторингу місцевості відомий. Він зводиться до оперативного виявлення надфонових рівнів іонізуючих випромінювань, які є симптомами виникнення надзвичайних ситуацій [1].

Але цей спосіб не дозволяє виявляти та локалізувати на місцевості радіоактивні джерела.

Найбільш близьким до корисної моделі, що пропонується, є спосіб радіаційний моніторинг місцевості у режимі реального часу за допомогою розміщення датчиків іонізуючих випромінювань на певній відстані один від одного, коли на підставі показників датчиків безперервно будується нелінійна регресійна модель поля випромінювання, згідно якої неперервно визначається поле радіаційного фону та поле градієнту радіаційного фону, що дозволяє локалізувати джерела радіаційного випромінювання [Деклараційний патент України на корисну модель № 50154, д.п. 11.12.2009, опуб. 25.05.2010. Бюл. № 10].

Але цей спосіб використати неможливо, коли проводиться радіаційний моніторинг реальної місцевості з реальним рельєфом, тобто з урахуванням перепаду висот відносно рівня моря.

Тому задачею корисної моделі є розробка простих та надійних алгоритмів моделювання радіаційного фону при проведенні радіаційного моніторингу місцевості з реальним рельєфом, зокрема, побудова безперервної трьохвимірної нелінійної регресійної моделі поля іонізуючих випромінювань, яка заснована на показаннях датчиків, що знаходяться в певних точках контрольованої зони або над нею з урахуванням висоти розміщення датчиків відносно рівня моря; побудова поверхонь рівня поля іонізуючого випромінювання та його картографічна прив'язка до місцевості, яка контролюється; екстраполяція даних моніторингу за межі контрольованої території; виявлення розташування джерел радіоактивного викиду.

Поставлена задача вирішується тим, що радіаційний моніторинг місцевості з реальним рельєфом здійснюється за допомогою розміщення датчиків іонізуючих випромінювань в певних точках контрольованої території, на підставі показань датчиків безперервно будується нелінійна регресійна модель поля випромінювання, яка дозволяє неперервно визначати поле радіаційного фону та поле градієнту радіаційного фону, згідно запропонованої корисної моделі, модель поля випромінювання будується у трьохвимірному вигляді з урахуванням висоти розміщення датчиків відносно рівня моря, що дозволяє побудувати поверхні рівня поля іонізуючого випромінювання над контрольованою зоною та здійснити його картографічну

(19) UA (11) 56833 (13) U

прив'язку, а також екстраполювати результати моніторингу за межі території, яка контролюється.

Для пояснення запропонованого способу припустимо, що є  $n$  сенсорних детекторів іонізуючого випромінювання, які розташовані в  $n$  точках контрольованої зони з реальним рельєфом та, можливо, над її поверхнею - на вежах, кулях-зондах та ін. Нехай кожний датчик має трьохвимірні координати:  $x_i, y_i, z_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ), где  $z_i$  - висота над рівнем моря. Припустимо також, що в певний момент часу датчики мають наступні показання:  $P_i(x_i, y_i, z_i)$ , где  $P_i$  - потужність експозиційної дози. На підставі цих даних будемо будувати регресійну модель поля випромінювання 2-го порядку за координатами:

$$P = ax^2 + by^2 + cz^2 + dxy + exz + fyz + gx + hy + kz + l. \quad (1)$$

Тут  $P$  - потужність експозиційної дози,  $a, b, c, d, e, f, g, h, k, l$  - параметри регресії;  $x, y, z$  - координати довільної точки на (або над) контрольованої території. Оцінки для параметрів регресії легко визначити за фактичними показаннями детекторів  $P_i(x_i, y_i, z_i)$  ( $i=1, 2, 3 \dots n$ ) методом найменших квадратів (цей алгоритм закладено в багатьох стандартних програмах, і він виконується комп'ютером за доли секунди).

Відзначимо, що кількість детекторів  $n$  повинна бути не менша за  $\frac{3}{4}$  від кількості параметрів моделі  $m$ , яка застосовується для опису поля радіації [2].

Для моделі (1) кількість параметрів  $m=10$ , тому кількість датчиків повинна бути не меншою за 14.

Таким чином, згідно рівняння (1) для поля радіації за значеннями отриманих з датчиків показань безперервно знаходять відповідні оцінки параметрів моделі і безперервно будують поле іонізуючого випромінювання над реальною місцевістю, що контролюється. Це поле може бути екстрапольоване і за межі контрольованої зони. Потім також знаходять поле градієнта радіаційного фону, звідки визначають основні напрями зростання радіації та її можливі джерела.

Приклади конкретного виконання.

Спосіб радіаційного моніторингу місцевості з реальним рельєфом здійснюється наступним чином.

Припустимо, що є 16 сенсорних датчиків радіації, які розташовані на території, що має вигляд квадрату розміром 3 км на 3 км. Датчики безперервно вимірюють потужність експозиційної дози рентгенівського і гамма-випромінювання з точністю до 1 мкР/год. Нехай в певний момент часу датчики мають наступні показання в одиницях мкР/год: 11 (1500, 1500, 50); 11 (1500, 500, 50); 12 (1500, -500, 0); 13 (1500, -1500, 0); 10 (500, 1500, 100); 9 (500, 500, 150); 10 (500, -500, 100); 12 (500, -1500, 0); 11 (-500, 1500, 50); 10 (-500, 500, 100); 11 (-500, -500, 50); 13 (-1500, 1500, 0); 13 (-1500, 500, -50); 14 (-1500, -500, -100); 15 (-1500, -1500, -100). Тут в дужках наведені координати датчиків в мет-

рах:  $x$  і  $y$  - відносно центру зони ( $x$  - на північ), ( $y$  - на схід),  $z$  - над рівнем моря.

На підставі цих показань шляхом застосування метода найменших квадратів на комп'ютері практично миттєво було одержано наступне рівняння регресії:

$$P = 0,26 \cdot 10^{-6} x^2 + 0,57 \cdot 10^{-7} y^2 - 27,48 \cdot 10^{-5} z^2 - 0,11 \cdot 10^{-6} xy + 0,145 \cdot 10^{-5} xz + 0,293 \cdot 10^{-5} yz - 0,000137x - 0,000304y - 0,013597z + 11,52. \quad (2)$$

Для візуалізації отриманих результатів та їх картографічної прив'язки до реальної території на фігурі 1 наведені поверхні рівня потужності експозиційної дози: 10 мкР/год (поверхня 1), 11 мкР/год (поверхня 2), 12 мкР/год (поверхня 3), 13 мкР/год (поверхня 4), 14 мкР/год (поверхня 5), 15 мкР/год (поверхня 6), а також поверхня контрольованої зони (7).

Для оцінки якості одержаного рівняння регресії обчислимо значення

2 коефіцієнта детермінації  $R$  за формулою:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{16} (\bar{P}_i - \bar{P})^2}{\sum_{i=1}^{16} (P_i - \bar{P})^2}, \quad (3)$$

де  $\bar{P}_i$  - значення потужності дози, яке визначається рівнянням регресії (2) в кожній точці;  $P_i$  - виміряні значення;  $\bar{P}$  - середнє значення потужності дози в контрольованій зоні. Тобто, вираз, що стоїть в чисельнику, характеризує дисперсію, яка обумовлена регресією, а вираз в знаменнику - загальну дисперсію потужності експозиційної дози.

Обчислення дають значення  $R^2=0,993$ , це свідчить про те, що регресійна модель (1), яка застосовується, є якісною. Стандартна помилка регресії складає при цьому  $S=0,137$  мкР/год, що значно менше точності кожного детектора. Тому дану модель можна використовувати для побудови поля іонізуючого випромінювання над контрольованою територією і також екстраполювати за її межі.

Таким чином, запропонована корисна модель радіаційного моніторингу місцевості з реальним рельєфом дозволяє:

1. Швидко будувати поле радіаційного фону над реальною місцевістю.

2. Визначати розташування джерел радіаційного забруднення як на контрольованій території, так і за її межами.

Джерела інформації, прийняті до уваги при експертизі:

1. И.С. Еремеев. Автоматизированные системы радиационного мониторинга окружающей среды. Киев: Наукова думка, 1990. - 256 с.

2. Некое В.Е. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени / В.Е. Некое, О.М. Гетманец, Н.М. Пелихатый, А.А. Дроздов // Людина і довкілля. Проблеми неоекології. - 2009. - № 2(13). - с. 7-13.

