

КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД НЕРУЙНІВНОЇ ДІАГНОСТИКИ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Батракова А. Г., Шелкова І. С., Дорожко Є. В., Урдзік С. М., Назаренко І. В.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Досліджено ефективність комплексного методу неруйнівної діагностики дорожнього одягу, що поєднує георадарне обстеження та лазерне 3D-сканування. Методи дозволили виявити приховані дефекти та визначити якість проведених ремонтних робіт на дослідній ділянці.

Ключові слова: георадар, георадарний комплекс ОДЯГ-1, неруйнівна діагностика, лазерне сканування, дорожній одяг.

Вступ

Надійність транспортної інфраструктури залежить від своєчасного аналізу технічного стану дорожнього одягу. Навіть локальні дефекти можуть стати причиною прискореного руйнування, що знижує пропускну здатність і безпеку руху. Складність полягає в тому, що значна частина руйнувань та деформацій формується у прихованих шарах дорожнього одягу, і їх своєчасне виявлення потребує застосування спеціалізованих методів контролю.

У світовій практиці активно впроваджуються технології неруйнівної діагностики, які дають змогу отримувати достовірну інформацію про структуру та геометрію покриття без порушення його цілісності. Високу ефективність продемонстрували два підходи: георадарний пошук для визначення внутрішньої будови конструкції та лазерне 3D-сканування для просторового відображення поверхневих деформацій [1–3].

Аналіз публікацій

Визначення технічного стану автомобільних доріг в Україні здійснюється відповідно до ДСТУ 8954:2019 [4], який регламентує методику кількісного аналізу дефектності дорожнього одягу та критерії призначення ремонтних робіт.

Міжнародний досвід свідчить про широке застосування георадарних технологій для виявлення прихованих дефектів конструктивних шарів. Численні закордонні дослідження валидували можливості георадара для ідентифікації внутрішніх пошкоджень дорожнього одягу, зокрема відшарування, порожнини та зони підвищеної вологості, з перспективами інтеграції методів машинного навчання для автоматизації аналізу отриманої інформації [5–8].

Паралельно у світовій практиці активно розвиваються технології наземного лазерного

го сканування для детального обстеження поверхневих дефектів. Наземні лазерні сканери забезпечують міліметрову точність вимірювань, що дозволяє кількісно аналізувати параметри тріщин, колійності, вибоїн та поверхневих руйнувань з визначенням площі пошкоджень, ширини тріщин та їх просторового розподілу [9–10].

Аналіз публікацій демонструє, що попри широке застосування окремих методів неруйнівної діагностики, питання їх системної інтеграції для комплексного аналізу технічного стану дорожнього одягу потребує подальшого дослідження в умовах української дорожньої мережі.

Мета та постановка завдання

Метою роботи є комплексна діагностика технічного стану дорожнього одягу на відновленій ділянці вулиці Чернишевської в місті Харків способом поєднання георадарного обстеження та наземного лазерного 3D-сканування.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- провести георадарні вимірювання для аналізу внутрішньої структури дорожнього одягу;
- здійснити наземне лазерне 3D-сканування для фіксації геометричних параметрів поверхневих деформацій;
- визначити рівень ефективності комплексного методу для діагностики дорожнього одягу.

Георадарна діагностика внутрішньої структури дорожнього одягу

Для аналізу внутрішньої структури дорожнього одягу на досліджуваній ділянці застосовувався георадарний комплекс ОДЯГ-1 з антенним блоком центральної частоти

1,2 ГГц (рис. 1). Обстеження проводилося за стандартною методологією неруйнівного контролю з дотриманням регламентованих технічних параметрів. Особливу увагу приділено зоні поточного ремонту, де спостерігались ознаки розвитку дефектів у вигляді просідання дорожнього одягу, що прогресувало.



Рис. 1. Георадарний комплекс ОДЯГ-1

Візуальне обстеження ділянки поточного ремонту виявило локальну зону просідання дорожнього одягу, яка була позначена білою крейдою для точного позиціонування під час подальших вимірювань (рис. 2).

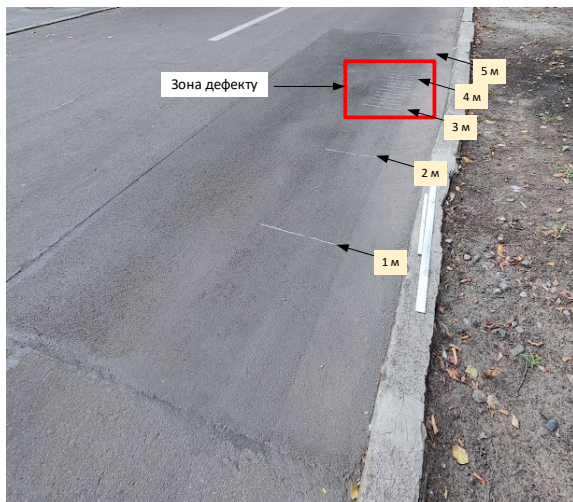


Рис. 2. Позначення зони просідання дорожнього одягу

Інструментальні вимірювання здійснювалися з використанням металевої лінійки з міліметровими поділками, що забезпечило високу точність фіксації вертикальних деформацій дорожнього одягу на ділянці поточного ремонту (рис. 3).



Рис. 3. Інструментальне вимірювання дефекту дорожнього одягу

Моніторинг деформаційних процесів здійснювався протягом трьох місяців: з червня по серпень 2025 року зі щомісячною періодичністю вимірювань. Під час інструментальних досліджень зафіксували максимальні значення просідання до 2,0 см в зоні дефекту, що підтвердило розвиток деформаційних процесів у дорожньому одязі після проведення ремонтних робіт. Динаміка прогресування просідання дорожнього одягу наведена на рис. 4.

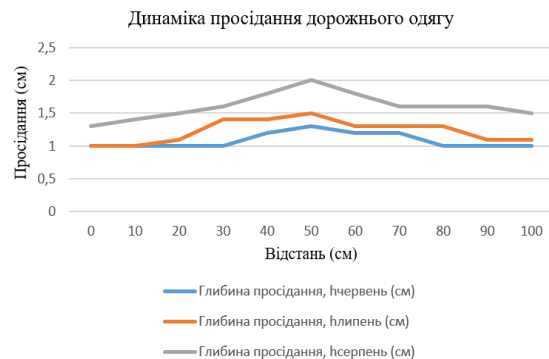


Рис. 4. Динаміка просідання дорожнього одягу на ділянці поточного ремонту

Георадарні пошуки зони поточного ремонту здійснювали з метою виявлення внутрішніх структурних аномалій, що могли б пояснити причини поверхневих деформацій. Варто зазначити, що ремонтні роботи були проведені через аварійний прорив труби, яка проходить під проїзною частиною.

Основою методології досліджень було застосування методу декомпозиції сигналу, який дозволяє записати відбиття від поверхні конструкції дорожнього одягу S як суму відбиттів від окремих шарів:

$$S = s1 + s2 + s3. \quad (1)$$

На радарограмі поздовжнього профілю через ділянку поточного ремонту (рис. 5) зафіксовано ключові особливості стану всього досліджуваного об'єкта.

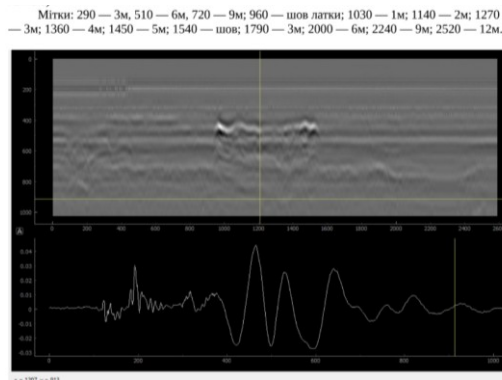


Рис. 5. Радарограма ділянки поточного ремонту

Під час аналізу встановлено кардинальні відмінності між незмінними ділянками поза ремонтом та зоною поточного ремонту. На ділянках поза ремонтом спостерігається відносно однорідна структура відбиттів, що підтверджує стабільність конструкції дорожнього одягу.

Натомість у зоні відремонтованої ділянки наявне аномальне відбиття на глибині 4,2 нс, що вказує на структурні порушення відновленого покриття: можливі порожнини, недостатнє ущільнення або зміну щільності матеріалів. Додатково проявляється локальне відбиття з глибини, що підтверджує наявність підземної комунікації у зоні дефекту дорожнього одягу.

Наземне лазерне 3D-сканування поверхневих дефектів покриття

Для доповнення характеристики технічного стану дорожнього покриття та фіксації геометричних параметрів виявлених поверхневих деформацій було застосовано технологію наземного лазерного 3D-сканування з використанням сканера Trimble TX6 (рис. 6) [2].

Основою технології лазерного сканування є використання лазерних променів для вимірювання відстані до кожної точки поверхні

покриття через створення хмари точок, що відображає точну тривимірну геометрію об'єкта. Метод дозволяє оперативно отримувати великі обсяги високоточних просторових даних без фізичного контакту з досліджуваною поверхнею.

Схема процесу лазерного сканування передбачала розміщення станції стояння сканера з огляду на особливості зони поточного ремонту та локалізації виявлених деформацій.



Рис. 6. Лазерний сканер Trimble TX6

Сканер встановлювався на треногу високою не менше 1,5 м для забезпечення оптимального кута огляду поверхневих дефектів. Перед початком сканування здійснювалося горизонтування приладу та внесення поправок на температурні та барометричні умови для компенсації впливу рефракції.

Результатом лазерного сканування є створення високоточної тривимірної хмари точок досліджуваної ділянки (рис. 7).

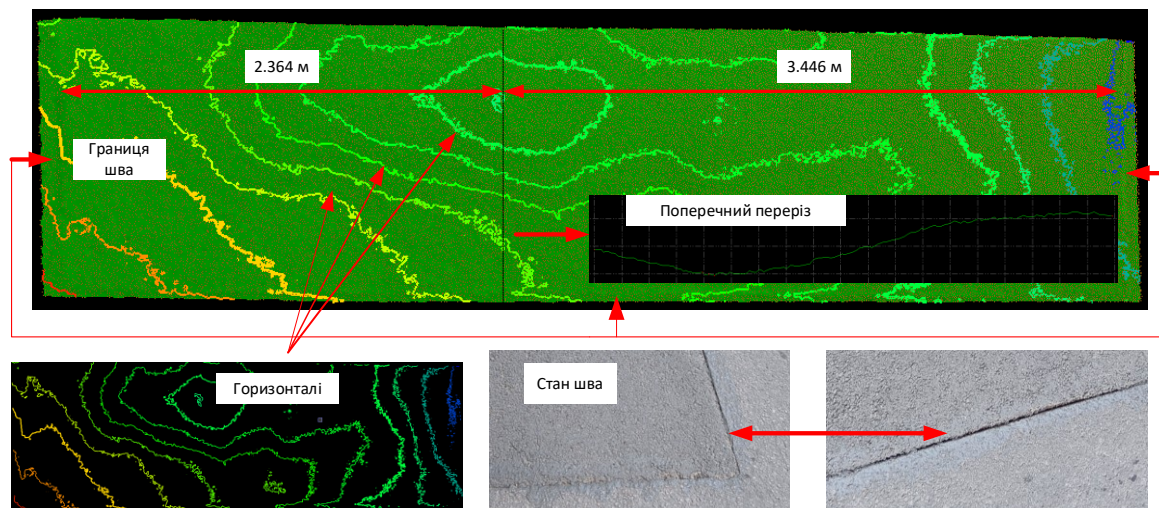


Рис. 7. Триангуляційна модель для здійснення аналізу стану дорожнього одягу

Отримана хмара точок містить просторові координати кожної точки поверхні покриття з міліметровою точністю, що дозволяє виявляти та кількісно аналізувати параметри поверхневих деформацій, зокрема глибину просідань, площу враження та просторовий розподіл дефектів.

Висновки

Застосування комплексного методу забезпечує оперативний та об'єктивний аналіз технічного стану дорожнього одягу без порушення його цілісності, що робить його оптимальним інструментом для контролю якості ремонтних робіт та моніторингу транспортної інфраструктури.

Фінансування

Дослідження проведено за грантової підтримки Національного фонду досліджень України в межах проєкту «Розроблення комплексу методів і засобів георадарної діагностики для оцінювання надійності об'єктів критичної транспортної інфраструктури».

Література

1. Батракова А. Г., Батраков Д. О. Георадарні та геодезичні технології в дорожній галузі. *LAP LAMBERT Academic Publishing*, 2018. 212 с. ISBN 978-6137383087.
2. Особливості технології наземного лазерного 3D-сканування для аналізу стану дорожнього покриття / А. Г. Батракова та ін. *Вісник ХНАДУ*. 2024. Вип. 107. С. 124–129. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.107.0.124>
3. Розробка алгоритму визначення товщини конструктивних шарів дорожнього одягу та пошуку локальних включень методами підповерхневої георадіолокації / А. Г. Батракова та ін.: зб. наукових праць *Вісник ХНАДУ*. Харків: ХНАДУ. Вип. 106, 2024. С. 125–132. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.125>;
4. ДСТУ 8954:2019. Автомобільні дороги. Оцінювання рівня дефектності дорожнього одягу [Чинний від 2021-01-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 36 с. (Національний стандарт України).
5. GPR monitoring for road transport infrastructure: a systematic review and machine learning insights / M. A. Rasol et al. *Construction and Building Materials*. 2022. Vol. 324. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126686.
6. Zou L., Li Y., Alani A. M. Utilizing dual polarized array GPR system for shallow urban road pavement foundation in environmental studies: a case study. *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16. № 23. P. 4396. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16234396>
7. Application of Ground Penetrating Radar in the Assessment of Aged Roads: Focus On Complex Structures Under Different Weather Conditions / E. Abdelsamei et al. *Pure Appl. Geophys.* 181. 3633–3651 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03604-y>
8. Research on the improvement method of imbalance of ground penetrating radar image data / L. Cao et al. *Scientific Reports*. 2025. Vol. 15. Article number: 2859. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02063-1>
9. Applications of terrestrial laser scanner in detecting pavement surface defects / A. Azam et al. *Processes*. 2023. Vol. 11, № 5. P. 1370. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11051370>
10. Automatic settlement assessment of urban road from 3D terrestrial laser scan data / X. Zhang et al. *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*. 2025. Vol. 4 Issue 1. P. 100142. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iintel.2025.100142>

References

1. Batrakova, A. H., & Batrakov, D. O. (2018). *Heoradarni ta heodezychni tekhnolohii v dorozhnii haluzi* [Ground-penetrating radar and geodetic technologies in the road sector]. LAP LAMBERT Academic Publishing. ISBN 978-6137383087.
2. Batrakova, A. H., Shelkova, I. S., Dorozhko, Y. V., Sarkisian, H. S., & Urdzik, S. M. (2024). Osoblyvosti tekhnolohii nazemnoho lazernoho 3D-skanuvannia dlia analizu stanu dorozhnogo pokryvu [Features of terrestrial laser 3D scanning technology for road surface condition analysis]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnogo universytetu*, 107, 124–129. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.107.0.124>
3. Batrakova, A. H., Dorozhko, Ye. V., Urdzik, S. M., & Shelkova, I. S. (2024). Rozrobka alhorytmu vyznachennia tovshchyny konstruktyvnykh shariv dorozhniogo odiahu ta poshuku lokalnykh vkluchchen metodamy pidpoverkhnevoi heoradiolokatsii [Development of an algorithm for determining the thickness of structural layers of pavement and detecting local inclusions using ground-penetrating radar methods]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnogo universytetu*, (106), 125–132. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.106.0.125>
4. Derzhavnyi standart Ukrainy (DSTU) 8954:2019. (2019). *Avtomobilni dorohy. Otsiniuvannia rivnia defektnosti dorozhniogo odiahu* [Highways. Evaluation of pavement defects level]. Kyiv: DP «UkrNDNTs». (Natsionalnyi standart Ukrainy) [National Standard of Ukraine].
5. Rasol, M. A., et al. (2022). GPR monitoring for road transport infrastructure: A systematic review and machine learning insights. *Construction and Building Materials*, 324, 126686. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126686>
6. Zou, L., Li, Y., & Alani, A. M. (2024). Utilizing dual polarized array GPR system for shallow urban road pavement foundation in environmental studies: A case study. *Remote Sensing*, 16(23), 4396. <https://doi.org/10.3390/rs16234396>

7. Abdelsamei, E., Sheishah, D., Runa, B. et al. (2024). Application of ground penetrating radar in the assessment of aged roads: Focus on complex structures under different weather conditions. *Pure and Applied Geophysics*, 181, 3633–3651. <https://doi.org/10.1007/s00024-024-03604-y>
8. Cao, L., Liu, L., Lu, C., & Chen, R. (2025). Research on the improvement method of imbalance of ground penetrating radar image data. *Scientific Reports*, 15, 2859. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02063-1>
9. Azam, A., Alshehri, A. H., Alharthai, M., El-Banna, M. M., & Ahmed, A. (2023). Applications of terrestrial laser scanner in detecting pavement surface defects. *Processes*, 11(5), 1370. <https://doi.org/10.3390/pr11051370>
10. Zhang, X., Wang, Q., Fang, H., & Ying, G. (2025). Automatic settlement assessment of urban road from 3D terrestrial laser scan data. *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, 4(1), 100142. <https://doi.org/10.1016/j.jintel.2025.100142>

Батракова Анжеліка Геннадіївна, д.т.н., проф. каф. проектування доріг, геодезії і землеустрою, agbatr@ukr.net, тел. +38 050-323-13-78,

Шелкова Ірина Сергіївна, асист. каф. проектування доріг, геодезії і землеустрою, irinagunko98@gmail.com, +38 099-481-32-19,

Дорошко Євген Вікторович, к.т.н., доц. каф. проектування доріг, геодезії і землеустрою, evgeniy.dorozhko@gmail.com, +38 068-069-97-22,

Урдзік Сергій Миколайович, к.т.н., доц. каф. проектування доріг, геодезії і землеустрою, urdzick@gmail.com, +38 067-593-50-92,

Назаренко Ірина Валентинівна, аспірант каф. проектування доріг, геодезії і землеустрою, iryna379nazarenko@gmail.com, +38 066-828-86-39, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 2561002, м. Харків, Україна.

Method of non-destructive road pavement diagnostics

Abstract. Problem. The reliability of transport infrastructure depends on timely assessment of road pavement technical condition. Even local defects can cause accelerated deterioration, reducing traffic capacity and road safety. The complexity lies in the fact that a significant part of damage and deformation occurs in hidden layers of road pavement, and their timely detection requires specialized control methods. Traditional diagnostic methods have significant limitations as they are destructive, require considerable material costs and time. **Goal.** The aim of this work is comprehensive diagnostics of road pavement technical condition on the restored section of Chernyshevskaya Street in Kharkiv by combining ground penetrating radar survey and terrestrial laser 3D scanning. The study focuses on evaluating the effectiveness of the integrated method for road pavement diagnostics. **Methodology.** The research

utilized the ODYAG-1 ground penetrating radar complex with antenna block of 1.2 GHz central frequency for assessing the internal structure of road pavement. The survey was conducted according to standard non-destructive control methodology. Terrestrial laser 3D scanning was performed using Trimble TX6 scanner to capture geometric parameters of surface deformations. **Results.** Ground penetrating radar surveys of the current repair zone revealed key structural anomalies. On sections outside repair, relatively homogeneous reflection structure was observed, confirming stability of road pavement construction. In contrast, the repaired area clearly showed abnormal reflection at 4.2 ns depth, indicating structural violations of the restored pavement - possible voids, insufficient compaction, or material density changes. Instrumental studies recorded maximum subsidence values up to 2.0 cm in the defect zone, confirming development of deformation processes in road pavement after repair works. Laser scanning results created high-precision three-dimensional point cloud of the studied section with millimeter accuracy, allowing quantitative assessment of surface deformation parameters. **Originality.** The research demonstrates integration of ground penetrating radar technology and terrestrial laser 3D scanning for comprehensive road pavement diagnostics. **Practical Value.** The developed integrated approach enables rapid surveying with possibility of operation in urban conditions without traffic interruption, providing relatively high accuracy and low cost compared to destructive methods. Detected defects in the repair zone require immediate intervention to prevent pavement destruction.

Key words: ground penetrating radar, ODYAG-1 radar complex, non-destructive diagnostics, laser scanning, road pavement.

Batrakova Angelika, Professor, Doct. of Science, Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4067-4371>, agbatr@ukr.net,

Shelkova Iryna, assistant, Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2562-2175>, irinagunko98@gmail.com,

Dorozhko Yevhen, Ph.D., Assoc. Prof. Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2894-2131>, evgeniy.dorozhko@gmail.com,

Urdzik Serhii, Ph.D., Assoc. Prof. Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6914-1221>, urdzick@gmail.com

Nazarenko Iryna, PhD student, Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8516-1433>, iryna379nazarenko@gmail.com
Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.