



УКРАЇНА

(19) UA (11) 62252 (13) U
(51) МПК
G01T 1/167 (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ МІСЦЕВОСТІ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ ЗА ДОПОМОГОЮ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ДОЗИМЕТРА

1

2

(21) u201015171

(22) 16.12.2010

(24) 25.08.2011

(46) 25.08.2011, Бюл. № 16, 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 у режимі реального часу за допомогою волоконно-

оптичного дозиметра, що розташований навколо деякої контрольованої зони, на підставі показників якого будується нелінійна регресійна модель поля іонізуючого випромінювання, який **відрізняється** тим, що додатково розташовують один датчик випромінювання у центрі контрольованої зони, це дозволяє побудувати нелінійну регресійну модель і безперервно визначати поле радіації як у середині контрольованої зони, так і навколо її межі та 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 за допомогою волоконно-оптичних дозиметрів відомий [1]. Він включає радіаційно-чутливі волоконні світловоди, які розташовують на місцевості навколо деякої контрольованої зони. Під дією радіації в певних точках світловода виникають нові центри забарвлення та ослаблюється світловий потік. Розподіл величини загасання світлового сигналу уздовж світловода легко перераховується в подовжній розподіл поглиненої дози в склі світловода.

Але цей спосіб визначає поле радіаційного випромінювання лише вздовж межі контрольованої зони, тому його застосувати неможливо для визначення поля радіації всередині зони та навколо її межі.

Найбільш близьким до корисної моделі, що пропонується, є спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу (Деклараційний патент України на корисну модель № 50154, 11.12.2009, опуб. 25.05.2010. Бюл. № 10), який включає розміщення на контрольованій території датчиків іонізуючих випромінювань на певній відстані один від одного, на підставі показників датчиків безперервно будується нелінійна регресійна модель поля випромінювання, згідно якої неперер-

вно визначається поле радіаційного фону та поле градієнту радіаційного фону, що дозволяє локалізувати джерела радіаційного випромінювання.

Але цей спосіб має принципові обмеження при використанні на забруднених територіях, в аварійних умовах і в місцях зберігання радіоактивних відходів, бо потребує великої кількості датчиків, їх обслуговування, електроживлення та вимагає умов для надійної передачі електричного сигналу.

Тому задачею корисної моделі, що пропонується, є розробка способу застосування волоконно-оптичного дозиметра для радіаційного моніторингу місцевості всередині контрольованої зони та навколо її межі.

Поставлена задача вирішується тим, що здійснюється радіаційний моніторинг місцевості у режимі реального часу за допомогою волоконно-оптичного дозиметра, що розташований навколо деякої контрольованої зони, на підставі показників якого будується нелінійна регресійна модель поля іонізуючого випромінювання, згідно запропонованої корисної моделі, додатково розташовують один датчик випромінювання у центрі контрольованої зони, це дозволяє побудувати нелінійну регресійну модель і безперервно визначати поле радіації як у середині контрольованої зони, так і навколо її межі, та локалізувати джерела радіаційного випромінювання.

Для пояснення запропонованого способу припустимо, що деяку зону, що контролюється, оточує волоконно-оптичний дозиметр загальної довжини

(13) U
(11) 62252
(19) UA

L . Світловий сигнал від чутливого волоконного світловоду доставляється до віддаленої реєструючої апаратури. Усередині зони знаходиться також точковий радіаційний дозиметр, показники якого також доставляються до реєструючої апаратури. Координати дозиметра приймемо за початок відліку прямокутної системи координат, тобто $x=0, y=0$. Причому вісь Ox будемо для визначеності прямувати з заходу на схід, а вісь Oy - з півдня на північ. Оскільки волоконно-оптичний дозиметр розташовано певним чином на місцевості, то залежності координат довільної точки дозиметра (x, y) від його поточної довжини l вважаються добре відомими, тобто $x = x(l), y = y(l)$.

Під дією іонізуючого випромінювання в певних точках світловода виникають нові центри забарвлення та ослабляється світловий потік. Розподіл величини загасання світлового сигналу уздовж світловода легко перераховується в подовжній розподіл поглиненої дози Z в склі світловода: $Z = Z(l)$. Припустимо, що показник точкового дозиметра становить в певний момент часу $Z = Z_0$. Ґрунтуючись на цих даних, будемо будувати модель нелінійної регресії для потужності експозиційної дози Z випромінювання всередині контрольованої зони (та навколо її межі): $Z = Z(x, y)$.

Спочатку розглянемо модель 2-го порядку за змінними x і y - координатам точки зони:

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

Тут a, b, c, d, e, f - параметри регресії, оцінки для яких можна визначити за фактичними показниками детекторів $Z_i(x_i, y_i)$ ($i = 1, 2, 3 \dots n$) методом найменших квадратів. Відзначимо, що значення параметра f становить $f = Z(0, 0) = Z_0$. В лінійній системі нормальних рівнянь для визначення невідомих параметрів регресії a, b, c, d, e суми по усім точкам волоконно-оптичного дозиметра переходять в відповідні інтегральні суми, а границі останніх в контурні інтеграли вздовж довжини дозиметра. Запишемо цю систему в матричному вигляді:

$$A \cdot x = b, \quad (2)$$

де матриця системи

$$A = \begin{pmatrix} \overline{x^4} & \overline{x^2 y^2} & \overline{x^3 y} & \overline{x^3} & \overline{x^2 y} \\ \overline{x^2 y^2} & \overline{y^4} & \overline{xy^3} & \overline{xy^2} & \overline{y^3} \\ \overline{x^3 y} & \overline{xy^3} & \overline{x^2 y^2} & \overline{x^2 y} & \overline{xy^2} \\ \overline{x^3} & \overline{xy^2} & \overline{x^2 y} & \overline{x^2} & \overline{xy} \\ \overline{x^2 y} & \overline{y^3} & \overline{xy^2} & \overline{xy} & \overline{y^2} \end{pmatrix}, \text{ а вектор роз-}$$

$$x = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{pmatrix}$$

в'язків

та вектор правої частини

$$b = \begin{pmatrix} \overline{Zx^2 - Z_0 x^2} \\ \overline{Zy^2 - Z_0 y^2} \\ \overline{Zxy - Z_0 xy} \\ \overline{Zx - Z_0 x} \\ \overline{Zy - Z_0 y} \end{pmatrix}.$$

Тут введено позначення:

$$\overline{x^4} = \frac{1}{L} \int_L x^4 dl, \quad \overline{x^2 y^2} = \frac{1}{L} \int_L x^2 y^2 dl, \quad \overline{x^3 y} = \frac{1}{L} \int_L x^3 y dl, \quad \overline{xy^3} = \frac{1}{L} \int_L xy^3 dl,$$

$$\overline{x^3 y} = \frac{1}{L} \int_L x^3 y dl, \quad \overline{y^4} = \frac{1}{L} \int_L y^4 dl, \quad \overline{x^3} = \frac{1}{L} \int_L x^3 dl, \quad \overline{y^3} = \frac{1}{L} \int_L y^3 dl,$$

$$\overline{x^2} = \frac{1}{L} \int_L x^2 dl, \quad \overline{y^2} = \frac{1}{L} \int_L y^2 dl, \quad \overline{x^2 y} = \frac{1}{L} \int_L x^2 y dl, \quad \overline{xy^2} = \frac{1}{L} \int_L xy^2 dl, \quad \overline{x} = \frac{1}{L} \int_L x dl,$$

$$\overline{y} = \frac{1}{L} \int_L y dl, \quad \overline{xy} = \frac{1}{L} \int_L xy dl, \quad \overline{zx^2} = \frac{1}{L} \int_L zx^2 dl, \quad \overline{zy^2} = \frac{1}{L} \int_L zy^2 dl, \quad \overline{zxy} = \frac{1}{L} \int_L zxy dl,$$

$$\overline{zx} = \frac{1}{L} \int_L zx dl, \quad \overline{zy} = \frac{1}{L} \int_L zy dl.$$

Оскільки залежності $Z(l), x(l), y(l)$ відомі, то обчислення контурних інтегралів уздовж довжини світлопроводу L та визначення значень параметрів регресії a, b, c, d, e із системи нормальних рівнянь (2) не викликає труднощів. Наприклад, якщо волоконно-оптичний дозиметр уявляє собою коло радіусу R , то матриця системи набуває вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} \frac{3R^4 \pi}{4} & \frac{R^4 \pi}{4} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{R^4 \pi}{4} & \frac{3R^4 \pi}{4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{R^4 \pi}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R^2 \pi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R^2 \pi \end{pmatrix} \quad (3)$$

При цьому $\overline{x} = 0, \overline{y} = 0, \overline{xy} = \overline{yx} = 0$.

Слід відзначити, що принципово на підставі показників дозиметрів можна побудувати нелінійну регресійну модель будь-якого порядку.

Приклади конкретного виконання

Приклад 1.

Припустимо, що деяку контрольовану зону оточено волоконно-оптичним дозиметром, який уявляє собою коло радіусу $R = 1$ км. Для визначеності приймемо за початок і кінець світловоду точку з координатами $x = 1$ км, $y = 0$ км. У центрі зони розташовано точковий дозиметр. Нехай в певний момент часу подовжній розподіл поглиненої дози в склі світловода має вигляд, який наведено на фіг. 1, а показник точкового дозиметру у

центрі зони становить $Z_0 = 10$ мкР/год. Тоді нормальна система рівнянь для визначення параметрів нелінійної регресії (1) приймає вигляд:

$$\begin{bmatrix} \frac{3\pi}{4} & \frac{\pi}{4} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\pi}{4} & \frac{3\pi}{4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\pi}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,15 \\ 0,65 \\ -0,29 \\ -0,33 \\ 0,72 \end{pmatrix}$$

З розв'язання цієї системи отримуємо наступне рівняння регресії (усі координати в одиницях км):

$$z = -0,03x^2 + 0,29y^2 - 0,37xy - 0,10x + 0,23y + 10.$$

Відповідний розподіл поля експозиційної дози іонізуючого випромінювання наведено на фіг. 2. Тут фон змінюється в залежності від тону (чорний - 8 мкР/год., чорний - 16 мкР/год. через 1 мкР/год.). З цієї фігури можна бачити, що джерело випромінювання знаходиться за межами зони у північно-західному напрямку.

Приклад 2.

Припустимо, що цю ж контрольовану зону оточено таким самим волоконно-оптичним дозиметром, який уявляє собою коло радіусу $R = 1$ км. У центрі зони також розташовано точковий дозиметр. Нехай в певний момент часу подовжній розподіл поглиненої дози в склі світловода має той самий вигляд, як це наведено на фіг. 1, а показник точкового дозиметру у центрі зони становить

$z_0 = 17$ мкР/год. Тоді нормальна система рівнянь для визначення параметрів нелінійної регресії (1) приймає наступний вигляд:

$$\begin{bmatrix} \frac{3\pi}{4} & \frac{\pi}{4} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\pi}{4} & \frac{3\pi}{4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\pi}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -21,84 \\ -21,34 \\ -0,29 \\ -0,33 \\ 0,72 \end{pmatrix}$$

З розв'язання цієї системи отримуємо таке рівняння регресії (усі координати в одиницях км):

$$z = -7,03x^2 - 7,71y^2 - 0,37xy - 0,10x + 0,23y + 17.$$

Відповідний розподіл поля експозиційної дози іонізуючого випромінювання наведено на фіг. 3. Тут фон змінюється в залежності від тону (чорний - 17 мкР/год., білий - 9 мкР/год. через 1 мкР/год.). Як видно з цієї фігури, джерело радіаційного забруднення знаходиться всередині контрольованої зони.

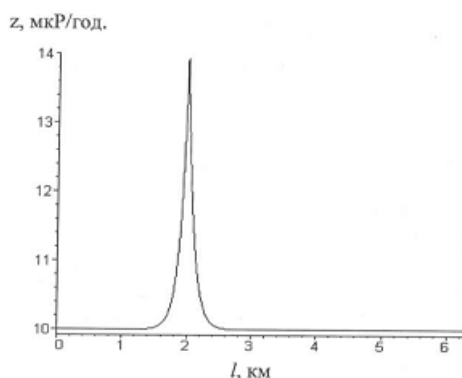
З порівняння цих двох прикладів можна зробити висновок, що подовжній розподіл поглиненої дози в склі світловода (фіг. 1) не визначає однозначно розподіл поля іонізуючого випромінювання як в межах контрольованої зони, так і навколо її межі. Для його визначення необхідно робити додатковий вимір експозиційної дози всередині контрольованої зони.

Таким чином, запропонована корисна модель радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу за допомогою волоконно-оптичного дозиметра дозволяє:

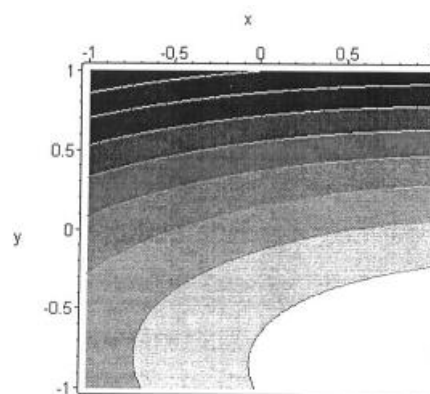
1. Швидко будувати поле радіаційного фону.
2. Локалізувати розташування джерел радіаційного забруднення як всередині контрольованої території, так і за її межами.

Джерела інформації:

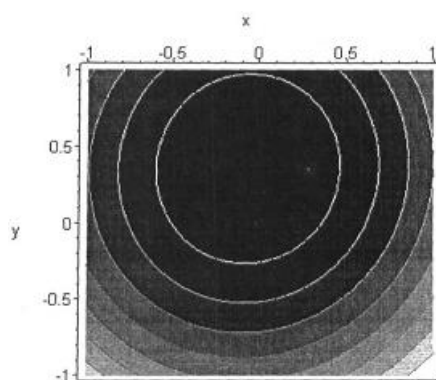
1. Разработки волоконных световодов для применения при повышенном уровне радиации / Томашук А. Л., Голант К. М., Забейайлов М. О. // Волоконно-оптические технологии, материалы и устройства. - М. - 2001. - № 4. - С. 52-65.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фиг. 3