УДК 528.4 **DOI 10.33042/2522-1809-2021-6-166-130-133**

Г.С. Саркісян, В.В. Тимошевський, С.М. Урдзік

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ РІВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

У статті розглянуто особливості метрологічного забезпечення геодезичних робіт при визначенні рівності дорожнього покриття. Виконано аналіз існуючої методики визначення рівності покриття за допомогою нівеліра та нівелірної рейки. На основі аналізу результатів теоретичних розрахунків та експериментальних даних обґрунтовано необхідну точність вимірювання нерівностей покриття нежорсткого дорожнього одягу.

Ключові слова: *метрологічне забезпечення, рівність покриття, геодезичні роботи, поздовжній профіль покриття.*

Постановка проблеми

Головним показником якості автомобільної дороги з точки зору споживача є рівність дорожнього покриття. Від рівності покриття залежать багато транспортно-експлуатаційних показників: швидкість, безпека та комфортність руху. А зниження цих показників призводить до збитків держави. Для підтримання показника рівності покриття в належному стані постає питання необхідності щорічного моніторингу рівності покриття автомобільних доріг. Частий моніторинг дозволить своєчасно реагувати на зміни в показниках рівності на певних ділянках автомобільних доріг та визначати ділянки, які можуть стати місцями інтенсивного погіршення стану дорожнього покриття. Одне з головних завдань вимірювань у процесі виконання геодезичних робіт полягає не тільки в отриманні результату вимірювань, а й в оцінці його достовірності. У зв'язку з цим актуальним стає питання метрологічного забезпечення геодезичних робіт при визначенні рівності дорожнього покриття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У відповідності з порядком оцінки рівності покриття, що викладений у СОУ 45.2-00018112-078 [1] для контролю рівності дорожнього покриття використовують дві основні методики:

– безпосереднє інструментальне вимірювання поздовжнього профілю дороги та обробка результатів із визначенням показника рівності;

– опосередковане вимірювання рівності дорожнього покриття з використанням спеціального обладнання та приладів, що не вимірюють поздовжній профіль, а визначають динамічний вплив на механізми обладнання в результаті проїзду автомобіля, та обробка результатів із обчисленням значення показника рівності з застосуванням кореляційної залежності.

Перша методика є більш трудомісткою, але дає набагато більш детальну інформацію про профіль покриття і дає змогу оцінити та виявити найменші деформації на покритті вже на першому етапі їх розвитку. Сучасні методики зйомки поздовжнього профілю покриття [2–4], призначені для оцінки рівності покриття, не ставили за мету фіксацію та аналіз типів і розмірів нерівностей, що є дуже важливим при визначенні стану дорожнього покриття.

Друга методика обумовлює використання поштовхомірів, лазерних вимірювальних систем пересувних дорожніх лабораторій та інших засобів. За допомогою таких приладів, з одного боку, збільшується протяжність обстежених ділянок, але, з іншого боку, втрачається необхідна для визначення меж окремих нерівностей деталізація поздовжнього профілю. Тому в першу чергу має бути виконано саме інструментальне вимірювання поздовжнього профілю автомобільної дороги.

Необхідна якість інструментального вимірювання не може бути досягнута без дотримання принципів забезпечення єдності та необхідної точності вимірів, тому велику увагу потрібно приділяти метрологічному забезпеченню геодезичних робіт.

Метою даної статті є аналіз метрологічного забезпечення геодезичних робіт при визначенні рівності дорожнього покриття та обґрунтування необхідної точності вимірювання нерівностей покриття нежорсткого дорожнього одягу.

Виклад основного матеріалу

Інструментальне вимірювання поздовжнього профілю дороги в більшості випадків виконується за

 © Саркісян Г.С., Тимошевський В.В., Урдзік С.М.

допомогою нівелірів та нівелірних рейок. Як і будь-який засіб вимірювань, нівеліри та рейки мають бути технічно справними, атестовані та пройти метрологічну повірку відповідно до закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [5].

Для ефективної роботи з приладом до початку нівелювання слід виконати необхідні повірки:

– повірка зовнішнього стану та комплектності нівеліру;

– повірка паралельності осі круглого рівня та осі обертання нівеліра;

– повірка правильності встановлення сітки ниток;

– повірка горизонтальності лінії візування;

– повірка діапазону та похибки роботи компенсатора нівеліру. Суть дослідження полягає в тому, що нівелір встановлюють строго в створі та посередині між рейками і визначають п’ять перевищень при різних положеннях бульбашки круглого рівня (посередині, спереду, ззаду, справа, зліва відносно початкового положення нівеліра на станції) (рис. 1).

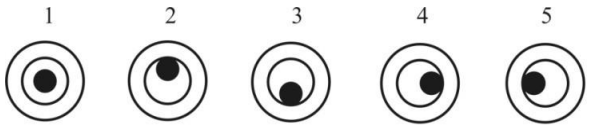

Рис. 1. Положення бульбашки круглого рівня при дослідженні якості компенсації

Важливим етапом підготовки до вимірювань є проведення 5 операцій технологічної перевірки нівелірних рейок:

– перевірки зовнішнього стану та випробування;

– перевірки правильності встановлення рівня на рейці;

– визначення середньої довжини метрових інтервалів;

– визначення різниці висот нулів шкал;

– визначення стрілки прогину рейки.

Після виконання підготовчих робіт та виконання усіх метрологічних повірок виконується безпосереднє інструментальне вимірювання поздовжнього профілю дороги. Для вимірювання рівності покриття вибирається і розмічається із кроком 0,25 м лінія на правій смузі накату або на відстані (0,75 ± 0,10) м від крайки проїзної частини (рис. 2).

За допомогою нівеліра та рейки, яку встановлюють на кожну з позначених точок, отримують перевищення точок нівелювання відносно горизонту приладу. Рейка при цьому повинна мати сферичний гумовий підп'ятник та шкалу відміток з поділками по 1 мм, та бути обладнана круглим рівнем. В процесі досліджень були використані телескопічні рейки з круглим рівнем (тип AGR-3). Круглий рівень має точність (β) до 5', тому відхилення рейки від вертикалі ± 5' дає практично незначущу похибку.

Рис. 2. Мітки на дорожньому покритті (ділянка дороги Т-21-04 (15+000 км – 15+200 км))

Нівелір встановлюють на узбіччі на відстані від 50 м до 60 м від початкової точки виміру. Тоді з однієї станції можна провести нівелювання від 100 м до 120 м покриття. Зйомка проводиться одночасно по двох лініях, вимірювання заносяться до журналу нівелювання.

Дані проведеного нівелювання імпортуються на ПК, де за виміряними відліками визначаються перевищення, а потім абсолютні або відносні позначки точок нівелювання для кожної лінії окремо.

Для аналізу результатів обстеження проїзної частини будуються поздовжні профілі (мікропрофілі) покриття кожної лінії (рис. 3). Візуальний аналіз графіка поздовжнього профілю дозволяє виявити ділянки з різними нерівностями та визначити основні параметри: висоту (амплітуду) нерівності та довжину хвилі окремих нерівностей.

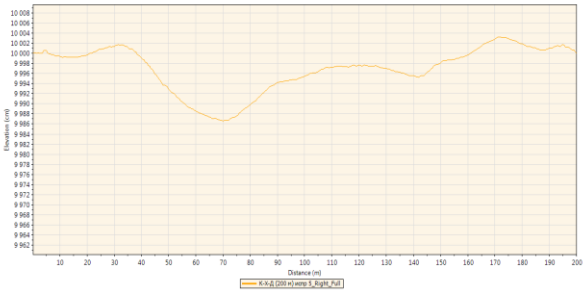

Рис. 3. Поздовжній профіль покриття на ділянці дороги Т-21-04 (15+000 км – 15+200 км)

Для обґрунтування точності вимірювання нерівностей на проїзній частині скористаємося дослідженнями, проведеними в Омську (СГАДА) [6] і Білорусі [7]. Відповідно до досліджень граничне значення нерівностей при задовільному стані

покриття становить від 4,9 мм до 6,1 мм, а капітальних типів покриття гранична нерівність від 4,6 мм до 5,4 мм. Згідно з українськими нормами [8] максимальна висота нерівності (амплітуда хвилі) має бути до 20 мм; окремі вибоїни допускаються завглибшки до 40 мм.

Скористаємося отриманими у ХНАДУ [9–11] залежностями для визначення коефіцієнту динамічності навантаження на дорожній одяг та кореляційною залежністю між рівністю покриття та коефіцієнтом динамічності:

$$K_{д} = 1 + \frac{\sqrt{0,25 \cdot \left(\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.}\right)^2 + h \cdot \Delta_{ст}}}{\left(1 + \frac{Q_{д.о.}}{Q_{к}} \cdot \beta\right) \cdot \Delta_{ст}} - \frac{0,5\left(\Delta_{ст} + \Delta_{д.о.}\right)}{\left(1 + \frac{Q_{д.о.}}{Q_{к}} \cdot \beta\right) \cdot \Delta_{ст}}; \quad (1)$$

$$K_{д} = 2,94207 - 3,1222 \cdot \exp\left(-\frac{IRI}{3,21747}\right), \quad (2)$$

де $K_{д}$ – коефіцієнт динамічності;

$\Delta_{ст}$ – статична деформація колеса від навантаження, м;

$\Delta_{д.о.}$ – деформація дорожнього одягу від динамічного навантаження, м;

h – висота нерівності, м;

$Q_{к}$ – вертикальне навантаження на колесо, кН;

$Q_{д.о.}$ – власна вага шарів дорожнього, що сприймають навантаження від колеса транспортного засобу, кН;

β – коефіцієнт приведення маси системи до точки удару, що коливається у діапазоні від 0,34 до 0,54 в залежності від конструкції дорожнього одягу;

IRI – показник рівності покриття, м/км.

Відповідно до залежності (1) – коефіцієнт динамічності при зміні висоти нерівності від 3 мм до 3,5 мм зростає на 8–9 %, а відповідно до залежності (2) та рис. 4 показник рівності покриття зростає на 12–13 %. За більшої висоти нерівностей від 10 мм зміна на 0,5 мм веде до зростання контактного тиску на 15–18 %, показник рівності покриття зростає на 22–25 %.

Таким чином, було встановлено, що гарантована точність визначення висоти нерівностей має бути не більше 0,5 мм. Для чого необхідно використовувати оптичні або електронно-оптичні нівеліри з роздільною здатністю 0,1–0,2 мм. Прецизійний нівелір на рейках міліметровою шкалою дозволяє отримувати точність відліків 0,1 мм.

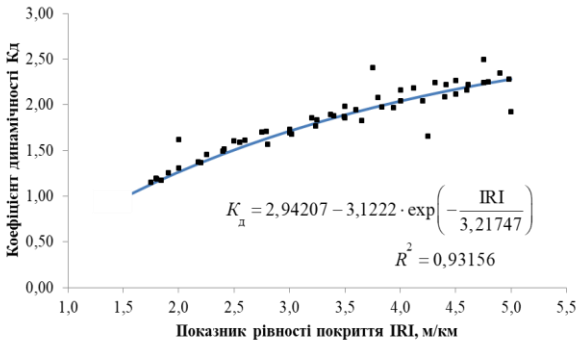

Рис. 4. Залежність коефіцієнта динамічності від показника рівності покриття

Висновки

На підставі наведеного вище аналізу метрологічного забезпечення геодезичних робіт при визначенні рівності дорожнього покриття можна зробити такі висновки:

1. Методика нівелювання покриття дає набагато більш детальну інформацію про профіль покриття і дає змогу оцінити та виявити найменші деформації на покритті вже на першому етапі їх розвитку, суттєво підвищує точність вимірювань та дозволяє виявити нерівності та визначити їх параметри.

2. Для ефективної роботи з приладом до початку нівелювання обов'язково слід виконати необхідні повірки, оскільки похибка у частки міліметру може призводити до неточного розрахунку величини динамічного навантаження на покриття та рівності покриття із досить суттєвими похибками.

3. Точність визначення висоти нерівностей має бути не більше 0,5 мм. Для чого необхідно використовувати оптичні або електронно-оптичні нівеліри.

Література

1. СОУ 45.2-00018112-078:2012. Автомобільні дороги. Оцінка рівності дорожніх покриттів за Міжнародним Індексом Рівності (IRI). [Чинний від 2012-02-20]. Київ : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2012. – 28 с.

2. Леонович И.И. Диагностика автомобильных дорог / Леонович И.И., Богданович С.В., Нестерович И.В. – Минск : «Новое знание», 2011. – 226 с.

3. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учеб. пос. / Сильянов В.В., Домке Э.Р. – Москва : Академия, 2008. – 348 с.

4. СТО МАДИ 02066517.1–2006. Дороги автомобильные общего пользования. Диагностика. Определение продольного микропрофиля дорожной поверхности и международного показателя ровности IRI. Общие требования и порядок проведения. – Москва : МАДИ, 2006. – 22 с.

5. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України від 05.06.2014 р. № 1314-VII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text

6. Герцог В.Н. Расчет дорожных одежд по критериям

ровности. Часть 1. Обоснование норм ровности покрытий / Герцог В.Н., Долгих Г.В., Кузин В.Н. // Инженерно-строительный журнал. – 2015. – №5(57). – С. 45–57.
7. Буртыль Ю.В. Взаимозависимости ровности покрытия и прочности дорожной одежды / Буртыль Ю.В., Леонович И.И. // Труды БГТУ. – 2011. – 2(140). – С. 86–92.
9. Саркисян Г.С. Взаимосвязь коэффициента динамичности нагружения и показателя ровности IRI дорожного покрытия / Саркисян Г.С., Ряпухин В.Н. // Автомобильные дороги и мосты. – 2020. – Вып. 1(25). – С. 44–49.
10. Саркісян Г.С. Обґрунтування параметрів розрахункового навантаження з урахуванням рівності покриття // Вісник ХНАДУ. – 2019. – Вип. 86. – С. 69–73. DOI: https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.69
11. Саркісян Г.С. Обґрунтування потрібної міцності нежорсткого дорожнього одягу за критерієм граничної рівності : дис. ... на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук за спеціальністю 05.22.11 / Саркісян Гор Саркісович. – Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 2021. – 285 с.

References

1. *Highways. Assessment of road surface equality according to the International Equality Index (IRI): SOU 45.2-00018112-078.* (2012). Kyiv: State Road Agency of Ukraine (Ukravtodor). [in Ukrainian]
2. Leonovich, I.I., Bogdanovich, S.V., Nesterovich, I.V. (2011). *Diagnostics of highways*. Minsk, New Knowledge. [in Russian]
3. Silyanov, V.V., Domke, E.R. (2008). *Transport and operational qualities of highways and urban streets*. Textbook. Moscow, Academy. [in Russian]
4. *Automobile roads for general use. Diagnostics. Determination of the longitudinal micro-profile of the road surface and the international roughness index IRI. General requirements and procedure: STO MADI 02066517.1-2006.* (2006). Moscow: MAHI. [in Russian]
5. *On metrology and metrological activity (Law of Ukraine).* No 1314-VII. (2014). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text [in Ukrainian]
6. Gertsog, V.N, Dolgikh, G.V., Kuzin, V.N. (2015). Calculation of road clothes according to roughness criteria. Part 1. Substantiation of the coating roughness standards. *Engineering and construction journal*, 5 (57), 45–57. [in Russian]
7. Burtul, Yu.V., Leonovich, I.I. (2011). Interdependence of evenness of a covering and durability of road clothes. *Proceedings of BSTU*, 2(140), 86–92. [in Russian]
9. Sarkisian, H.S., Ryapukhin, V.N. (2020). Relationship between the dynamic loading factor and the IRI flatness index of the road surface. *Automobile Roads and Bridges*, 1(25), 44–49. [in Russian]
10. Sarkisian, H.S. (2019). Substantiation of the parameters of the design load taking into account the equality of coverage. *Bulletin of the KhNAHU*, 86, 69–73. DOI: https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.69
11. Sarkisian, H.S. (2021). *Substantiation of the required strength of non-rigid pavement by the marginal roughness criterion. PhD dissertation (Technical sciences).* Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv. [in Ukrainian]

Рецензент: д-р техн. наук, професор В.П. Кожушко, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна.

Автор: САРКІСЯН Гор Саркісович
кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – gorsar14@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2343-4461

Автор: ТИМОШЕВСЬКИЙ Владислав Вікторович
кандидат економічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – tymoshevskyi@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3606-7229

Автор: УРДЗІК Сергій Миколайович
кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
E-mail – urdzick@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6914-1221

METROLOGICAL SUPPORT OF GEODETIC WORKS IN THE ROAD ROUGHNESS MEASURING

H. Sarkisian, V. Tymoshevskyi, S. Urdzik
Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

Most of the transport and operational indicators that directly affect the road roughness depend on the roughness of coverage. Therefore, the control and timely monitoring of the road roughness is an extremely important issue that needs the attention of road maintenance services. At monitoring of the road roughness it is most expedient to use a technique of leveling of a covering. The method of leveling the coating provides more detailed information about the coating and allows you to determine the smallest deformations on the road coating, which may be at the first stage of their development, especially at that stage of their development, and show roughness and various parameters. One of the main tasks of measurements in the process of performing geodetic works is not only to obtain the measurement result, but also to assess its reliability. The required quality of instrumental measurement can not be achieved without adhering to the principles of unity and the required accuracy of measurements, so much attention should be paid to the metrological support of geodetic works. The purpose of this article is to analyze the metrological support of geodetic works in determining the pavement roughness and substantiation of the required accuracy of measuring the non-rigid pavement roughness. On the basis of dependences for determining the coefficient of dynamic load on pavement and the correlation between the pavement roughness and the coefficient of dynamic load and on the basis of experimental data, the necessary accuracy of measuring the non-rigid pavement roughness is substantiated. Based on the analysis, it was found that the accuracy of determining the height of the irregularities should not exceed 0.5 mm, for which it is necessary to use optical or electron-optical levels.

Keywords: *metrological support, road roughness, geodetic works, longitudinal coating profile.*