

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 624.2/8:69.058.2:681.786

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.1.20

ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ
МОСТОВИХ СПОРУД ТА ПІДМОСТОВОГО ГАБАРИТУ

Левтеров А.І., Лабенко Д.П.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація: Базуючись на застосуванні оптичних методів і систем вимірювання деформацій мостових споруд і принципу розгортання лазерного променя в горизонтальній або вертикальній площині, описані пристрої для деформаційного моніторингу мостових споруд і підмостового габариту, що розроблені авторами.

Ключові слова: деформаційний моніторинг конструкцій мостових споруд, підмостовий габарит, оптична розгортаюча система, лазер, коліматор, фотоприймач, кроковий двигун.

Вступ

Для контролю та прогнозування стану мостової споруди (мосту, шляхопроводу та ін.) та завчасного попередження про тенденції змін її геометричних параметрів необхідно періодично проводити обстеження конструкції мосту.

Традиційно періодичний моніторинг стану споруди виконується з використанням різних геодезичних засобів:

- оптичні високоточні нівеліри (визначення вертикальних осідань);
- електронні тахеометри TPS (визначення горизонтальних і вертикальних зсувів);
- супутникові приймачі GPS (визначення горизонтальних і вертикальних зсувів);
- далекоміри (визначення горизонтальних зміщень);
- датчики нахилу, акселерометри, тензометри, щелемери та інші засоби збору даних [1].

Однак в автоматизованих системах деформаційного моніторингу (АСДМ) мостової споруди необхідно використовувати інші методи, прилади та системи вимірювання деформації, що дозволяють 24 год за добу і 365 днів за рік проводити моніторинг із заданою дискретністю [2].

Сучасні АСДМ затребувані та широко впроваджуються і використовуються як в нашій країні, так і за кордоном.

Вартість АСДМ може становити до 0,01 % вартості зведення самої споруди, а всі експлуатаційні витрати, включаючи витрати на електроживлення, забезпечення роботи каналів комунікації, планове обслуговування автоматизованої системи моніторингу, знач-

но менше витрат на періодичне обстеження традиційними геодезичними засобами [1].

Аналіз публікацій

Застосування АСДМ мостової споруди дозволяє оперативно контролювати стан мостової конструкції, зміщення та прогини, що виникають унаслідок впливу зовнішніх природно-кліматичних впливів, інтенсивного автомобільного навантаження, а також у випадках з великим динамічним навантаженням шляхопроводів літаками (рис. 1) [3] та залізничним транспортом (рис. 2) [4].



Рис. 1. Динамічне навантаження шляхопроводів літаками



Рис. 2. Динамічне навантаження шляхопроводів залізничним транспортом

Слід зазначити, що зміщення та прогини конструкцій мостової споруди впливають і на висотний (підмостовий) габарит. Згідно з ДБН В.2.3.–22:2009 (додаток В) висотний габарит Н шляхопроводу над поверхнею проїзду на автомобільних дорогах загального користування та вулицях населених пунктів приймають не менше ніж 5,5 м.

Але існують ділянки доріг, для яких вводяться обмеження габаритів транспортних засобів за висотою. Для обмеження руху габаритного транспорту на цих ділянках ставиться знак «Обмеження висоти». І якщо висота транспортного засобу (як з вантажем, так і без нього) перевищує встановлену знаком межу, то проїзд цією ділянкою дороги категорично забороняється (рис. 3) [5].



Рис. 3. Обмежений рух габаритного транспорту

Проте деякі водії транспортних засобів або не помічають знак «Обмеження висоти», або ігнорують його, і це призводить до зіткнення транспортного засобу з мостовою спорудою. Унаслідок цього виникає пошкодження і транспортного засобу, і мостової споруди (рис. 4).



Рис. 4. Невиконання водієм знака «Обмеження висоти»

Якщо пошкодження габаритного транспортного засобу призведе до можливого травмування водія, то пошкодження мостової споруди (шляхопроводу) з відповідним великим навантаженням (рис. 1, 2) може призвести до фатальної катастрофи з багатьма людськими жертвами.

На думку авторів цієї статті, треба встановлювати на певній відстані від мостової споруди інформаційні конструкції балкової або рамної системи із встановленими на них відповідними знаками і з габаритом, що заввишки дорівнює підмостовому габариту мостової споруди (рис. 5, 6) [3]. І хоча в цьому випадку в разі невиконання водієм знака «Обмеження висоти» буде пошкодження габаритного транспортного засобу й інформаційної конструкції, але це дозволить уникнути пошкодження мостової споруди.



Рис. 5. Інформаційна конструкція балкової системи



Рис. 6. Інформаційна конструкція рамної системи

Застосування АСДМ мостової споруди повинна містити набір датчиків, установлених у критичних точках елементів конструкції мостової споруди.

Нині широко використовується система для вимірювання деформацій мостових конс-

трукцій, що містить датчик на тензометричній основі, який конструктивно є консольною пластиною з наклеєними тензорезисторами. Один кінець пластини жорстко з'єднано з нерухомою основою датчика, а до другого закріплено струну (дріт), яку з'єднано з конструкцією та через пружину до землі [4]. Зокрема струна закріплюється до наміченої точки мостової пролітної балки (рис. 4, 5), а під точкою кріплення струни в ґрунт або асфальтне покриття проїзної частини дороги забивається анкер (діаметром 12 мм та завдовжки 200...500 мм) (рис. 5, 6). 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.



Рис. 7. Закріплення струни (дроту) датчика деформації на балці шляхопроводу



Рис. 8. Анкерне закріплення струни (дроту) датчика деформації на проїзній частині дороги під шляхопроводом

Кожну систему струна-датчик після встановлення в робоче положення необхідно тарувати тарувальним «еталоном» – шпренгельною планкою, оскільки кожного разу довжина струни та пружність скрутень у місцях її приєднання буде різною. Одночасно

під час навішування та знімання тарувальної планки проводиться реєстрація показів датчика, за якими й визначається його масштабний коефіцієнт [4].

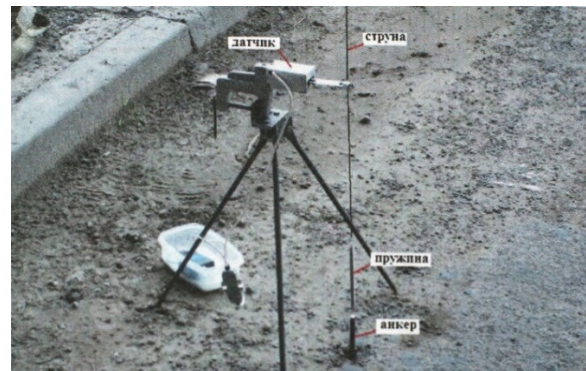


Рис. 9. Струнний датчик деформації мосту

Недоліком цієї методики є обмежене застосування для вимірювання підмостового габариту та експлуатаційного навантаження автодорожніх мостів з неперіодичним тривалим навантаженням залізничних мостів, якщо під прольотом мостової споруди проходить автомобільна дорога, тому що, поперше, для закріплення струни на пролітній балці споруди треба застосовувати, наприклад, автокран, а у зв'язку з цим перекривати рух транспорту, який пересувається по дорозі під мостом. По-друге, відбувається руйнування дорожнього покриття дороги за умови вбивання анкерів та їх витягання після проведення обстеження. По-третє, на час обстеження треба перекривати рух транспорту по дорозі під мостовою спорудою на тривалий час, пов'язаний з таруванням датчика (датчиків) і саме обстеженням, що економічно недоцільно. Крім того, цей пристрій неможливо застосовувати на мостах через річку чи на заболочених ґрунтах. Наведені недоліки значно обмежують застосування цього пристрою для вимірювання деформацій та підмостового габариту з неперіодичним тривалим навантаженням та залізничних мостів.

Останнім часом широке поширення набувають методи та пристрої для деформаційного моніторингу мостових споруд із застосуванням волоконно-оптичних датчиків інтенсивності лазерного випромінювання. Однак, виробникам датчиків ще необхідно вирішити такі завдання: ефективна компенсація втрат у кабелях і з'єднаннях в квазістатичних вимірювальних системах; реалізація методів мультиплексування датчиків інтенсивності в волоконно-оптичних мережах пе-

редачі даних; визначення на практиці меж точності та повторюваності [6, 7].

Мета й визначення завдання

Метою роботи є визначення найбільш ефективних методів та вимірювальної системи для моніторингу деформацій елементів конструкцій мостових споруд та підмостового габариту. Для технічної реалізації цього завдання треба розробити вимірювальну систему, яка забезпечить контроль параметрів деформації мостових конструкцій та підмостового габариту в складі АСДМ.

Побудова вимірювальної системи

Починаючи з кінця 70-х рр. минулого століття значне поширення у вимірювальній техніці та наукових дослідженнях набули оптичні розгортуючі системи, в основу яких покладений принцип розгортання лазерного променя в горизонтальній або вертикальній площині [8]. Ґрунтуючись на цьому принципі, пропонується пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій мостів та підмостового габариту. Цей пристрій містить послідовно розташовані на опорі джерело світла у вигляді лазера ІЧ-діапазону; коліматор та вузол розгортки лазерного променя; перший фотоприймач, який закріплюється до наміченої точки мостової пролітної балки; другий фотоприймач, який встановлюється на ґрунті в одній вертикальній площині з першим фотоприймачем, установлений на опорі на певній відстані від мосту. Виходи першого та другого фотоприймачів з'єднані відповідно з першим та другим входом блоку комутації, а вихід якого з'єднаний з блоком оброблення та реєстрації, який представляє собою блок обчислень деформацій мостової конструкції та підмостового габариту, вихід якого з'єднаний з блоком реєстрації.

Працює пристрій таким чином. Для виміру підмостового габариту та виміру деформації пролітної балки 1-ї мостової споруди (рис. 7) застосовуються перший фотоприймач 3, установлений усередині пролітної балки мосту. Другий фотоприймач 4, установлений на опорі на певній відстані від мостової споруди. Послідовно розташовані лазер 5, оптичний коліматор 6 і вузол розгортки лазерного променя 7, установлені на опорі на певній відстані від другого фотоприймача 4 і відповідно на певній відстані від мостової споруди, зокрема другий фотоприймач 4 та вузол розгортки лазерного променя 8 зна-

ходяться в одній вертикальній площині з першим фотоприймачем 3. Для вибору точок установлення першого фотоприймача 3 посередині пролітної балки мостової споруди та виміру підмостового габариту l (низ фотоприймача 3 на пролітній балці 1 мосту та точка 4' на дорозі 2 на рис. 7) застосовується, наприклад, тахеометр. Другий фотоприймач 4 встановлюється на опорі таким чином, щоб точка 4' була його продовженням 9 на дорозі 2.

У пристрої застосовується лазер (лазерний діод) з безперервним випромінюванням променя інфрачервоного (ІЧ) діапазону певної довжини хвилі. Послідовно з лазером розташовується оптичний коліматор, який складається з об'єктива, у фокальній площині якого розміщується вихід лазерного променя.

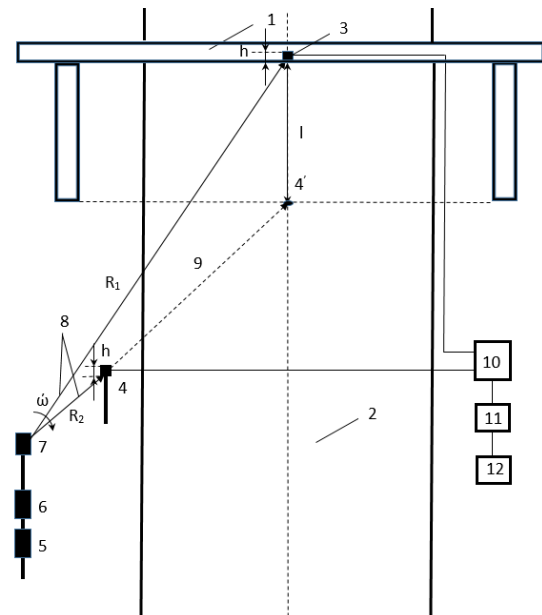


Рис. 10. Схематичне відображення пристрою без деформації пролітної балки мостової споруди

Оптичний коліматор 6 забезпечує паралельність лазерного променя 8, і тому за рахунок практично нульової розбіжності вся енергія лазерного променя буде зосереджена на чутливій поверхні кожного фотоприймача, виконаний з певного матеріалу, що без особливих перешкод пропускає лазерний промінь. Фотоприймачі 3 і 4 містять фотодіод, перед яким розташовуються чутлива поверхня й оптичний фільтр, що пропускає промінь тільки певної довжини хвилі лазера. Усі елементи фотоприймача розміщуються у герметичному корпусі. Вузол розгортки 7, напри-

клад, є двигуном, на валу якого розташовується дзеркало, що знаходиться під кутом 45° до лазерного променя, або крутний оптичний клин, за рахунок чого промінь лазера розгортається у вертикальній площині.

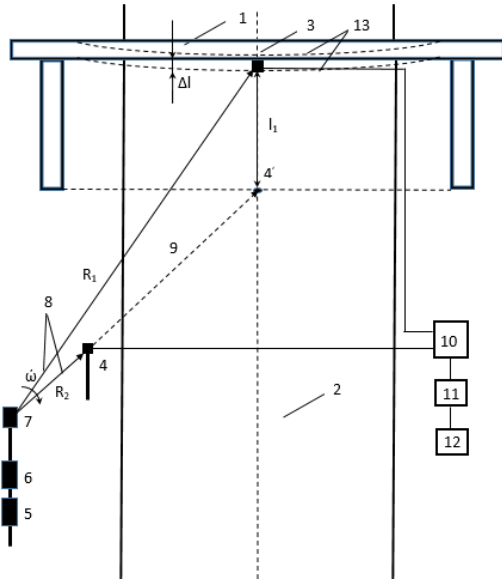


Рис. 11. Схематичне відображення пристрою з деформацією пролітної балки мостової споруди

Оптичний сигнал 8, що розгортається, з вузла розгортки 7 послідовно пробігає по чутливій поверхні фотоприймачів 1 і 2 певної довжини h (рис. 7). Електричний сигнал з фотодіода фотоприймачів 3 і 4 поступає на підсилювач електричного сигналу відповідного фотоприймача, який після підсилення поступає на блок комутації 10 (рис. 7, 8). 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 та відстанню R вузла розгортки до фотоприймача (рис. 1, 2). Тому тривалість імпульсів з фотоприймачів 1 і 2 буде різною та мірою наближення фотоприймача до вузла розгортки буде збільшуватися (рис. 9).

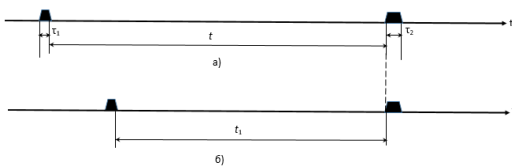


Рис. 12. Часові діаграми роботи пристрою без деформації пролітної балки мостової споруди (а) і після деформації (б)

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

де $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – кутова швидкість обертів двигуна; R_1 – відстань між блоком розгортки лазерного променя та першим фотоприймачем.

Тоді для другого фотоприймача тривалість імпульсу буде, відповідно

$$\tau_2 = \frac{h}{\omega R_2}. \quad (2)$$

Тривалість часу t проходження лазерного променя від першого фотоприймача до другого буде відповідати довжині l підмостового габариту за умови відсутності деформації пролітної балки мостової споруди. Слід зазначити, що тривалість часу t береться від заднього фронту імпульсу першого фотоприймача 3 до переднього фронту імпульсу другого фотоприймача 4 (рис. 9, а).

Якщо конструкція мостової споруди буде деформована 13 (пунктирні лінії на рис. 8), то підмостовий габарит зміниться, відповідно, до l_1 (рис. 8), що відповідатиме часу t_1 проходження лазерного променя від першого фотоприймача 3 до другого фотоприймача 4 (рис. 9, б), зокрема тривалість імпульсів буде такою ж, як і для конструкції до деформації (рис. 9, а).

Після надходження імпульсів з фотоприймачів 3 і 4 відповідно до деформації пролітної балки мостової споруди і після її деформації через блок 10 комутації до блоку 11 обчислення, який виконує обчислення спочатку t і t_1 , а потім підмостового габариту з виводу

$$\frac{t}{t_1} = \frac{l}{l_1}, \quad (3)$$

$$l_1 = \frac{l \cdot t_1}{t}, \quad (4)$$

де l_1 – величина підмостового габариту після деформації пролітної балки мостової споруди.

Звідки величина деформації пролітної балки мостової споруди буде

$$\Delta l = l - l_1. \quad (5)$$

Після перетворення та обчислення інформація про величину підмостового габариту та величину деформації пролітної балки мосто-

вої споруди з блоку 11 обчислень надходить на реєстратор 12 (рис. 7, 8).

Слід зазначити, що в запропонованому пристрої фотоприймач закріплюється на пролітній балці мостової споруди тільки в одній точці (посередині пролітної балки), а це не дає повної картини про деформацію конструкції по всій її довжині. Тому був розроблений пристрій з розподіленими й закріпченими фотоприймачами по всій довжині пролітної балки мостової конструкції, що дозволяє обчислювати інформацію з датчиків про деформацію пролітної балки й мостового габариту по всій довжині конструкції.

Працює пристрій таким чином. Для виміру деформації пролітної балки 1 мостової споруди та підмостового габариту (рис. 10) застосовуються фотоприймачі $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$, розподілені та закріплені по всій довжині пролітної балки мостової конструкції, фотоприймачі $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$, що встановлені на опорі на певній відстані від мосту, кожний з яких знаходиться в одній вертикальній площині з відповідними $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$ фотоприймачами, що закріплені на пролітній балці мостової конструкції. Кроковий двигун 5, який програмно керується блоком 6 управління кроковим двигуном, установлюється на опорі на певній відстані від мостової споруди й відповідно на певній відстані від фотоприймачів $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$. На валу крокового двигуна закріплена платформа 7, на якій установлені послідовно розташовані джерела світла 8 у вигляді лазера ІЧ-діапазону, коліматор 9 та вузол 10 розгортки лазерного променя. Для вибору точок установлення фотоприймачів $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$ по всій довжині пролітної балки мостової конструкції та виміру підмостового габариту l_i (низ фотоприймачів $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$ на пролітній балці 1 мостової споруди та точки $4_1', 4_2', \dots, 4_i', \dots, 4_{n-1}', 4_n'$ на дорозі 2 (рис. 10) застосовується, наприклад, тахеометр.

Точки встановлення фотоприймачів $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$ та $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$ обираються залежно від кута повороту (кроку) валу серійного крокового двигуна (наприклад, $\gamma = 0,9^\circ$ або $1,8^\circ$), який установлюється на місці тахеометра на опорі. Фотоприймачі $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$ встановлюються на опорі таким чином, щоб точки $4_1', 4_2', \dots, 4_i', \dots, 4_{n-1}', 4_n'$ були їх продовженням 12 на дорозі 2 (рис. 10, 11).

Як і в попередньо розглянутому пристрої, у запропонованому пристрої застосовується

лазер 8 (лазерний діод) з безперервним випромінюванням променя інфрачервоного (ІЧ) діапазону певної довжини хвилі. Послідовно з лазером 8 розташовується оптичний коліматор 9, який складається з об'єктива, у фокальній площині якого розміщується вихід лазерного променя 11.

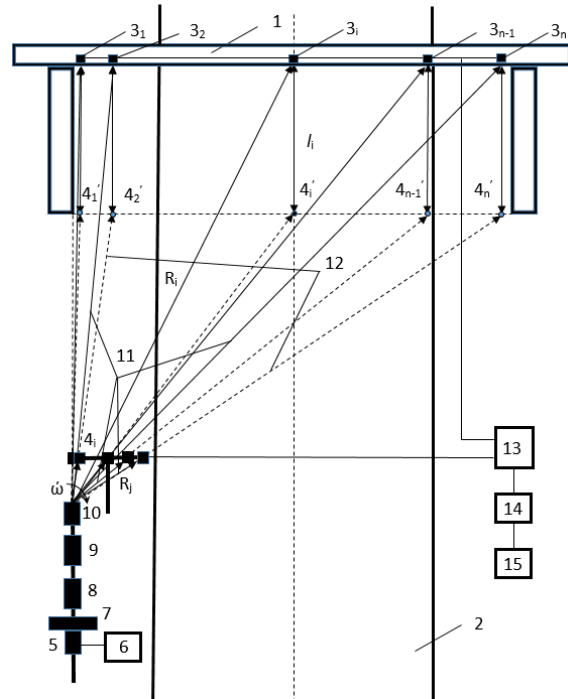


Рис. 13. Схематичне відображення пристрою з n фотоприймачами без деформації пролітної балки мостової споруди

Оптичний коліматор 9 забезпечує паралельність лазерного променя 11, і тому за рахунок практично нульової розбіжності вся енергія лазерного променя буде зосереджена на чутливій поверхні кожного фотоприймача, виконаного 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 й оптичний фільтр, що пропускає промінь тільки певної довжини хвилі лазера. Усі елементи фотоприймача розміщуються в герметичному корпусі. Вузол розгортки 10, наприклад, є двигуном, на валу якого розташовується дзеркало, що знаходиться під кутом 45° до лазерного променя, або крутий оптичний клин, за рахунок чого промінь лазера розгортається у вертикальній площині.

Лазер 8, оптичний коліматор 9 та вузол розгортки 10 лазерного променя розміщуються на платформі 7, установленій на валу крокового двигуна 5, який за програмою з

блоку 6 управління кроковим двигуном здійснює поворот вала крокового двигуна і, відповідно, платформи на один крок (кут рівний γ). Через деякий час з блоку 6 управління кроковим двигуном поступає команда на кроковий двигун, унаслідок чого його вал повертається на другий кут γ і т. д. до моменту, поки кут повороту крокового двигуна від нульової точки не досягне величини $\alpha = n\gamma$, установленної тахеометром та внесеної у програму блока 6 управління кроковим двигуном. Після цього вал крокового двигуна повертається до початкової (нульової) точки і процес повторюється.

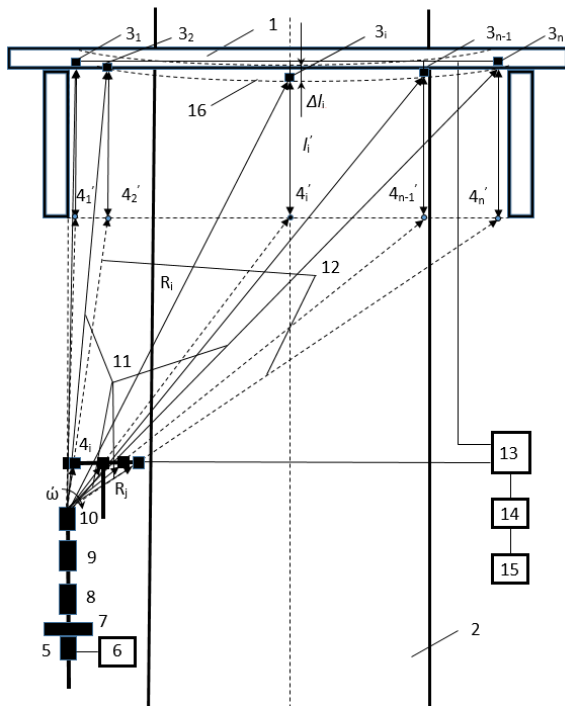


Рис. 14. Схематичне відображення пристрою з n фотоприймачами і з деформацією пролітної балки мостової споруди

Таким чином, оптичний сигнал 11, що розгортається, з вузла розгортки 10 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 (довжина фотоприймачів h така, як і на рис. 7). Електричний сигнал з фотодіодів кожного з фотоприймачів $3_1, 3_2, \dots, 3_i, \dots, 3_n$ та $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$ поступають на підсилювач електричного сигналу відповідного фотоприймача, який після підсилення поступає на блок комутації 13 (рис. 10, 11). 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 та відстанню R вузла розгортки до відповідного фотоприймача. 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 мірою наближення фотоприймача до вузла розгортки буде збільшуватися (рис. 12). Тоді аналогічно до виразу (1) можна записати

$$\tau_{3_i} = \frac{h}{\omega R_i}, \quad (6)$$

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_i тривалість імпульсу буде, відповідно,

$$\tau_{4_i} = \frac{h}{\omega R_j}, \quad (7)$$

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 за умови відсутності деформації пролітної балки мостової споруди. Слід зазначити, що тривалість часу t береться від заднього фронту імпульсу фотоприймача 3_i до переднього фронту імпульсу фотоприймача 4_i (рис. 12, а).

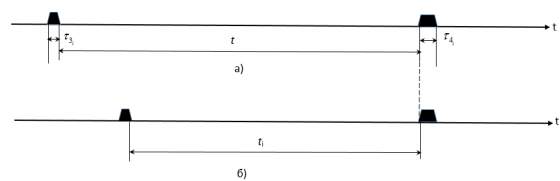


Рис. 15. Часові діаграми роботи пристрою з n фотоприймачами без деформації пролітної балки мостової споруди (а) і після деформації (б)

Якщо конструкція мосту буде деформована 16 (пунктирні лінії на рис. 11), то підмостовий габарит зміниться, відповідно, до l_i' (рис. 11), що відповідатиме часу t_i проходження лазерного променя від фотоприймача 3_i до другого фотоприймача 4_i (рис. 12, б). Зокрема тривалість імпульсів буде такою ж, як і для конструкції без деформації (рис. 12, а).

Після надходження імпульсів з фотоприймачів 3 і 4 відповідно до деформації пролітної балки мостової споруди і після її деформації через блок 10 комутації до блоку 11 обчислення, який виконує обчислення спочатку t і t_i , а потім підмостового габариту з виразу

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

де $i = 1, 2, \dots, n$.

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

де l'_i – величина підмостового габариту після деформації пролітної балки мостової споруди.

Звідки величина деформації пролітної балки мостової споруди буде

$$\Delta l = l_i - l'_i. \quad (10)$$

Після перетворення й обчислення інформація про величину підмостового габариту та величину деформації пролітної балки мостової споруди з блоку 14 обчислень надходить на реєстратор 15 (рис. 10, 11).

Варто зазначити, що за умови розташування блоку розгортання лазерного променя та крокового двигуна на узбіччі дороги з одного боку мостової споруди призведе до дуже нерівномірного розташування фотоприймачів на пролітній балці мостової споруди. Тобто на пролітній балці мостової споруди, з боку якої розташовується блок розгортання лазерного променя, якщо відстань між фотоприймачами складатиме сантиметри, то з протилежного боку пролітної балки – декілька метрів. Це, у свою чергу, призведе до значної похибки в обчисленні деформації пролітної балки та підмостового габариту тієї її частини, де відстань між фотоприймачами обчислюється метрами. Тому пропонується кроковий двигун, блок розгортання лазерного променя та фотоприймачі $4_1, 4_2, \dots, 4_i, \dots, 4_n$ (рис. 13 та 14) розташовувати посередині дороги, що проходить під мостовою спорудою, на інформаційній конструкції балкової або рамної системи (рис. 5, 6) на певній відстані від мостової споруди. Тобто інформаційні конструкції балкової або рамної системи в цьому випадку несуть подвійну

функцію: установлення знаків, що інформують водіїв та захищають мостову споруду від пошкодження габаритним транспортом (рис. 6), і розміщення вказаного вище обладнання для виміру деформації мостової споруди та підмостового габариту.

Висновки

Пристрій може бути застосований в автоматизованій системі моніторингу деформацій мостової споруди (АСДМ), що дозволить оперативно контролювати їх стан, зміщення та прогини, що виникають унаслідок впливу зовнішніх природно-кліматичних чинників, а також суцільного транспортного потоку на автодорожніх мостах, навантаження шляхопроводів літаками та поїздами на залізничних мостах.

Література

1. Деформационный мониторинг мостов. Значение и задачи. 2015. URL: https://www.icentre-gfk.ru/article/a_def_mon_bridges.htm.
2. Автоматизированный деформационный мониторинг – инновационные технологии на службу обеспечения безопасности в горнодобывающей, нефтяной и газовой промышленности. 2010. URL: http://www.gfk-leica.ru/pyblikacii/avtomatizirovannyi_deformatsionnyi_monitoring_innovatsionnye/
3. Редченко В.П. Динамічні випробування мостів. Частина 2: вільні коливання, модальний контроль. Дніпро: Пороги, 2017. 216 с.
4. URL: <https://diman7777.livejournal.com>
5. URL: <http://autoass.ru/dorozhnye-znaki/3-13-ogranichenie-vysoty.html>
6. Э. Удд. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. Москва: Техносфера, 2008. 520 с.
7. URL: <http://www.electronics.ru/journal/article/692>
8. Гитис Э.И., Пискулов Е.А. Аналогоцифровые преобразователи. Москва: Энергоиздат, 1981. 360 с.
9. Пат. КМ 134607 Україна. Вимірвальна система для моніторингу деформацій мостових споруд та підмостового габариту. Опубл. 27.05.2019.

References

1. Deformatsionnyi monitoring mostov. Znachenie i zadachi [Bridge deformation monitoring. Meaning and tasks]. 2015. URL: https://www.icentre-gfk.ru/article/a_def_mon_bridges.htm [in Russian].
2. Avtomatizirovannyi deformatsionnyi monitoring – innovatsionnye tekhnologii na sluzhbu obespecheniia bezopasnosti v gornodobyvaiushchei, neftianoi i gazovoi promyshlennosti [Automated deformation monitoring –

- innovative technologies to provide safety in mining, oil and gas industries]. 2010. URL: http://www.gfk-leica.ru/pyblikacii/avtomatizirovannyi_deformacionnyi_monitoring_innovacionnye/ [in Russian].
3. Redchenko V.P. Dynamichni vyprobuvannia mostiv. Chastyna 2: vilni kolyvannia, modalnyi kontrol [Bridge dynamic test. Part 2: free oscillations, modal control] / Dnipro: Porohy, 2017. 216 s. [in Ukrainian]
 4. URL: <https://diman7777.livejournal.com>
 5. URL: <http://autoass.ru/dorozhnye-znaki/3-13-ogranichenie-vysoty.html>
 6. [Volokonno-opticheskie datchiki. Vvodnyi kurs dlia inzhenerov i nauchnykh rabotnikov \[Fibre-optical detectors. Introduction for engineers and scholars\] / Pod red. E. Udda \[ed. E. Udd\]. Moscow: Tekhnosfera, 2008. 520 s.](#)
 7. URL: <http://www.electronics.ru/journal/article/692>
 8. Gitis Eh.I. & Piskulov E.A. Analogovo-tsifrovye preobrazovateli [Analog-digital converters]. Moscow : Energoizdat, 1981. 360 s. [in Russian].
 9. Pat. 134607 Ukraine. Measuring system to monitor strain of bridge, overpass components and bridge clearance. 27.05.2019.

Левтеров А.І., к.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, (057)707-36-58, lai@khadi.kharkov.ua

Лабенко Д.П., к.т.н., доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, (057)707-37-74, labenko.56@gmail.com

Measuring system of strain monitoring of bridge structural components and bridge clearance

Abstract. At present, the automated systems of strain monitoring (ASSM) are in demand; they are widely implemented and used in Ukraine and abroad. The aim of this paper is to determine the most effective methods and measuring systems to monitor the strains of bridge components and bridge clearance. On the basis of the application of optic methods and systems to measure bridge structure strains and the principle of laser beam sweep in horizontal and vertical planes, this paper describes the devices, which are designed by the authors of the article, to monitor bridge structure strains and bridge clearance that can be used in the ASSM. The proposed devices have a laser (laser diode) that permanently radiates a beam in an infrared (IR) range of a certain wavelength. An optical collimator and a scanning unit to radiate a laser beam towards photodetectors, which are fixed on a bridge span girder, are installed sequentially with a laser. It guarantees the parallelism of a laser beam. The laser, optical collimator and the unit of laser beam sweep are installed on a platform that is fixed on a step motor shaft at a certain distance from a bridge. The laser beam sweep unit,

which uses the programmer of the step motor control unit, turns the shaft and the platform one-step (angle) further. The step motor is a mass production motor having a step of 0.9° or 1.8° . A laser beam, which sweeps vertically, sequentially runs through all the n photodetectors, which are fixed on a bridge span girder, and the n photodetectors, which are fixed at a certain distance from the bridge in the same plane as the n photodetectors on the bridge span girder. The time span of a beam moving from one photodetector to the other photodetector corresponds to the length of a bridge clearance; the difference between the time of laser beam moving from one photodetector to the other photodetector without bridge strain and with bridge strain determines the value of a bridge structure strain. The described devices can be used in the ASSM; it enables us to effectively monitor the state of a bridge structure, shift and buckling that take place as a result of natural and climatic effects, intensive traffic as well as in cases when trains and aircraft apply large dynamic loads.

Key words: strain monitoring of bridge structure, bridge clearance, optical scanning system, laser, collimator, photodetector, step motor.

Levtarov A. I., PhD in Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine, +380577073658, lai@khadi.kharkov.ua

Labenko D.P. PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho, Kharkiv, 61002, Ukraine, +380577073658, lai@khadi.kharkov.ua

Измерительная система для мониторинга деформаций элементов конструкций мостовых сооружений и подмостового габарита

Аннотация. Основываясь на применении оптических методов и систем измерения деформаций мостовых сооружений и принципа развертывания лазерного луча в горизонтальной или вертикальной плоскости, в статье описаны разработанные авторами устройства для деформационного мониторинга мостовых сооружений и подмостового габарита

Ключевые слова: деформационный мониторинг мостовых сооружений, подмостовой габарит, оптическая развертывающаяся система, лазер, коллиматор, фотоприемник, шаговый двигатель.

Левтеров А.И., к.т.н., профессор, Харьковский национальный автомобильно-дорожний университет, 61002, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25, (057)707-36-58, lai@khadi.kharkov.ua

Лабенко Д.П., к.т.н., доцент, Харьковский национальный автомобильно-дорожний университет, 61002, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25, (057)707-37-74, labenko.56@gmail.com