



УКРАЇНА

(19) UA (11) 50154 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01T 1/15МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ МІСЦЕВОСТІ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

1

2

(21) u200912882

(22) 11.12.2009

(24) 25.05.2010

(46) 25.05.2010, Бюл.№ 10, 2010 р.

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

(73) ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА ЗООВЕТЕРИНАРНА АКАДЕМІЯ

(57) Спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу за допомогою розміщення датчиків іонізуючих випромінювань на певній відстані один від одного, який **відрізняється** тим, що на підставі показників датчиків безперервно будується нелінійна регресійна модель поля випромінювання, згідно з якою неперервно визначається поле радіаційного фону та поле градієнта радіаційного фону, що дозволяє локалізувати джерела радіаційного випромінювання.

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 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 контролю радіаційної обстановки в зонах розміщення об'єктів атомної промисловості, який полягає в розташуванні датчиків іонізуючих випромінювань навколо джерела радіоактивного викиду на певній відстані від нього, яка є відмінною від відповідних відстаней для всієї решти датчиків, причому датчики випромінювання встановлюють на місцевості асиметрично відносно джерела викидів у вершинах і в підставах променів, що створюють багатопроменеву зірку на місцевості [Заявка РФ на винахід RU 94018917 A1 6 G01T1/167 від 25.05.94. Опубл. 20.04.96. Бюл. №11].

Але цей спосіб використати неможливо, якщо невідомо розташування джерела радіоактивного викиду.

Тому задачею корисної моделі є розробка простих та надійних алгоритмів моделювання радіаційного фону при проведенні радіаційного моні-

торингу місцевості в режимі реального часу, зокрема, побудова безперервної регресійної моделі поля іонізуючих випромінювань, яка заснована на показниках датчиків, що знаходяться в певних точках контрольованої зони на місцевості; побудова абсолютного поля іонізуючого випромінювання та його градієнта; екстраполяція даних моніторингу за межі контрольованої зони; виявлення розташування джерел радіоактивного викиду.

Поставлена задача вирішується тим, що здійснюється радіаційний моніторинг місцевості у режимі реального часу за допомогою розміщення датчиків іонізуючих випромінювань на певній відстані один від одного, згідно запропонованої корисної моделі, 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.

Для пояснення запропонованого способу припустимо, що є  $p$  сенсорних детекторів іонізуючого випромінювання, які розташовані в  $p$  точках плоскості контрольованої зони, що мають координати:  $\{x_1, y_1\}, \{x_2, y_2\}, \{x_3, y_3\}, \dots, \{x_n, y_n\}$  відповідно. Припустимо також, що в певний момент часу  $t$  в кожній точці виміряно значення потужності експозиційної дози радіаційного випромінювання  $Z$ :  $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$  відповідно. Спробуємо пояснити ці дані за допомогою моделі нелінійної множинної регресії.

Спочатку розглянемо модель 2-го порядку по змінним  $x$  і  $y$  - координатам точки зони:

$$Z = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f. \quad (1)$$

(13) U

(11) 50154

(19) UA

Тут  $a, b, c, d, e, f$  - параметри регресії, оцінки для яких легко визначити за фактичними показниками детекторів  $z_i(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, 3 \dots n$ ) методом

найменших квадратів (цей алгоритм закладено в багато стандартних програм, і він виконується комп'ютером за доли секунди). Модель (1) приблизно описує поле іонізуючого випромінювання у вигляді поверхні 2-го порядку над контрольованою зоною і, можливо, в деякій області поза нею. Якби ми почали з регресії 1-го порядку (лінійної) по змінним  $x$  і  $y$ , то отримали б плоске поле іонізуючого випромінювання, що, очевидно, є грубим припущенням.

Відзначимо, що при постійному значенні радіаційного фону, квадрат помилки кожного детектора  $\varepsilon_i^2$  ( $i=1, 2, 3 \dots n$ ) визначається квадратом по-

вини його розрішуючої здатності  $\Delta z$ :  $\varepsilon_i^2 = \frac{\Delta z^2}{4}$ .

При цьому стандартна помилка регресії є:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n-m}} = \frac{\Delta z}{2} \sqrt{\frac{n}{n-m}}, \quad (2)$$

де  $n$  - кількість детекторів,  $m$  - кількість параметрів моделі (наприклад, для регресії (1)  $m=6$ ). Якщо зажадати, щоб ця помилка була не гірша за розрішуючу здатність кожного детектора ( $S \leq \Delta z$ ), то одержимо наступне обмеження на мінімальну кількість детекторів:

$$S = \frac{\Delta z}{2} \sqrt{\frac{n}{n-m}} \leq \Delta z \Rightarrow \frac{4}{3} \leq n. \quad (3)$$

Тобто, кількість детекторів  $n$  повинна бути не менша за  $\frac{4}{3}$  від кількості параметрів моделі  $m$ , яка застосовується для опису поля радіації. Наприклад, для моделі (1):  $8 \leq n$ .

Якби ми застосували модель регресії 3-го порядку по змінним  $x$  і  $y$ :

$$z = ax^3 + by^3 + cx^2y + dx^2y^2 + ex^2 + fy^2 + gxy + hx + ky + \ell, \quad (4)$$

то мали б кількість параметрів  $m=10$ , і відповідна кількість детекторів повинна була б бути не менша за 14.

Таким чином, спочатку визначають модель для опису поля радіації і на її підставі визначають мінімальну кількість датчиків радіації, потім за отриманими з датчиків показниками безперервно знаходять відповідні оцінки параметрів моделі і безперервно будують поле іонізуючого випромінювання у вигляді поверхні над місцевістю, що контролюється. Це поле може бути екстрапольоване і за межі контрольованої зони. Потім також будують поле градієнта радіаційного фону, звідки визначають основні напрями зростання радіації і її можливі джерела.

Приклади конкретного виконання

#### Приклад 1

Спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу здійснюється наступним чином.

Припустимо, що у нас є дев'ять сенсорних датчиків радіації які розташовані у вершинах і на сторонах квадрата розміром 20км на 20км на відстані 10км один від одного, як це показано на Фіг.1.

При цьому вісь  $y$  направлена на північ, а вісь  $x$  - на схід. Одиниця масштабу складає 1км. Номери датчиків вказані на Фіг.1. Датчики безперервно вимірюють потужність експозиційної дози рентгенівського і гамма-випромінювання з точністю до 1мкР/год. Показники датчиків безперервно поступають на комп'ютер в центр спостереження.

Припустимо, що в певний момент часу показники датчиків склали значення:  $z_1=11$ ;  $z_2=11$ ;  $z_3=9$ ;  $z_4=9$ ;  $z_5=10$ ;  $z_6=9$ ;  $z_7=11$ ;  $z_8=12$ ;  $z_9=9$  (мкР/год). За цими даними комп'ютер швидко склав рівняння регресії 2-го порядку:  $z = -0,003x^2 - 0,003y^2 - 0,005xy - 0,100x + 0,067y + 10,555$ . На Фіг.2 наведено поверхню, яка визначається цим рівнянням, а також представлені показники датчиків (для наочності у вигляді гострих піків).

Для оцінки якості одержаного рівняння регресії обчислимо значення коефіцієнта детермінації  $R^2$  за формулою:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^9 (z_i - \bar{z})^2}{\sum_{i=1}^9 (z_i - \bar{z})^2},$$

де  $\bar{z}$  - значення потужності дози, яке визначається рівнянням регресії в кожній точці;  $z_i$  - виміряні значення;  $\bar{z}$  - 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  $R^2 = 0,929$ , це свідчить про те, що регресійна модель, яка застосовується, є якісною. Стандартна помилка регресії складає при цьому  $S = 0,18$  мкР/год. Тому дану модель можна використовувати для побудови поля іонізуючого випромінювання. Це поле показано на Фіг.3. Тут кожен тон поверхні рівня відрізняється на значення потужності дози 0,5мкР/год., а весь діапазон зміни потужності складає від 8мкР/год. до 12мкР/год. Поле випромінювання екстрапольоване за межі контрольованої зони, що дозволяє зробити висновок про те, що джерело радіаційного забруднення знаходиться на північному заході.

На Фіг.4 наведено поле градієнта радіаційного фону, яке визначається застосованою моделлю. Тут стрілки вказують напрям спадання радіаційного фону, а їх розмір є пропорційним величині градієнта поля, тобто характеризує швидкість спадання потужності дози. Інтенсивність забарвлення пропорційна величині експозиційної дози. Напрямок стрілок і інтенсивність поля також показують, що джерело радіаційного забруднення знаходиться на північному заході.

#### Приклад 2

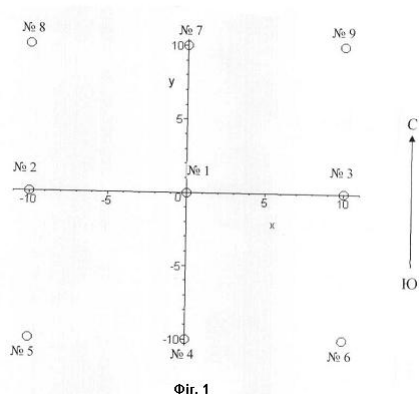
Припустимо, що в деякий момент часу показники детекторів є:  $z_1=12$ ;  $z_2=11$ ;  $z_3=10$ ;  $z_4=11$ ;  $z_5=10$ ;  $z_6=10$ ;  $z_7=9$ ;  $z_8=10$ ;  $z_9=9$  (мкР/год). За цими даними комп'ютер склав наступне рівняння регресії:

$$z = -0,007x^2 - 0,012y^2 - 0,003xy - 0,033x - 0,050y + 11,444.$$

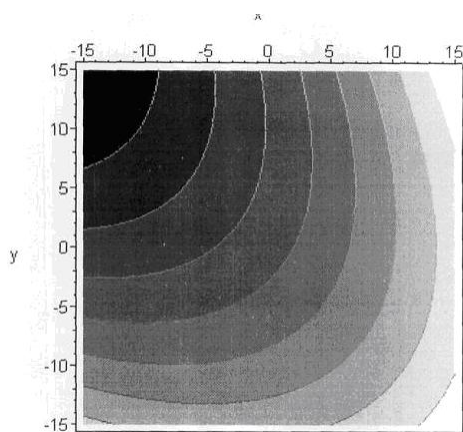
Значення коефіцієнта детермінації для даної регресії є:  $R^2 = 0,798$ , що свідчить про якість моделі.

Стандартна помилка регресії дорівнює  $S=0,25\text{мкР/год}$ .

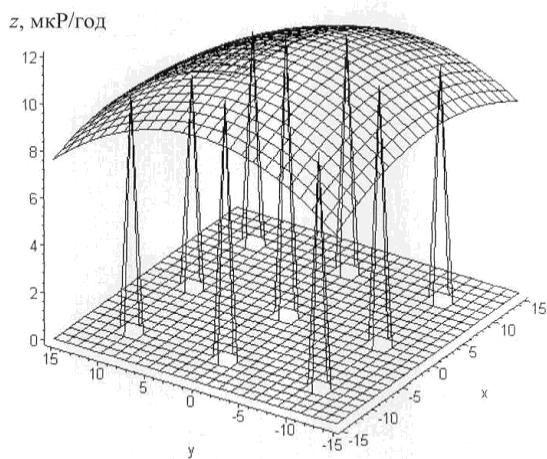
На Фіг.5 показана поверхня, яка визначається рівнянням цієї регресії, а також для порівняння наведено показники датчиків (у вигляді гострих піків). З даної фігури видно, що максимум експозиційної дози знаходиться усередині контрольованої зони. Це може бути пов'язано з наявністю джерела радіаційного забруднення, викидом радіаційних матеріалів і т.п. Цей висновок підтверджує графік поля радіації (Фіг.6) і графік градієнта радіаційного поля (Фіг.7).



Фіг. 1



Фіг. 3



Фіг. 5

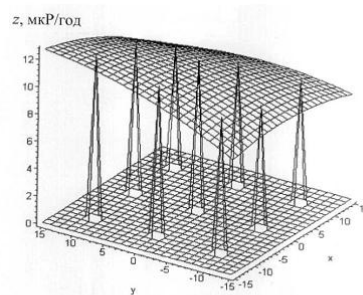
Таким чином, запропонована корисна модель радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу дозволяє:

1. Швидко будувати поле радіаційного фону та його градієнту.

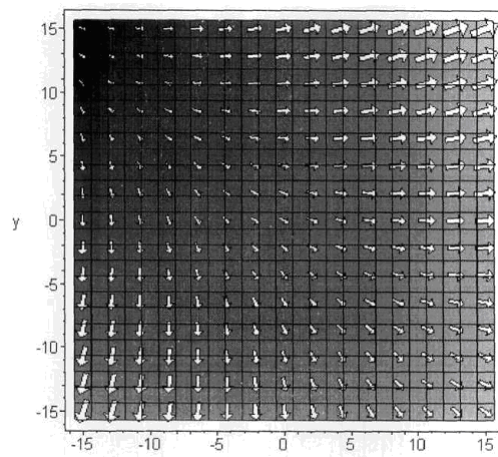
2. Визначати розташування джерел радіаційного забруднення як на контрольованій території, так і за її межами.

Джерела інформації, прийняті до уваги при експертизі:

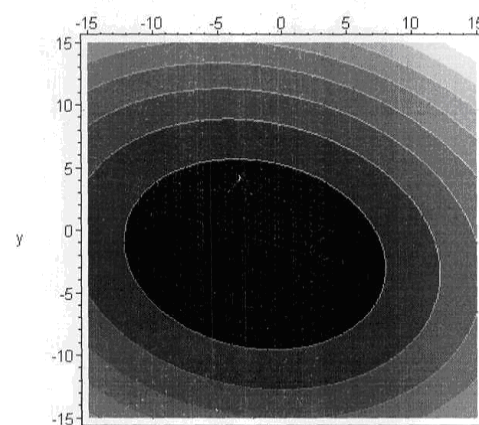
1. И.С. Еремеев. Автоматизированные системы радиационного мониторинга окружающей среды. Киев: Наукова думка, 1990. - 256с.



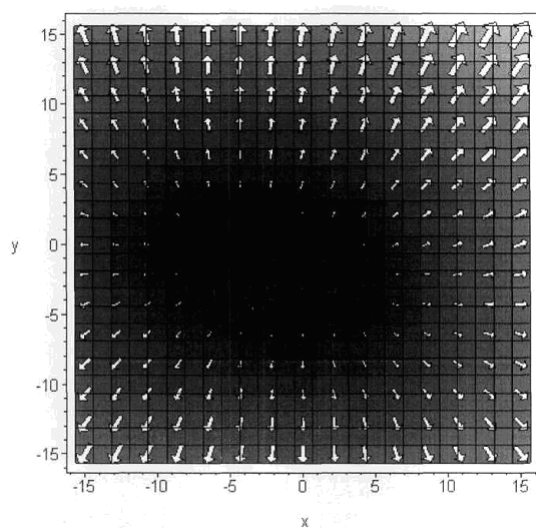
Фіг. 2



Фіг. 4



Фіг. 6



Фіг. 7