



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **135379** (13) **U**
(51) МПК
G01B 11/16 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 01026</p> <p>(22) Дата подання заявки: 31.01.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2019</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2019, Бюл.№ 12</p>	<p>(72) Винахідник(и): Левтеров Андрій Іванович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Петровського, 25, м. Харків, 61002 (UA), Левтеров Андрій Іванович, пр. Перемоги, 54-а, кв. 41, м. Харків, 61202 (UA)</p>
--	---

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ВЕЛИКИХ РОЗМІРІВ

(57) Реферат:

Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій великих розмірів містить блок комутації та реєстратор, лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки лазерного променя та n фотоприймачів. Пристрій додатково оснащений другим лазером, другим оптичним коліматором та другим вузлом розгортки лазерного променя, розташованими на опорі, що винесена за межі конструкції на протилежному кінці елемента конструкції, причому чутливі поверхні 1, 2, ..., $i-1$ фотоприймачів повернуті у напрямку лазерного променя, що розгортається першим вузлом розгортки, а $i+1$, $i+2$, ..., n фотоприймачів повернуті у напрямку лазерного променя, що розгортається другим вузлом розгортки. Причому i -ий фотоприймач виконаний з двосекційною чутливою поверхнею, одна секція якої повернута у напрямку лазерного променя, що розгортається першим вузлом розгортки, а друга секція повернута у напрямку лазерного променя, що розгортається другим вузлом розгортки.

UA 135379 U

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

Для контролю та прогнозування стану мостової споруди з застосуванням АСДМ широке розповсюдження набули оптичні методи вимірювання деформації. Так, наприклад, відомий пристрій для вимірювання деформації, що містить n послідовно розташованих датчиків деформації, жорстко закріплених на конструкції, що деформується, кожен з яких містить напівпрозоре дзеркало, хрестоподібну марку та джерело світла, приймач світла, вузол фокусування, вузол розгортки світла, блок комутації та реєстратор, причому розташовані послідовно уздовж оптичної осі між приймачем світла і напівпрозорими дзеркалами n хрестоподібних марок, розташовані уздовж оптичної осі кожного датчика, перпендикулярній основній оптичній осі між напівпрозорим дзеркалом і джерелом світла, блок комутації, вхід якого з'єднаний з приймачем світла, а його виходи з'єднані з вузлом фокусування, n джерелами світла і реєстратором, що містить вимірювальну схему і обчислювальний блок [1].

Відомий також пристрій, що містить n послідовно розташованих датчиків деформації, жорстко закріплених на конструкції, що деформується, кожен з яких містить напівпрозоре дзеркало, хрестоподібну марку та джерело світла, приймач світла, вузол фокусування, вузол розгортки світла, блок комутації та реєстратор, причому розташовані послідовно уздовж оптичної осі між приймачем світла і напівпрозорими дзеркалами n хрестоподібних марок, розташовані уздовж оптичної осі кожного датчика, перпендикулярній основній оптичній осі між напівпрозорим дзеркалом і джерелом світла, блок комутації, вхід якого з'єднаний з приймачем світла, а його виходи з'єднані з вузлом фокусування, n джерелами світла і реєстратором, що містить вимірювальну схему і обчислювальний блок [2].

Недоліком цих пристроїв є недостатня точність та недостатні функціональні можливості і практична непрацездатність пристрою у сонячні дні, тому що приймачу світла важко відрізнити промінь світла, що застосовується у пристрої, від променя сонця, тим паче, що джерело світла у аналогу ще й проходить через напівпрозоре дзеркало. Посилаючись у аналогу на відмову від лазерного променя, де не використовується промінь певної довжини хвилі і легко за допомогою відповідного фільтра відсікається весь спектр сонячного світла, крім променя певної довжини хвилі, автори значно обмежують функціональні можливості аналога.

Найбільш близьким аналогом є пристрій, що містить блок комутації та реєстратор, лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки лазерного променя та n фотоприймачів, причому всі n фотоприймачі являють собою n послідовно розташованих датчиків деформації, які знаходяться на опорах, розташованих на деякій певній рівній відстані один від одного по горизонталі впродовж конструкції, жорстко закріплених на конструкції, що деформується, вихід кожного n фотоприймача пов'язаний з n входами блока комутації, а його вихід - з входом перетворювача "час - лінійні переміщення", вихід якого з'єднаний з входом реєстратора, причому кожний послідовний фотоприймач, що знаходиться на опорі, розташований на деякій певній рівній відстані один від одного по вертикалі, а перший і n -ий фотоприймачі, лазер, оптичний коліматор і вузол розгортки лазерного променя винесені за межі конструкції, що деформується [3].

Недоліком цього пристрою є недостатня функціональна можливість у зв'язку з тим, що для вимірювання деформацій елементів конструкцій великих розмірів кількість фотоприймачів обмежена висотою опор, на яких знаходяться фотоприймачі, тому що при великій кількості фотоприймачів їхні чутливі поверхні будуть перекривати одна одну, а при обмеженій кількості фотоприймачів постраждає точність виміру деформації.

В основу корисної моделі поставлена задача розробки пристрою для вимірювання деформацій елементів конструкцій великих розмірів підвищеної точності з підвищеними функціональними можливостями.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій містить блок комутації та реєстратор, лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки лазерного променя та n фотоприймачів, причому всі n фотоприймачі являють собою n послідовно розташованих датчиків деформації, які знаходяться на опорах, розташованих на деякій певній рівній відстані один від одного по горизонталі впродовж конструкції, жорстко закріплених на конструкції, що деформується, вихід кожного n фотоприймача пов'язаний з n входами блока комутації, а вихід блока комутації - з входом перетворювача "час - лінійні переміщення", вихід якого, у свою чергу, з'єднаний з входом реєстратора, причому кожний послідовний фотоприймач, що знаходиться на опорі, розташований на деякій певній рівній відстані один від одного по вертикалі, а перший і n -ий фотоприймачі, лазер, оптичний коліматор і вузол розгортки лазерного променя винесені за межі конструкції, що деформується, який відрізняється тим, що пристрій додатково оснащений другим лазером, другим оптичним коліматором та другим вузлом розгортки лазерного променя, розташованими на опорі, що винесена за межі конструкції на протилежному кінці елемента

конструкції, причому чутливі поверхні 1,2,..., i-1 фотоприймачів повернуті у напрямку лазерного променя, що розгортається першим вузлом розгортки, а i+1, i+2,..., n фотоприймачів повернуті у напрямку лазерного променя, що розгортається другим вузлом розгортки, причому i-ий фотоприймач виконаний з двосекційною чутливою поверхнею, одна секція якої повернута у напрямку лазерного променя, що розгортається першим вузлом розгортки, а друга секція повернута у напрямку лазерного променя, що розгортається другим вузлом розгортки.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

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 деформацією.

На Фігурі 3 представлені часові діаграми роботи пристрою без деформації першої половини елемента конструкції великих розмірів.

На Фігурі 4 представлені часові діаграми роботи пристрою з деформацією першої половини елемента конструкції великих розмірів.

На Фігурі 5 представлені часові діаграми роботи пристрою без деформації другої половини елемента конструкції великих розмірів.

На Фігурі 6 представлені часові діаграми роботи пристрою з деформацією другої половини елемента конструкції великих розмірів.

Працює пристрій наступним чином. Для виміру деформації конструкції великих розмірів застосовуються n фотоприймачі Z_1, \dots, Z_n , що являють собою n послідовно розташованих датчиків деформації, які знаходяться на опорах Z_1, \dots, Z_n , розташованих на деякій певній рівній відстані d один від одного по горизонталі впродовж конструкції 1, жорстко закріплених на конструкції (Фіг. 1). При цьому перший і n-ий фотоприймачі винесені за межі конструкції. Крім того, за межі конструкції винесені перший лазер 4, перший оптичний коліматор 5 і перший вузол 6 розгортач лазерного променя 7, другий лазер 8, другий оптичний коліматор 9 і другий вузол 10 розгортки лазерного променя 11, причому $R_1=R_n$ (Фіг. 1). У пристрої застосовуються лазери з безперервним випромінюванням променя певної довжини хвилі. Послідовно з лазером розташовується оптичний коліматор, який складається з об'єктива, у фокальній площині якого розміщується вихід лазерного променя. Оптичні коліматори 5 і 9 забезпечують паралельність лазерного променя і тому, за рахунок, практично, нульової розбіжності, вся енергія лазерного променя буде зосереджена на чутливій поверхні кожного фотоприймача, виконаний із певного матеріалу, що без особливих перешкод пропускає лазерний промінь. Кожен з n-1 фотоприймачів містять фотодіод або фотоелектричний помножувач (ФЕП), перед яким розташовуються чутлива поверхня і оптичний фільтр, що пропускає промінь тільки певної довжини хвилі лазера, n-ий фотоприймач містить два фотодіоди або два фотоелектричних помножувачі (ФЕП), перед якими розташовуються відповідна чутлива поверхня і оптичний фільтр, що пропускає промінь тільки певної довжини хвилі лазера. Всі елементи фотоприймача розміщуються у герметичному корпусі. Вузли розгортки 6 та 10, наприклад, являють собою двигун, на валу якого розташовується дзеркало або призма із дзеркальною гранню, що знаходяться під кутом 45° до лазерного променя, або крутий оптичний клин, за рахунок чого промінь лазера розгортається у вертикальній площині, причому кутова швидкість обертів обох двигунів ω однакова.

Оптичний сигнал, що розгортається, з вузла розгортки 6 послідовно пробігає по чутливій поверхні кожного Z_1, Z_2, \dots, Z_i фотоприймача певної довжини h (Фіг. 2). Електричний сигнал з фотодіода або ФЕП надходить на підсилювач електричного сигналу фотоприймача, який, після підсилення (Фіг. 3), надходить на блок комутації 12 (Фіг.1, Фіг.2). Тривалість електричного імпульсу з виходу фотоприймача буде визначатися швидкістю проходження лазерного променя по чутливій поверхні фотоприймача, яка, у свою чергу, буде визначатися кутовою швидкістю ω двигуна вузла розгортки і відстанню R вузла розгортки до фотоприймача (Фіг.1, Фіг. 2). Тому тривалість імпульсів з фотоприймача буде різною і в міру наближення фотоприймача до вузла розгортки t_i буде збільшуватись (Фігура 3, Фігура 4)

$$t_i = \frac{h}{\omega R_1}, (1)$$

де $\omega=2 \cdot \pi \cdot f$ - кутова швидкість обертів двигуна;

R_1 - відстань між блоком розгортки лазерного променя та першим фотоприймачем.

Тоді для i-того фотоприймача тривалість імпульсу буде

$$t_i = \frac{h}{\omega R_i}, (2)$$

де $i=1\dots n$.

Хоча відстань l між фотоприймачами по вертикалі однакова (Фігура 1), відстань (пауза) між електричними імпульсами теж буде збільшуватися в міру наближення фотоприймачів до вузла розгортки (Фігура 3).

$$t_{\Pi_i} = \frac{\omega R_i}{\omega R_i}, \quad (3)$$

де t_{Π_i} - відстань (пауза) між електричними імпульсами двох фотоприймачів;

l - відстань між фотоприймачами по вертикалі;

$i=1\dots n-1$.

Так як перший 31 фотоприймач знаходиться за межами конструкції, що деформується, то всі обчислення деформації Δl_i виконуються відносно першого фотоприймача (Фігура 3). Тому

$t_1 = \tau_1 + t_{\Pi_i} = \frac{h+l}{\omega R_1},$	(4)
$t_2 = t_1 + \frac{h+l}{\omega R_2},$	
$t_i = t_{i-1} + \frac{h+l}{\omega R_i},$	

Аналогічно розглянутому вище, оптичний сигнал, що розгортається, з вузла розгортки 10 послідовно пробігає по чутливій поверхні кожного з $3_n, 3_{n-1}, \dots, 3_j$ фотоприймачів певної довжини h (Фіг. 1, Фіг. 2). Електричний сигнал з фотодіода або ФЕП надходить на підсилювач електричного сигналу фотоприймача, який, після підсилення, надходить на блок комутації 12 (Фіг. 5). Тривалість електричного імпульсу з виходу фотоприймача буде визначатися швидкістю проходження лазерного променя по чутливій поверхні фотоприймача, яка, у свою чергу, буде визначатися кутовою швидкістю ω двигуна вузла розгортки і відстанню R вузла розгортки до фотоприймача (Фіг. 1, Фіг. 2). Тому тривалість імпульсів з фотоприймача буде різною і в міру наближення фотоприймача до вузла розгортки буде збільшуватися (Фіг. 3, Фіг.4)

$$t_n = \frac{\omega R_n}{\omega R_n}, \quad (5)$$

де $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ - кутова швидкість обертів двигуна;

R_n - відстань між блоком розгортки лазерного променя та першим фотоприймачем.

Тоді для j -того фотоприймача тривалість імпульсу буде

$$t_j = \frac{\omega R_j}{\omega R_j}, \quad (6)$$

де $i=1\dots n$.

Слід зазначити, якщо $R_i = R_j$, то $t_i = t_j$.

Хоча відстань l між фотоприймачами по вертикалі однакова (Фігура 1), відстань (пауза) між електричними імпульсами теж буде збільшуватися в міру наближення фотоприймачів до відповідного вузла розгортки (Фіг. 3).

$$t_{\Pi_i} = \frac{\omega R_i}{\omega R_i}, \quad (7)$$

де t_{Π_i} - відстань (пауза) між електричними імпульсами двох фотоприймачів;

l - відстань між фотоприймачами по вертикалі;

$i = 1 \dots n - 1$.

Так як n -ий 3_n фотоприймач знаходиться за межами конструкції, що деформується, то всі обчислення деформації Δl_i , виконуються відносно n -ого фотоприймача (Фіг. 5). Тому

$t_n = t_n + t_{II_n} - \frac{h+l}{\omega R_n},$	(8)
$t_{n-1} = t_n + \frac{h+l}{\omega R_{n-1}},$	
$t_j = t_{j-1} + \frac{h+l}{\omega R_j},$	

Якщо конструкція деформується (пунктирна лінія на Фігурі 2), то відстань по вертикалі між фотоприймачами змінюється, відповідно, від l_1 до l_{n-1} (фігура 2). Тоді тривалість імпульсів стає такою ж, як і для конструкції до деформації (фіг. 1), а ось тривалість між імпульсами й відповідно період проходження імпульсів змінюється і залежить від Δl_i

$$\Delta l_i = l_i - l, \quad (9)$$

де Δl_i - величина деформації; $i = 1 \dots n-1$.

Аналогічні (4) обчислення t'_1, t'_2, \dots, t'_i проводяться і для деформованої конструкції (Фігура 4) першої половини мостової конструкції. Тоді

$$t'_i = l_i, \quad (10)$$

$$l'_i = \frac{t'_i}{t_i}. \quad (11)$$

Тоді з урахуванням виразу (9) вираз (11) можна записати у вигляді

$$l'_i + \Delta l_i = \frac{t'_i}{t_i} \quad (12)$$

$$\Delta l_i = \frac{l \cdot t'_i - l t_i}{t_i} = \frac{l \cdot (t'_i - t_i)}{t_i}, \quad (13)$$

але $\Delta t_i = t'_i - t_i$ (Фігура 4).

Тоді вираз (13) можна переписати у вигляді

$$\Delta l_i = \frac{l \cdot \Delta t_i}{t_i} \quad (14)$$

Аналогічні (8) обчислення $t'_n, t'_{n-1}, \dots, t'_j$ проводяться і для деформованої конструкції (Фігура 6) другої половини мостової конструкції і вирази (13) і (14) можна записати у вигляді

$$\Delta l_j = \frac{l \cdot t'_j - l t_j}{t_j} = \frac{l \cdot (t'_j - t_j)}{t_j}, \quad (15)$$

$$\Delta l_j = \frac{l \cdot \Delta t_j}{t_j} \quad (16)$$

Слід зазначити, що $\Delta l_i = \Delta l_j$.

Сигнали з фотоприймачів $3_1, \dots, 3_n$ через блок 12 комутації надходять на перетворювач 13 "час - лінійні переміщення", де після перетворення і обчислення надходять на реєстратор 14 (Фігура 2). Обчислення t'_i і t_i , у виразі (13) та t'_j і t_j у виразі (15) проводиться певним методом, наприклад, заповненням інтервалів між двома передніми фронтами імпульсів відповідних двох фотоприймачів імпульсами тактової частоти з тактового генератора або ноніусним методом, які знаходяться у перетворювачі 12, а l заздалегідь відома величина.

Розроблений пристрій пройшов випробування у лабораторних умовах, показав велику працездатність і достатню точність (до 1 мм) виміру деформацій конструкції.

Пристрій може бути застосований в автоматизованій системі моніторингу деформацій (АСДМ) мостових конструкцій та 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.

Джерела інформації:

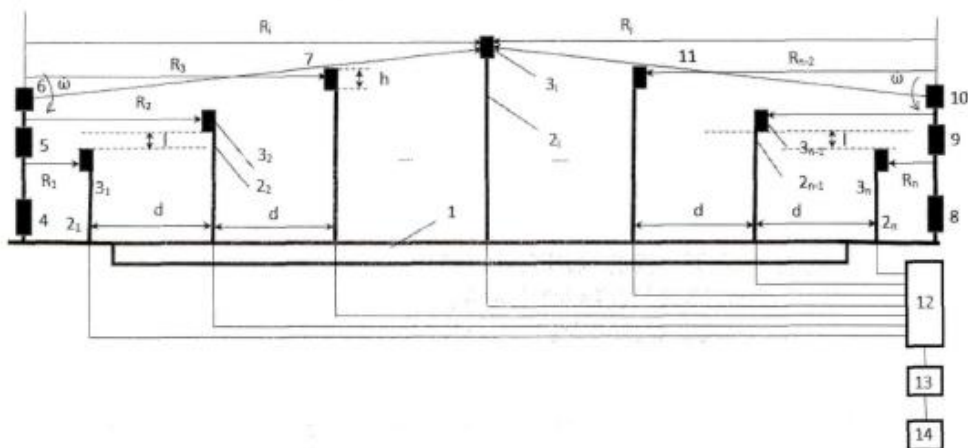
1. Brevet d'invention. № 2.153.798 France G 01 B 11/00. Dispositif optique de controle permanent d'alignement. - 24.09.1971.

2. Ах. № 1216642 СРСР МПК G 01 B 16/11. Устройство для определения деформаций конструкции //Богатыренко К.И., Денисенко О.В. - 3728163/25-28. Заявл. 18.04.1984; опубл. 07.03.1986. Бюл. № 9.

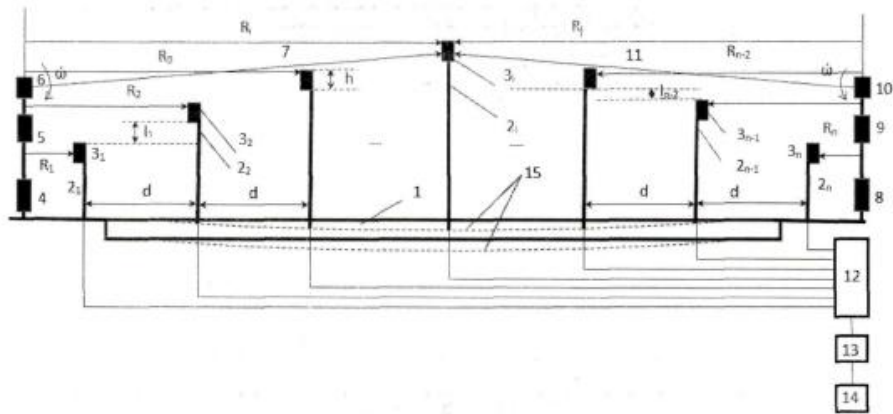
3. Пат. на корисну модель 129753 Україна: МПК G01 B 11/16(2006.11). Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій великих розмірів //Левтеров А.І. - u201805084. Заявл. 05.08.2018; опубл. 12.11.2018. Бюл. № 21.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

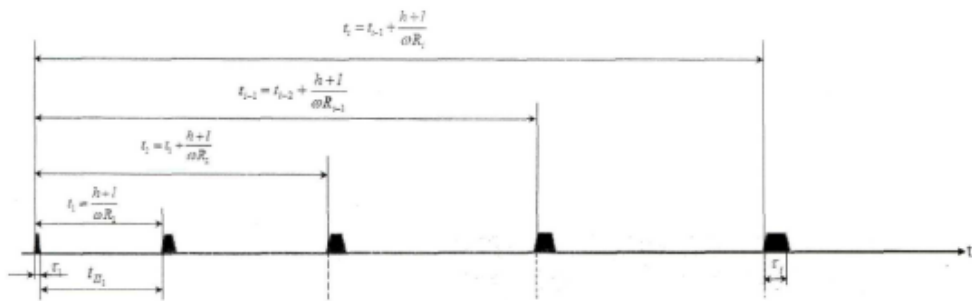
Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій великих розмірів, що містить блок комутації та реєстратор, лазер, оптичний коліатор, вузол розгортки лазерного променя та n фотоприймачів, причому всі n фотоприймачі являють собою n послідовно розташованих датчиків деформації, які знаходяться на опорах, розташованих на деякій певній рівній відстані один від одного по горизонталі впродовж конструкції, жорстко закріплених на конструкції, що деформують, вихід кожного n фотоприймача пов'язаний з n входами блока комутації, а вихід блока комутації - з входом перетворювача "час-лінійні переміщення", вихід якого, у свою чергу, з'єднаний з входом реєстратора, причому кожний послідовний фотоприймач, що знаходиться на опорі, розташований на деякій певній рівній відстані один від одного по вертикалі, а перший і n -ий фотоприймачі, лазер, оптичний коліатор і вузол розгортки лазерного променя винесені за межі конструкції, що деформують, який **відрізняється** тим, що пристрій додатково оснащений другим лазером, другим оптичним коліатором та другим вузлом розгортки лазерного променя, розташованими на опорі, що винесена за межі конструкції на протилежному кінці елемента конструкції, причому чутливі поверхні 1, 2, ..., $i-1$ фотоприймачів повернуті у напрямку лазерного променя, що розгортається першим вузлом розгортки, а $i+1$, $i+2$..., n фотоприймачів повернуті у напрямку лазерного променя, що розгортається другим вузлом розгортки, причому i -ий фотоприймач виконаний з двосекційною чутливою поверхнею, одна секція якої повернута у напрямку лазерного променя, що розгортається першим вузлом розгортки, а друга секція повернута у напрямку лазерного променя, що розгортається другим вузлом розгортки.



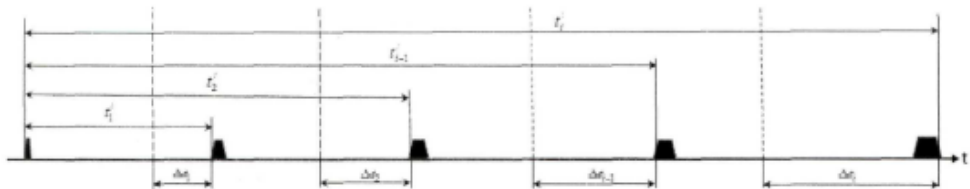
Фіг. 1



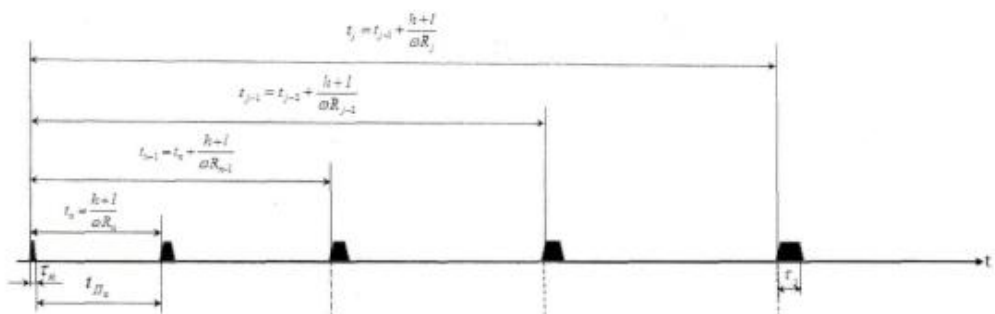
Фиг. 2



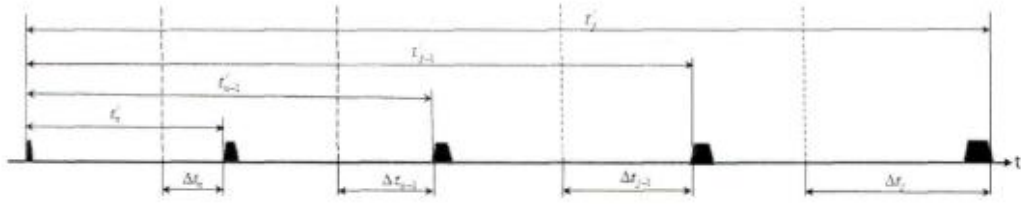
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фіг. 6

Комп'ютерна верстка О. Рябко

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