

## КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 624.2/8:69.058.2:681.786

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.93.0.7

## ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПРОСТОРОВОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПРОГОНОВИХ БУДОВ МОСТІВ ТА ШЛЯХОПРОВІДІВ

Левтеров А. І.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Розглянуто методи та пристрої для вимірювання просторової деформації прогонових будов мостів та шляхопроводів із застосуванням оптичних лазерних систем, що розгортаються, для вимірювання поздовжньої деформації прогонових будов та ультразвукового датчика для вимірювання поперечної деформації.

**Ключові слова:** просторова деформація, прогонова будова, міст, шляхопровід, оптична система, що розгортається, лазер, коліматор, фотоприймач, кроковий двигун, ультразвуковий датчик.

**Вступ**

Мости належать до споруд, геодезичний моніторинг стійкості яких необхідно здійснювати в процесі експлуатації. Правильно та якісно проведений контроль за стабільністю побудованої конструкції збільшує термін і надійність експлуатації моста і значною мірою підвищує безпеку його використання.

**Аналіз публікацій**

Головним завданням контролю за деформаціями мостових переходів є визначення тенденції зміни геометричних параметрів конструкцій через періодичні спостереження за деформаціями вузлів конструкцій споруди і попередження появи неприпустимих деформацій у вузлах конструкцій [1–3]. Мости зазвичай є складними динамічними системами. В усьому світі спостерігається тенденція до збільшення довжини прогонових будов мостів та застосування гнучких конструкцій, що робить ці споруди більш чутливими до динамічних навантажень. Під час проектування таких мостів доводиться вирішувати низку складних завдань, пов'язаних із забезпеченням динамічної стійкості їхніх конструкцій у процесі дії експлуатаційного (рухомого), вітрового, сейсмічного та інших навантажень [4].

Для аналізу напружено-деформованого стану (НДС) мостових конструкцій у процесі випробувань необхідно вимірювати напруги від випробувального навантаження в перетинах найбільш навантажених елементів, прогини прогонових будов, періоди їхніх вільних коливань, динамічні коефіцієнти, а в

деяких випадках необхідно також визначати декременти коливань [5].

Для вищезазначених вимірювань застосовують спеціальні прилади, зокрема тензометри, прогиноміри, інклінометри, різноманітні геодезичні прилади тощо.

Для аналізу НДС мостових споруд навіть у наш комп'ютерний час продовжують використовувати різноманітні механічні прилади.

До переваг цих приладів належать простота конструкції і способу встановлення, надійність, непотрібність джерел електроживлення, необхідних для роботи електронних приладів. Остання перевага стає все менш актуальною, тому що практично на всіх мостах є освітлювальна електромережа. Крім того, є використовують різноманітні безперебійні джерела живлення і малогабаритні генератори, що працюють в автономному режимі.

Головними недоліками механічних приладів є неможливість здійснювати запис у реальному масштабі часу та необхідність у присутності під час випробувань біля кожного приладу або компактного розташування групи приладів спостерігача, який повинен записувати їхні покази. У цьому випадку існує досить велика ймовірність суб'єктивних помилок (неправильне визначення показів приладів, помилки під час записувань тощо). Якщо прилади встановлені в важкодоступних місцях, то знімання показів забирає чимало часу, що призводить до збільшення часу самих випробувань, а отже, до їхньої собівартості. Деякі механічні прилади забезпечені самописами (наприклад, проги-

номір Гейгера), але вони придатні для запису тільки повільних процесів. Крім того, запис діаграм на папері ускладнює їхнє подальше математичне оброблення. Такий спосіб ведення запису даних ускладнює здійснення їхнього експрес-аналізу безпосередньо в процесі випробувань [5].

Таким чином, все більш актуальним стає використання комп'ютерних вимірювальних систем (КІС) для збору та оброблення даних у процесі випробувань. Якщо ж необхідно здійснити моніторинг, тобто тривале спостереження за станом досліджуваної споруди, то КІС є єдиною прийнятною системою для цього, тому що вона дозволяє не тільки повністю відмовитися від численних спостерегачів, але й містить систему прийняття рішення для автоматичного запобігання критичних ситуацій [6].

Тому на сучасному етапі дослідження (НДС) мостових конструкцій найбільш ефективно застосовувати прилади з використанням КІС. Це дозволяє більш глибоко аналізувати експериментальні дані та знаходити оптимальні рішення щодо підвищення надійності мостів.

Як геодезичне обладнання для здійснення моніторингу використовують супутникові системи, інклінометри, роботизовані тахеометри, наземні лазерні сканери [7]. Під час досліджень найчастіше застосовують геодезичну систему моніторингу з використанням одночасно декількох компонентів.

Зміст технології лазерного сканування [8,9] полягає у визначенні просторових координат точок поверхні об'єкта. Це реалізується за допомогою вимірювання відстані до всіх визначених точок за допомогою лазерного безвідбивачевого далекоміра. Лазерні наземні сканери класифікують за принципом визначення просторових координат на імпульсні, фазові та триангуляційні. В імпульсних сканерах реалізований метод визначення відстаней, заснований на точному визначенні часу проходження імпульсу. Оскільки в цьому методі використовується світловий імпульс для безпосереднього вимірювання відстані, то головна перевага таких сканерів полягає у великій дальності вимірювань (декілька сотень метрів). Дальність дії фазових сканерів обмежена 100 м. У сканерах цього типу відстань визначається на підставі вимірювання зсуву фаз випромінюваного та відбитого сигналів. Оскільки в цьому методі використовується модульований світловий

сигнал, для визначення відстані, на відміну від імпульсного методу, великої потужності лазера не потрібно, тому відстані можуть бути виміряні з помилкою в декілька мм. Швидкість вимірювань фазових сканерів перевершує швидкість імпульсних сканерів. Триангуляційний метод реалізований у високоточних сканерах. Конструктивною особливістю сканерів такого типу є те, що випромінювач і приймач сигналу знаходяться на відомій відстані (базис). Такі сканери дозволяють досягти точності вимірювань (десяті та навіть соті частки міліметра), але на малих дистанціях (декілька метрів) [9].

Однак необхідно зазначити, що застосування технології лазерного сканування просторових координат точок поверхні об'єкта потребує достатньо значного віддалення за висотою лазерного сканера від об'єкта обстеження (мостової споруди), щоб охопити його повністю, або розбиття об'єкта на ділянки та поступового поетапного їхнього сканування з подальшим «склеюванням» цих ділянок. Це призведе до додаткових витрат на придбання спеціального програмного забезпечення та значного подорожчання самого процесу обстеження, тому що потрібен спеціаліст з оброблення зображень об'єкта та час на оброблення цієї інформації.

#### Мета і постановка завдання

Метою статті є розроблення методів та пристроїв для вимірювання просторової деформації прогонових будов мостів і шляхопроводів із застосуванням ультразвукових та оптичних лазерних систем, що розгортаються.

#### Побудова вимірювальної системи

Застосовуючи технологію лазерного сканування (розгортки лазерного променя) було розроблено вимірювальну систему для моніторингу просторової деформації елементів конструкцій мостів та шляхопроводів (Рис.1, Рис.2) [10], що містить перший та другий лазери 4 та 8, перший та другий оптичні коліматори 5 та 9, вузол розгортки 6, дзеркало або призму 10, блок комутації 17, блок оброблення та реєстрації 18, з'єднані між собою, та  $n$  фотоприймачів  $3_1, \dots, 3_n$ , які є  $n$  послідовно розташованих датчиків деформації, що знаходяться на опорах  $2_1, \dots, 2_n$ , розташованих на деякій певній рівній відстані один від одного за горизонталлю вздовж конструкції та жорстко закріплених на конструкції, що деформується.

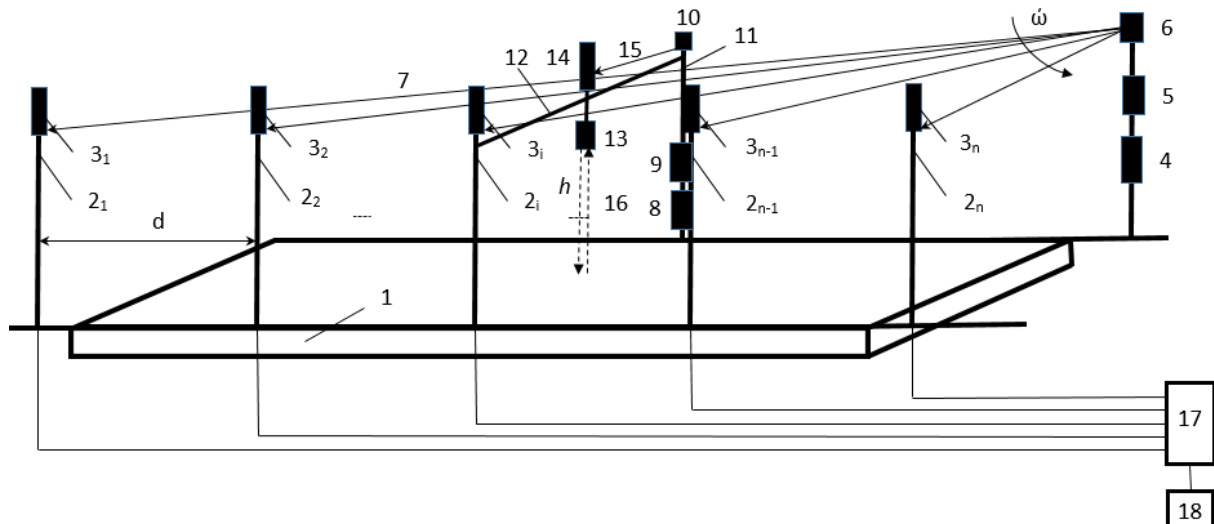


Рис. 1. Загальний вигляд пристрою та положення фотоприймачів на конструкції з поздовжньою деформацією

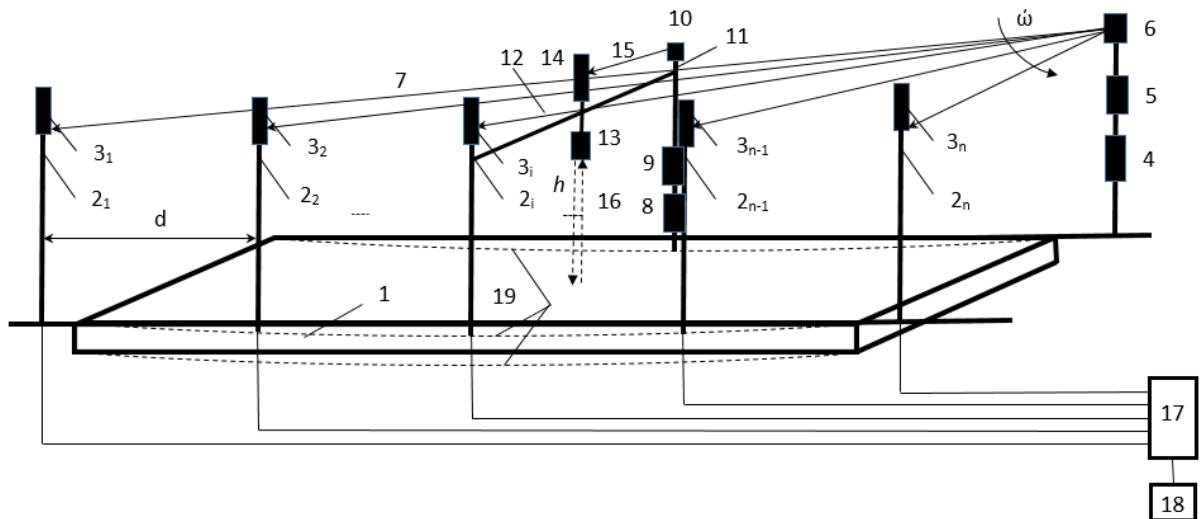


Рис. 2. Загальний вигляд пристрою та положення фотоприймачів на конструкції з поздовжньою деформацією

Перший  $3_1$  і  $n$ -ий  $3_n$  фотоприймачі, лазер 4, з'єднаний за допомогою оптичного коліматора 5 з вузлом розгортки 6 лазерного променя 7 винесені за межі конструкції 1, що деформується. Всі  $n$  фотоприймачі знаходяться на одній висоті над поверхнею конструкції, що деформується, а лазер 4, коліматор 5 і вузол розгортки 6 знаходяться на протилежному боці конструкції на тій самій висоті від горизонтальної поверхні конструкції напроти фотоприймачів, чутлива поверхня яких обернута в напрямку вузла розгортки. Вузол розгортки здійснює розгортання лазерного променя в горизонтальній площині вздовж поверхні датчиків деформації. Другий лазер 8, другий коліматор 9 та дзеркало 10, що знаходиться під кутом  $45^\circ$  до лазерного променя, або призма встановлені на дода-

ткової опорі навпроти  $i$ -ої опори, що знаходиться на протилежному боці конструкції на тій самій висоті від горизонтальної поверхні конструкції. У цьому випадку додаткова та  $i$ -а опори, з'єднані між собою дротом 12, у середині якого встановлений ультразвуковий датчик 13 для вимірювання деформації у середині (у поперечному розрізі) мостової конструкції, а на поверхні ультразвукового датчика закріплюється додатковий фотоприймач 14 для контролю прогону дроту, чутлива поверхня якого обернута в напрямку дзеркала або призми 10, що встановлена на додатковій опорі 11.

Працює пристрій у такий спосіб: Для вимірювання деформації конструкції великих розмірів застосовуються  $n$  фотоприймачів  $3_1, \dots, 3_n$ , що є  $n$  послідовно роз-

ташованих датчиків деформації, які знаходяться на опорах  $2_1, \dots, 2_n$ , жорстко закріплені на конструкції та розташованих на деякій певній рівній відстані  $d$  один від одного за горизонталлю вздовж конструкції 1 (рис. 1 та рис. 2) і на одній висоті від горизонтальної поверхні конструкції. Фотоприймачі  $3_1$  і  $3_n$  винесені за межі конструкції. Крім того, за межі конструкції винесені лазер 4, оптичний коліматор 5 і вузол 6 розгортки лазерного променя 7, які розташовані на опорі на тій самій висоті, як і  $3_1, \dots, 3_n$  фотоприймачі, але на протилежному боці конструкції навпроти датчиків деформації, чутлива поверхня яких обернена в напрямку вузла розгортки лазерного променя (рис. 3 та рис. 4).

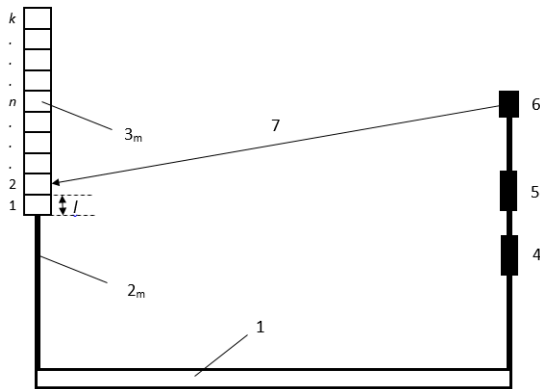


Рис. 3. Оберт лазерним променем  $i$ -ого елемента фотоприймача  $3_m$  без деформації конструкції

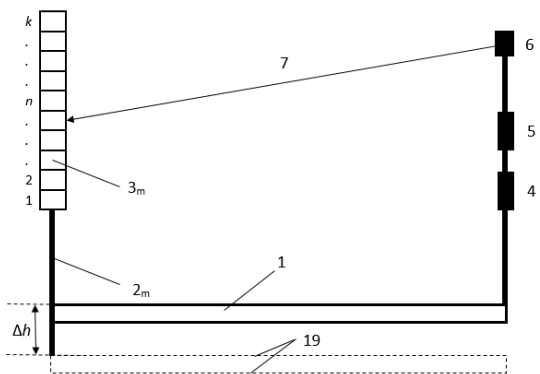


Рис. 4. Оберт лазерним променем  $j$ -ого елемента фотоприймача  $3_m$  після поздовжньої деформації конструкції

Всі  $n$  послідовно розташованих датчиків деформації і додатковий фотоприймач 14 для контролю прогону дроту зроблені у вигляді лінійки елементів певної довжини  $l$  (рис. 5), а кожний фотоприймач має однакову кількість елементів.

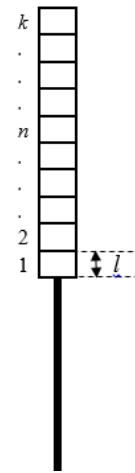


Рис. 5. Конструкція фотоприймача з  $k$  елементами

Кожен елемент фотоприймача зроблено з 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 поверхня й оптичний фільтр, що пропускає промінь тільки певної довжини хвилі лазера. Всі елементи фотоприймача розміщені в герметичному корпусі. Другий лазер 8, другий коліматор 9 та дзеркало, що знаходиться під кутом  $45^\circ$  до лазерного променя, або призма 10 встановлені на додатковій опорі 11 навпроти  $2_i$ -ої опори, що знаходиться на протилежному боці конструкції на тій самій висоті від її горизонтальної поверхні. Додаткова 11 та  $2_i$ -а опори, з'єднані між собою дротом 12, усередині якого встановлений ультразвуковий датчик 13 для вимірювання деформації усередині (у поперечному розрізі) мостової конструкції, а на поверхні ультразвукового датчика закріплюється додатковий фотоприймач 14 для контролю прогину дроту, чутлива поверхня якого обернена в напрямку дзеркала або призми 10, встановленої на додатковій опорі 11. У пристрої застосовують лазери з безперервним випромінюванням променя певної довжини хвилі. Послідовно з лазерами 4 і 8 розташовують оптичні коліматори 5 і 9, які складаються з об'єктива, у фокальній площині якого розміщено вихід лазерного променя 7 та 15 (рис. 1 та рис. 2). Оптичні коліматори 5 та 9 забезпечують паралельність лазерного променя, отже, завдяки нульовій розбіжності вся енергія лазерного променя буде зосереджена на чутливій поверхні кожного багатоелементного фотоприймача. Вузол розгортки 6 є

двигуном, на валу якого розташовано дзеркало або призма з дзеркальною гранню, що знаходяться під кутом  $45^\circ$  до лазерному променя, або крутий оптичний клин, завдяки яким промінь лазера можна розгорнути в горизонтальній площині.

Оптичний сигнал, що розгортається, з вузла розгортки 6 послідовно проходить крізь чутливу поверхню елемента з відповідним однаковим номером  $i$  кожного  $3_1, \dots, 3_n$  фотоприймача (рис. 1 та рис. 3). Це свідчить про те, що конструкція мосту не деформована. Електричний сигнал з фотодіода подається на підсилювач електричного сигналу фотоприймача, який після підсилення потрапляє на блок комутації 17 (рис. 1 та рис. 2).

Якщо конструкція буде поздовжньо деформована (пунктирна лінія 19 на рис. 2 та рис. 4), 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 зміниться. Підсилені електричні сигнали з відповідних елементів фотоприймачів  $3_1, \dots, 3_n$  надходять через блок 17 комутації до блока 18 оброблення та реєстрації. Різниця між номером  $i$  елемента фотоприймача  $3_1$  або  $3_n$  і номером  $j$  елемента відповідного фотоприймача, що знаходиться на деформованій поверхні конструкції, помножена на певну довжину  $l$  елемента, дасть величину деформації тієї ділянки конструкції, на якій знаходиться відповідний фотоприймач:

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

де  $\Delta l_m$  – 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 змінюється й на додатковому фотоприймачу 14, тому що в разі поздовжньої деформації мосту опора  $2_i$  та додаткова опора 11 одночасно змінюють своє положення на величину  $\Delta h$  (рис. 2 та рис. 6). У цьому випадку  $\Delta h = \Delta l_m$ .

Для вибору точки встановлення ультразвукового датчика на середині дроту та вимірювання висоти  $h$  його встановлення над серединою проїзної частини мосту (рис. 1) використовують тахеометр.

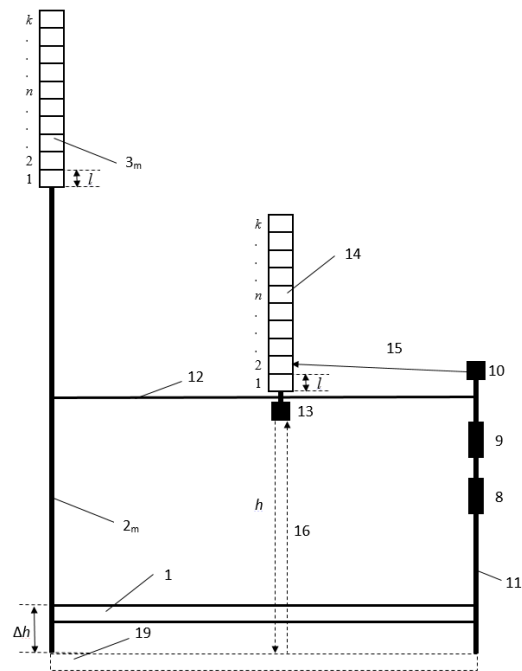


Рис. 6. Елемент конструкції мосту з поздовжньою деформацією мосту та ультразвуковим датчиком без деформації дроту

За відсутності деформації мостової конструкції час  $t$  між зондувальним (таким, що посиляється на проїзну частину мосту) сигналом з ультразвукового датчика і відбитим сигналом з проїзної частини мосту, що надійшов до ультразвукового датчика, буде відповідати висоті  $h$  (рис. 7, 8).

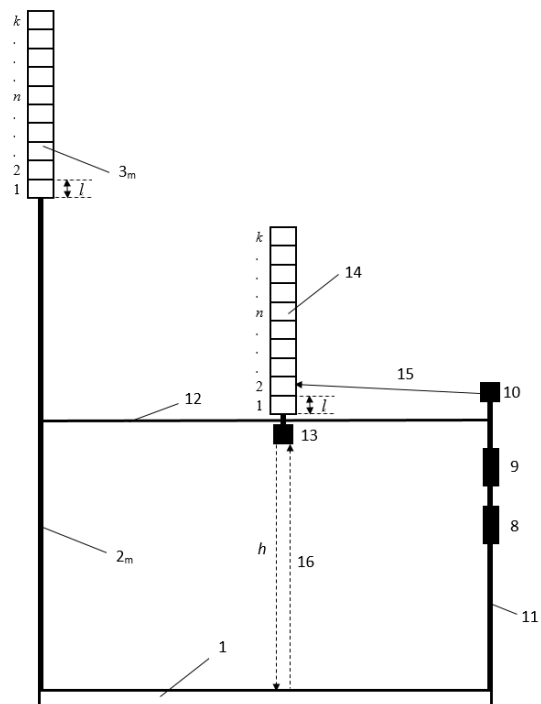


Рис. 7. Елемент конструкції мосту без просторових деформацій мосту і з ультразвуковим датчиком без деформації дроту

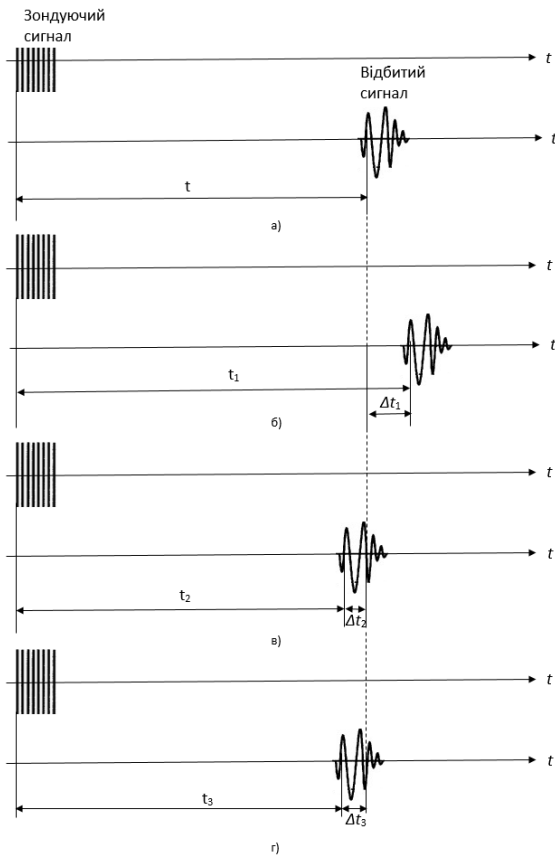


Рис. 8. Часові діаграми просторової деформації елементів конструкції мосту без деформації дроту

У разі поздовжньої деформації мостової конструкції (пунктирна лінія 19 на Рис. 2 та Рис. 6) час  $t$  між зондувальним (посланим на проїзну частину мосту) сигналом з ультразвукового датчика і відбитим сигналом з проїзної частини мосту, що надійшов до ультразвукового датчика, буде відповідати висоті  $h$  (рис. 6 та рис. 8, а).

Якщо просторова деформація буде поперечною увігнутою (рис. 8, а, б та пунктирна лінія 20 на рис. 9 та рис. 10), то

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

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

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  $\Delta t_1 = t_1 - t$ , отже:  $\Delta h_1 = h_1 - h$  (рис. 8, а, б).

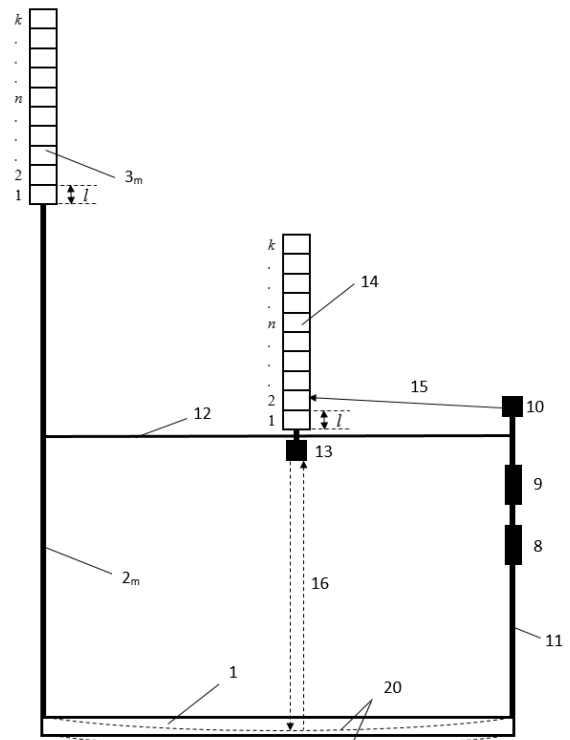


Рис. 9. Елемент конструкції мосту без поздовжньої, але з поперечною увігнутою деформацією мосту й ультразвуковим датчиком без деформації дроту

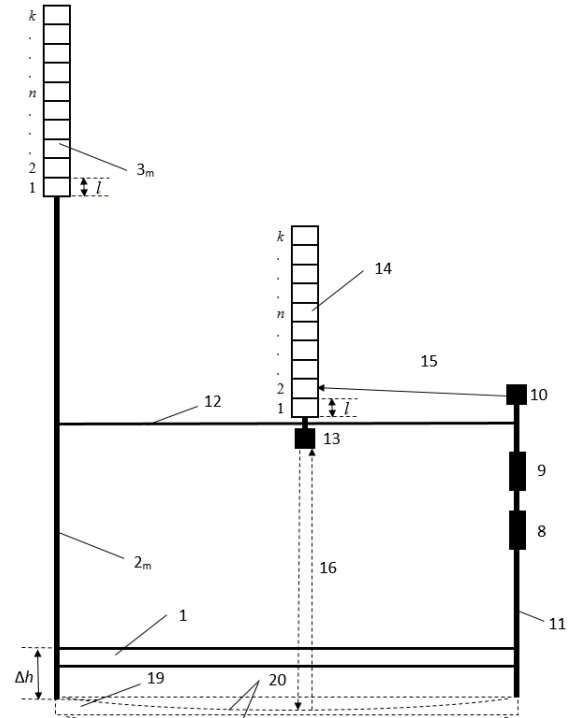


Рис. 10. Елемент конструкції мосту з поздовжньою та поперечною увігнутою деформацією мосту та ультразвуковим датчиком без деформації дроту

Для опуклої поперечної деформації (рис. 8, в, г та пунктирна лінія 21 на рис. 11 та рис. 12).

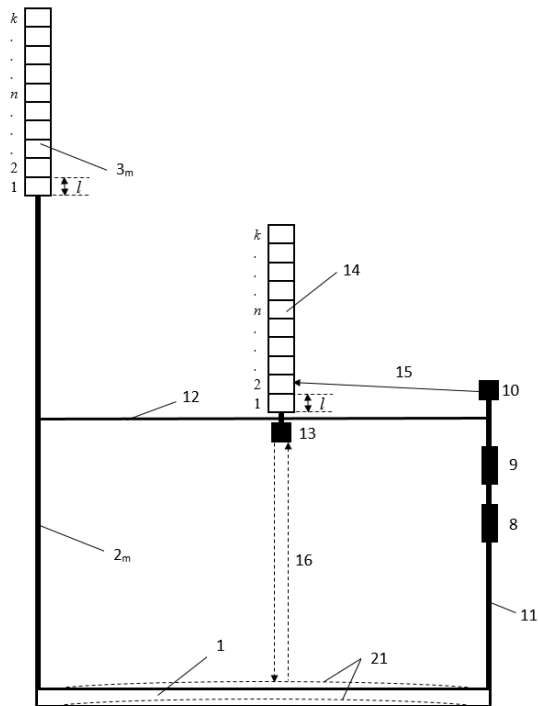


Рис. 11. Елемент конструкції мосту без поздовжньої, але з поперечною опуклою деформацією мосту і ультразвуковим датчиком без деформації дроту

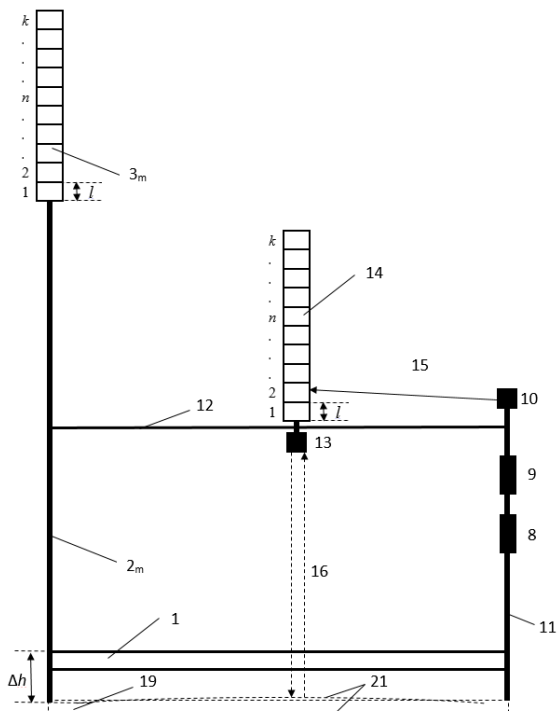


Рис. 12. Елемент конструкції мосту з поздовжньою і поперечною опуклою деформацією мосту та ультразвуковим датчиком без деформації дроту

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

звідки

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

де  $\Delta t_2 = t_2 - t$ , отже:  $\Delta h_2 = h_2 - h$  (рис. 8, в, г).

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

Завдяки погодно-кліматичним впливам й утомним напругам може бути деформований дріт, на якому встановлено ультразвуковий датчик для вимірювання деформації всередині (у поперечному розрізі) мостової конструкції.

Величина деформації дроту без деформації мостової конструкції (рис. 8, а, г та рис. 13) обчислюється у такий самий спосіб, як і вираз (7), тому що величина прогину дроту  $\Delta l_d$  буде аналогічною поперечній опуклій деформації мостової конструкції без деформації дроту:

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

звідки

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

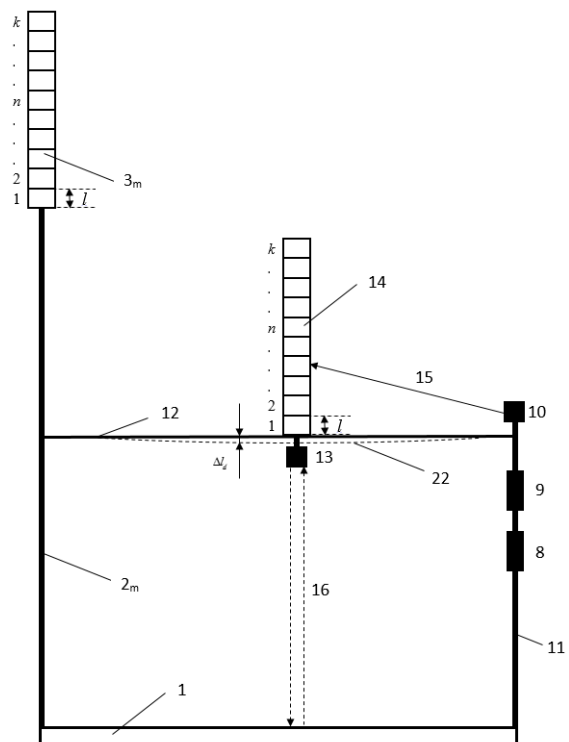


Рис. 13. Елемент конструкції мосту з поздовжньою деформацією мосту й ультразвуковим датчиком з деформацією дроту

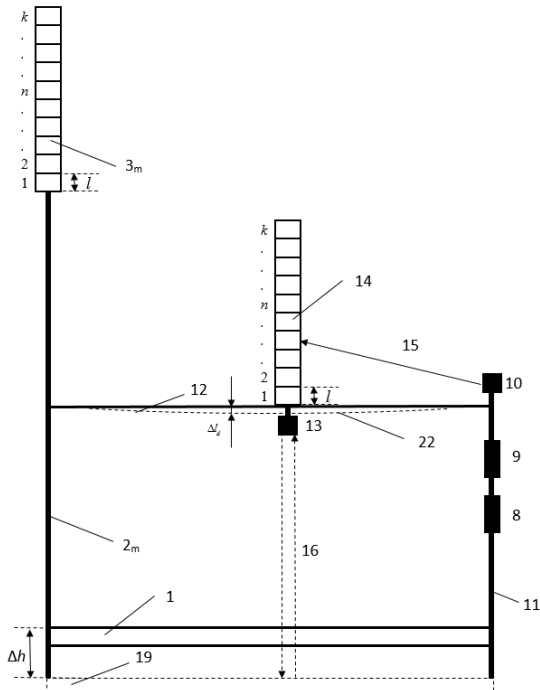


Рис. 14. Елемент конструкції мосту без просторових деформацій мосту й ультразвукового датчика з деформацією дроту та з позовжньою деформацією мостової конструкції

У випадку деформації дроту та просторової деформації мостової конструкції складно визначити величину деформації конструкції, тому що час відбиття імпульсу буде містити величину деформації дроту та величину деформації елементу конструкції мосту. Тому в пристрої на поверхні ультразвукового датчика закріплюється додатковий фотоприймач для контролю прогину дроту, чутлива поверхня якого обернута в напрямку дзеркала або призми, встановленої на додатковій опорі. Величина деформації дроту буде обчислена із виразу

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

де  $\Delta l_d$  – величина деформації дроту 22 (Рис. 13, 14);  $i$  – номер елементу фотоприймача 14 до деформації (рис. 6, 7, 8);  $p$  – номер елементу фотоприймача 14 після деформації дроту (рис. 8, 13, 14).

Необхідно 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 в такий спосіб:

– для поперечної увігнутої деформації (рис. 15, а, б та пунктирна лінія 20 на рис. 16 та 17):

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

де  $\Delta h_1'$  – величина деформації, що містить деформацію дроту та деформацію елементу конструкції мосту;

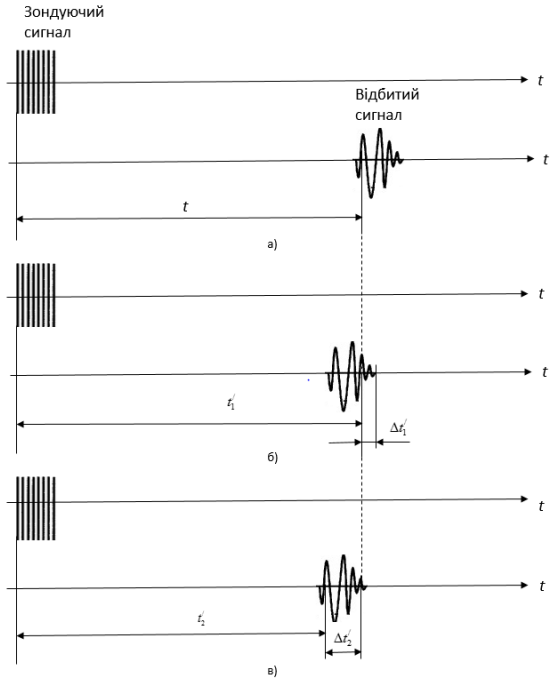


Рис. 15. Часові діаграми просторової деформації елементів конструкції мосту з деформацією дроту

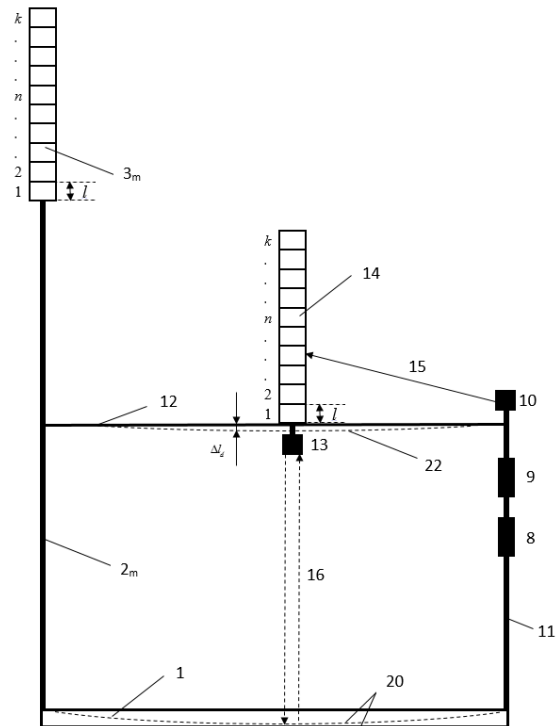


Рис. 16. Елемент конструкції мосту без позовжньої, але з поперечною увігнутою деформацією мосту й ультразвуковим датчиком з деформацією дроту



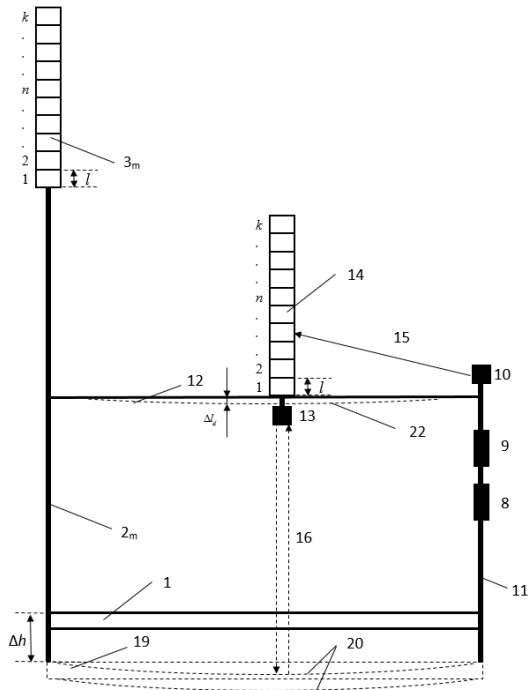


Рис. 17. Елемент конструкції мосту з поздовжньою й поперечною увігнутою деформацією мосту та ультразвуковим датчиком з деформацією дроту

– для поперечної опуклої деформації (рис. 15, а, в та пунктирна лінія 21 на рис. 18 та 19):

$$\Delta h_y = \Delta h_2' + \Delta l_d, \quad (13)$$

де  $\Delta h_2'$  – величина деформації, що містить деформацію дроту та деформацію елемента конструкції мосту.

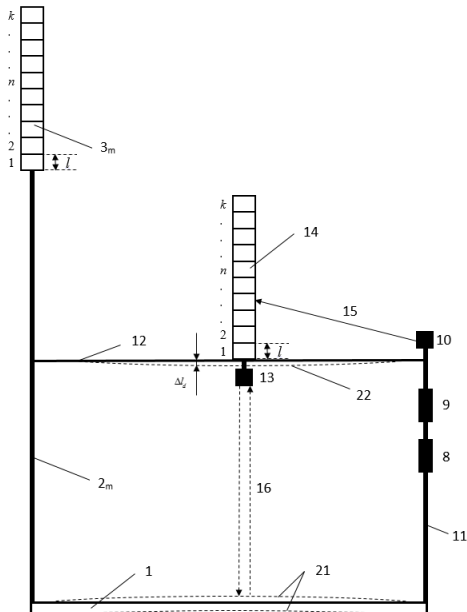


Рис. 18. Елемент конструкції мосту без поздовжньої, але з поперечною опуклою деформацією мосту й ультразвуковим датчиком з деформацією дроту

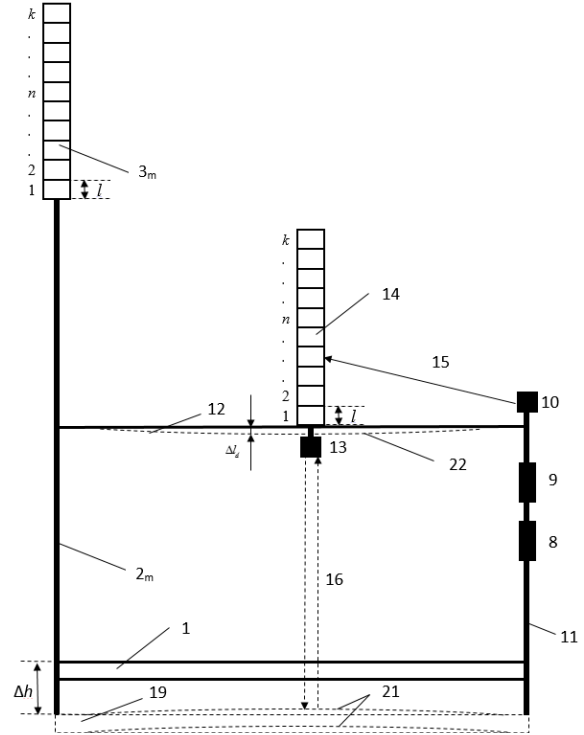


Рис. 19. Елемент конструкції мосту з поздовжньою та поперечною опуклою деформацією мосту й ультразвуковим датчиком з деформацією дроту

Як було зазначено вище, в усьому світі спостерігається тенденція до збільшення довжини прогонових будов мостів, тому автором було запропоновано пристрій для вимірювання поздовжньої деформації подібних будівель [11]. Він додатково оснащується лазером, оптичним коліматором та м вузлом розгортки лазерного променя, розташованими на опорі, що знаходиться за межами конструкції, тобто на протилежному кінці її елемента (рис. 20 та рис. 21).

Чутливі поверхні 1, 2, ...,  $i-1$  фотоприймачів обернуті в напрямку лазерного променя, що розгортається першим вузлом розгортки, а  $i + 1, i + 2, \dots, n$  фотоприймачів обернуті в напрямку лазерного променя, що розгортається другим вузлом розгортки. У цьому випадку  $i$ -ий фотоприймач містить двосекційну чутливу поверхню, одна секція якого обернута в напрямку лазерного променя, що розгортається першим вузлом розгортки, а друга секція обернута в напрямку лазерного променя, що розгортається другим вузлом розгортки (рис. 22 та рис. 23).

Секції  $i$ -ого фотоприймача розташовані одна до одної під кутом  $\gamma$  (рис. 23), який змінюється залежно від орієнтації відповідної секції на відповідний вузол розгортки.

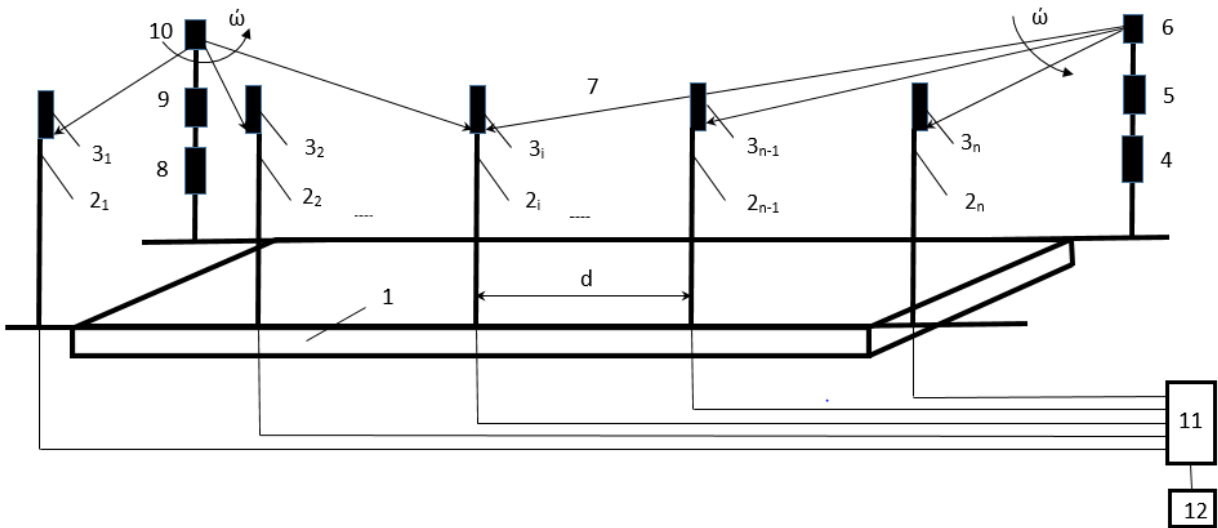


Рис. 20. Загальний вигляд пристрою та положення фотоприймачів на конструкції з поздовжньою деформацією

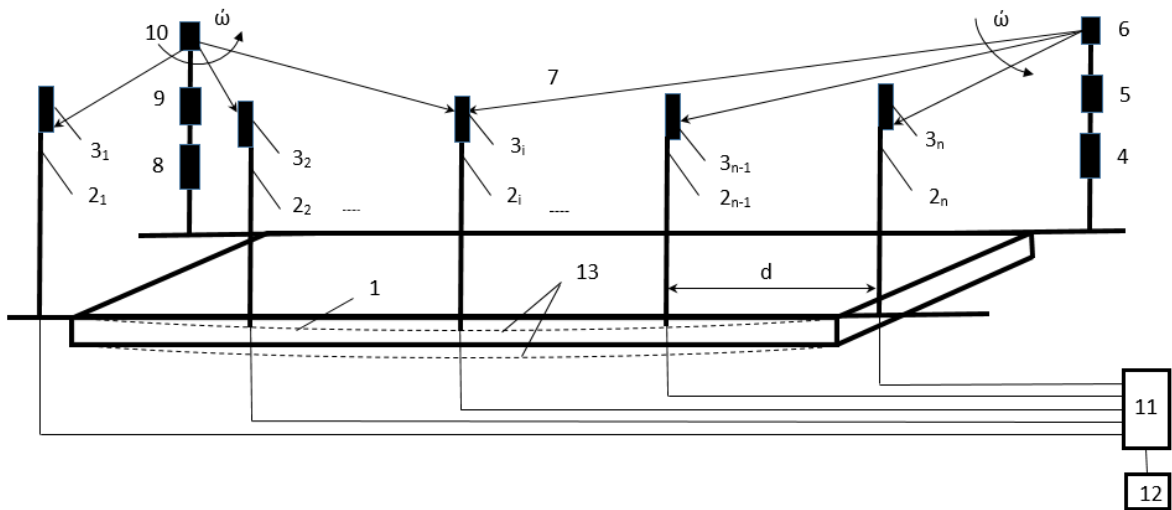


Рис. 21. Загальний вигляд пристрою та положення фотоприймачів на конструкції з поздовжньою деформацією

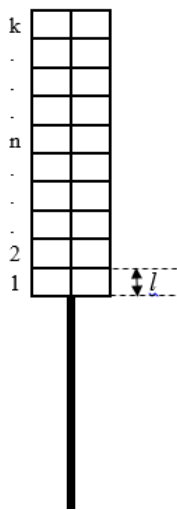


Рис. 22. Конструкція двосекційного *i*-го фотоприймача з *k* елементами

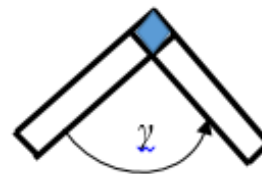


Рис. 23. Конструкція двосекційного *i*-го фотоприймача з *k* елементами (вид зверху)

**Висновки**

Пристрій може бути застосований в автоматизованій системі моніторингу деформацій (АСДМ) мостових конструкцій, інших елементів конструкцій великих розмірів, що дозволить контролювати їхній стан, зміщення й прогини, які виникають унаслідок впливу зовнішніх природно-кліматичних умов, а

також інтенсивного транспортного навантаження.

### Література

1. Автоматизированный геодезический мониторинг [Электронный ресурс] / ООО «Навгеоком». – Режим доступа: <http://gbucitr.ru/img/ddzz.pdf> / (дата обращения: 03.03.2018).
2. Геодезический мониторинг мостов «Г.Ф.К.» / Хиллер Б. О., Староверов В. С., Шульц Р. В., Адаменко А. В. Москва, 2017.
3. Геодезический мониторинг [Электронный ресурс] / Эффективные технологии. – Режим доступа: <http://eftgroup.ru/geodesy-browse/> / (дата обращения: 26.02.2018).
4. Сергеев А. А. Методика динамических испытаний автодорожных мостов. Научные труды ОАО ЦНИИС. 2004. Вып. 220. С. 35–45.
5. Васильев А. И., Хазанов М. Л. Мониторинг физического и напряженно-деформированного состояния строящихся и эксплуатируемых мостов: сб. ГП Росдорнии «Дороги и мосты». Москва, 2004.
6. Хазанов М. Л. Компьютерная измерительная система для испытаний мостовых и других инженерных сооружений. Приборы. 2006. №9.
7. Браславская К. Е. Возможности применения автоматизированных систем для наблюдения за деформациями уникальных сооружений. Ростов-на-Дону, 2018.
8. Наземное лазерное сканирование. Введение в технологию. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gsi.ru/catalog.php?id=1>.
9. Азаров Б. Ф. Ссовременные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений. Ползуновский вестник. 2011. № 1.
10. Пристрій для вимірювання просторової деформації елементів конструкцій мостів: пат. КМ 138098 Україна: МПК G01B11/16(2006.01); Заявл. 21.03.2019; опубл. 25.11.2019. Бюл. № 22.
11. Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій мостів: пат. КМ 136665 Україна: МПК G01B11/16(2006.01); заявл. 21.03.2019; опубл. 27.08.2019. Бюл. № 16.

### References

1. Automated geodetic monitoring [Electronic resource] / Navgeocom LLC. – Access mode: <http://gbucitr.ru/img/ddzz.pdf> / (accessed: 03.03.2018).
2. Hiller B. O., Staroverov V. S., Shults R. V., Adamenko A. V. Geodetic monitoring of bridges “G.F.K.” Moscow, 2017.
3. Geodetic monitoring [Electronic resource] / Effective technologies. – Access mode: <http://eftgroup.ru/geodesy-browse/> / (accessed: 02.26.2018).

4. Sergeev A. A. Dynamic Testing Methodology for Road Bridges. Scientific works of TsNIIS OJSC. 2004. Issue. 220. P. 35–45.
5. Vasiliev A. I., Khazanov M. L. Monitoring of the physical and stress-strain state of bridges under construction and operation. Collection of GP Rosdornia “Roads and bridges”. Moscow. 2004.
6. Khazanov M. L. Computer measuring system for testing the bridge and other engineering structures. Devices. 2006. No. 9.
7. Braslavskaya K. E. Possibilities of using automated systems for monitoring the deformation of unique structures. Don State Technical University, Rostov-on-Don, 2018.
8. Ground laser scanning. Introduction to the technology. [Electronic resource]. Access Mode: <http://www.gsi.ru/catalog.php?id=1>.
9. Azarov B. F. Modern methods of geodetic observations of deformations of engineering structures. Polzunovsky Bulletin No. 1, 2011.
10. Device for measuring the polydimensional deformation of bridge structural elements Application: pat. КМ 138098 Ukraine: IPC G01B11 / 16 (2006.01). u 2019 02798 21.03.2019; publ. 11/25/2019. Bulletin. No. 22.
11. Device for measuring deformations of bridge structural elements: pat. КМ 136665 Ukraine: IPC G01V11 / 16 (2006.01) Application u 2019 02798 21.03.2019; publ. 27.08.2019. Bul. No.16.

**Левтеров А. І.**, к.т.н., професор,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, 61002, м. Харків, тел. (057)707-36-58, [lai@khadi.kharkov.ua](mailto:lai@khadi.kharkov.ua).

### Measuring system for monitoring the polydimensional deformation of superstructures of bridges and over-bridges

**Abstract.** *Bridges belong to critical structures. Therefore the geodetic monitoring of their stability should be performed during their operation. Correctly and qualitatively performed control over stability of the ready-built construction increases the term and the reliability of operation of the bridge and considerably increases the safety of its use. All over the world there is a tendency to increase the length of superstructures of bridges and to use widely the flexible constructions. This makes these structures even more sensitive to dynamic loads. Based on the concept of unfolding the laser beam in the horizontal plane, the methods and devices for measuring the polydimensional deformations of superstructures of bridges and over-bridges were developed. The article examines the methods and devices for measuring the polydimensional deformation of superstructures of bridges and over-bridges with the use of deployable optical laser systems for measuring the longitudinal deformation of superstructures and an ultrasonic sensor for measuring transverse deformation. The devices use lasers with continuous radiation of a beam of a certain wavelength. Optical collimators*

are arranged in series with the lasers. The spinner, for example, is an engine on the shaft of which there is a mirror or a prism with a reflecting face at an angle of  $45^\circ$  to the laser beam, or a rotating optical wedge, due to which the laser beam is deployed in a horizontal plane. All  $n$  sequentially arranged deformation sensors and an additional photodetector for the control of the deflection of the wire on which the ultrasonic sensor is installed, are made in the form of a line of elements of a certain length, and each photodetector has the same number of elements. Each element of the photodetector is made of a certain material that transmits a laser beam without any special interference. The devices can be used in the automated system of monitoring of the deformations of the bridge structure (ASDB), which

will allow the quick control of their condition, displacements and deflections resulting from the external climatic influences, as well as the amplitude of oscillation of loads from the continuous traffic with non-cyclic long-term loading of superstructures of bridges and over-bridges.

**Key words:** spatial deformation, superstructures, cities, overpass, optical system, laser, collimator, photodetector, stepping motor, ultrasonic sensor

**Levterov A. I.**, PhD in Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine, +380577073658, [lai@khadi.kharkov.ua](mailto:lai@khadi.kharkov.ua)

---