



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **151190** (13) **U**
(51) МПК (2022.01)

E01C 23/00

G01R 29/08 (2006.01)

G01V 3/08 (2006.01)

G01V 3/12 (2006.01)

G01S 13/88 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2021 07449	(72) Винахідник(и): Батраков Дмитро Олегович (UA), Батракова Анжеліка Геннадіївна (UA), Антюфєєва Марія Станіславівна (UA)
(22) Дата подання заявки: 20.12.2021	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 16.06.2022	(73) Володілець (володільці): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002 (UA), ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В.Н. КАРАЗИНА, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022 (UA)
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 15.06.2022, Бюл.№ 24	

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ОЦІНКИ ТОВЩИНИ ШАРІВ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ, ЯКІ МАЮТЬ СЛАБКИЙ РІВЕНЬ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО КОНТРАСТУ, ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕОРАДАРА

(57) Реферат:

Спосіб підвищення роздільної здатності оцінки товщини шарів дорожніх покриттів, які мають слабкий рівень електродинамічного контрасту, за допомогою застосування даних про стан поляризації відбитих сигналів. На першому етапі вимірювань лист металу розміщують на поверхні досліджуваної конструкції, а передавальну і приймальну антени - над металевим листом, спочатку для вимірювання відбитого надширококуткового імпульсу при похилому падінні і паралельній поляризації, а потім реєстрації відбитого імпульсу на перпендикулярній поляризації. Після цього лист металу забирається з поверхні дорожнього покриття і повторюються вимірювання коефіцієнта відбиття від дорожнього покриття на паралельній і перпендикулярній поляризації. Після цього отримані дані зберігаються в комп'ютері, далі проводиться обробка отриманих даних в два етапи: на першому етапі, відповідно до алгоритму калібрування, визначають розподіл в часі імпульсу, що падає на конструкцію, яка зондується; в результаті в комп'ютері зберігається (з фізичної точки зору) розподіл в часі нормованих відбитих сигналів (імпульсів) на двох ортогональних поляризація. На наступному етапі вирішують завдання товщинометрії згідно з алгоритмом вирішення оберненої задачі в області значень поляризаційних параметрів.

UA 151190 U

Корисна модель належить до галузі експлуатації та контролю поточного стану автомобільних доріг з покриттям нежорсткого типу і може бути використана для підвищення надійності та роздільної здатності георадарних даних і, як наслідок, оцінки товщини шарів, які мають слабкий рівень електродинамічного контрасту і на цій підставі забезпечити більш

5 достовірні оцінки поточного стану конструкцій автомобільних доріг з покриттям нежорсткого типу під час будівництва та експлуатації.

Георадари, завдяки випромінюванню та прийому надширококутних імпульсних сигналів дозволяють за допомогою алгоритмів обробки даних проводити визначення товщини та діелектричної проникності шарів покриття та оцінку властивостей матеріалів, знаходять широке

10 застосування в дорожній галузі під час контролю якості дорожніх покриттів нежорсткого типу на етапі будівництва та для моніторингу поточного стану конструкцій автомобільних доріг, що знаходяться в експлуатації

Для контролю якості нових та поточного стану таких, що знаходяться в експлуатації дорожніх покриттів нежорсткого типу застосовуються як прямі (такі, що передбачають локальне руйнування конструкції) так і неруйнівні методи. До перших належить відомий спосіб контролю якості покриття дороги та основи (Государственный стандарт союза ССР, Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон методы испытаний. ГОСТ 12801-84, Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 23 февраля 1984 г. № 16 срок введения установлен с

15 01.01.85), який включає проведення вирубку з дорожнього покриття (та основи) зразків-вирубків прямокутної форми або висвердлення циліндричних кернів. Вирубку проводять за допомогою пневмомолотка, а циліндричні керни висвердлюють на всю товщину покриття (верхній і нижній шари разом) за допомогою самохідної або причіпної бурової установки (наприклад ІЕ-180) і потім вже розділяють шари в лабораторії. Кількість висвердлених кернів та розміри вирубок

20 призначають залежно від типу асфальтобетону (дьюгтебетону) за максимальним розміром зерен та необхідної для випробувань кількості зразків. В такому разі діаметр кернів D повинен бути: при відборі проб з піщаного асфальтобетону (дьюгтебетону) не менше 50 мм, з дрібнозернистого - не менше 70 мм і з крупнозернистого - не менше ніж 100 мм.

Суттєвими недоліками цього способу є необхідність буріння (руйнування) покриття та дуже

30 висока собівартість робіт.

Серед неруйнівних методів відомий метод визначення деформативних властивостей та товщини асфальтобетонних шарів дорожнього покриття, влаштованих на етапі будівництва або ремонту [Новаковський Д.М. Визначення товщини та модуля Юнга асфальтобетонних шарів дорожнього покриття методом неруйнвної діагностики/ Д.М. Новаковський, І.В. Кіяшко. // Автошляховик України, Науково-виробничий журнал № 3 (215) травень - червень 2010 р., С. 40-43], який полягає в застосуванні розробленої авторами методики визначення товщини та модуля Юнга асфальтобетонних шарів дорожнього покриття за аналізом параметрів розповсюдження поверхневих хвиль, що виникають під дією відомого тестового імпульсного навантаження.

35

Недоліками такого методу є:

40

- неможливість визначення або оцінки значення модуля Юнга та товщини шарів асфальтобетонного покриття, яке вже деякий час знаходиться в експлуатації;

- велика собівартість проведення досліджень, оскільки для проведення контролю потрібні як створення змінних в часі великих навантажень, так і реєстрація поверхневих хвиль Релея на різних відстанях від центру навантаження за допомогою набору датчиків, що потребують нерухомого та якісного зчеплення з поверхнею покриття.

45

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є Патент США [System identification and analysis of subsurface radar signals" Inventor: Robert L. Lytton, Bryan, Tex., Patent Number: 5,384,715; Date of Patent: Jan. 24, 1995.] який полягає в тому, що: а - випромінюючо-приймальну антену систему радіолокатора підповерхневого зондування розміщують над поверхнею дорожнього покриття в напрямку до неба (тобто таким чином, щоб до приймальної антени не надходили сигнали, які відбиті від навколишніх предметів); b - проводять запис в комп'ютер радіоімпульсу, який за таких умов відповідає власним шумам передавальної системи (генератора та антени), таким чином проводячи процес калібрування; с - розміщують великий металевий лист на поверхні дорожнього покриття, яке буде досліджуватися, та розміщують передавальну антену таким чином, щоб випромінювання відбувалося в напрямку металевого листа, а приймальну антену орієнтують на прийом відбитого сигналу і реєструють відбитий сигнал; d - за допомогою комп'ютерних програм вираховують сигнал прямого проходження, що був зареєстрований на етапі b із сигналу, що відбитий від металевого листа і зареєстрований на

50

55

60 етапі d. На цьому закінчується етап калібрування і починається етап вимірювання.

Недоліком такого способу є неможливість відновлення товщини та діелектричної проникності шарів покриття, що мають слабкий рівень контрасту. Це пов'язано з тим, що неможливо відрізнити імпульсні сигнали від границь з незначними відмінностями у значеннях діелектричної проникності.

5 В основу корисної моделі, що пропонується, поставлено задачу удосконалення способу отримання і обробки даних, а саме підвищення точності та надійності визначення границь розподілу шарів покриття, які мають відносно слабкий рівень електродинамічного контрасту, а також значень їх діелектричної проникності, шляхом вимірювання відбитого надширококуткового імпульсу від листа металу при похилому падінні і паралельній поляризації, а потім реєстрації відбитого імпульсу на перпендикулярній поляризації, після чого лист металу забирають з поверхні дорожнього покриття і повторюють вимірювання коефіцієнта відбиття тепер вже від дорожнього покриття на паралельній і перпендикулярній поляризації, після чого отримані дані зберігаються в комп'ютері.

15 На першому етапі вимірювань лист металу розміщують на поверхні досліджуваної конструкції, а передавальну і приймальну антени над металевим листом спочатку відповідно до Фіг. 1 для вимірювання відбитого надширококуткового імпульсу при похилому падінні і паралельній поляризації (компоненти вектора електричного поля падаючої A_{\parallel} та відбитої $R_{m, \parallel}$ хвиль знаходяться в площині, яка паралельна площині падіння) і реєстрації відбитого імпульсу; потім передавальна і приймальна антени повертаються на кут 90 градусів відповідно до Фіг. 2 для реєстрації відбитого імпульсу на перпендикулярній поляризації (компоненти вектора електричного поля падаючої хвилі A_{\perp} і відбитої хвилі $R_{m, \perp}$ знаходяться в площині, яка перпендикулярна площині падіння); після цього лист металу забирається з поверхні дорожнього покриття і повторюються вимірювання коефіцієнта відбиття тепер вже від дорожнього покриття на паралельній і перпендикулярній поляризаціях ($R_{k, \parallel}$, $R_{k, \perp}$) відповідно до Фіг. 1 і Фіг. 2; отримані дані зберігаються в комп'ютері. Далі проводиться обробка отриманих даних в два етапи.

25 На першому етапі відповідно до алгоритму калібрування, який запропонований у [Батраков Д.О. Определение толщин слоев дорожной одежды методом георадиолокационного зондирования / Д.О. Батраков, А.Г. Батракова, Д.В. Головин, О.В. Кравченко, Г.П. Почанин // Физические Основы Приборостроения, 2014. - Том 3, № 2. - С. 46-57; Pochanin, G.P.; Masalov, S.A.; Ruban, V.P.; Kholod, P.V.; Batrakov, D.O.; Batrakova, A.G.; Urdzik, S.N.; Pochanin, O.G., Advances in Short Range Distance and Permittivity Ground Penetrating Radar Measurements for Road Surface Surveying, in: Advanced Ultrawideband Radar: Signals, Targets and Applications. CRC Press-Taylor & Francis Group, London, 2016. 20-65. ISBN 9781466586574-CAT# K20299] знаходиться розподіл в часі імпульсу, що падає на конструкцію, яка зондується; для цього обчислюються відносини коефіцієнтів відбиття від конструкції до цих же коефіцієнтів відбиття від листа металу на відповідних поляризаціях:

$$R_{n, \parallel} = \frac{R_{k, \parallel}}{R_{m, \parallel}}; R_{n, \perp} = \frac{R_{k, \perp}}{R_{m, \perp}}, \quad (1)$$

40 де: $R_{n, \parallel}$, $R_{k, \parallel}$, $R_{m, \parallel}$ у - відповідні коефіцієнти відбиття для паралельної поляризації, $R_{n, \perp}$, $R_{k, \perp}$, $R_{m, \perp}$ - коефіцієнти відбиття для ортогональної поляризації.

В результаті в комп'ютері зберігається (з фізичної точки зору) розподіл в часі нормованих відбитих сигналів (імпульсів) на двох ортогональних поляризаціях. На наступному етапі знаходиться вирішення завдання товщинометрії відповідно до алгоритму вирішення оберненої задачі в області значень поляризаційних параметрів, який був запропонований у [Batrakov D.O., Zhuck N.P. Inverse Scattering Problem in the Polarization Parameters Domain for Isotropic Layered Media: Solution via Newton-Kantorovich Iterative Technique. Journal of Electromagnetic Waves and Applications. - June 1994. - Vol.8, № 6. - P.759-779.]. Вирішення задачі полягає в знаходженні поправки до деякого початкового наближення (розподілу діелектричної проникності), яке може бути знайдено, наприклад, з рішення задачі визначення товщини шарів відповідно до алгоритму першого етапу. В такому випадку це рішення використовується як початкове наближення $\epsilon_{aux}(\bar{R})$ до шуканого профілю (розподілу) діелектричної проникності $\epsilon_p(\bar{R})$, яке потім уточнюється, для чого вводиться поправка $\eta(\bar{R}) = \epsilon_p(\bar{R}) - \epsilon_{aux}(\bar{R})$, значення якої обчислюється з рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР):

$$x_j + \sum_{n=1}^N a_{jn} x_n = \psi_j \quad ; (j=1,2\dots N),$$

$$a_{jn} = w_n \int_{V_p} L^{(j)}(\vec{R}_H, \vec{R}') L^{(n)*}(\vec{R}_H, \vec{R}') \frac{dV}{\alpha w(\vec{R}')}$$

де: (2)

$$\psi_j = \int_{V_p} L^{(j)}(\vec{R}_H, \vec{R}') \frac{d(\vec{R}')}{\alpha w(\vec{R}')}$$

$$L(\vec{R}_H, \vec{R}') = p(\vec{R}_H) G_{ee}(\vec{R}_H, \vec{R}') E_{aux}(\vec{R}') \left[\frac{ik_0 c}{4\pi} \right];$$

$G_{ee}(\vec{R}_H, \vec{R}'')$, $E_{aux}(\vec{R}'')$ - відповідно функція Гріна та вектор напруженості електричного поля в області середовища, що зондується;

5 $\vec{p}(\vec{R})$ - вектор, що визначає поляризацію, на якій реєструється поле в точці спостереження, а

\vec{R}_H - радіус-вектор точки спостереження поза досліджуваним середовищем;

V_p , \vec{R}' - область простору, де проводиться зондування та радіус-вектор точок цієї області;

w_n , α , $w(\vec{R})$ - відповідно невід'ємні сталі та функція, значення яких вибираються згідно з відомим алгоритмом (Batrakov D.O., Zhuck N.P. Solution of a General Inverse Scattering Problem Using the Distorted Born Approximation and Iterative Technique. Inverse Problems. - Feb., 1994. - Vol. 10, № 1. - P.39-54),

10

j - індекс, що відповідає номеру вимірювання.

Далі знаходиться значення поправки (відхилення від $\epsilon_{aux}(\vec{R})$) згідно з формулою

$$\eta(\vec{R}) = \frac{1}{\alpha w(\vec{R})} \left[q(\vec{R}) + \sum_{j=1}^N w_j L^{(j)*}(\vec{R}_H, \vec{R}') x_j \right], \quad (3)$$

15

$$q(\vec{R}) = \sum_{j=1}^N w_j L^{(j)*}(\vec{R}_H, \vec{R}) \left[U_m^{(j)}(\vec{R}_H) - U^{(j)}(\vec{R}_H) \right]$$

де:

та остаточно визначається шуканий розподіл $\epsilon_p(\vec{R}) = \epsilon_{aux}(\vec{R}) - \eta(\vec{R})$.

Таким чином, завдяки описаним вище змінам алгоритмів обробки даних неруйнівного контролю підвищується точність та надійність визначення границь розподілу шарів покриття, які мають відносно слабкий рівень електродинамічного контрасту, а також значень їх діелектричної проникності. Знання цих параметрів дозволяє ефективно з точки зору кошторису спланувати і виконати відновлювальні роботи на автомобільних дорогах загального користування.

20

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

25

Спосіб підвищення роздільної здатності оцінки товщини шарів дорожніх покриттів, які мають слабкий рівень електродинамічного контрасту, за допомогою застосування даних про стан поляризації відбитих сигналів, який **відрізняється** тим, що на першому етапі вимірювань лист металу розміщують на поверхні досліджуваної конструкції, а передавальну і приймальну антени над металевим листом, спочатку для вимірювання відбитого надширокопосмугового імпульсу при похилому падінні і паралельній поляризації, а потім реєстрації відбитого імпульсу на перпендикулярній поляризації, після цього лист металу забирається з поверхні дорожнього покриття і повторюються вимірювання коефіцієнта відбиття від дорожнього покриття на паралельній і перпендикулярній поляризаціях, після чого отримані дані зберігаються в комп'ютері, далі проводиться обробка отриманих даних в два етапи: на першому етапі, відповідно до алгоритму калібрування, визначають розподіл в часі імпульсу, що падає на конструкцію, яка зондується; в результаті в комп'ютері зберігається (з фізичної точки зору) розподіл в часі нормованих відбитих сигналів (імпульсів) на двох ортогональних поляризаціях; на наступному етапі вирішують завдання товщинометрії згідно з алгоритмом вирішення оберненої задачі в області значень поляризаційних параметрів.

30

35

40

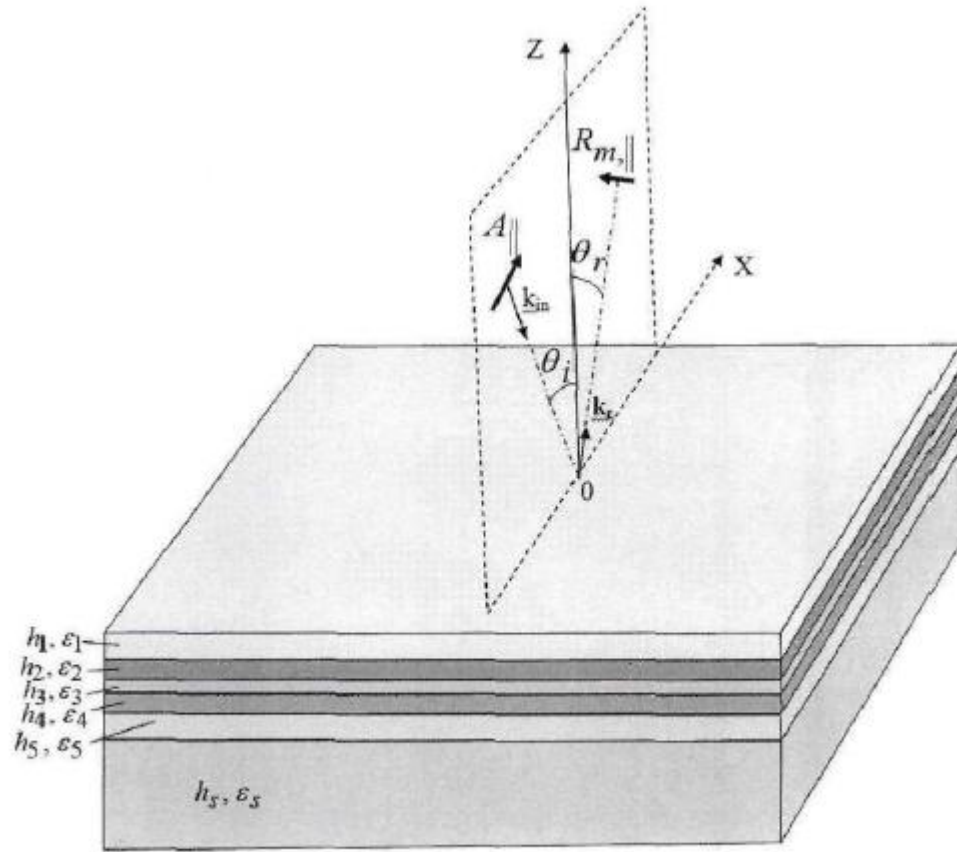


Fig. 1

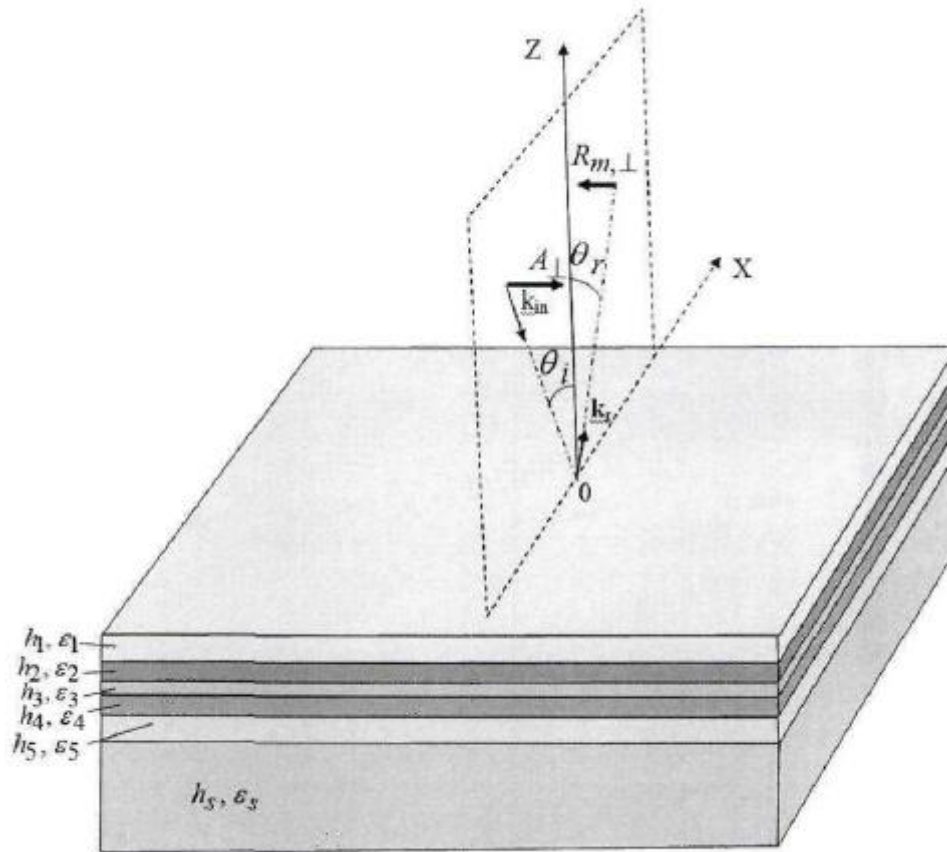


Fig. 2