

Автомобільний, річковий, морський та авіаційний транспорт

УДК 625:681.786

doi: 10.26906/SUNZ.2025.1.5-9

М. В. Костікова, Б. С. Карпішен, С. М. Неронов, Г. А. Плехова, С. В. Очеретенко
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

РУХОМИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВІДХИЛЕНЬ ПОЛОЖЕНЬ РЕЙКОВИХ ШЛЯХІВ

Анотація. Залізничний транспорт є важливою інфраструктурною основою економіки долаючи природні перешкоди. Експлуатація цих споруд вимагає постійного контролю технічного стану рейкових конструкцій. Ходові рейки разом зі шпалами та контактна рейка в метрополітені або контактний провід на залізниці та трамвайних коліях є єдиним комплексом, який створює необхідні умови для руху рейкового електротранспорту У статті проаналізовано пристрої для контролю відхилень положення рейкових колій, які містять світловипромінювач з регулятором положення та платформу, що рухається по балі. Недоліком цих пристроїв є недостатня функціональність на кривих ділянках. В роботі пропонується рухома система для вимірювання параметрів рейкових шляхів підвищеної точності на основі датчиків деформації та лазера. Пристрій належить до рейкового транспорту і може застосовуватися на наземному залізничному транспорті, метрополітені та на трамвайних коліях міста, що дозволить контролювати стан зміщення і прогини, що виникають в результаті впливу зовнішніх природно-кліматичних факторів.

Ключові слова: рейкові шляхи, лазер, коліатор, фотоприймач, рейковий візок.

Вступ

Ходові рейки разом зі шпалами та контактна рейка в метрополітені або контактний провід на залізниці та трамвайних коліях є єдиним комплексом, який створює необхідні умови для руху рейкового електротранспорту. Несанкціонованим змінам піддається взаємне положення по висоті ходових рейок, кривизна останніх, ширина рейкової колії і т. д [1]. Під час експлуатації можливі просідання лівої або правої рейки та (або) зміна ширини рейкової колії тощо [2, 3]. Тому варто подбати про автоматизований контроль стану рейкових шляхів, а саме контроль відхилень положення рейкових колій по горизонтальній і вертикальній осях, а також зазорів у стиках.

Аналіз публікацій. Відомо пристрої для контролю відхилень положення рейкових колій, що містять випромінювач світла (лазерне джерело) з регулятором положення, платформу що рухається вздовж променю по рейкам, забезпечену електродвигуном з приводом, на якій знаходяться фотоприймачі, дві камери для контролю зазорів у стиках направляючих рейок і взаємного зміщення торців рейок, що стикаються між собою, забезпечених калібрувальними елементами, і встановлених в торці платформи, блок контролю положення рейкового шляху, який забезпечений аналізатором зміщення та реєстратором, що містять контрольновимірювальні вузли, які служать для контролю відхилень положення рейкових колій по горизонтальній та вертикальній осях [4, 5].

Недоліком цих пристроїв є недостатня функціональна можливість, яка обумовлена виміром параметрів рейкової колії тільки на прямолінійних ділянках рейкового шляху і практична непрацездат-

ність пристрою на криволінійних ділянках та недостатня точність вимірювань параметрів рейкової колії, у зв'язку з тим, що не можливо чітко і точно визначити контури лазерної плями на прозорому екрані, що приведе до неточності контролю відхилень положення рейкових колій по горизонтальній і вертикальній осях [6–8].

Мета та постановка задачі. Метою цієї роботи є покращення точності існуючих систем особливо при їх використанні на криволінійних ділянках колій та поворотах. Також пристрій повинен бути компактним та рухомою системою. Тому була поставлена задача розробки пристрою для вимірювання параметрів рейкових шляхів підвищеної точності з підвищеними функціональними можливостями.

Виклад основного матеріалу

Побудова вимірювальної системи. Поставлена задача була вирішена розробкою пристрою для контролю рейкових шляхів (рис. 1, 2), який містить рухомий шляховимірювальний візок 1, забезпечений електродвигуном з приводом, лазер 2, оптичний коліатор 3, вузол 4 розгортки лазерного променя 6 з регулятором положення його в просторі 5 і перший 7 фотоприймач, встановлений на шляху пересування рухомого шляховимірювального візка 1, на якій встановлені другий 8 і третій 10 фотоприймачі, що служать для контролю відхилень положення рейкових колій по горизонтальній і вертикальній осях. Причому другий фотоприймач 8 знаходиться на гіроскопічній платформі 9 на лівому боці шляховимірювального візка 1 і контролює відхилення лівої рейки по горизонтальній і вертикальній осях, третій фотоприймач 10 знаходиться на гіроскопічній платформі 11 і контролює відхилення правої рейки по горизонтальній і вертикальній осях, крім того шляховимірю-

вальний візок 1 додатково забезпечений двома камерами 12 і 13 для контролю зазорів в стиках направляючих рейок і взаємного зміщення торців рейки, що стикаються між собою. Кожна з камер забезпечена

калібрувальними 14 і 15 елементами, і встановлена в торці шляховимірювального візка 1, які зв'язані з блоком 16 контролю відхилення положення рейкових колій по горизонталі та вертикалі.

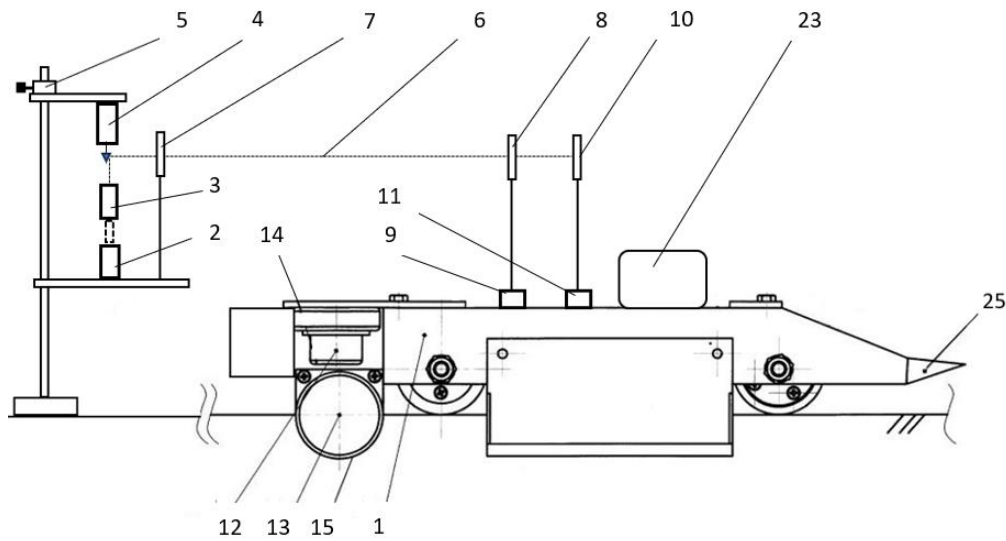


Рис. 1. Загальний вигляд пристрою

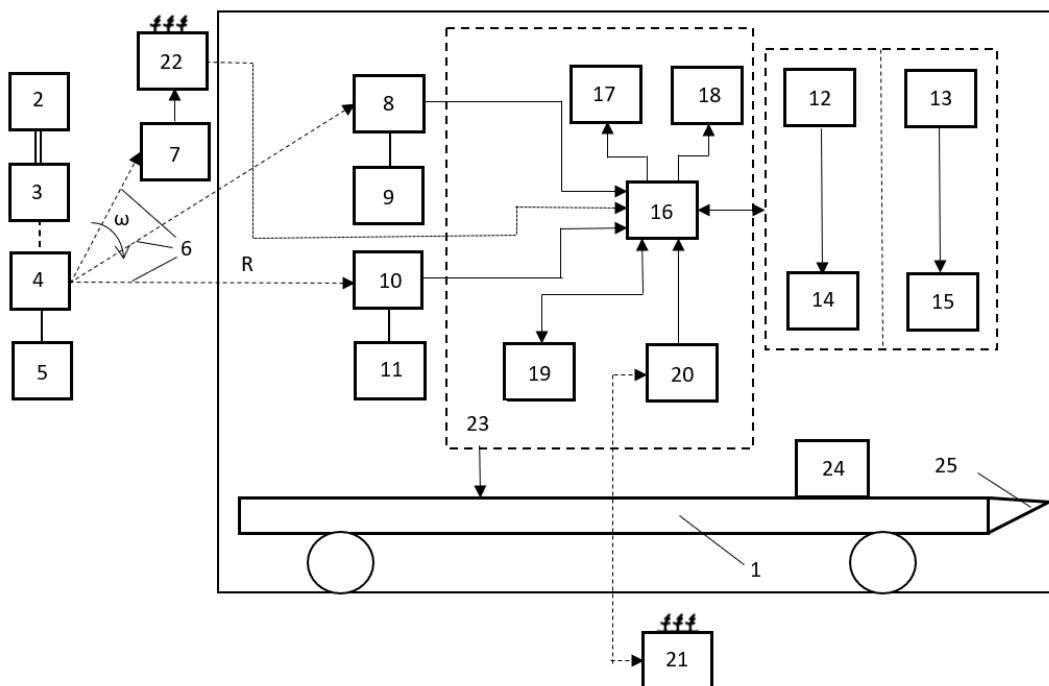


Рис. 2. Контрольно-вимірювальна структурна схема пристрою

Входи блока 16 контролю відхилення положення рейкових колій по горизонталі та вертикалі підключені до виходів першого 7, другого 8 та третього 10 фотоприймачів і до камер 12 та 13, до виходу датчика пройденого шляху 19 і виходу приймача команд 20 управління, пов'язаного з першим блоком 21 дистанційного керування, а виходи блока 16 контролю відхилення положення рейкових колій по горизонталі та вертикалі підключені, відповідно, до блока 17 реєстрації та аналізу інформації і блока 18 живлення.

Крім того перший фотоприймач 7 зв'язаний з другим блоком 22 дистанційного керування. Всі

блоки та вузли, що здійснюють прийом і обробку інформації, знаходяться у блоці 23 прийому і обробки інформації, розташованому на шляховимірювальному візку 1, а шляховимірювальний візок 1 забезпечений стопорним пристроєм 24 для його фіксування в потрібному місці і розсікачем-скидачем 25, виконаному на передньому торці шляховимірювального візка 1.

Принцип роботи пристрою. Пристрій для контролю рейкових шляхів працює наступним чином: джерело лазерного випромінювання 2, оптичний коліматор 3, вузол 4 розгортки лазерного 6 променя з

регулятором положення його в просторі 5 і перший фотоприймач 7 встановлюють на елементах рейкових шляхів на опорі, через заздалегідь задані інтервали руху шляховимірювального візка 1.

Лазер 2, оптичний коліматор 3 і вузол 4 розгортки лазерного променя 6, які розташовуються на опорі на такій же висоті, як перший фотоприймач так і другий та третій фотоприймачі 8 і 10, що знаходяться на відповідних гіроскопічних платформах, розташованих по боках шляховимірювального візка 1.

Чутлива поверхня всіх фотоприймачів повернута у напрямку вузла розгортки лазерного променя. У пристрої застосовується лазер 2 з безперервним випромінюванням променя певної довжини хвилі. Послідовно з лазером розташовується оптичний коліматор 3, який складається з об'єктива, у фокальній площині якого розміщується вихід лазерного променя 6. Оптичний коліматор 3 забезпечує паралельність лазерного променя і тому, за рахунок, практично, нульової розбіжності, вся енергія лазерного променя буде зосереджена на чутливій поверхні кожного багатоеlementного фотоприймача, виконаного у вигляді лінійки елементів певної довжини h (рис. 3), причому кожний фотоприймач має однакову кількість елементів [9].

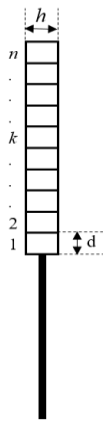


Рис. 3. Фотоприймач

Кожний елемент фотоприймача виконаний із певного матеріалу [10], що без особливих перешкод пропускає лазерний промінь 6. Всі фотоприймачі, що складаються із n елементів, містять фотодіоди, перед якими розташовуються чутлива поверхня і оптичний фільтр, що пропускає промінь тільки певної довжини хвилі лазера.

Всі елементи фотоприймача розміщуються у герметичному корпусі [10]. Вузол розгортки 4, наприклад, представляє собою двигун, на валу якого розташовується дзеркало або призма із дзеркальною гранню, що знаходиться під кутом 45° до лазерного променя, або круглий оптичний клин, за рахунок чого промінь лазера розгортається у горизонтальній площині. Регулятор положення в просторі 5 регулює вузол 4 розгортки лазерного променя по вертикалі таким чином, щоб лазерний промінь послідовно пробігав по чутливій поверхні елемента з відповідним однаковим номером k елемента кожного фотоприймача (рис. 4). Електричний сигнал з фотодіода кожного фотоприймача поступає на підсилювач електричного сигналу фотоприймача, який, після підсилення,

поступає на входи блока 16 контролю відхилення положення рейкових колій по горизонталі та вертикалі (рис. 2), причому електричний сигнал першого фотоприймача 7 передається через перший блок 21 дистанційного керування.

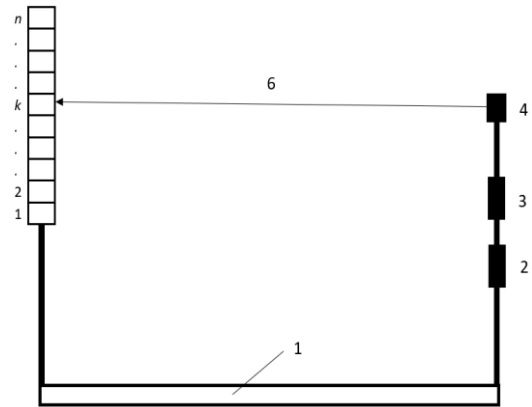


Рис. 4. Рейкова колія без відхилення по вертикалі

Якщо положення однієї із рейкових колій буде зміщено по вертикалі, то другий 8 або третій 10 фотоприймачі, в залежності яка із колій буде зміщена, змінять своє положення відносно лазерного променя, що розгортається, і лазерний промінь 6 буде обігати інший за номером (наприклад, j або p) елемент відповідного фотоприймача, а на першому фотоприймачі 7 номер елемента не поміняється. Підсилені електричні сигнали з відповідних елементів фотоприймачів надходять блока 16 контролю відхилення положення рейкових по горизонталі та вертикалі до блока 17 реєстрації та аналізу інформації. Різниця між номером k елемента першого 7 фотоприймача і номером елемента відповідного фотоприймача 8 або 10, що знаходиться над зміщеною по вертикалі колією помножена на певну довжину елемента d , дасть величину зміщення по вертикалі відповідної колії (рис. 5).

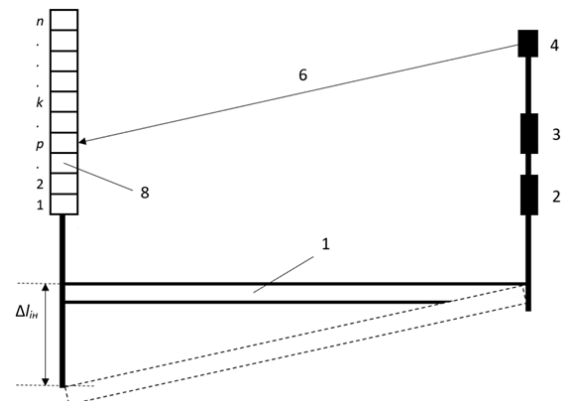


Рис. 5. Відхилення рейкової колії по вертикалі вгору

Таким чином величина зміщення по вертикалі відповідної колії у низ на одному періоді обертання лазерного променя буде обчислюватися, як

$$\Delta l_{\text{вн}} = (p - k) \cdot d, \quad (1)$$

а величина зміщення по вертикалі у верх (рис. 6), як

$$\Delta l_{\text{вв}} = (j - k) \cdot d, \quad (2)$$

де Δl_{iH} та Δl_{iB} – величина зміщення по вертикалі відповідної колії фотоприймачем; k – номер елемента фотоприймача без зміщення по вертикалі; p та j – номер елемента фотоприймача після зміщення по вертикалі; d – довжина елемента фотоприймача.

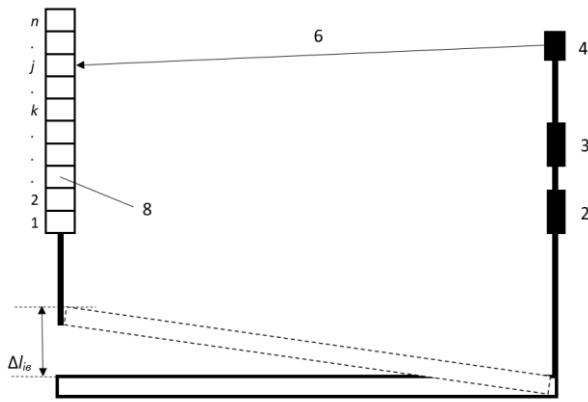


Рис. 6. Відхилення рейкової колії по вертикалі вниз

Знак в арифметичних виразах після обчислення вказує, відповідно, на характер зміщення по вертикалі, тобто на прогин чи опуклість рейкової колії.

Лазерний промінь 6, що розгортається, з вузла розгортки 4 послідовно пробігає по чутливій поверхні кожного 7, 8, 10 фотоприймача певної довжини h (рис. 3). Електричний сигнал з фотодіода або фотоелектричний перетворювач (ФЕП) поступає на підсилювач електричного сигналу фотоприймача, який, після підсилення, поступає на блок 16 контролю відхилення положення рейкових колій (рис. 3). Тривалість електричного імпульсу з виходу фотоприймача буде визначатися швидкістю проходження лазерного променя по чутливій поверхні фотоприймача, яка, у свою чергу, буде визначатися кутовою швидкістю ω двигуна вузла розгортки і відстанню R вузла розгортки до фотоприймача [4]. Таким чином, тривалість імпульсів τ_1 з фотоприймача 7 та τ_2 і τ_3 – з фотоприймачів 8 і 10 буде різною і в міру наближення фотоприймача до вузла розгортки буде збільшуватись (рис. 7, а).

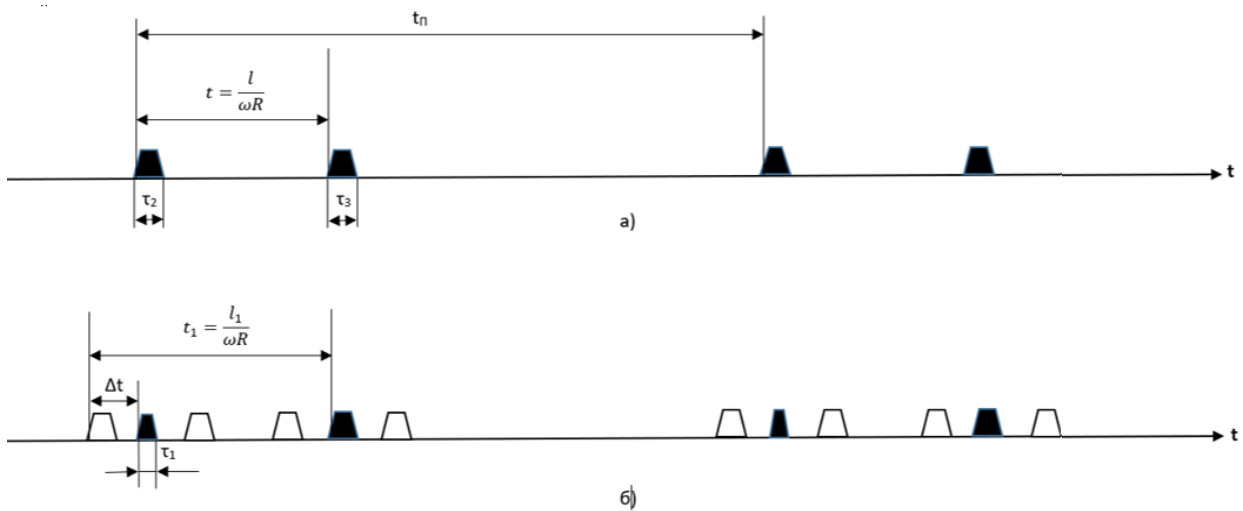


Рис. 7. Часові діаграми, що характеризують відхилення положення рейкової колії по горизонталі

Крім того чутлива поверхня фотоприймача 7 менша аніж фотоприймачів 8 і 10.

$$\tau_1 = \frac{h_1}{\omega R_1}, \quad (3)$$

де $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ – кутова швидкість обертів двигуна; h_1 – чутлива поверхня фотоприймача 7; R_1 – відстань між блоком розгортки лазерного променя та першим фотоприймачем. Тоді для фотоприймача 8 тривалість імпульсу буде

$$\tau_2 = \frac{h_2}{\omega R_2}, \quad (4)$$

а для фотоприймача 10 тривалість імпульсу буде (рис. 7):

$$\tau_3 = \frac{h_3}{\omega R_3}, \quad (5)$$

Слід зазначити, що відстань (пауза) між електричними імпульсами теж буде збільшуватися в міру

віддалення фотоприймачів до вузла розгортки.

Відстань між фотоприймачами 8 і 10 становить стандартну ширину l колії, тому час, за який лазерний промінь переміститься від фотоприймача 8 до фотоприймача 10 становитиме (рис. 7)

$$t = \frac{l}{\omega R}. \quad (6)$$

Якщо стандартна ширина l колії буде порушена, тобто буде переміщення шляховимірювального візка 1 і, відповідно, другого 8 від першого 7 фотоприймачів по горизонталі, то час, за який лазерний промінь переміститься від переміщеного другого фотоприймача 8 до третього фотоприймача 10, якщо б він залишався на місті, було б (рис. 7, б):

$$t_1 = \frac{l_1}{\omega R}, \quad (7)$$

а час, за який лазерний промінь пройде між переміщеним другим фотоприймачем 8 і першим фотоприймачем 7 становитиме

$$\Delta t = t - t_1, \quad (8) \quad \text{звідки}$$

$$\text{або} \quad \Delta l = l - l_1, \quad (9)$$

$$\Delta l = \frac{l \cdot t_1 - l t}{t} = \frac{l \cdot (t_1 - t)}{t}, \quad (13)$$

де Δl – величина переміщення другого фотоприймача 8 відносно першого фотоприймача 7.

Знак в арифметичному виразі після обчислення вказує, відповідно, на характер зміщення по горизонталі – вправо, або вліво переміщена рейкова нитка колії. Тоді

$$\frac{t}{t_1} = \frac{l}{l_1}, \quad (10)$$

$$\text{звідки} \quad l_1 = \frac{l \cdot t_1}{t}. \quad (11)$$

З урахуванням виразу (9) вираз (11) можна записати у вигляді

$$l + \Delta l = \frac{l \cdot t_1}{t}, \quad (12)$$

але $\Delta t = t_1 - t$ (рис. 7, б).

Тоді вираз (13) можна переписати у вигляді

$$\Delta l = \frac{l \cdot \Delta t}{t}. \quad (14)$$

Висновки

Розроблений пристрій належить до рейкового транспорту, а саме до засобів контролю стану рейкового шляху в умовах експлуатації, і може застосовуватися на наземному залізничному транспорті, метрополітені та на трамвайних коліях міста. Він призначений для виявлення і вимірювання зовнішніх дефектів або пошкоджень на рейках, що може допомогти у забезпеченні безпеки та ефективності руху транспорту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. D. M. Kurhan, "Modeling of development vertical deformation of railway track," *Nauka ta progres transportu*, No. 1(61), pp. 100–108, Feb. 2016, doi: <https://doi.org/10.15802/stp2016/61003>
2. Курган Д. М. До вирішення задач розрахунку колії на міцність із урахуванням нерівнопружності підрейкової основи / Д. М. Курган // *Наука та прогрес транспорту*. – 2015. – № 1 (55). – С. 90–99. URL: <https://stp.ust.edu.ua/article/view/38250/34809>
3. Курган М. Б. Дослідження нерівностей колії в межах залізничних переїздів / М. Б. Курган, Д. М. Курган, О. Ф. Лужицький // *Наука та прогрес транспорту*. – 2015. – № 5 (59). – С. 84–96. URL: <https://stp.ust.edu.ua/article/view/55341/52850>
4. Levterov A. I., Storchak M. O. Measuring system to monitor deformation of large size structure members // *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. № 83. 2018. С. 66–73, doi: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2018.83.0.66>
5. Z. Xiong, Q. Li, Q. Mao, and Q. Zou, "A 3D Laser Profiling System for Rail Surface Defect Detection," *Sensors*, vol. 17, No. 8, p. 1791, Aug. 2017, doi: <https://doi.org/10.3390/s17081791>
6. L. Chen, Y. Li, Z. Ma, H. Liu, and W. Mao, "Vision-Based Position Deviation Measurement of Rail Corrugation Chord Measuring Points Under Bi-Linear Laser Assistance," *IEEE access*, vol. 9, pp. 36207–36217, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3062663>
7. Z. Ma, Y. Dong, H. Liu, X. Shao and C. Wang, "Forecast of non-equal interval track irregularity based on improved grey model and PSO-SVM", *IEEE Access*, vol. 6, pp. 34812-34818, 2018. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8371594>
8. Dingfei Jin, Hua Ma, "A Fast Global Optimal Strategy for Iteration Closest Point Using 2D-BnB and Its Application to Rail Profile Registration", *Journal of Sensors*, vol. 2023, 11 p., 2023. doi: <https://doi.org/10.1155/2023/6353247>
9. Пат. КМ 135379 Україна: МПК G01B11/16 (2006.01). Левтеров А. І. Пристрій для вимірювання деформацій елементів конструкцій великих розмірів. Заявка у 2019 01026 31.01.2019. Опубл. 25.06.2019, бюл. «Промислова власність», № 12. Книга 1. С. 4.73–4.74. URL: <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-ip>
10. В. М. Балабан, Є. П. Тимофеев, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, «Забезпечення дозиметричного контролю лазерного випромінювання», *Український метрологічний журнал*, № 2, С. 27–32, 2017. URL: <http://umj.metrology.kharkov.ua/issue/view/6574>

Received (Надійшла) 26.11.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.02.2025

A movable device for monitoring deviations in the position of the rail tracks

M. Kostikova, B. Karpishen, S. Neronov, G. Pliekhova, S. Ocheretenko

Abstract. Problem. The running rails together with sleepers and the contact rail in the subway or the contact wire on the railway and tram tracks are a single complex that creates the necessary conditions for the movement of rail electric transport. The operation of these facilities requires constant monitoring of the technical condition of rail structures. The relative position of the height of the running rails, the curvature of the latter, and the width of the rail gauge are subject to unauthorised changes. **Objective.** The paper analyses devices for controlling deviations in the position of rail tracks, which contain a light emitter with a position controller and a platform moving along the beam. The disadvantage of these devices is insufficient functionality on curved sections. **Operation.** The task was set to develop a device for measuring the parameters of railways with increased accuracy and enhanced functionality. **Results.** A movable device for monitoring deviations in the position of rail tracks using an optical laser system and a group of photodetectors was developed and described. The developed device belongs to rail transport, namely, to the means of monitoring the state of the rail track in operation, and can be used on land railway transport, subway and tramways of the city.

Keywords: rail tracks, deployable optical system, laser, collimator, photodetector, rail truck.