

УДК 528.4: 625.72

А.Г. Батракова

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ВИКОРИСТАННЯ ВИСОКОТОЧНОГО НІВЕЛІРУ ПРИ ОЦІНЮВАННІ МІЦНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Проведено аналіз порівнянності результатів оцінки загального еквівалентного модуля пружності конструкції дорожнього одягу, що ґрунтуються на вимірюваннях чаші прогину за допомогою прецизійного нівеліру і результатах георадарного зондування. Точність і порівнянність методів визначено шляхом польових випробувань. Отримані дані дозволяють надати рекомендації щодо застосування методу вимірювань пружного прогину за допомогою прецизійного нівеліру разом з методом георадарного зондування для вирішення задач діагностики, реконструкції і капітального ремонту дорожніх одягів. Результати можуть знайти застосування для удосконалення методів моніторингу стану дорожніх одягів.

Ключові слова: *прецизійний нівелір, загальний еквівалентний модуль пружності, конструкція дорожнього одягу, чаша прогину.*

Постановка проблеми

Актуальність завдань оцінки поточного стану автомобільних доріг і прогнозування їх залишкового ресурсу обумовлена не тільки високою вартістю будівельних й ремонтних робіт, але й розміром збитків від незадовільного стану дорожніх одягів [1,2]. З другого боку, специфіка діагностики мережі автомобільних доріг визначається як властивостями матеріалів конструкцій дорожніх одягів, так й значною протяжністю об'єктів контролю. Це потребує розвитку та впровадження сучасних методів і засобів діагностики дорожніх одягів, що забезпечують одержання повної й достовірної інформації про всю сукупність характеристик конструктивних шарів дорожніх одягів у реальному масштабі часу. Аналіз літературних даних доводить, що сучасна діагностика автомобільних доріг проводиться з використанням: лабораторій вимірювання рівності [3]; приладів динамічного навантаження для визначення міцності дорожніх одягів методом динамічного навантаження [3, 4]; устаткування щодо визначення геометричних параметрів [5]; приладів для вимірювання коефіцієнта зчеплення [3, 5]; прогиномірів для визначення міцності дорожнього одягу методом статичного навантаження [3, 6, 7]; устаткування щодо візуального обстеження автомобільних доріг [2, 3, 8]; методів і технічних засобів підповерхневого зондування й неруйнівного контролю [9].

Як доводить аналіз [10], найбільший потенціал для оцінки поточного стану дорожніх одягів мають георадари, що застосовуються як самостійно, так й у комбінації з іншими технічними засобами діагностики автомобільних доріг. При обстеженні

автомобільних доріг георадарні дослідження використовуються для рішення двох основних завдань: оцінки потужності конструктивних шарів дорожнього одягу; виявлення дефектів і неоднорідностей у ґрунтовій основі, що впливають на стабільність і тривалість роботи дорожніх одягів. Тому при оцінці міцності дорожнього одягу можуть бути використані основні результати георадарної діагностики – товщина конструктивних шарів та їхній стан (наявність підповерхневих тріщин, зниження щільності, підвищення вологості конструктивних шарів). Використовуючи таку перевагу георадарного обстеження, як безперервність отримання інформації, можна визначити безперервний розподіл міцності конструкції дорожнього одягу за довжиною автомобільної дороги. З другого боку, оцінка міцності конструкції дорожнього одягу проводиться за допомогою інструментальних вимірювань, серед яких найбільш поширеними є методи, що ґрунтуються на вимірюванні пружного прогину (вертикальної деформації) під навантаженням, близьким до навантаження від розрахункового автомобіля. Головним недоліком даного методу є дискретність отримання даних та низька продуктивність обстеження

Метою цієї статті є обґрунтування порівнянності результатів оцінювання міцності дорожнього одягу з використанням даних георадарної діагностики з результатами вимірювання чаші прогинів під статичним навантаженням.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій

Аналіз попередніх досліджень доводить, що найбільший потенціал для оцінки поточного стану

дорожніх одягів мають імпульсні георадари, що застосовуються як самостійно, так і в комбінації з іншими технічними засобами діагностики автомобільних доріг [11]. При вимірюванні пружного прогину методами динамічного навантаження [3, 7] загальний еквівалентний модуль конструкції визначається [12]:

$$E_{\text{обш}} = ((G \cdot p \cdot D \cdot (1 - \mu^2)) / l) \cdot K, \quad (1)$$

де G – коефіцієнт, що враховує характер передавання навантаження на покриття (0,785 – при випробуваннях жорстким штампом;

0,6 – при випробуваннях гнучким штампом);

p – питомий тиск від нормативного навантаження, МПа;

D – діаметр круга, рівновеликого відбитку колеса під нормативним навантаженням, см; μ – коефіцієнт Пуассона;

l – фактичний пружний прогин, зведений до розрахункового навантаження, см;

K – кліматичний коефіцієнт, що призводить значення фактичного модуля пружності дорожнього одягу до розрахункової температури покриття 10°C і розрахунковому значенню вологості ґрунтів земляного полотна.

При вимірюванні прогину методами статичного навантаження [3, 13] загальний еквівалентний модуль пружності розраховується за формулою [12]:

$$E_{\text{обш}} = (p \cdot D \cdot (1 - \mu^2)) / l \cdot K. \quad (2)$$

Вимірювання чаші прогину під колесом автомобіля дозволяє визначити загальний еквівалентний модуль пружності земляного полотна і модуль пружності на поверхні основи. При цьому загальний еквівалентний модуль пружності земляного полотна визначається як середньоарифметичне від значень пружного прогину, що виміряний на відстані від 0,9 м до 2,4 м від центру прикладання навантаження [14, 15]:

$$E_{zn} = \left(\sum_{i=1}^n (p \cdot R^2 \cdot (1 - \mu^2)) / (l_i \cdot r_i) \right) / n, \quad (3)$$

де R – радіус відбитку колеса розрахункового навантаження, м;

l_i – величина прогину, зведеного до розрахункової температури, що видалений від центру прикладання навантаження на відстань r_i , м;

r_i – відстань від центру прикладання навантаження до точки вимірювання прогину (от 0,9 м до 2,4 м), м;

n – кількість точок вимірювання чаші прогину на відстані від 0,9 м до 2,4 м від центру прикладання навантаження.

Згідно з дослідженнями [15], модуль пружності на поверхні основи дорожнього одягу може бути

розрахований за формулою:

$$E_{\text{осн}} = \frac{1,21}{\lg(100 \cdot h)} \cdot \left[\frac{0,845 \cdot l_{0,3}}{l} + \frac{l_{0,6}}{l} \right] \cdot \left[E_p \cdot \left(1 - \frac{0,423 \cdot l_{0,3}}{l} + \frac{l_{0,6}}{l} \right) \right], \quad (4)$$

де h – товщина пакету асфальтобетонних шарів покриття, м;

$l_{0,3}, l_{0,6}$ – величина пружного прогину, зведеного до розрахункового навантаження та температури, на відстані 0,3 м і 0,6 м від центру прикладання навантаження відповідно, м.

Розрахунок загального еквівалентного модуля пружності конструкції потребує як знання товщини конструктивних шарів дорожнього одягу, так й вимірювання прогину поверхні конструкції під статичним навантаженням.

Для вимірювання прогинів поверхні дорожнього покриття під колесом розрахункового автомобіля при статичному навантаженні з наступною оцінкою міцності дорожнього одягу пропонується використання високоточного нівеліру [16]. Прецизійний нівелір, закріплений на штативі висотою близько 1 м, встановлюють на відстані 5 м від точки вимірювань. Точка вимірювання прогину призначається по вісі смузі нахату на поперечнику (відстань від крайки дорожнього покриття становить від 0,80 м до 1,00 м). Навантаження на заднє спарене колесо вантажного автомобіля повинно бути близьким до розрахункового стандартно навантаження [16].

Виклад основного матеріалу

Експериментальні дослідження проводилися з використанням: георадарного вимірювального комплексу «ОДЯГ» для визначення товщини та стану конструктивних шарів дорожнього одягу; прецизійного нівеліру НА-1 з ціною поділки 0,05 мм для вимірювання прогину конструкції дорожнього одягу під статичним навантаженням.

На першому етапі досліджень виконано георадарне зондування експериментальної ділянки дороги в поперечному та поздовжньому напрямках. За результатами обробки імпульсних сигналів георадару у програмі «GeoVisu» надано оцінку товщини шарів дорожнього одягу (табл. 1).

Таблиця 1
Результати інструментального визначення товщини шарів конструкції

Матеріал шару	Товщина шару, см	
	кern	обробка сигналів
Асфальтобетон	14,5	14,2
Щебенево-піщана суміш з доменних шлаків	17,0	18,0
Пісок мілкий	18,0	18,2
Суглинок важкий	-	-

Перевірка результатів з визначення товщини шарів конструкції проводилася шляхом відбору кернів. Розрахунок загального еквівалентного модуля пружності конструкції дорожнього одягу виконаний згідно з [13] та спирається на результати георадарного зондування щодо товщини та стану конструктивних шарів. Стан конструктивних шарів враховувався через поправочні коефіцієнти відповідно до [13].

На другому етапі досліджень загальний еквівалентний модуль пружності конструкції дорожнього одягу визначався шляхом вимірювання повної і пружної деформації конструкції дорожнього одягу під статичним навантаженням [15, 16]. Вимірювання проводилися з використанням прецизійного нівеліру НА-1. Навантаження покриття проводилося колесом автомобіля МАЗ-503 з параметрами: навантаження на вісь 12000 кг; розрахункове навантаження на колесо $Q_{розр} = 60$ кН; питомий тиск в шинах колеса $p_{ш} = 0,885$ МПа; діаметр відбитка колеса

$$D = \sqrt{\frac{40 \cdot Q_{розр}}{\pi \cdot p_{ш}}} = \sqrt{\frac{40 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,885}} = 28,0 \text{ см}; \text{ питомий}$$

$$\text{тиск на покриття } p = \frac{4 \cdot 6000}{3,14 \cdot 28^2} = 0,975 \text{ МПа.}$$

Отримання повної і пружної деформації в даній точці здійснювалося шляхом послідовного навантаження і розвантаження покриття з одночасним нівелюванням марки, що розташовувалася на випробувальній площадці. Для вилучення «грубих» помилок проводилося по чотири вимірювання в кожній точці у порядку:

- а) нівелір встановлюється на відстані 5-7 метрів від точки вимірювання прогину;
- б) на точку вимірювання прогину встановлюється нівелірна марка (рис. 1 а);
- в) фіксується відлік на барабані мікрометричного гвинта нівеліру (i_0);
- г) автомобіль під'їжджає таким чином, щоб нівелірна марка знаходилася між задніми спареними колесами у центрі осевого навантаження (рис. 1 б);
- е) автомобіль переїжджає на відстань 5 м від нівелірної марки (рис. 2). Через 4 – 5 хвилин фіксується відлік по нівеліру (i_2).

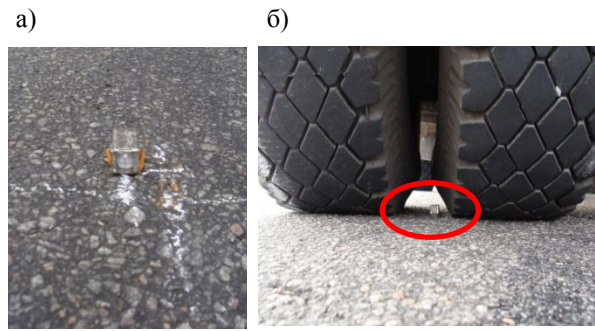


Рис. 1. Нівелірна марка між спареними колесами

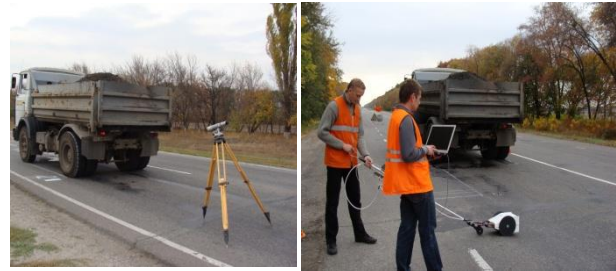


Рис. 2. Вимірювання чаші прогину

За результатами вимірювань розраховується повний (l_n), пружний ($l_{пр}$) і залишковий ($l_{зал}$) прогин дорожнього одягу (рис. 3) [13]:

$$\begin{aligned} l_{пр} &= i_1 - i_2 \cdot m; \\ l_n &= i_1 - i_0 \cdot m; \\ l_{зал} &= i_2 - i_0 \cdot m, \end{aligned} \quad (5)$$

де m – ціна поділок мікрометричного гвинта нівеліру, $m = 0,005$ мм.

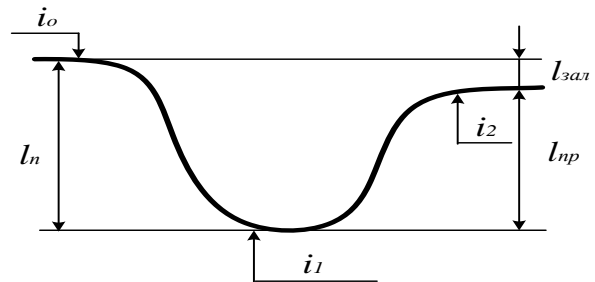


Рис. 3. Схема визначення повного, пружного і залишкового прогину

Результати вимірювань наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Журнал вимірювання прогинів

№ вимірювання	Відлік за нівеліром			Прогин, м		
	i_0	i_1	i_2	пружний $l_{пр}$	повний l_n	залишковий $l_{зал}$
1	10,00	25,4	14,5	0,0545	0,077	0,0225
2	10,00	24,3	12,9	0,057	0,0715	0,0145
3	10,00	25,7	12,7	0,065	0,0785	0,0135
4	10,00	26,2	14,7	0,0575	0,081	0,0235
5	10,00	25,1	14,6	0,0525	0,0755	0,023

За результатами вимірювання прогину визначено загальний еквівалентний модуль пружності (E_{np}) і модуль деформації (E_{δ}) конструкції дорожнього одягу [15]:

$$E_{np} = \frac{p \cdot D \cdot (1 - \mu^2)}{l_{np}}; \quad E_{\delta} = \frac{p \cdot D \cdot (1 - \mu^2)}{l_n}, \quad (6)$$

які склали: з результатами георадарного зондування – 324 МПа; за результатами вимірювання чаші прогинів – 340 МПа.

Відносна похибка розрахунку за результатами георадарного зондування становить 4,9 %.

Висновки

Результати розрахунку, що базуються на результатах георадарного зондування дорожнього одягу (визначення товщини конструктивних шарів дорожнього одягу та їх стану) з достатньо високою точністю збігаються з результатами польових обстежень дорожнього одягу (вимірювання чаші прогину), тобто результати є порівняними. Отримані дані дозволяють надати рекомендації щодо застосування методу вимірювань пружного прогину за допомогою високоточного нівеліра разом з методом георадарного зондування при діагностиці дорожніх одягів.

Література

1. Васильев, А. П. Принципы прогнозирования транспортно - эксплуатационного состояния дорог [Текст] / А.П. Васильев, Ю.М. Яковлев, М.С. Коганзон // Автомобильные дороги. – 1993. – № 1. – С. 8–10.
2. Автомобільні дороги. Оцінка і реєстрація стану дорожніх покриттів і технічних засобів автомобільних доріг автоматизованими системами відеодіагностики [Текст]: СОУ 45.2-00018112-080:2011. – Чинний від 2012-03-01. – К. : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2012. – 45 с.
3. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог [Текст]: ОДН 218.0.006-2002. – Действующий от 2002–10-03. – М.: Министерство транспорта российской федерации. Государственная служба дорожного хозяйства России (Росавтодор), 2002. – 196 с.
4. Greenslade, F. R. (2016). Electronic Upgrade of a Standard Benkelman Beam to Enable Capture of Full Bowl Deflections – *Springer, Cham*, 659-669. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-31942797-3_43
5. Ceylan, H., Guclu, A., Birkan Bayrak, M., Gopalakrishnan, K. (2007). Nondestructive Evaluation of Iowa Pavements-Phase I : Final Report, *Center for Transportation*, 160.
6. Tayabji, S.D., Lukanen, E.O. (2000). Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli: Third Volume. *American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, P.A.*, 548.
7. Ремонт и содержание автомобильных дорог [Текст]: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т. II / [А.П. Васильев, В.К. Апестин, В.И. Баловнев и др.]; под ред. А.П. Васильева. – М.: *Информавтодор*, 2004. – 507 с.

8. Pavement Condition Executive Summary: Report MnDOT/OMRR-PM-2011-01 (2011). *Minnesota, Department of Transportation Minnesota*, 26.
- 9 Lakkavalli, V.A., Falls, L.C. (2008). Model for Real-Time Monitoring of Pavements. *7th International Conference on Managing Pavement Assets, 23-28 June, 2008, Calgary Alberta, Canada : Proceedings. Calgary*, 100–109.
10. Jol Harry, M. (2009). Ground penetrating radar, theory and applications. *Amsterdam, Elsevier B.V.*, 508.
11. Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України [Текст]: П-Г.1-218-113:2009. – Чинний від 2009-07-01. – К.: Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2009. – 258 с.
12. Оценка прочности нежестких дорожных одежд [Текст]: ОДН 218.1.052-2002. – Действующий от 2002-11-19. – М.: Министерство транспорта российской федерации. Государственная служба дорожного хозяйства (Росавтодор), 2003. – 45 с.
13. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу [Текст]: ВБН В.2.3-218-186-2004. – Чинний від 2005-01-01. – К. : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2005. – 176 с.
14. Буртыль, Ю.В. Совершенствование методов оценки транспортно - эксплуатационного состояния автомобильных дорог [Текст] / Ю. В. Буртыль, И. И. Леонович // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 8. – С. 95–105.
15. Рекомендации по оценке прочности нежестких дорожных одежд по чаше прогиба [Текст]: ДМД 02191.5.008-2009. – Действующий от 2009-09-10. – Минск: Минтранс, 2009. – 15 с.
16. Основи та підвалини будинків та споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей: ДСТУ Б В.2.1-17:2009. — Чинний від 2010-01-01 — К.: М-во регіонального розвитку та будівництва України, 2009. – 17 с.

References

1. Vasilyev, A., Yakovlev, Yu., Koganzon M.S. (1993). Principles of forecasting the transport-operational condition of roads. *Automobile roads, 1*, 8-10.
2. Automobile Roads. Assessment and registration of road pavement conditions and technical means of roads by automated systems of video diagnostics (2012): *SOU 45.2-00018112-080:2011*, 45.
3. Rules for diagnosing and assessment of the highways condition (2002) : *Industry road standards 218.0.006-2002*, 196.
4. Greenslade, F. R. (2016). Electronic Upgrade of a Standard Benkelman Beam to Enable Capture of Full Bowl Deflections – *Springer, Cham*, 659-669. Retrieved from https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-31942797-3_43
5. Ceylan, H., Guclu, A., Birkan Bayrak, M., Gopalakrishnan, K. (2007). Nondestructive Evaluation of Iowa Pavements-Phase I : Final Report, *Center for Transportation*, 160.
6. Tayabji, S.D., Lukanen, E.O. (2000). Nondestructive Testing of Pavements and Backcalculation of Moduli: Third Volume. *American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, P.A.*, 548.
7. Vasilyev, A.P., Apestin, V.K., Balovnev, V.I. (2004). Repair and maintenance of highways : A reference roadway

encyclopedia. *Moscow, Informatodor, II*, 507

8. Pavement Condition Executive Summary: Report MnDOT/OMRR-PM-2011-01 (2011). *Minnesota, Department of Transportation Minnesota*, 26.

9 Lakkavalli, V.A., Falls, L.C. (2008). Model for Real-Time Monitoring of Pavements. *7th International Conference on Managing Pavement Assets, 23-28 June, 2008, Calgary Alberta, Canada : Proceedings. Calgary*, 100–109.

10. Jol Harry, M. (2009). Ground penetrating radar, theory and applications. *Amsterdam, Elsevier B.V.*, 508.

11. Technical rules for repair and maintenance of automobile roads of the general use of Ukraine : П-Г.1-218-113:2009. (2009). *Kiev, State Road Service of Ukraine (Ukravtodor)*, 258

12. Evaluation of the strength of non-rigid pavements (2003) : Industry road standards 218.1.052-2002. *Moscow, Ministry of Transport of the Russian Federation. State Road Service (Rosavtodor)*, 45.

13. Constructions of transport. Flexible pavements (2005) Departmental construction standards B.2.3-218-186-2004. *Kiev, State Road Service of Ukraine (Ukravtodor)*, 176.

14. Butryl, Yu., Leonovich, I. (2010). Improvement of methods for assessing the transport and operational condition of highways. *Roads and bridges*, 8, 95–105.

15. Recommendations for evaluating the strength of non-rigid pavements with the help of a bowl of deflection (2009): DMD 02191.5.008-2009. *Minsk, Ministry of Transport and Communications*, 15.

16. Basics and foundations of buildings and constructions. Soils. Methods of laboratory determination of physical properties (2009): State standard of Ukraine Б В.2.1-17:2009. *Kiev, Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine*, 17.

Автор: БАТРАКОВА Анжеліка Геннадіївна
доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри
вишукувань та проектування доріг і аеродромів
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет
E-mail - rp@khadi.kharkov.ua
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4067-4371>

APPLYING OF HIGH-QUALITY LEVEL FOR ASSESSMENT OF THE ROAD PAVEMENTS DURABILITY

A. Batrakova

Kharkiv National Automobile and Highway University, Ukraine

Based on the results of the comparative study of methods and technical capabilities of the modern GPS, new approaches for solving such actual practical problems as monitoring of the current state of road pavements and engineering constructions are proposed. During the provided analysis, both the current world standards and the development of domestic scientists were applied.

The proposed approach can form the basis for a new scientific direction, consisting of combining GPS technologies and non-destructive testing to improve the quality of the monitoring of the current state of the roads pavements.

The scheme of receiving and transmitting data from the GPR to computer that has anchorage to a selected section of the highway is proposed. A layout of the data transmission scheme has been carried out and a device that coordinates the logic voltage levels of the signals used in the control board has been confirmed the high potential of the proposed approach.

The software for obtaining in automatic mode data of the monitoring of highways during the movement of the laboratory is developed. The obtained data are used to assess the current status of roads design, both on their own and in the composition of the respective databases.

It should be noted separately that all data after processing and interpretation are linked to the corresponding GPS databases, which ensures high efficiency of their further application for optimization of repair and maintenance of highways.

Keywords: precision level, total equivalent modulus of elasticity, construction of pavement, bowl of deflection.