



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **134584** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01B 11/16** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

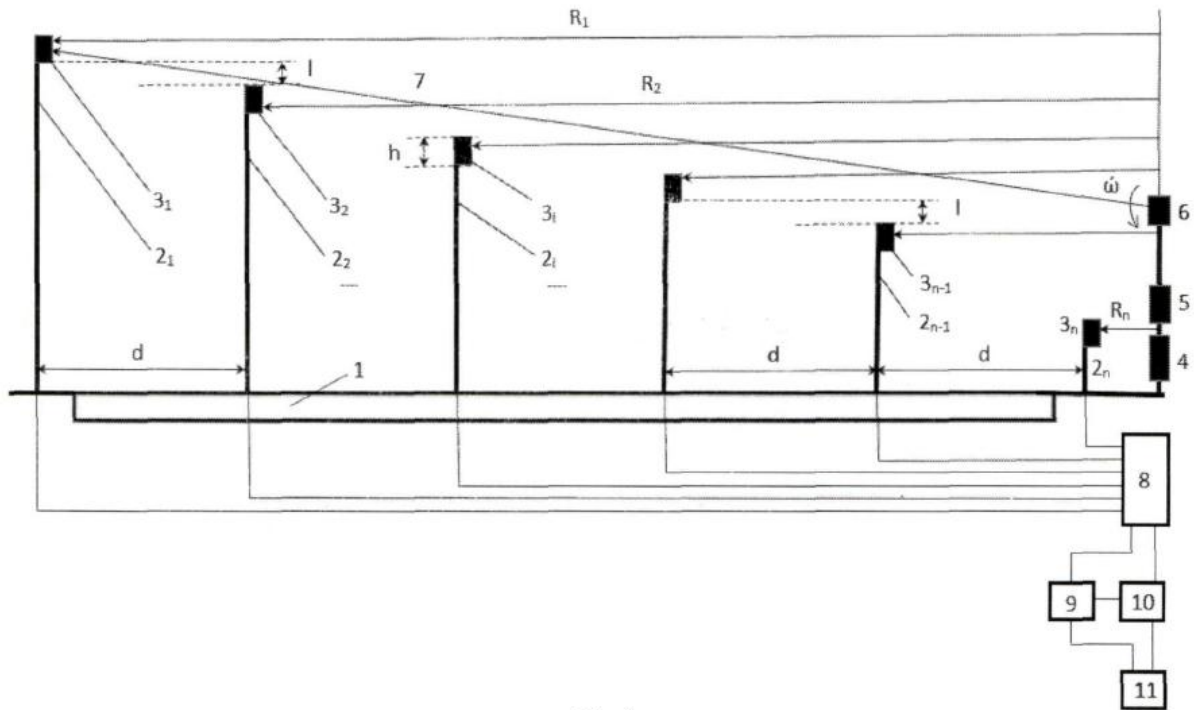
|   |  |
|---|--|
| (21) Номер заявки: <b>u 2018 12472</b>  | (72) Винахідник(и):<br><b>Левтеров Андрій Іванович (UA)</b>  |
| (22) Дата подання заявки: <b>14.12.2018</b>                                   | (73) Власник(и):<br><b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ<br/>АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ<br/>УНІВЕРСИТЕТ,</b><br>вул. Петровського, 25, м. Харків,<br>61002 (UA),<br><b>Левтеров Андрій Іванович,</b><br>пр. Перемоги, 54-а, кв. 41, м. Харків,<br>61202 (UA) |
| (24) Дата, з якої є чинними<br>права на корисну<br>модель: <b>27.05.2019</b>  |  |
| (46) Публікація відомостей<br>про видачу патенту: <b>27.05.2019, Бюл.№ 10</b> |  |

## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТИМЧАСОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ВІД РУХОМОГО СКЛАДУ МОСТІВ

### (57) Реферат:

Пристрій для вимірювання тимчасових навантажень від рухомого складу мостів містить лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки лазерного променя та n фотоприймачів, причому всі n фотоприймачів являють собою n послідовно розташованих датчиків динамічного навантаження мостової конструкції, 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 з'єднаний з відповідними n входами блока комутації, причому перший вихід блока комутації з'єднаний з входом перетворювача "час-лінійні переміщення", перший вихід якого з'єднаний з першим 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 мостової конструкції, що обстежується, крім того додатково введений блок обчислення експлуатаційного навантаження автодорожніх та залізничних мостів, перший вхід якого з'єднаний з другим виходом блока комутації, а його другий вхід з'єднаний з другим виходом перетворювача "час-лінійні переміщення", вихід блока обчислення експлуатаційного навантаження з'єднаний з другим входом реєстратора.

UA 134584 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до вимірювання експлуатаційного навантаження (динамічних навантажень) автодорожніх мостів у вигляді суцільного транспортного потоку з неперіодичним тривалим навантаженням та залізничних мостів оптичними методами.

Відомий пристрій для вимірювання тимчасових навантажень від рухомого складу мостів, що містить датчик на тензOMETричній основі, який конструктивно являє собою консольну пластину з наклеєними тензорезисторами. Один кінець пластини жорстко з'єднано з нерухою основою датчика, а до іншого закріплено струну (дріт), яку з'єднано з конструкцією та через пружину до землі. Причому струна закріплюється до наміченої точки мостової прольотної балки, а під точкою кріплення струни в ґрунт або асфальтне покриття проїзної частини дороги забивається анкер (стрижень діаметром 12 мм та довжиною 200...500 мм). Нижній кінець струни через пружину з натягом близько 2-3 кг приєднується до анкера. Сам датчик закріплюється на тринозі, а кінець чутливої консолі приєднується до натягнутої струни. Кожна система струна-датчик після встановлення в робоче положення необхідно тарувати тарувальним "еталоном" - шпренгельною планкою, оскільки кожного разу довжина струни та пружність скруток в місцях її приєднання буде різною. Причому під час навішування та знімання тарувальної планки проводиться реєстрація показів датчика, за якими і визначається його масштабний коефіцієнт [1].

Недоліком цього пристрою є обмежене застосування для вимірювання експлуатаційного навантаження автодорожніх мостів у вигляді суцільного транспортного потоку з неперіодичним тривалим навантаженням та залізничних мостів, якщо під прольотом мосту проходить автомобільна дорога, тому що, по-перше, для закріплення струни на прольотній балці мосту треба застосовувати, наприклад, автокран, а у зв'язку з цим перекидати рух транспорту, який рухається по дорозі під мостом. По-друге, відбувається руйнування дорожнього покриття дороги при вбиванні анкеру і при їх витяганні після проведення обстеження. По-третє, на час обстеження треба перекидати рух транспорту по дорозі під мостом на тривалий час, пов'язаний з таруванням датчика (датчиків) і саме обстеженням, що економічно недоцільно. Крім того, цей пристрій не можливо застосовувати на мостах через річку чи на заболочених ґрунтах. Наведені недоліки значно обмежують застосування цього пристрою для вимірювання експлуатаційного навантаження автодорожніх мостів у вигляді суцільного транспортного потоку з неперіодичним тривалим навантаженням та залізничних мостів.

Найближчим аналогом є пристрій, що містить лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки лазерного променя та  $n$  фотоприймачів, причому всі  $n$  фотоприймачів являють собою  $n$  послідовно розташованих датчиків деформацій мостової конструкції, 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 з'єднаний з відповідними  $n$  входами блока комутації, причому вихід блока комутації з'єднаний 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 мостової конструкції, що обстежується [2].

Недоліком цього пристрою є обмеження в застосуванні при обстеженні мостової конструкції, що полягає в обстеженні тільки статичної деформації мосту і не враховує динамічного навантаження мосту при русі суцільного транспортного потоку з неперіодичним тривалим навантаженням для автодорожніх мостів і русі поїздів по залізничному мосту, що значно обмежують функціональні можливості аналогу.

В основу корисної моделі поставлена задача розробки пристрою для вимірювання експлуатаційного навантаження автодорожніх мостів у вигляді суцільного транспортного потоку з неперіодичним тривалим навантаженням та залізничних мостів оптичними методами з розширеними функціональними можливостями.

Поставлена задача вирішується тим, що у пристрій, який містить лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки лазерного променя та  $n$  фотоприймачів, причому всі  $n$  фотоприймачів являють собою  $n$  послідовно розташованих датчиків динамічного навантаження мостової конструкції, 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 з'єднаний з відповідними  $n$  входами блока комутації, причому перший вихід блока комутації з'єднаний з входом перетворювача "час-лінійні переміщення", перший вихід якого з'єднаний з першим 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 променю винесені за межі мостової конструкції, що обстежується, який відрізняється тим, що додатково введений блок обчислення експлуатаційного навантаження автодорожніх та залізничних мостів, перший вхід якого з'єднаний з другим виходом блока комутації, а його другий вхід з'єднаний з другим виходом перетворювача "час-лінійні переміщення", вихід блока обчислення експлуатаційного навантаження з'єднаний з другим виходом реєстратора.

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 конструкції.

На Фігурі 4 представлені часові діаграми роботи пристрою з деформацією конструкції.

На Фігурі 5 представлені часові діаграми роботи пристрою з динамічним навантаженням мостів без деформації конструкції.

На Фігурі 6 представлені часові діаграми роботи пристрою з динамічним навантаженням мостів з деформацією конструкції.

Працює пристрій наступним чином. Для виміру деформації конструкції великих розмірів застосовуються  $n$  фотоприймачів  $Z_1, \dots, Z_n$ , що являють собою  $n$  послідовно розташованих датчиків деформації, які знаходяться на опорах  $2_1, \dots, 2_n$ , розташованих на деякій певній рівній відстані  $d$  один від одного по горизонталі впродовж конструкції 1, жорстко закріплених на конструкції (Фігура 1). Причому перший і  $n$  фотоприймачі винесені за межі конструкції. Крім того за межі конструкції винесені лазер 4, оптичний коліматор 5 і вузол 6 розгортки лазерного променю 7. У пристрої застосовується лазер з безперервним випромінюванням променю певної довжини хвилі. Послідовно з лазером розташовується оптичний коліматор, який складається з об'єктива, у фокальній площині якого розміщується вихід лазерного променю. Оптичний коліматор 5 забезпечує паралельність лазерного променю і тому, за рахунок, практично, нульової розбіжності, вся енергія лазерного променю буде зосереджена на чутливій поверхні кожного фотоприймача, виконаний із певного матеріалу, що без особливих перешкод пропускає лазерний промінь. Всі  $n$  фотоприймачів містять фотодіод або фотоелектричний помножувач (ФЕП), перед яким розташовуються чутлива поверхня і оптичний фільтр, що пропускає промінь тільки певної довжини хвилі лазера. Всі елементи фотоприймача розміщуються у герметичному корпусі. Вузол розгортки 6, наприклад, являє собою двигун, на валу якого розташовується дзеркало або призма із дзеркальною гранню, що знаходяться під кутом  $45^\circ$  до лазерному променю, або крутий оптичний клин, за рахунок чого промінь лазера розгортається у вертикальній площині.

Оптичний сигнал, що розгортається, з вузла розгортки 6 послідовно пробігає по чутливій поверхні кожного  $Z_1, \dots, Z_n$  фотоприймача певної довжини  $h$  (Фігура 1, Фігура 2). Електричний сигнал з фотодіода або ФЕП поступає на підсилювач електричного сигналу фотоприймача, який, після підсилення, поступає на блок комутації 8 (Фігура 3). Тривалість електричного імпульсу з виходу фотоприймача буде визначатися швидкістю проходження лазерного променю

по чутливій поверхні фотоприймача, яка, у свою чергу, буде визначатися кутовою швидкістю  $\omega$  двигуна вузла розгортки і відстанню  $R$  вузла розгортки до фотоприймача (Фігура 1, Фігура 2). Тому тривалість імпульсів з фотоприймача буде різною і в міру наближення фотоприймача до вузла розгортки буде збільшуватись (Фігура 3, Фігура 4)

$$\tau_1 = \frac{h}{\omega R_1}, \quad (1)$$

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

$R_1$  - відстань між блоком розгортки лазерного променю та першим фотоприймачем.

Тоді для  $i$ -ого фотоприймача тривалість імпульсу буде

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

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).

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

де  $t_{n_i}$  - відстань (пауза) між електричними імпульсами двох фотоприймачів;  
 $l$  - відстань між фотоприймачами по вертикалі;  
 $i = 1..n-1$ .

5 Так як перший  $Z_1$  фотоприймач знаходиться за межами конструкції, що деформується, то всі обчислення деформації  $\Delta l_i$  виконуються відносно першого фотоприймача (Фігура 3). Тому

$$t_1 = \tau_1 + t_{n_1} = \frac{h+l}{\omega R_1},$$

$$t_2 = t_1 + \frac{h+l}{\omega R_2}, \quad (4)$$

$$t_i = t_{i-1} + \frac{h+l}{\omega R_i}$$

$$10 \quad t_{n-1} = t_{n-2} + \frac{h+l}{\omega R_{n-1}}.$$

Якщо конструкція буде деформована 12 (пунктирні лінії на Фігурі 2), то відстань по вертикалі між фотоприймачами зміниться, відповідно, від  $l_1$  до  $l_{n-1}$  (фігура 2). Тоді тривалість імпульсів буде такою ж, як і для конструкції до деформації (фігура 1), а ось тривалість між імпульсами і відповідно період проходження імпульсів зміниться і буде залежати від  $\Delta l_i$

$$15 \quad \Delta l_i = l_i - l, \quad (5)$$

де  $\Delta l_i$  - величина деформації;  $i = 1..n-1$ .

Аналогічні (4) обчислення  $t'_1, t'_2, \dots, t'_i, \dots, t'_{n-1}$  проводяться і для деформованої конструкції (Фігура 4).

Тоді

$$20 \quad \frac{t_i}{t'_i} = \frac{l}{l_i}, \quad (6)$$

звідки

$$l_i = \frac{l \cdot t'_i}{t_i}. \quad (7)$$

Тоді з урахуванням виразу (5) вираз (7) можна записати у вигляді

$$25 \quad l + \Delta l_i = \frac{l \cdot t'_i}{t_i}, \quad (8)$$

звідки

$$\Delta l_i = \frac{l \cdot t'_i - l t_i}{t_i} = \frac{l \cdot (t'_i - t_i)}{t_i}, \quad (9)$$

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

Тоді вираз (9) можна переписати у вигляді

$$30 \quad \Delta l_i = \frac{l \cdot \Delta t_i}{t_i}. \quad (10)$$

Сигнали з фотоприймачів  $Z_1, \dots, Z_n$  через блок 8 комутації надходять на перетворювач 9 "час-лінійні переміщення", де після перетворення і обчислення надходять на перший вхід

реєстратора 11. Обчислення  $t_i, t'_i$  у виразі (9) 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 9, а  $l$  заздалегідь відома величина.

При русі суцільного транспортного потоку з неперіодичним тривалим навантаженням автодорожніх мостів і русі поїздів по залізничному мосту конструктивні елементи мостів будуть коливатись. Ці коливання показані непідсвіченими імпульсами зліва (нижня амплітуда коливання) та справа (верхня амплітуда коливання) на Фігурі 5 і Фігурі 6. Для обчислення тимчасових навантажень від рухомого складу (динамічних навантажень) мостів сигнали з фотоприймачів  $Z_1, \dots, Z_n$  через блок 8 комутації надходять і на перший вхід блока 10 обчислення експлуатаційного навантаження автодорожніх та залізничних мостів, де з урахуванням статичних деформацій  $\Delta l_i$ , якщо вони є, які пропорційні відповідним  $\Delta t_i$ , обчислюються нижня та верхня амплітуди коливань мостової конструкції. На Фігурі 5 наведено  $t_{i-1н}$  для обчислення нижньої амплітуди коливань без статичної деформації (для верхньої амплітуди коливань це буде, відповідно,  $t_{i-1в}$ , тобто час розгортки лазерного променя до правого не підсвіченого імпульсу). На Фігурі 6 наведено  $t'_{iв}$  для обчислення верхньої амплітуди коливань з деформацією (для нижньої амплітуди коливань це буде, відповідно,  $t'_{iн}$ , тобто час розгортки лазерного променя до лівого не підсвіченого імпульсу). Положення не підсвічених імпульсів на Фігурі 5 та Фігурі 6 відповідає одному періоду обертання лазерного променя. Таким чином амплітуда нижніх коливань мостової конструкції на одному періоді обертання лазерного променя буде обчислюватися, як

$$\Delta l_{iн} = \Delta l_{iн} - \Delta l_i,$$

а амплітуда верхніх коливань, як

$$\Delta l_{iв} = \Delta l_{iв} - \Delta l_i,$$

Після обчислення амплітуд коливань відповідних мостових конструкцій дані з виходу блока 10 надходять до другого входу реєстратора 11.

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

Пристрій може бути застосований в автоматизованій системі моніторингу деформацій та динамічних навантажень неперіодичним тривалим навантаженням автодорожніх мостів і русі поїздів по залізничному мосту (АСДМ), що дозволить оперативно контролювати їхній стан, зміщення і прогини, що виникають в результаті впливу зовнішніх природно-кліматичних впливів, а також суцільного транспортного потоку на автодорожніх мостах та поїздів на залізничних мостах.

Джерела інформації:

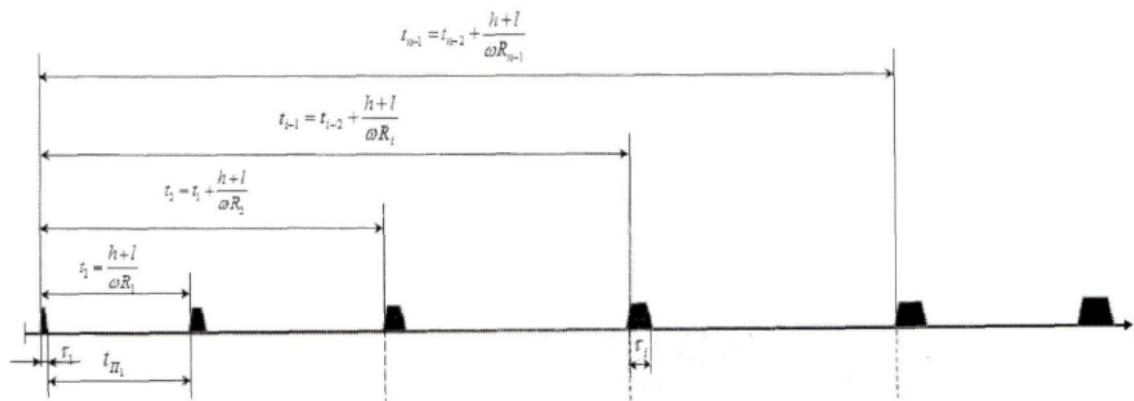
1. Редченко В.П. Динамічні випробування мостів. Частина 2: вільні коливання, модальний контроль / Редченко В.П. - Дніпро: Пороги, 2017. - 216 с.

2. Пат. на корисну модель № 129753 Україна МПК G01B 11/16 (2006.01). Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкції великих розмірів // Левтеров А.І. - u201805084. Заявл. 08.05.2018; опубл. 12.11.2018 Бюл. № 21.

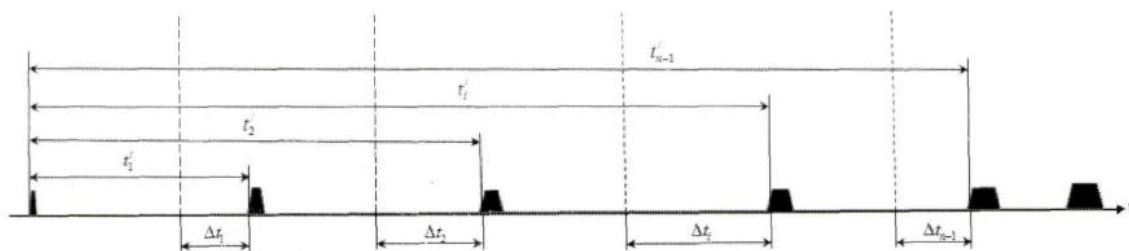
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій для вимірювання тимчасових навантажень від рухомого складу мостів, що містить лазер, оптичний коліматор, вузол розгортки лазерного променя та  $n$  фотоприймачів, причому всі  $n$  фотоприймачів являють собою  $n$  послідовно розташованих датчиків динамічного навантаження мостової конструкції, 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 з'єднаний з відповідними  $n$  входами блока комутації, причому перший вихід блока комутації з'єднаний з входом перетворювача "час-лінійні переміщення", перший вихід якого з'єднаний з першим 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 мостової конструкції, що обстежується, який **відрізняється** тим, що додатково введений блок обчислення експлуатаційного навантаження автодорожніх та залізничних мостів, перший вхід якого з'єднаний з другим виходом блока комутації, а його другий вхід з'єднаний з другим виходом перетворювача "час-лінійні переміщення", вихід блока обчислення експлуатаційного навантаження з'єднаний з другим входом реєстратора.

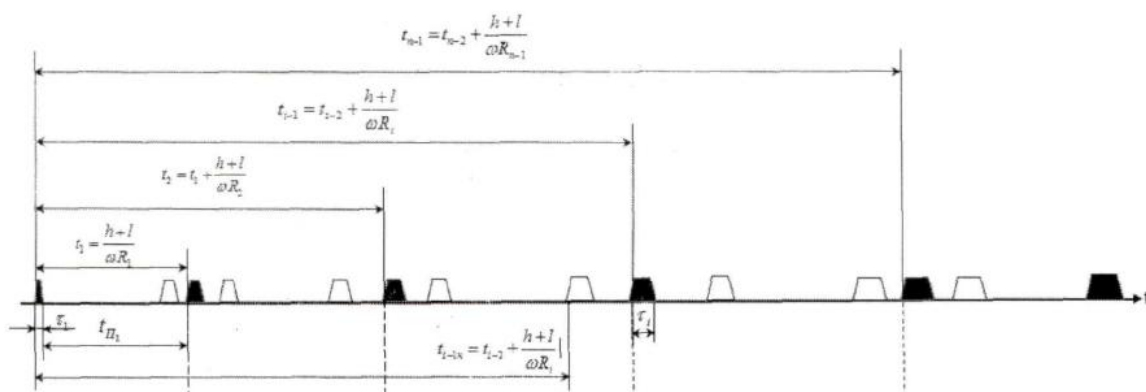




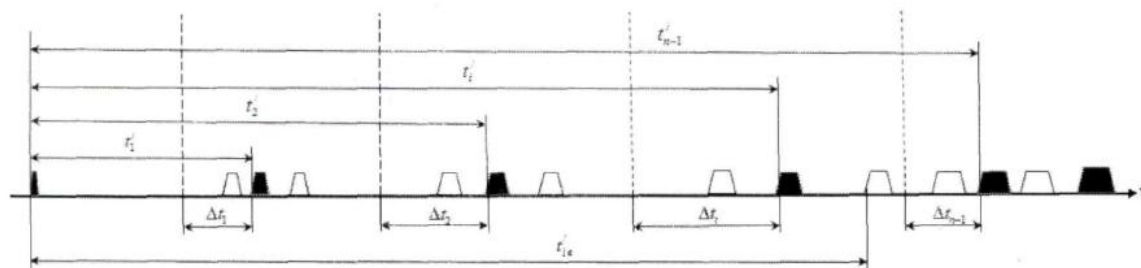
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6

Комп'ютерна верстка В. Юкін

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