



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 138098

(13) U

(51) МПК

G01B 11/16 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2019 03202**

(22) Дата подання заявки: **01.04.2019**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **25.11.2019**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **25.11.2019, Бюл.№ 22**

(72) Винахідник(и):

**Левтеров Андрій Іванович (UA),
Скрипіна Ірина Валентинівна (UA)**

(73) Власник(и):

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,**

вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002
(UA),

Левтеров Андрій Іванович,
пр. Перемоги, 54-а, кв. 41, м. Харків, 61202
(UA)

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ МОСТІВ

(57) Реферат:

Пристрій для вимірювання просторової деформації елементів конструкцій мостів містить лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки, блок комутації, блок обробки і реєстрації, з'єднані між собою, та n фотоприймачів, які представляють собою n послідовно розташованих датчиків деформації, що знаходяться на опорах, розташованих на деякій певній рівній відстані один від одного по горизонталі впродовж конструкції, жорстко закріплених на конструкції, що деформується, причому перший і n-ий фотоприймачі, лазер, з'єднаний через оптичний коліматор з вузлом розгортки лазерного променя винесені за межі конструкції, що деформується, всі n фотоприймачі знаходяться на одній висоті над поверхнею конструкції, що деформується, а лазер, коліматор і вузол розгортки знаходяться на протилежному боці конструкції на тій же висоті від горизонтальної поверхні конструкції напроти фотоприймачів, чутлива поверхня яких повернута в напрямку вузла розгортки, причому вузол розгортки здійснює розгортку лазерного променя у горизонтальній площині по поверхні датчиків деформації. До складу пристрою додатково введені другий лазер, другий коліматор та дзеркало, що знаходиться під кутом 45° до лазерного променя, або призма встановлені на додатковій опорі напроти i-тої опори, що знаходиться на протилежному боці конструкції на тій же висоті від горизонтальної поверхні конструкції, причому додаткова та i-а опори, пов'язані між собою дротом, всередині якого встановлений ультразвуковий датчик для виміру деформації всередині (у поперечному розрізі) мостової конструкції, а на поверхні ультразвукового датчика закріплюється додатковий фотоприймач для контролю прогину дроту, чутлива поверхня якого повернута у напрямку дзеркала або призми, встановленої на додатковій опорі.

UA 138098 U

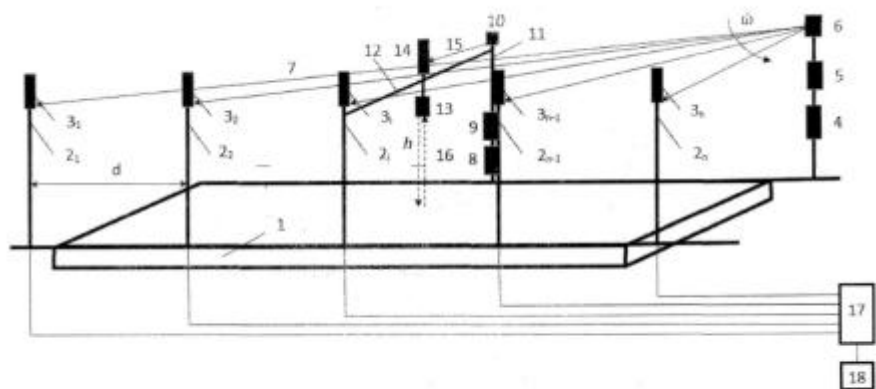


Fig. 1

Корисна модель належить до вимірювання деформацій елементів конструкцій мостів, оптичними методами.

Для контролю та прогнозування стану мостової споруди з застосуванням АСДМ широке розповсюдження набули оптичні методи вимірювання деформації. Так, наприклад, у пристрої для вимірювання деформації, що містить джерело світла у вигляді вузько спрямованих світлових імпульсів, фотоприймач виконаний у вигляді матриці фотоелементів з кількістю строк і стовпців, рівною $2N+1$, де $N=1,2,\dots,i$, блок обробки і реєстрації, з'єднаний з фотоприймачем, генератор імпульсів, з'єднаний з джерелом світла, блок затримки, вхід якого з'єднаний з генератором імпульсів, а його вихід - з блоком обробки і реєстрації. Джерело світла і фотоприймач закріплені на конструкції, що деформується [1].

Недоліком цього пристрою є те, що контроль деформації виконується в одній точці конструкції, що обмежує область застосування цього пристрою. Якщо потрібно здійснити контроль конструкції великих розмірів, наприклад мостів, то потрібна певна кількість матричних фотоприймачів та джерел світла у вигляді вузько спрямованих світлових імпульсів, для чого необхідно використовувати декілька аналогічних пристроїв, що значно ускладнює конструкцію.

Найбільш близьким аналогом є пристрій, який містить лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки, блок комутації, блок обробки і реєстрації, з'єднані між собою, та n фотоприймачів, які представляють собою n послідовно розташованих датчиків деформації, що знаходяться на опорах, розташованих на деякій певній рівній відстані один від одного по горизонталі впродовж конструкції, жорстко закріплених на конструкції, що деформується, причому перший і n -ий фотоприймачі, лазер, з'єднаний через оптичний коліматор з вузлом розгортки лазерного променя винесені за межі конструкції, що деформується, всі n фотоприймачі знаходяться на одній висоті над поверхнею конструкції, що деформується, а лазер, коліматор і вузол розгортки знаходяться на протилежному боці конструкції на тій же висоті від горизонтальної поверхні конструкції напроти фотоприймачів, чутлива поверхня яких повернута в напрямку вузла розгортки, причому вузол розгортки здійснює розгортку лазерного променя у горизонтальній площині по поверхні датчиків деформації [2].

Недоліком цього пристрою є те, що вимірювання деформацій здійснюється тільки по боковим поверхням елементів конструкції мосту і не вимірюються деформації поверхні середини (у поперечному розрізі) мосту.

В основу корисної моделі поставлена задача розробки пристрою для вимірювання просторової деформації елементів конструкцій мостів з підвищеними функціональними можливостями.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому пристрої, що містить лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки, блок комутації, блок обробки і реєстрації, з'єднані між собою, та n фотоприймачів, які представляють собою n послідовно розташованих датчиків деформації, що знаходяться на опорах, розташованих на деякій певній рівній відстані один від одного по горизонталі впродовж конструкції, жорстко закріплених на конструкції, що деформується, причому перший і n -ий фотоприймачі, лазер, з'єднаний через оптичний коліматор з вузлом розгортки лазерного променя винесені за межі конструкції, що деформується, всі n фотоприймачі знаходяться на одній висоті над поверхнею конструкції, що деформується, а лазер, коліматор і вузол розгортки знаходяться на протилежному боці конструкції на тій же висоті від горизонтальної поверхні конструкції напроти фотоприймачів, чутлива поверхня яких повернута в напрямку вузла розгортки, причому вузол розгортки здійснює розгортку лазерного променя у горизонтальній площині по поверхні датчиків деформації, згідно з корисною моделлю, до складу пристрою додатково введені другий лазер, другий коліматор та дзеркало, що знаходиться під кутом 45° до лазерного променя, або призма встановлені на додатковій опорі напроти i -тої опори, що знаходиться на протилежному боці конструкції на тій же висоті від горизонтальної поверхні конструкції, причому додаткова та i - а опори, пов'язані між собою дротом, всередині якого встановлений ультразвуковий датчик для виміру деформації всередині (у поперечному розрізі) мостової конструкції, а на поверхні ультразвукового датчика закріплюється додатковий фотоприймач для контролю прогини дроту, чутлива поверхня якого повернута у напрямку дзеркала або призми, встановленої на додатковій опорі.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де:

На Фігурі 1 представлений загальний вигляд пристрою і положення фотоприймачів на конструкції без деформації.

На Фігурі 2 представлений загальний вигляд пристрою і положення фотоприймачів на конструкції з поздовжньою деформацією.

На Фігурі 3 представлена конструкція фотоприймача з k елементами.

На Фігурі 4 представлений оббіг лазерним променем i -того елемента фотоприймача 3_m до деформації конструкції.

На Фігурі 5 представлений оббіг лазерним променем j -того елемента фотоприймача 3_m після поздовжньої деформації конструкції.

5 На Фігурі 6 представлені часові діаграми просторової деформації елементів конструкції мосту без деформації дроту.

На Фігурі 7 представлений елемент конструкції мосту без просторових деформацій мосту і ультразвуковим датчиком без деформації дроту.

10 На Фігурі 8 представлений елемент конструкції мосту без поздовжньої, але з поперечною увігнутою деформацією мосту і ультразвуковим датчиком без деформації дроту.

На Фігурі 9 представлений елемент конструкції мосту без поздовжньої, але з поперечною опуклою деформацією мосту і ультразвуковим датчиком без деформації дроту.

На Фігурі 10 представлений елемент конструкції мосту з поздовжньою деформацією мосту і ультразвуковим датчиком без деформації дроту.

15 На Фігурі 11 представлений елемент конструкції мосту з поздовжньою і поперечною увігнутою деформацією мосту та ультразвуковим датчиком без деформації дроту.

На Фігурі 12 представлений елемент конструкції мосту з поздовжньою і поперечною опуклою деформацією мосту та ультразвуковим датчиком без деформації дроту.

20 На Фігурі 13 представлений елемент конструкції мосту без просторових деформацій мосту і ультразвуковим датчиком з деформацією дроту.

На Фігурі 14 представлений елемент конструкції мосту без поздовжньої, але з поперечною увігнутою деформацією мосту і ультразвуковим датчиком з деформацією дроту.

На Фігурі 15 представлені часові діаграми просторової деформації елементів конструкції мосту з деформацією дроту.

25 На Фігурі 16 представлений елемент конструкції мосту без поздовжньої, але з поперечною опуклою деформацією мосту і ультразвуковим датчиком з деформацією дроту.

На Фігурі 17 представлений елемент конструкції мосту з поздовжньою деформацією мосту і ультразвуковим датчиком з деформацією дроту.

30 На Фігурі 18 представлений елемент конструкції мосту з поздовжньою і поперечною увігнутою деформацією мосту та ультразвуковим датчиком з деформацією дроту.

На Фігурі 19 представлений елемент конструкції мосту з поздовжньою і поперечною опуклою деформацією мосту та ультразвуковим датчиком з деформацією дроту.

Працює пристрій наступним чином.

35 Для виміру деформації конструкції великих розмірів застосовуються n фотоприймачів $3_1, \dots, 3_n$, що представляють собою n послідовно розташованих датчиків деформації, які знаходяться на опорах $2_1, \dots, 2_n$, жорстко закріплених на конструкції, розташованих на деякій

певній рівній відстані d один від одного по горизонталі впродовж конструкції 1 (Фігура 1 та Фігура 2) і на одній висоті від горизонтальної поверхні конструкції (Фігура 1). При цьому фотоприймачі $3_1, \dots, 3_n$, винесені за межі конструкції. Крім цього за межі конструкції винесені

40 лазер 4, оптичний коліматор 5 і вузол 6 розгортки лазерного променя 7, які розташовуються на опорі на такій же висоті, як і фотоприймачі, але на протилежному боці конструкції напроти датчиків деформації, чутлива поверхня яких повернута у напрямку вузла розгортки лазерного променя (Фігура 4 та Фігура 5). Всі n послідовно розташованих датчиків деформації і

45 додатковий фотоприймач 14 для контролю прогину дроту виконані у вигляді лінійки елементів певної довжини l (Фігура 3), причому кожний фотоприймач має однакову кількість елементів.

Кожний елемент фотоприймача виконаний із певного матеріалу, що без особливих перешкод пропускає лазерний промінь 7 та 15. Всі n фотоприймачів і додатковий фотоприймач 14, що складаються із k елементів, містять фотодіоди, перед якими розташовуються чутлива

50 поверхня і оптичний фільтр, що пропускає промінь тільки певної довжини хвилі лазера. Всі елементи фотоприймача розміщуються у герметичному корпусі. Другий лазер 8, другий

коліматор 9 та дзеркало, що знаходиться під кутом 45° до лазерного променя, або призма 10 встановлені на додатковій опорі 11 напроти 2_i - тої опорі, що знаходиться на протилежному боці конструкції на тій же висоті від горизонтальної поверхні конструкції, причому додаткова 11

55 та 2_i - а опорі, пов'язані між собою дротом 12, всередині якого встановлений ультразвуковий датчик 13 для виміру деформації всередині (у поперечному розрізі) мостової конструкції, а на

поверхні ультразвукового датчика закріплюється додатковий фотоприймач 14 для контролю прогину дроту, чутлива поверхня якого повернута у напрямку дзеркала або призми 10, встановленої на додатковій опорі 11. У пристрої застосовуються лазери з безперервним

випромінюванням променя певної довжини хвилі. Послідовно з лазерами 4 і 8 розташовуються оптичні коліматори 5 і 9, які складаються з об'єктива, у фокальній площині якого розміщується вихід лазерного променя 7 та 15 (Фігура 1, Фігура 2). Оптичні коліматори 5 та 9 забезпечують паралельність лазерного променя і тому, за рахунок практично нульової розбіжності, вся енергія лазерного променя буде зосереджена на чутливій поверхні кожного багатоелементного фотоприймача. Вузол розгортки 6 наприклад представляє собою двигун, на валу якого розташовується дзеркало або призма із дзеркальною гранню, що знаходяться під кутом 45° до лазерному променя, або крутий оптичний клин, за рахунок чого промінь лазера розгортається у горизонтальній площині.

Оптичний сигнал, що розгортається, з вузла розгортки 6 послідовно пробігає по чутливій поверхні елемента з відповідним однаковим номером і кожного $3_1, \dots, 3_n$ фотоприймача (Фігура 1 та Фігура 4). Це свідчить про те, що конструкція мосту не деформована. Електричний сигнал з фотодіода надходить на підсилювач електричного сигналу фотоприймача, який після підсилення надходить на блок комутації 17 (Фігура 1 та Фігура 2).

Якщо конструкція буде поздовжньо деформована (пунктирна лінія 19 на Фігурі 2 та Фігурі 5), то фотоприймачі $3_2, \dots, 3_{n-1}$ змінять своє положення відносно лазерного променя, що розгортається, і лазерний промінь 7 буде обігати інший за номером (наприклад j) елемент відповідного фотоприймача, а на фотоприймачах $3_1, 3_n$ номер елемента не поміняється. Підсилені електричні сигнали з відповідних елементів фотоприймачів $3_1, \dots, 3_n$ надходять через блок 17 комутації до блока 18 обробки і реєстрації. Різниця між номером і елемента фотоприймача 3_1 або 3_n і номером елемента відповідного фотоприймача, що знаходиться на деформованій поверхні конструкції помножена на певну довжину елемента, дасть величину деформації тієї ділянки конструкції, на якій знаходиться відповідний фотоприймач

$$\Delta l_m = (j - i) \cdot l, \quad (1)$$

де Δl_m - величина деформації під m - тим фотоприймачем, i номер елемента фотоприймача 3_m до деформації (номер елемента фотоприймача 3_1 або 3_n),

j - номер елемента фотоприймача 3_m після деформації,

l - довжина елемента фотоприймача.

Номер елемента не поміняється і на додатковому фотоприймачі 14, тому що при поздовжній деформації мосту опора 2 і додаткова опора 11 одночасно змінять своє положення на величину Δh (Фігура 2 та Фігура 10), причому $\Delta h = \Delta l_m$.

Для вибору точки встановлення ультразвукового датчика на середині дроту та виміру висоти h його встановлення над серединою проїзної частини мосту (Фігура 1) застосовується наприклад тахеометр.

При відсутності деформації мостової конструкції час t між зондуючим (посланим на проїзну частину мосту) сигналом з ультразвукового датчика і відбитим сигналом з проїзної частини мосту, що надійшов до ультразвукового датчика, буде відповідати висоті h (Фігура 6, а та Фігура 7).

При поздовжній деформації мостової конструкції (пунктирна лінія 19 на Фігурі 2 та Фігурі 10) час t між зондуючим (посланим на проїзну частину мосту) сигналом з ультразвукового датчика і відбитим сигналом з проїзної частини мосту, що надійшов до ультразвукового датчика, буде відповідати висоті h (Фігура 6, а та Фігура 10).

Якщо просторова деформація буде поперечною увігнутою (Фігура 6 (а, б), пунктирна лінія 20 на Фігурі 8 та Фігурі 11), то

$$\frac{t}{t_1} = \frac{h}{h_1}, \quad (2)$$

звідки

$$h_1 = \frac{h \cdot t_1}{t}. \quad (3)$$

Тоді

$$h_1 = h \cdot \left(1 - \frac{\Delta t_1}{t}\right), \quad (5)$$

звідки

$$\Delta h_1 = h \cdot \frac{\Delta t_1}{t}, \quad (6)$$

де $\Delta t_1 = t_1 - t$ і, відповідно, $\Delta h_1 = h_1 - h$ (Фігура 6, а, б).

Аналогічно, для опуклої поперечної деформації (Фігура 6 (а, в), пунктирна лінія 21 на Фігурі 9 та Фігурі 12, то

$$h_2 = h \cdot \left(1 - \frac{\Delta t_2}{t}\right), \quad (7)$$

звідки

$$\Delta h_2 = -h \cdot \frac{\Delta t_2}{t}. \quad (8)$$

де $\Delta t_2 = t_2 - t$ і, відповідно, $\Delta h_2 = h_2 - h$ (Фігура 6, а, в).

Знак мінус у виразі (8) вказує на те, що деформація конструкції є опуклою.

За рахунок погодно-кліматичних впливів і втомлюваних напруг може бути деформований дріт, на якому встановлений ультразвуковий датчик для виміру деформації всередині (у поперечному розрізі) мостової конструкції. Величина деформації дроту без деформації мостової конструкції (Фігура 6 (а, г) та Фігура 13) та з поздовжньою деформацією мостової конструкції (Фігура 17) обчислюється аналогічно виразу (7), тому що величина прогину дроту Δl_d буде аналогічною поперечної опуклої деформації мостової конструкції без деформації дроту

$$h_3 = h \cdot \left(1 - \frac{\Delta t_3}{t}\right), \quad (9)$$

звідки

$$\Delta h_3 = -h \cdot \frac{\Delta t_3}{t}. \quad (10)$$

У зв'язку з тим, що у разі деформації дроту та просторової деформації мостової конструкції складно встановити величину деформації конструкції, тому що час відбиття імпульсу буде включати і величину деформації дроту, і величину деформації елемента конструкції мосту. Тому у пристрої на поверхні ультразвукового датчика закріплюється додатковий фотоприймач для контролю прогину дроту, чутлива поверхня якого повернута у напрямку дзеркала або призми, встановленої на додатковій опорі. Величина деформації дроту буде обчислена із виразу

$$\Delta l_d = (\rho - i) \cdot l, \quad (11)$$

де Δl_d - величина деформації дроту 22 (Фігура 13 та Фігура 17),

i - номер елемента фотоприймача 14 до деформації (Фігура 7, Фігура 10 та Фігура 15),

ρ - номер елемента фотоприймача 14 після деформації дроту (Фігура 13, Фігура 15 та Фігура 17).

При цьому слід зазначити, що $\Delta h_3 = \Delta l_d$.

У разі деформації дроту та просторової деформації мостової конструкції величина деформації середини (у поперечному розрізі конструкції) елементу конструкції мосту буде обчислена:

5 для поперечної увігнутої деформації (Фігура 15 (а, б), пунктирна лінія 20 на Фігурі 14 та Фігурі 18), як

$$\Delta h_o = \Delta h_1^l - \Delta l_d, \quad (12)$$

де Δh_1^l , - величина деформації, що включає деформацію дроту та деформацію елемента конструкції мосту;

10 для поперечної опуклої деформації (Фігура 15 (а, в), пунктирна лінія 21 на Фігурі 16 та Фігурі 19), як

$$\Delta h_y = \Delta h_2^l - \Delta l_d, \quad (13)$$

15 де Δh_2^l - величина деформації, що включає деформацію дроту та деформацію елемента конструкції мосту.

Пристрій може бути застосований в автоматизованій системі моніторингу деформацій (АСДМ) мостових конструкцій, інших елементів конструкцій великих розмірів, що дозволить оперативно контролювати їхній стан, зміщення і прогини, що виникають в результаті впливу зовнішніх природно-кліматичних впливів, а також інтенсивного транспортного навантаження.

20 Джерела інформації:

1. А.с. № 1441193 СРСР МПК G01B 11/16. Устройство для определения деформаций образца // В.Н. Гавриков, А.В. Бабенко, О.А. Фуженко. - 42444991/25-28. Заявл. 14.05.87; опубл. 30.11.88. Бюл. № 44.

25 2. Патент на корисну модель № 132878 Україна МПК G01B 11/16 (2006.01). Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій великих розмірів // Левтеров А.І. -Заявл. 29.10.18. Опубл. 11.03.19. - Бюл. № 5.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30 Пристрій для вимірювання просторової деформації елементів конструкцій мостів, що містить лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки, блок комутації, блок обробки і реєстрації, з'єднані між собою, та n фотоприймачів, які представляють собою n послідовно розташованих датчиків деформації, що знаходяться на опорах, розташованих на деякій певній рівній відстані один від одного по горизонталі впродовж конструкції, жорстко закріплених на конструкції, що деформується, причому перший і n-ий фотоприймачі, лазер, з'єднаний через оптичний коліматор з вузлом розгортки лазерного променя винесені за межі конструкції, що деформується, всі n фотоприймачі знаходяться на одній висоті над поверхнею конструкції, що деформується, а лазер, коліматор і вузол розгортки знаходяться на протилежному боці конструкції на тій же висоті від горизонтальної поверхні конструкції напроти фотоприймачів, чутлива поверхня яких повернута в напрямку вузла розгортки, причому вузол розгортки здійснює розгортку лазерного променя у горизонтальній площині по поверхні датчиків деформації, який **відрізняється** тим, що до складу пристрою додатково введені другий лазер, другий коліматор та дзеркало, що знаходиться під кутом 45° до лазерного променя, або призма встановлені на додатковій опорі напроти i-тої опори, що знаходиться на протилежному боці конструкції на тій же висоті від горизонтальної поверхні конструкції, причому додаткова та i-а опори, пов'язані між собою дротом, всередині якого встановлений ультразвуковий датчик для виміру деформації всередині (у поперечному розрізі) мостової конструкції, а на поверхні ультразвукового датчика закріплюється додатковий фотоприймач для контролю прогину дроту, чутлива поверхня якого повернута у напрямку дзеркала або призми, встановленої на додатковій опорі.

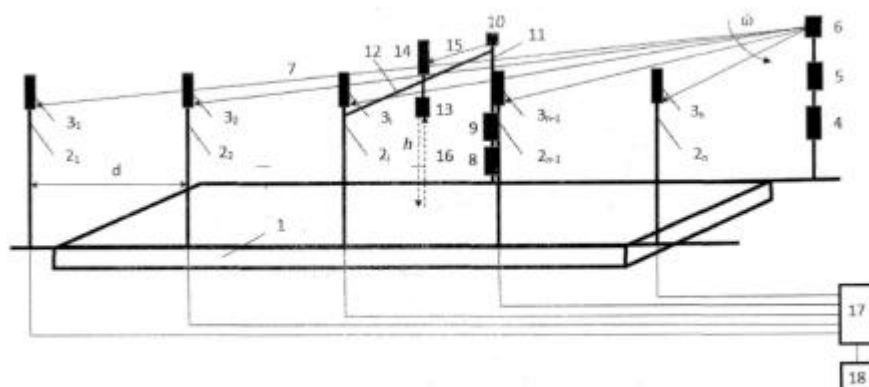


Fig. 1

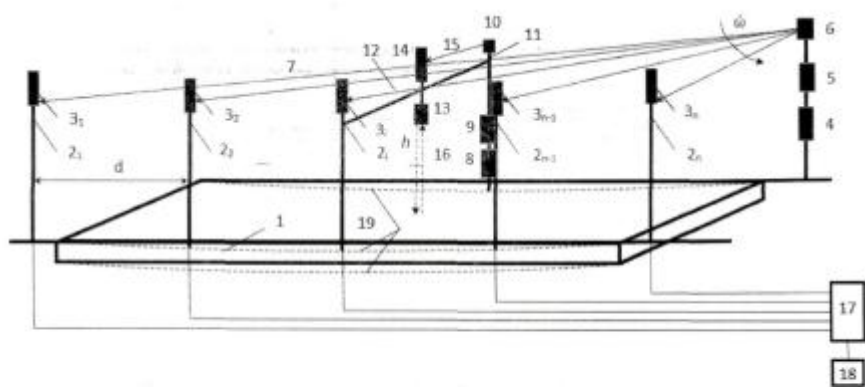


Fig. 2



Fig. 3

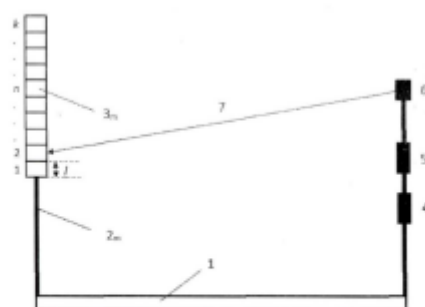


Fig. 4

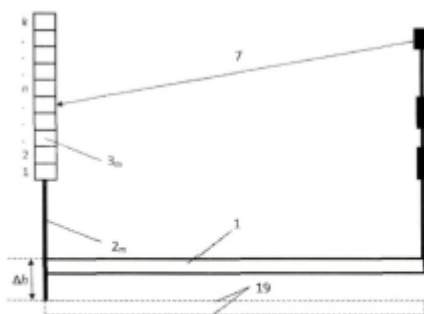


Fig. 5

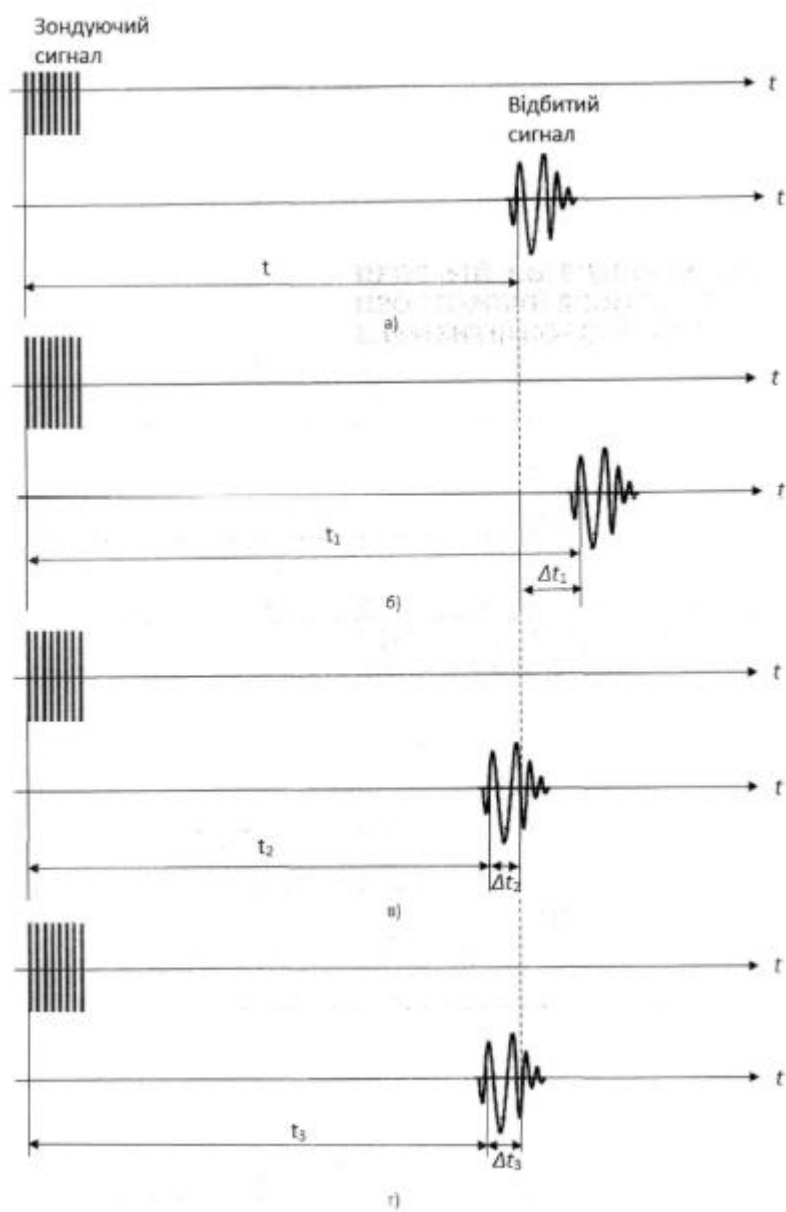


Fig. 6

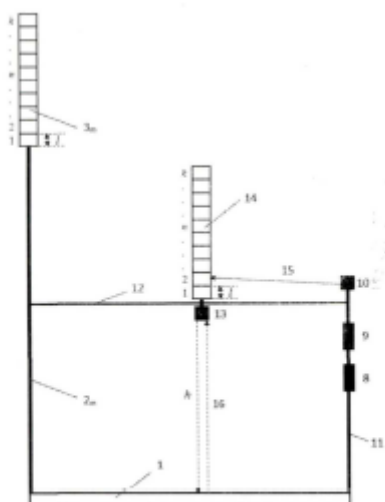


Fig. 7

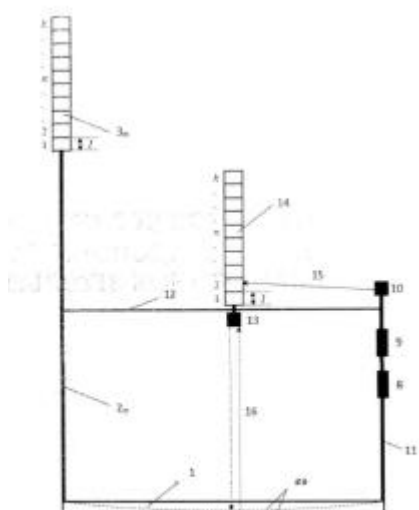


Fig. 8

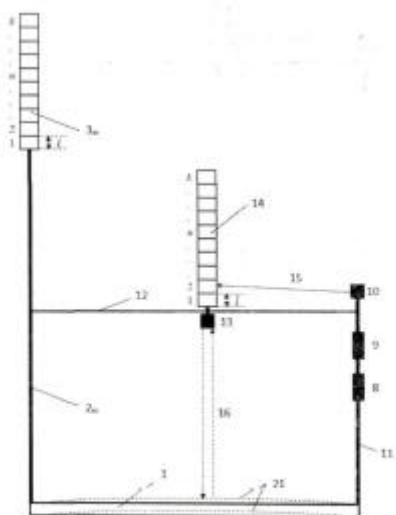


Fig. 9

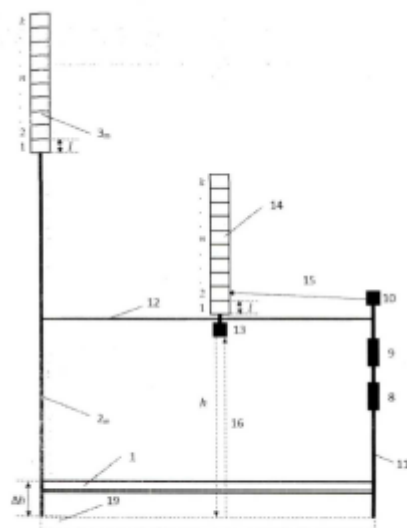


Fig. 10

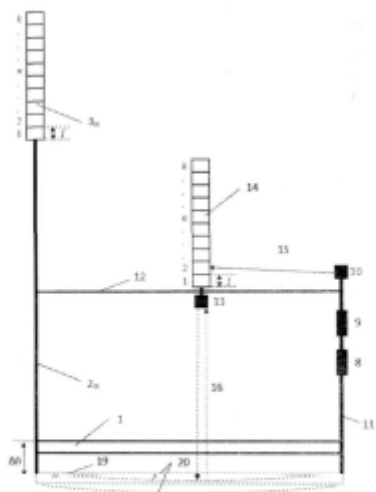


Fig. 11

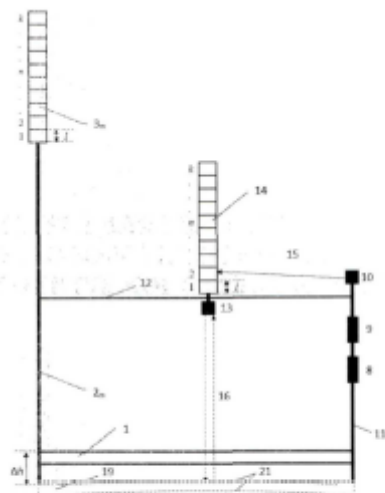


Fig. 12

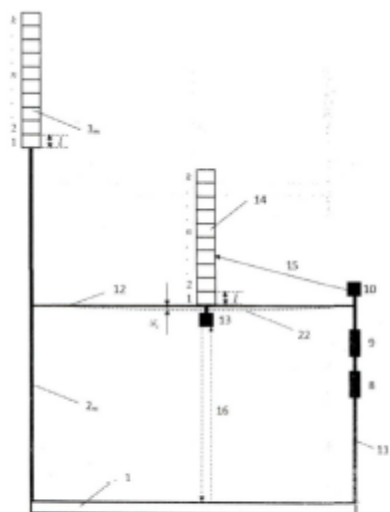


Fig. 13

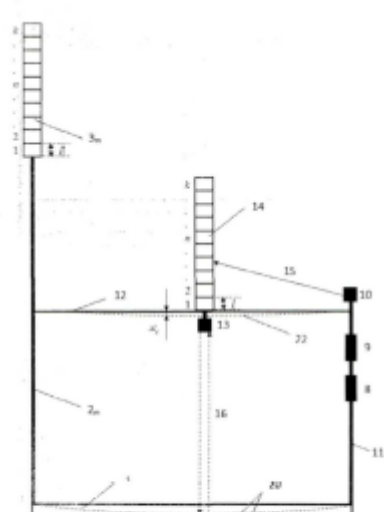
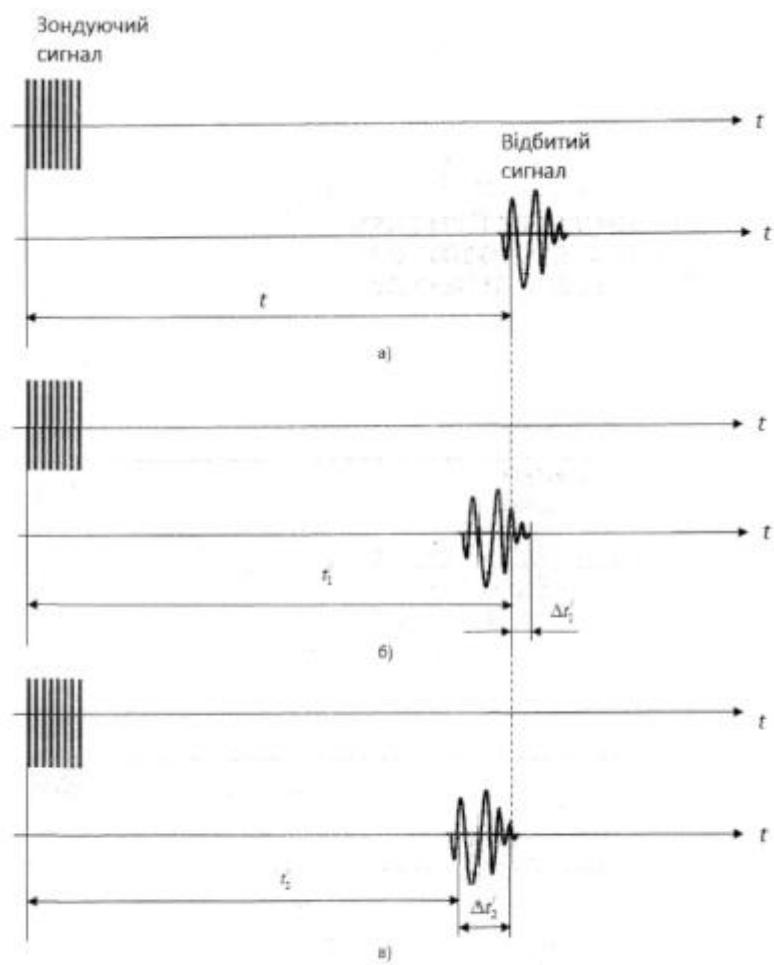
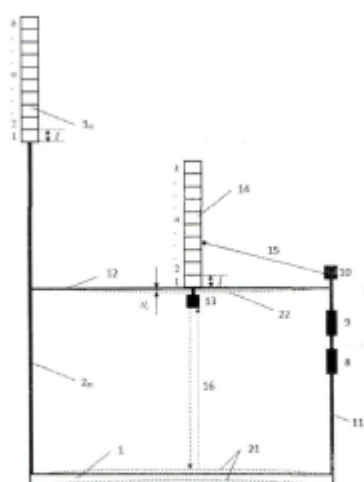


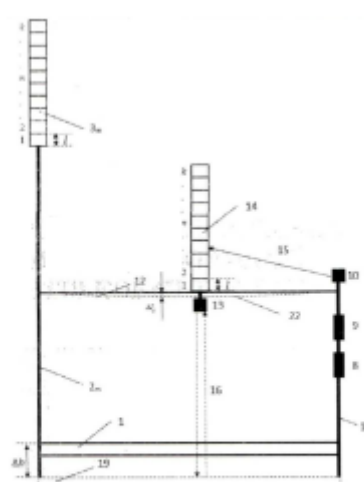
Fig. 14



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17

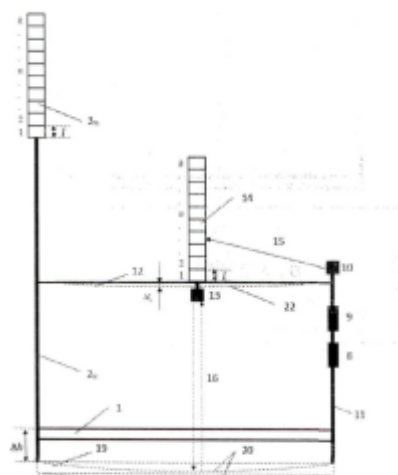


Fig. 18

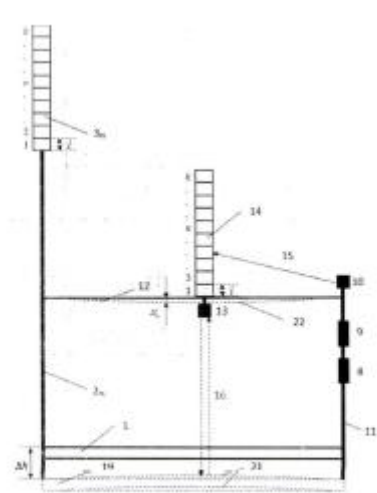


Fig. 19

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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