



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **140689** (13) **U**  
(51) МПК  
**G01B 11/16** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: <b>u 2019 08222</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>15.07.2019</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.03.2020</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.03.2020, Бюл.№ 5</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Левтеров Андрій Іванович (UA), Козачок Лариса Миколаївна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ,</b> вул. Петровського, 25, м. Харків, 61002 (UA), <b>Левтеров Андрій Іванович,</b> пр. Перемоги, 54-А, кв. 41, м. Харків, 61202 (UA)</p>
---	---

## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ МОСТІВ ТА ПІДМОСТОВОГО ГАБАРИТУ

### (57) Реферат:

Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій та підмостового габариту мостів містить послідовно розташовані джерело світла у вигляді лазера ІЧ-діапазону, коліматор та вузол розгортки лазерного променя, комутатор, блок обробки і реєстрації, перший фотоприймач, який закріплюється до наміченої точки мостової прольотної балки, другий фотоприймач, який знаходиться в одній вертикальній площині з першим фотоприймачем, встановленим на опорі на певній відстані від моста, вихід блока комутації з'єднаний з блоком обробки і реєстрації, який представляє собою блок обчислень деформацій мостової конструкції та підмостового габариту, вихід якого з'єднаний з блоком реєстрації. Додатково введені  $2n-2$  фотоприймачі, причому перші  $n-1$  фотоприймачі розподілені і закріплені по всій горизонтальній площині прольотної балки мостової конструкції, а другий фотоприймач і останні  $n-1$  фотоприймачі встановлені на опорі на конструкції балочної або рамної системи над серединою проїзної частини дороги на певній відстані від моста в одній вертикальній площині з відповідними першими  $n-1$  фотоприймачами, що закріплені на прольотній балці мостової конструкції, причому виходи перших  $n$  фотоприймачів, що закріплені на прольотній балці, з'єднані шиною з першим входом блока комутації, а останні  $n$  фотоприймачів, що встановлені на опорі на конструкції балочної або рамної системи, з'єднані шиною з другим входом блока комутації, кроковий двигун, який програмно управляється блоком управління кроковим двигуном, що встановлені на конструкції балочної або рамної системи на певній відстані від моста, причому на валу крокового двигуна закріплена платформа, на якій встановлені послідовно розташовані джерело світла у вигляді лазера ІЧ-діапазону, коліматор та вузол розгортки лазерного променя.

UA 140689 U



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

Відомий пристрій для вимірювання деформацій мостів, що містить датчик на тензометричній основі, який конструктивно представляє собою консольну пластину з наклеєними тензорезисторами. Один кінець пластини жорстко з'єднано з нерухомою основою датчика, а до іншого закріплено струну (дріт), яку з'єднано з конструкцією та через пружину до землі. При цьому 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. Кожну систему 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. При цьому 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 моста проходить автомобільна дорога, тому що, по-перше, для закріплення струни на прольотній балці моста 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 тарировкою датчика (датчиків) і саме обстеженням, що економічно недоцільно. Крім цього, цей пристрій не можливо застосовувати на мостах через річку чи на заболочених ґрунтах. Наведені недоліки значно обмежують застосування цього пристрою для вимірювання деформацій та експлуатаційного навантаження автодорожніх мостів у вигляді суцільного транспортного потоку з неперіодичним тривалим навантаженням та залізничних мостів.

Відомий також пристрій для вимірювання деформацій, який містить джерело світла, виконане у вигляді джерела вузько спрямованих світлових імпульсів, блок обробки і реєстрації, генератор імпульсів, блок затримки і фотоприймач, виконаний у вигляді матриці фотоприймачів чисельністю рядків і стовпців, рівним  $2N+1$ , яка контролює величину і напрямок деформації, причому, якщо вузько спрямований світловий імпульс потрапив одночасно на кілька фотоелементів багатоелементного фотоприймача, то відстань і напрямок деформації обчислюється як середньоарифметичне значення величини всіх освітлених фотоелементів у блоку обробки і реєстрації [2].

Недоліком цього пристрою є не достатня інформативність про деформацію по всій її довжині елемента конструкції моста, завдяки тому, що матриця з чисельністю  $2N+1 \times 2N+1$  фотоприймачів, закріплюється тільки в одній точці мостової конструкції, а її розміри значно менші ніж мостова конструкція.

Найближчим аналогом є пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій мостів та підмостового габариту, що містить послідовно розташовані на опорі джерело світла у вигляді лазера ІЧ-діапазону, коліматор та вузол розгортки лазерного променя, блок комутації, блок обробки і реєстрації, перший фотоприймач, який закріплюється до наміченої точки мостової прольотної балки, другий фотоприймач, який встановлюється на ґрунті в одній вертикальній площині з першим фотоприймачем, встановлений на опорі на певній відстані від моста, які з'єднані відповідно з першим та другим входом блока комутації, вихід якого з'єднаний з блоком обробки і реєстрації, який представляє собою блок обчислень деформацій мостової конструкції та підмостового габариту, вихід якого з'єднаний з блоком реєстрації [3].

Недоліком цього пристрою є не достатня інформативність про деформацію по всій довжині елемента конструкції моста, завдяки тому, що один фотоприймач, закріплюється тільки в одній точці мостової конструкції.

В основу корисної моделі поставлено задачу розширення функціональних можливостей пристрою для вимірювання деформацій елементів конструкцій мостів та підмостового габариту.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій, який містить послідовно розташовані джерело світла у вигляді лазера ІЧ-діапазону, коліматор та вузол розгортки лазерного променя, комутатор, блок обробки і реєстрації, перший фотоприймач, який закріплюється до наміченої точки мостової прольотної балки, другий фотоприймач, який знаходиться в одній вертикальній площині з першим фотоприймачем, встановленим на опорі на певній відстані від моста, вихід

блока комутації з'єднаний з блоком обробки і реєстрації, який представляє собою блок обчислень деформацій мостової конструкції та підмостового габариту, вихід якого з'єднаний з блоком реєстрації, відрізняється тим, що додатково введені  $2n-2$  фотоприймачі, причому перші  $n-1$  фотоприймачі розподілені і закріплені по всій горизонтальній площині прольотної балки мостової конструкції, а другий фотоприймач і останні  $n-1$  фотоприймачі встановлені на опорі на конструкції балочної або рамної системи над серединою проїзної частини дороги на певній відстані від моста в одній вертикальній площині з відповідними першими  $n-1$  фотоприймачами, що закріплені на прольотній балці мостової конструкції, причому виходи перших  $n$  фотоприймачів, що закріплені на прольотній балці, з'єднані шиною з першим входом блока комутації, а останні  $n$  фотоприймачів, що встановлені на опорі на конструкції балочної або рамної системи, з'єднані шиною з другим входом блока комутації, кроковий двигун, який програмно управляється блоком управління кроковим двигуном, що встановлені на конструкції балочної або рамної системи на певній відстані від моста, причому на валу крокового двигуна закріплена платформа, на якій встановлені послідовно розташовані джерело світла у вигляді лазера ІЧ-діапазону, коліматор та вузол розгортки лазерного променя.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де:

На Фіг. 1 представлений загальний вигляд пристрою без деформації прольотної балки моста.

На Фіг. 2 представлений загальний вигляд пристрою з деформацією прольотної балки моста.

На Фіг. 3 представлені часові діаграми роботи пристрою без деформації прольотної балки моста (а) і після деформації (б).

Працює пристрій наступним чином. Для виміру підмостового габариту та виміру деформації прольотної балки 1 моста застосовуються фотоприймачі  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$ , розподілені і закріплені по всій довжині прольотної балки мостової конструкції, фотоприймачі  $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$ , що встановлені на опорі на конструкції балочної або рамної системи 5 над серединою проїзної частини дороги на певній відстані від моста, кожний з яких знаходиться в одній вертикальній площині з відповідними  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$  фотоприймачами, що закріплені на прольотній балці мостової конструкції (Фігура 1), кроковий двигун 6, який програмно управляється блоком 7 управління кроковим двигуном, що встановлені на конструкції балочної або рамної системи 5 над серединою проїзної частини дороги на певній відстані від моста і відповідно на певній відстані від фотоприймачів  $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$ , причому на валу крокового двигуна закріплена платформа 8, на якій встановлені послідовно розташовані джерело світла 9 у вигляді лазера ІЧ-діапазону, коліматор 10 та вузол 11 розгортки лазерного променя. Для вибору точок встановлення фотоприймачів  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$  по всій довжині прольотної балки мостової конструкції та виміру підмостового габариту  $l_i$  (низ фотоприймачів  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$  на прольотній балці 1 моста та точки  $4_1', 4_2', \dots, 4_i', \dots, 4_{n-1}', 4_n'$  на дорозі 2 (Фігура 1) застосовується, наприклад тахеометр. Точки встановлення фотоприймачів  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$  та  $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$  вибираються в залежності від кута повороту (кроку) вала крокового двигуна (наприклад  $\gamma = 0,9^\circ$  або  $1,8^\circ$ ), який встановлюється на місці тахеометра на конструкції балочної або рамної системи над серединою проїзної частини дороги. Фотоприймачі  $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$  встановлюється на опорі на конструкції балочної або рамної системи над серединою проїзної частини дороги таким чином, щоб точки  $4_1', 4_2', \dots, 4_i', \dots, 4_{n-1}', 4_n'$  були їх продовженням 13 на дорозі 2 (Фігура 1, Фігура 2).

У пристрої застосовується лазер 9 (лазерний діод) з безперервним випромінюванням променя інфрачервоного (ІЧ) діапазону певної довжини хвилі. Послідовно з лазером 9 розташовується оптичний коліматор 10, який складається з об'єктива, у фокальній площині якого розміщується вихід лазерного променя 12. Оптичний коліматор 10 забезпечує паралельність лазерного променя 12 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. Фотоприймачі  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$  та  $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$  містять фотодіод, 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 11, наприклад, представляє собою двигун, на валу якого розташовується дзеркало, що знаходиться під кутом  $45^\circ$  до лазерного променя, або крутий оптичний клин, за рахунок чого промінь лазера розгортається у вертикальній площині.

Лазер 9, оптичний коліматор 10 та вузол розгортки 11 лазерного променя розміщуються на платформі 8, встановленій на валу крокового двигуна 6, який по програмі з блока 7 управління кроковим двигуном, здійснює поворот вала крокового двигуна і відповідно платформи на один

крок (кут рівний  $\gamma$ ). Через деякий час з блока 7 управління кроковим двигуном надходить команда на кроковий двигун, в результаті чого його вал повертається на другий кут  $\gamma$  і т. д. до моменту поки кут повороту крокового двигуна від нульової точки не досягне величини  $\alpha = n\gamma$ , встановленої тахеометром та внесеної у програму блока 7 управління кроковим двигуном. Після цього вал крокового двигуна повертається до початкової (нульової) точки і процес повторюється.

Таким чином, оптичний сигнал 12, що розгортається, з вузла розгортки 11 послідовно пробігає по чутливій поверхні  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$  та  $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$  фотоприймачів певної довжини  $h$  (Фігура 1, Фігура 2). Електричний сигнал з фотодіодів кожного з фотоприймачів  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$  та  $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$  надходить на підсилювач електричного сигналу відповідного фотоприймача, який після підсилення надходить на блок комутації 14 (Фігура 1, Фігура 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  $\omega$  двигуна вузла розгортки і відстанню  $R$  вузла розгортки до відповідного фотоприймача (Фігура 1, Фігура 2). Тому тривалість імпульсів з  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$  та  $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$  фотоприймачів буде різною і в міру наближення фотоприймача до вузла розгортки буде збільшуватись (Фігура 3)

$$\tau_{3_i} = \frac{h}{\omega R_i}, \quad (1)$$

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

$R_i$  - відстань між блоком розгортки лазерного променя та фотоприймачем  $3_i$ , де  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Тоді для фотоприймача 4 тривалість імпульсу буде відповідно

$$\tau_{4_i} = \frac{h}{\omega R_i}, \quad (2)$$

де  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Тривалість часу  $t$  проходження лазерного променя від фотоприймача  $3_i$  до фотоприймача  $4_i$  буде відповідати довжині  $l_i$  підмостового габариту при відсутності деформації прольотної балки моста. Слід зазначити, що тривалість часу  $t$  береться від заднього фронту імпульсу фотоприймача  $3_i$  до переднього фронту імпульсу фотоприймача  $4_i$  (Фігура 3, а).

Якщо конструкція моста буде деформована 17 (пунктирні лінії на Фігурі 2), то підмостовий габарит зміниться відповідно до  $l_i'$  (Фігура 2), що відповідатиме часу  $t_i$  проходження лазерного променя від фотоприймача  $3_i$  до другого фотоприймача  $4_i$  (Фігура 3, б), причому тривалість імпульсів буде такою ж, як і для конструкції без деформації (Фігура 3, а).

Після надходження імпульсів з фотоприймачів  $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$  та  $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$  відповідно до деформації прольотної балки моста і після її деформації через блок 14 комутації до блока 15 обчислення, який виконує обчислення спочатку  $t$  і  $t_i$ , а потім підмостового габариту з виразу

$$\frac{t}{t_i} = \frac{l_i}{l_i'}, \quad (3)$$

де  $i = 1, 2, \dots, n$ .

$$l_i' = \frac{l_i \cdot t_i}{t}. \quad (4)$$

Звідки величина деформації прольотної балки моста буде

$$\Delta l = l_i - l_i'. \quad (5)$$

Після перетворення і обчислення інформація про величину підмостового габариту та величину деформації прольотної балки моста з блока 15 обчислень надходить на реєстратор 16 (Фігура 1, Фігура 2).

5 Розроблений пристрій пройшов випробування у лабораторних умовах, показав велику працездатність і достатню точність (до 1 мм) виміру підмостового габариту та деформацій конструкцій елементів мостів.

10 Пристрій може бути застосований в автоматизованій системі моніторингу деформацій та мостового габариту (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.

15 2. 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.

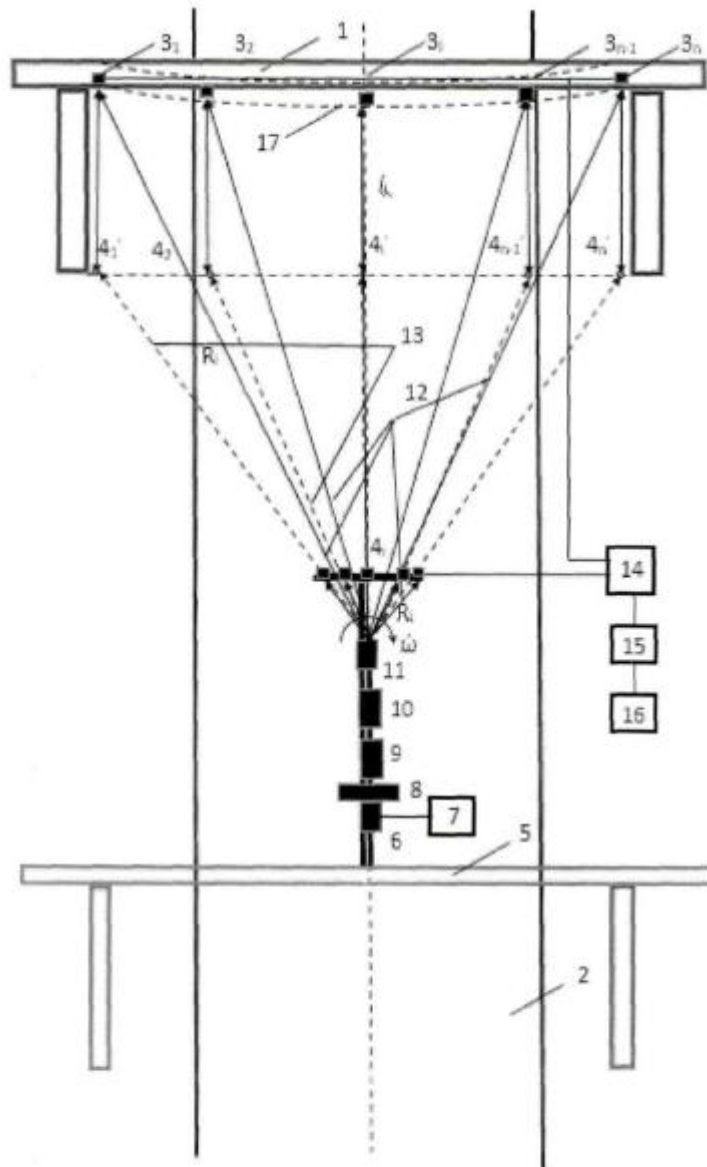
3. Пат. 134607 Україна: МПК G01B 11/16 (2006.01). Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій та підмостового габариту // А.І. Левтеров. - u2018 12757. Заявл. 21.12.18; опубл. 27.05.19. Бюл. №10.

20

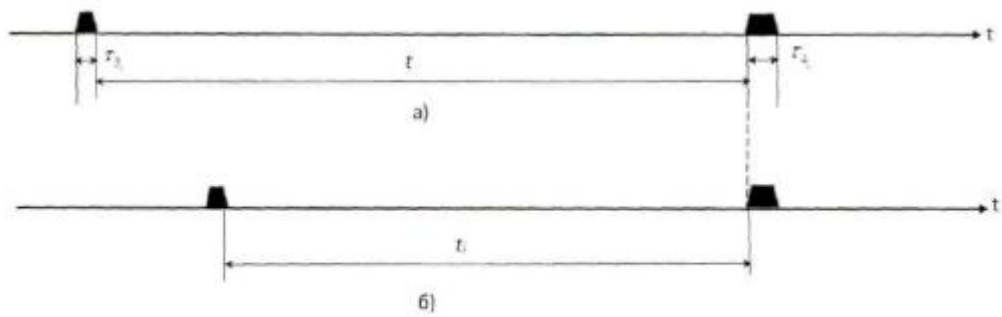
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій мостів та підмостового габариту мостів, який містить послідовно розташовані джерело світла у вигляді лазера ІЧ-діапазону, коліматор та вузол розгортки лазерного променя, комутатор, блок обробки і реєстрації, перший фотоприймач, який закріплюється до наміченої точки мостової прольотної балки, другий фотоприймач, який знаходиться в одній вертикальній площині з першим фотоприймачем, встановленим на опорі на певній відстані від моста, вихід блока комутації з'єднаний з блоком обробки і реєстрації, який представляє собою блок обчислень деформацій мостової конструкції та підмостового габариту, вихід якого з'єднаний з блоком реєстрації, який **відрізняється** тим, що додатково введені  $2n-2$  фотоприймачі, причому перші  $n-1$  фотоприймачі розподілені і закріплені по всій горизонтальній площині прольотної балки мостової конструкції, а другий фотоприймач і останні  $n-1$  фотоприймачі встановлені на опорі на конструкції балочної або рамної системи над серединою проїзної частини дороги на певній відстані від моста в одній вертикальній площині з відповідними першими  $n-1$  фотоприймачами, що закріплені на прольотній балці мостової конструкції, причому виходи перших  $n$  фотоприймачів, що закріплені на прольотній балці, з'єднані шиною з першим входом блока комутації, а останні  $n$  фотоприймачів, що встановлені на опорі на конструкції балочної або рамної системи, з'єднані шиною з другим входом блока комутації, кроковий двигун, який програмно управляється блоком управління кроковим двигуном, що встановлені на конструкції балочної або рамної системи на певній відстані від моста, причому на валу крокового двигуна закріплена платформа, на якій встановлені послідовно розташовані джерело світла у вигляді лазера ІЧ-діапазону, коліматор та вузол розгортки лазерного променя.





Фиг. 2



Фиг. 3

---

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