



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **118409** (13) **C2**
(51) МПК

E01C 23/01 (2006.01)

G01S 13/88 (2006.01)

G01R 29/08 (2006.01)

G01V 3/12 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2017 05456**

(22) Дата подання заявки: **02.06.2017**

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: **10.01.2019**

(41) Публікація відомостей
про заявку: **10.01.2018, Бюл.№ 1**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **10.01.2019, Бюл.№ 1**

(72) Винахідник(и):

**Батраков Дмитро Олегович (UA),
Батракова Анжеліка Геннадіївна (UA),
Почанін Геннадій Петрович (UA),
Орленко Олександр Анатолійович (UA)**

(73) Власник(и):

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002
(UA),
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.Н. КАРАЗИНА,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022 (UA),
Батраков Дмитро Олегович,
вул. Академіка Ляпунова, 16, кв. 54, м.
Харків-166, 61166 (UA),
Батракова Анжеліка Геннадіївна,
вул. Академіка Ляпунова, 16, кв. 54, м.
Харків-166, 61166 (UA),
Почанін Геннадій Петрович,
пр. Тракторобудівників, 152, кв. 124, м.
Харків-121, 61121 (UA),
Орленко Олександр Анатолійович,
вул. Барабашова, 46-а, кв. 8, м. Харків-168,
61168 (UA)**

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

UA 108136 U, 11.07.2016

UA a201300257, 10.07.2014

US 6772091 B1, 03.08.2004

Diamanti N. Field observations and numerical
models of GPR response from vertical
pavement cracks/ N. Diamanti, D.Redman//
Journal of Applied Geophysics.- 2012.-
Vol.81.- P.106-116

Plati C. Using ground-penetrating radar for
assessing the structural needs of asphalt
pavements/ C. Plati, A. Loizos//
Nondestructive Testing and Evaluation.-

September.- 2012.- Vol.27, No.3.- P.273-284

CN 103485265 A, 01.01.2014

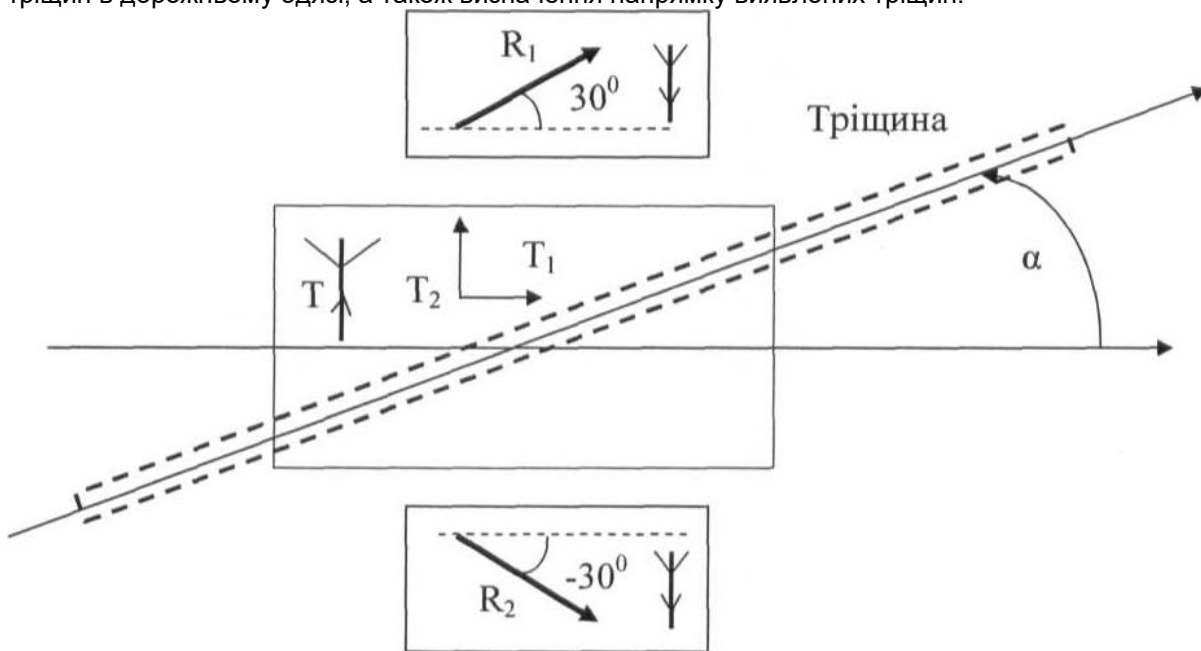
JP 4442914 B1, 31.03.2010

US 2014022117 A1, 23.01.2014

UA 118409 C2

(54) СПОСІБ ВІЯВЛЕННЯ ТА ВІЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ У ТОМУ ЧИСЛІ І ПІДПОВЕРХНЕВИХ ТРІЩИН В АСФАЛЬТОБЕТОННОМУ ПОКРИТТІ**(57) Реферат:**

Винахід належить до неруйнівного контролю при будівництві та експлуатації автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям. Спосіб виявлення та визначення напрямку тріщин, у тому числі і підповерхневих, в асфальтобетонному покритті включає збудження по черзі двох розташованих взаємно ортогонально лінійно поляризованих випромінювачів випромінюючої антени з поляризацією, що перемикається, під час руху діагностичної лабораторії з георадаром, який встановлено над поверхнею дороги. Завдяки цьому випромінюють електромагнітне поле по черзі з однією, а потім з ортогональною лінійними поляризаціями. Якщо дорожній одяг включає області, в яких мають місце неоднорідності електрофізичних параметрів матеріалів (наприклад, тріщини), навколо них утворюється відбите електромагнітне поле. Приймають відбите поле двома лінійно поляризованими приймальними антенами, напрямки поляризації яких орієнтовано під кутом 60° градусів один до одного. Далі детектують прийняті сигнали і підсилюють їх вузькосмуговими підсилювачами змінної напруги, які завчасно налаштовують на частоту перемикання випромінювачів. Підсилені сигнали за допомогою багаторозрядних аналого-цифрових перетворювачів перетворюють у відповідні цифрові коди. Аналізують залежність амплітуд прийнятих сигналів від напрямків поляризації випромінювачів і приймальних антен за допомогою комп'ютерних програм. Висновок щодо виявлення у тому числі і підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті роблять за умов появи розбіжностей між амплітудами сигналів, прийнятих одночасно двома приймальними антенами. Напрямок тріщини визначають за різницею амплітуд цих сигналів. Технічний результат: збільшення ймовірності виявлення тріщин за рахунок підвищення чутливості до підповерхневих тріщин в дорожньому одязі, а також визначення напрямку виявлених тріщин.



Фіг. 1

Винахід належить до галузі експлуатації автомобільних доріг з одягами нежорсткого типу і може бути використана для оцінки якості доріг з асфальтобетонним покриттям під час будівництва та експлуатації.

Відомий спосіб виявлення та визначення місць знаходження у тому числі і підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті (патент EP 0519045 B1 "Non-destructive materials testing apparatus and technique for use in the field" МПК7 G01N 3/30, G01N 3/06, G01N 3/02, G01N 29/12, G01N 29/04, G01N 3/04, 11.09.1996), який полягає в тому, що розміщують акустичний передавач та акустичний приймач на поверхні дороги, збуджують передавач, формують акустичну хвилю напруження в досліджуваній структурі, реєструють акустичну хвилю приймачем, перетворюють акустичну хвилю в електричний сигнал, перетворюють електричний сигнал в спектр та виявляють спектр відбиття від тріщин. Причинами, що перешкоджають застосуванню цього способу для виявлення та визначення напрямку у тому числі і підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті, є необхідність забезпечення контакту між поверхнею досліджуваної структури та акустичними передавачем і приймачем, що вимагає залишати акустичну локаційну апаратуру нерухомою на час проведення вимірювання і не дозволяє проводити пошук тріщин під час руху локаційної апаратури, а також потреба в зондуванні ще й ділянки дороги без тріщин, в порівнянні з результатами зондування якої визначають наявність тріщини. До того ж існує велика ймовірність пропуску (не виявлення) тріщини, якщо вона розташована уздовж уявної лінії, що проходить через акустичний випромінювач та приймач, через те, що сигнали, які зареєстровано за таких умов на цілій та пошкодженій ділянках дороги, майже не відрізняються.

Відомий спосіб виявлення підповерхневих дефектів, у тому числі і підповерхневих тріщин, в асфальтобетонному покритті (Diamanti N., Redman D., Giannopoulos A. A Study of GPR vertical crack responses in pavement using field data and numerical modeling // Proc. of the XIII International Conference "Ground penetrating radar" (Lecce, Italy) - 2010. - P. 224-228. ISBN: 978-1-4244-4605-6, Bavusi M., Loperte A., Lapenna V., Soldovieri F. Rebars and defects detection by a GPR survey at a L'Aquila school damaged by the earthquake of April 2009 // Proc. of the XIII International Conference "Ground penetrating radar" (Lecce, Italy) - 2010. - P. 245-249. ISBN: 978-1-4244-4605-6, Ahmad, N., Lorenzi, H., and Wistuba, M. Crack detection in asphalt pavements, how useful is GPR? // 6th Int. Workshop on "Advanced ground penetrating radar", (Aachen, Germany) - 2011), який полягає в тому, що лінійно поляризовану випромінюючу антену та лінійно поляризовану приймальну антену надширокосмугового імпульсного радіолокатора підповерхневого зондування розміщують над поверхнею дорожнього одягу таким чином, щоб напрямки поляризації обох антен співпадали, збуджують випромінюючу антену надширокосмуговим імпульсом електричної напруги, формують електромагнітну хвилю в дорожньому одязі, приймають електромагнітну імпульсну хвилю приймальною антенною, перетворюють електромагнітну імпульсну хвилю в електричний сигнал, перетворений електричний сигнал реєструють і зберігають у цифровому вигляді в пам'яті комп'ютера, за допомогою комп'ютерних програм перетворюють отримані дані у зображення радіолокаційного профілю дорожнього одягу, і, базуючись на досвіді оператора радара, знаходять відгуки, які відповідають підповерхневим дефектам, у тому числі і підповерхневим тріщинам, в асфальтобетонному покритті та за місцями розташування цих відгуків на зображенні профілю визначають місця знаходження тріщин в дорожньому одязі. Причинами, що перешкоджають застосуванню цього способу для виявлення у тому числі і підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті, є те, що за критерій, який визначає наявність дефекту в асфальтобетонному покритті, беруть його радіолокаційне зображення, яке має вигляд гіперболоподібних кривих ліній на радіолокаційному профілі дорожнього одягу. А для отримання цього зображення потрібно виконати зондування досить великої ділянки дороги, при цьому потрібно, по-перше, щоб спочатку було виконано зондування ділянки дороги, на якій немає дефектів, а, по-друге, під час зондування антенна система має обов'язково перетнути область з дефектом.

Найбільш близьким до способу, що заявляється, є спосіб виявлення у тому числі і підповерхневих тріщин у асфальтобетонному покритті дороги (Патент України на корисну модель: № 108136 від 11.07.2016 Спосіб виявлення підповерхневих тріщин у асфальтобетонному покритті дороги під час руху діагностичної лабораторії в транспортному потоці / Батраков Д.О., Урдзік С.М., Почанін Г.П., Батракова А.Г.; заявник та патентовласник: Батраков Д.О., Урдзік С.М., Почанін Г.П., Батракова А.Г. - u201511193; заявл. 13.11.2015; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13/2016), який полягає в тому, що випромінюючо-приймальну антенну систему радіолокатора розміщують над поверхнею дорожнього одягу та, рухаючись по дорозі, збуджують випромінюючу антену, яка випромінює електромагнітне поле з круговою поляризацією сигналом із синусоїдною часовою залежністю, приймають відбите поле

одночасно чотирма лінійно поляризованими приймальними антенами, які розташовані на рівних відстанях від осі симетрії випромінюючої антени, розподіляючи їх рівномірно по колу з кутовим кроком 90 градусів та орієнтуючи напрямки поляризації сусідніх приймальних антен під кутом 45 градусів один до одного, після цього за допомогою комп'ютерних програм аналізують залежність амплітуд прийнятих сигналів від напрямків поляризації приймальних антен, висновок щодо існування тріщин приймають за наявності розбіжностей між амплітудами прийнятих сигналів. Причинами, що перешкоджають застосуванню цього способу для виявлення та визначення напрямку тріщин у асфальтобетонному покритті дороги, у тому числі і підповерхневих, під час руху діагностичної лабораторії в транспортному потоці є невисока ймовірність виявлення тріщин через малу чутливість радара до слабконтрастних (наприклад, малих за шириною) тріщин в асфальтобетонному покритті.

Недоліки прототипу обумовлені тим, що, по-перше, через відсутність характерних параметрів сигналу (окрім частоти несучої), які б відрізняли сигнал, що зондує, від інших існуючих навколо сигналів, сигнали, відбиті тільки підповерхневими тріщинами, важко відрізнити від інших, які не мають відношення до об'єктів пошуку, що маскує корисні сигнали і зменшує ймовірність виявлення цих тріщин та збільшує ймовірність хибної тривоги, по-друге, шумові та підсилювальні характеристики підсилювачів сталої напруги, використання яких передбачено в прототипі, є не найкращими, що обмежує потенційно можливу чутливість локатора до слабких сигналів, по-третє, для подальшої інтерпретації результатів зондування потрібно знати поточне значення кута поляризації випромінюваного сигналу (вздовж чи поперек) під час зондування, що неможливо при використанні антен із круговою поляризацією.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалити спосіб виявлення та визначення напрямку у тому числі і підповерхневих тріщин у асфальтобетонному покритті дороги шляхом заміни поляризованого по колу опромінювання на кероване у часі покрокове опромінювання полем з двома ортогональними лінійними поляризаціями та підсиленню корисного сигналу на частоті модуляції, яка співпадає з частотою покрокового підключення випромінювачів досягти підвищення чутливості до підповерхневих тріщин в дорожньому одязі, яке забезпечить підвищення ймовірності виявлення тріщин, а також визначення напрямку орієнтації виявлених тріщин і, при цьому, зменшення необхідної кількості приймальних антен вдвічі.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі виявлення у тому числі і підповерхневих тріщин у асфальтобетонному покритті дороги під час руху діагностичної лабораторії в транспортному потоці, який полягає в тому, що випромінюючо-приймальну антенну систему радіолокатора підповерхневого зондування розміщують над поверхнею дорожнього одягу та, рухаючись по дорозі, виконують радіолокаційне зондування, для чого збуджують випромінюючу антену електричним сигналом із синусоїдною часовою залежністю, формують електромагнітну хвилю в дорожньому одязі, приймають відбиту електромагнітну хвилю приймальною антеною, перетворюють прийняту електромагнітну хвилю в електричний сигнал, перетворений електричний сигнал реєструють і зберігають у цифровому вигляді в пам'яті комп'ютера і аналізують за допомогою спеціальних комп'ютерних програм, відповідно до винаходу збуджують по черзі два розташовані взаємно ортогонально лінійно поляризовані випромінювачі випромінюючої антени з поляризацією, що перемикається, випромінюють електромагнітне поле по черзі з однією, а потім з ортогональною лінійними поляризаціями, приймають відбите поле двома лінійно поляризованими приймальними антенами, напрямки поляризації яких орієнтовано під кутом 60 градусів один до одного, детектують прийняті сигнали і підсилюють їх вузькосмуговими підсилювачами змінної напруги, які завчасно налаштовують на частоту перемикання випромінювачів, підсилені сигнали за допомогою багаторозрядних аналого-цифрових перетворювачів перетворюють у відповідні цифрові коди і за допомогою комп'ютерних програм аналізують залежність амплітуд прийнятих сигналів від напрямків поляризації випромінювачів і приймальних антен, а висновок щодо виявлення тріщин в асфальтобетонному покритті, у тому числі і підповерхневих, роблять за умов появи розбіжностей між амплітудами сигналів, прийнятих одночасно двома приймальними антенами, а напрямок тріщини визначають за різницею амплітуд цих сигналів.

Суть винаходу пояснюється ілюстраціями. На Фіг. 1 схематично зображено антенну систему, а на Фіг. 2 показано діаграми кутового розподілу амплітуд сигналів.

Щоб забезпечити виявлення у тому числі і підповерхневих тріщин у асфальтобетонному покритті випромінюючу антену Т радіолокатора підповерхневого зондування з поляризацією, що перемикається, яку складають з двох таких, що збуджуються по черзі, лінійно поляризованих випромінювачів T_1 та T_2 (Фіг. 1) з напрямками поляризації (позначені стрілками), орієнтованими взаємно ортогонально один до одного, розміщують над поверхнею дорожнього одягу відповідно до винаходу таким чином, щоб напрямки поляризації двох лінійно поляризованих приймальних

антен R_1 та R_2 , були орієнтовані під кутом 60° один до одного ($+30^\circ$ та -30° відносно напрямку поляризації одного з випромінювачів (Фіг. 1)), збуджують елементи випромінюючої антени таким чином, щоб напрямки поляризації випромінювання створювали кути 30° та 60° (Фіг. 1), до напрямків поляризації приймальних антен, завдяки чому при опроміненні тріщини, позначеної на Фіг. 1 пунктирною лінією і орієнтованої під кутом α до одного з напрямків поляризації одного з двох випромінювачів T_1 або T_2 , в дорожньому одязі за рахунок явища деполяризації формується, в загальному випадку, еліптично поляризована дифрагована електромагнітна хвиля (Ваганов Р.Б. Каценеленбаум Б.З. Основы теории дифракции - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. (Современные физико-технические проблемы). - 272 с.). Компоненти дифрагованої електромагнітної хвилі приймають приймальними антенами, перетворюють в електричні сигнали.

Оскільки, відповідно до винаходу, сигнали, що зондують, відрізняються від інших не лише частотою синусоїдної несучої, а й тим, що вони мають ще й амплітудну модуляцію з частотою перемикання випромінюючих антен, ці сигнали легко відрізнити від інших, тих, що не мають відношення до радару і об'єктів пошуку. Після перетворення приймальною антеною електромагнітної хвилі, що відбита об'єктом пошуку, в електричний сигнал, його детектують, виділяючи низькочастотну обвідну, яка співпадає за часовими характеристиками із сигналом, що перемикає випромінюючі антени.

Завдяки амплітудній модуляції випромінюваного сигналу і ще тому, що сигнал, який перемикає випромінювачі, є доступним для того, щоб завести його в приймач, для підвищення чутливості приймача використовується вузькосмуговий або навіть параметричний підсилювач, які за шумовими характеристиками та селективністю набагато кращі за підсилювачі сталої напруги (або сталої струму). Таким чином, чутливість радару саме до об'єктів пошуку збільшується.

Для подальшої інтерпретації результатів зондування потрібно знати кут поляризації випромінюваного сигналу (вздовж чи поперек) під час прийому відбитого сигналу. Це забезпечується завдяки контрольованому почерговому випромінюванню сигналів, що зондують, за допомогою двох випромінювачів випромінюючої антени.

Якщо матеріал середовища (в тому числі дорожнього покриття) є однорідним в горизонтальній площині (дефектів немає, тріщина відсутня), амплітуди сигналів в приймальних антенах є однаковими.

Оскільки можливі три базові ситуації, то алгоритм обробки інформації, спрямований на виявлення та визначення напрямку у тому числі і підповерхневих тріщин у асфальтобетонному покритті має наступний вигляд:

а) сигнали в приймальних антенах мають однакові амплітуди - тоді кут α може дорівнювати 0° або 90° . При цьому, кут $\alpha=0^\circ$, якщо при випромінюванні з поляризацією T_1 сигнали більші, ніж при випромінюванні з поляризацією T_2 . В іншому випадку (при умові, що амплітуди однакові) кут $\alpha=90^\circ$.

б) сигнали в приймальних антенах мають різні амплітуди - тоді кут α не може дорівнювати 0° або 90° . Зрозуміло, що внаслідок симетрії конструкції антенного блока, достатньо розглянути випадок $0^\circ \leq \alpha \leq \pm 90^\circ$. У цьому випадку висновок про напрямок тріщини (кут α) здійснюється на основі зіставлення показників прийомних та випромінюючої антен. Наприклад (Фіг. 1), якщо $\alpha=30^\circ$, то при випромінюванні з поляризацією T_1 амплітуда сигналу в R_1 більша, ніж в R_2 . Внаслідок симетрії конструкції, якщо $\alpha=-30^\circ$, то при випромінюванні з поляризацією T_1 амплітуда сигналу в R_2 більша, ніж в R_1 (Фіг. 2).

в) в проміжних випадках кут α має бути в межах $0^\circ < \alpha < 30^\circ$ або $30^\circ < \alpha < 90^\circ$ та $0^\circ > \alpha > -30^\circ$ або $-30^\circ > \alpha > -90^\circ$. За цих умов висновок про напрямок тріщини (кут α) робиться на основі зіставлення показників прийомних та випромінюючої антен. Наприклад, якщо $\alpha=20^\circ$ (Фіг. 1), то при випромінюванні з поляризацією T_1 амплітуда сигналу в R_1 більша, ніж в R_2 . У той же час, при випромінюванні з поляризацією T_2 амплітуда сигналу в R_1 менша, ніж при випромінюванні з поляризацією T_1 . Зрозуміло, що при $\alpha=-20^\circ$ ситуація буде дзеркальною, тобто амплітуда сигналу буде більшою в R_2 . Також вона буде більшою при випромінюванні з поляризацією T_1 , ніж при випромінюванні з поляризацією T_2 .

На Фіг. 2 показано результати розрахунку нормованих амплітуд сигналів в приймальних антенах при зміні напрямку тріщини - кута α (Фіг. 1) від 0 градусів до 180 градусів. Фіг. 2 показує, що не існує двох станів системи із однаковими показниками (не існує точки, де б перетиналися усі чотири графіки).

Таким чином, завдяки описаному вище алгоритму обробки даних підповерхневого зондування і заходам, вжитим для підвищення чутливості радару і мінімізації впливу перешкод, ймовірність виявлення підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті, підвищується, а

ймовірність хибної тривоги (прийняття висновку про наявність об'єкта, коли об'єкта насправді немає) зменшується. До того ж, кількість необхідних приймальних антен зменшується вдвічі. Крім того, знання напрямку підповерхневої тріщини дозволяє оптимально спланувати і виконати відновлювальні роботи.

5

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

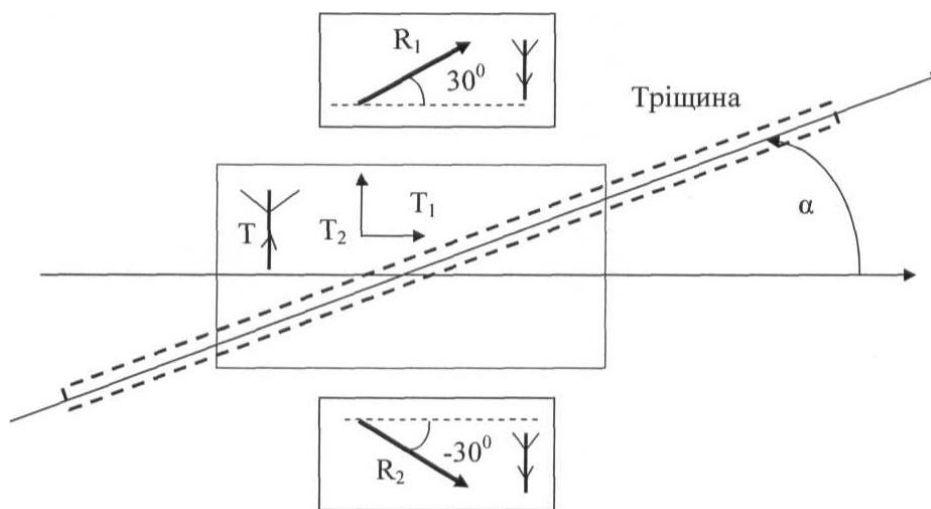
10

15

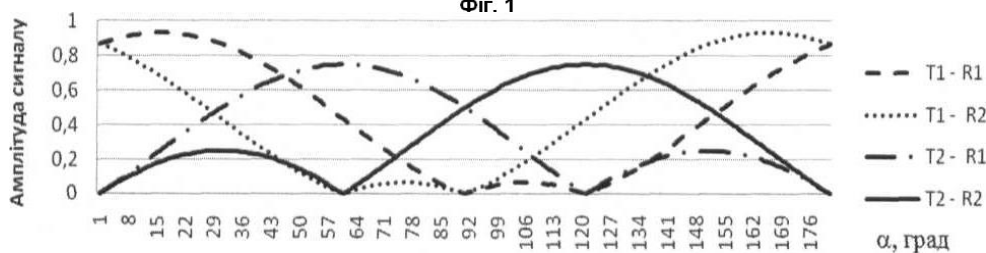
20

25

Спосіб виявлення та визначення напрямку у тому числі і підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті, який полягає в тому, що випромінюючо-приймальну антенну систему радіолокатора підповерхневого зондування розміщують над поверхнею дорожнього одягу та, рухаючись по дорозі, виконують радіолокаційне зондування, для чого збуджують випромінюючу антену електричним сигналом із синусоїдною часовою залежністю, формують електромагнітну хвилю в дорожньому одязі, приймають відбиту електромагнітну хвилю, перетворений електричний сигнал реєструють і зберігають у цифровому вигляді в пам'яті комп'ютера і аналізують за допомогою спеціальних комп'ютерних програм, який **відрізняється** тим, що збуджують по черзі два розташовані взаємно ортогонально лінійно поляризовані випромінювачі випромінюючої антени з поляризацією, що перемикається, випромінюють електромагнітне поле по черзі з однією, а потім з ортогональною лінійними поляризаціями, приймають відбите поле двома лінійно поляризованими приймальними антенами, напрямки поляризації яких орієнтовано під кутом 60 градусів один до одного, детектують прийняті сигнали і підсилюють їх вузькосмуговими підсилювачами змінної напруги, які завчасно налаштовують на частоту перемикання випромінювачів, підсилені сигнали за допомогою багаторозрядних аналого-цифрових перетворювачів перетворюють у відповідні цифрові коди і за допомогою комп'ютерних програм аналізують залежність амплітуд прийнятих сигналів від напрямків поляризації випромінювачів і приймальних антен, а висновок щодо виявлення у тому числі і підповерхневих тріщин в асфальтобетонному покритті, роблять за умов появи розбіжностей між амплітудами сигналів, прийнятих одночасно двома приймальними антенами, а напрямком тріщини визначають за різницею амплітуд цих сигналів.



Фиг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601