

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО 3D-СКАНУВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНУ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ

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

Анотація. У статті розглядається технологія наземного лазерного 3D-сканування для аналізу стану дорожнього покриття. Розглянуто особливості цієї технології, яка дозволяє забезпечити високу точність, швидкість процесу отримання інформації з можливістю визначення й позиціонування дефектів на покритті дорожнього одягу. Запропоновано рекомендації щодо використання технології наземного лазерного 3D-сканування під час процесу аналізу.

Ключові слова: наземне лазерне 3D-сканування, моніторинг, дефекти покриття дорожнього одягу, лазерний сканер Trimble TX6, хмара точок.

Вступ

Лазерне 3D-сканування є сучасною технологією, що активно використовується в різноманітних галузях для створення високоточних тривимірних моделей об'єктів. Процес цієї технології полягає у використанні лазерних променів для вимірювання відстані до кожної точки об'єкта, створюючи хмару точок, що відображає точну геометрію поверхні. Це надає можливість швидко та ефективно отримувати детальну інформацію про поверхню та структуру об'єктів, незалежно від їхньої складності чи масштабу. Завдяки своїй універсальності 3D-сканування застосовується в архітектурі, будівництві, археології та багатьох інших сферах. Завдяки високій точності та швидкості отримання інформації, можливості побудови тривимірних моделей поверхні в дорожньому будівництві доцільно застосовувати 3D-сканування під час діагностики й аналізу стану дорожнього покриття, проектування ремонтних робіт, визначення обсягів матеріалів.

Незважаючи на очевидні переваги 3D-сканування, його не використовують у дорожньому будівництві через складність оброблення інформації даних та недостатню розроблену технологією його застосування.

Аналіз публікацій

Моніторинг стану дорожнього покриття в усьому світі є важливою складовою оптимального управління транспортною інфраструктурою будь-якої країни. Від точності отриманої інформації про стан дорожнього покриття залежить собівартість перевезень, вартість експлуатаційного утримання та ремонтних робіт. Тому в більшості досліджень аналізується процес розвитку методів отримання інформації про стан дорожнього покриття, методів оцінювання та прогнозування стану дорожнього покриття.

У дослідженнях розглядаються сучасні методи пошуку та оброблення інформації про стан дорожнього покриття: від традиційних методів візуального аналізу [1–5] до високотехнологічних рішень, зокрема георадарних технологій, які дозволяють визначити внутрішній стан дорожнього покриття та виявити приховані руйнування в конструкції дорожнього одягу [6, 7].

Застосування лазерного 3D-сканування забезпечує високу точність створення тривимірних моделей дорожнього покриття. Ця технологія дозволяє фіксувати найменші дефекти поверхні доріг, що сприяє їх детальному аналізу [8–10]. В Україні лазерне 3D-сканування тільки починає інтегруватися в галузь дорожнього будівництва, і можливість його застосування вже регламентується нормативними документами, де визначені процеси моніторингу [11–13]. Крім того, для ефективного та загального застосування технології 3D-сканування потрібно розроблення детальних рекомендацій щодо процесів геодезичних зйомок та подальшого оброблення отриманої інформації.

Мета та постановка завдання

Метою статті є розроблення технології наземного лазерного 3D-сканування та надання рекомендацій щодо використання лазерних сканерів для моніторингу стану дорожнього покриття. Для досягнення поставленої мети необхідно здійснити такі процеси:

- дослідити можливості застосування наземного лазерного сканування (НЛС) на ділянці дороги;
- визначити основні параметри знімання: оптимальну кількість станцій для сканування та вимоги до їх розміщення;
- розробити рекомендації для ефективного використання цієї технології під час моніторингу дорожнього покриття.

Основні види дефектів покриття дорожньої конструкції, які можуть бути виявлені за допомогою 3D-сканування

Як доводить попередній досвід використання лазерного 3D-сканера на автомобільних дорогах загального користування, основними дефектами дорожнього покриття, які можуть бути виявлені за допомогою 3D-сканування, є деформації та руйнування, що виникають в дорожньому покритті під час експлуатації під дією транспортного навантаження та кліматичних факторів, а також через змінювання водно-теплого режиму земляного полотна. З позицій лазерного сканування ці дефекти можуть бути класифіковані за типом розповсюдження [14]:

– лінійні (тріщини, руйнування крайки дорожнього одягу, руйнування деформаційних швів, колійність, зміщення матеріалу покриття тощо (рис. 1);



Рис. 1. Лінійні дефекти [14]

– площинні (сітка тріщин, вибоїни, викришування, лущення, просідання, проломи тощо (рис. 2).

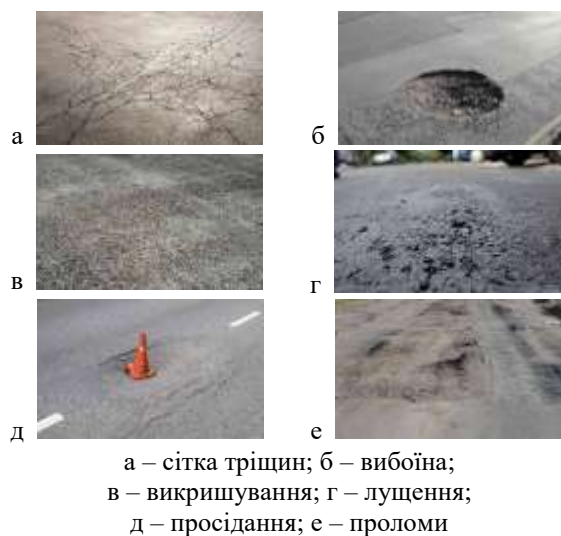


Рис. 2. Площинні дефекти [14]

Особливості налаштування наземного лазерного 3D-сканера

На ринку геодезичного обладнання на сьогодні представлена велика кількість НЛС. Основними технічними характеристиками, що дозволяють оцінити їхні можливості, є такі:

- дальність дії;
- точність вимірювання відстаней;
- швидкість процесу вимірювань;
- мінімальний кутовий крок сканування;
- кут поля зору;
- діапазони допустимих робочих температур і зовнішніх умов;
- клас безпеки лазера.

Для оцінювання стану дорожнього покриття оптимально використовувати НЛС середнього радіуса дії, які здатні здійснювати вимірювання з точністю до декількох міліметрів на відстанях до 80–100 м.

Розглянемо технічні характеристики сканера Trimble TX6, який буде використовуватися в подальшій роботі. Trimble TX6 належить до середнього класу, забезпечуючи дальність дії до 80 метрів із можливістю її збільшення до 120 метрів. Сканер забезпечує високу точність вимірювань до 2 мм, що робить його ефективним приладом для точного знімання в різних умовах.

Швидкість сканування досягає 500 000 точок за секунду. Важливо зазначити, що робочий температурний режим сканера змінюється в межах від 0 до 40 °С. Дотримання цього температурного діапазону є критично важливим для забезпечення стабільності роботи пристрою, а також для запобігання його можливим пошкодженням. Також Trimble TX6 має широкий кут поля зору (рис. 3), що забезпечує охоплення великої площі під час одного знімання.

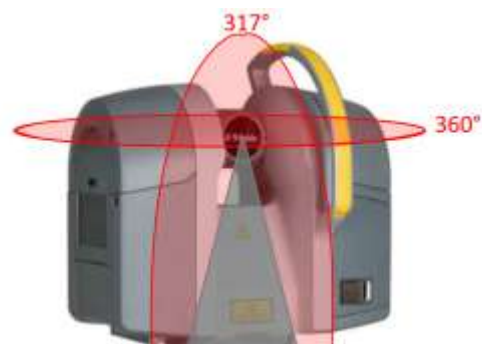


Рис. 3. Поле зору сканера Trimble TX6

Перед початком сканування потрібно:

- переконатися в наявності всіх необхідних компонентів сканера (сканер, тринога, блок живлення тощо);

– визначити параметри об'єкта (довжину, ширину, можливі перешкоди (дерева, будівлі, транспорт)) і стан покриття.

Триногу доцільно встановлювати на висоту не нижче ніж 1,5 м, що є оптимальним для детальної фіксації поверхневих дефектів та елементів ситуації (рис. 4).



Рис. 4. Мінімальна висота триноги для визначення стану дорожнього покриття

Перед початком роботи з лазерним сканером Trimble TX6 необхідно ретельно налаштувати його параметри, що забезпечить високу якість отриманої інформації і мінімізує потенційні похибки. Першочерговим завданням є горизонтування сканера, яке вирішується за допомогою підйомних гвинтів. Це дозволить точно вирівняти пристрій щодо площини горизонту, забезпечуючи коректність майбутніх вимірювань.

Наступним етапом є створення нового проекту. Цей процес впливає на подальший процес отримання інформації та її оброблення. Нумерація станцій має бути послідовною, що дозволяє уникнути плутанини під час оброблення отриманих результатів та полегшує інтеграцію інформації в загальну модель.

Дуже важливим етапом є вибір режиму знімання. Оптимальним варіантом зазвичай є середній режим, який забезпечує баланс між точністю й часом зйомки. У багатьох випадках середній режим є достатнім для досягнення необхідної точності без значного збільшення тривалості процесу.

Крім того, важливо налаштувати параметри для створення панорамного знімка, що забезпечить отримання кольорової інформації для візуалізації об'єктів і буде доповненням до хмари точок.

Ключовим аспектом під час налаштування параметрів сканера є внесення інформації

про навколишні температурні та барометричні умови. Сканер Trimble TX6 використовує ці параметри для визначення коефіцієнта поправки, що дозволяє компенсувати вплив рефракції під час вимірювань. Якщо ці параметри не будуть визначені правильно, можна отримати похибки, що можуть суттєво вплинути на точність результатів вимірювань.

З огляду на поле зору сканера необхідно враховувати, що все, що знаходиться під сканером на точці стояння, потрапляє до так званої «мертвої зони» – ділянки, на яку не потрапляє лазерний промінь через наявні перешкоди у вигляді тригера сканера та штатива (рис. 5).

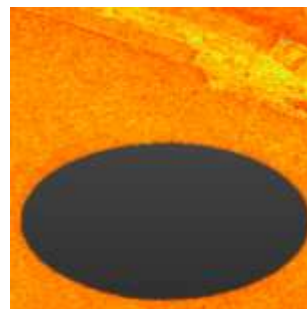


Рис. 5. Станція стояння сканера у вигляді «мертвої зони»

У таких випадках існує два можливі рішення:

– рекомендується розміщувати станцію стояння в місцях, де відсутні дефекти дорожнього покриття;

– необхідно врахувати варіант розміщення станцій на відстані, що дасть змогу наступній станції зафіксувати інформацію з попередньої та побудувати майбутню тривимірну модель на основі отриманих точок попередньої станції (рис. 6).

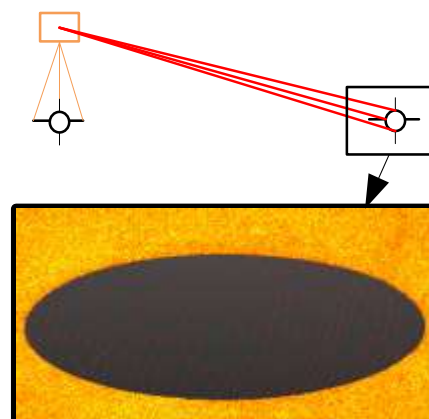


Рис. 6. Результати сканування в «мертвій зоні» з суміжної станції

Ці підходи забезпечують точність збору інформації та підвищують якість аналізу.

Технологія наземного лазерного 3D-сканування

Оптимальні рішення сканування різних типів ділянок дороги:

– для невеликих ділянок дороги (~100–150 м) достатньо 4–7 станцій, розташованих на відстані 20–30 м одна від одної, що забезпечує достатнє перекриття та задану детальність сканування дефектів. Встановлювати сканер краще на відкритих місцях, уникаючи перешкод;

– для ділянок з довжиною 500–1000 м оптимально використовувати 15–25 станцій з інтервалом до 50 м для забезпечення якісного злиття хмар точок.

Сканування здійснюється з обох боків дороги одночасно або по черзі, що дозволяє уникнути «мертвих зон»;

– для складних ділянок, зокрема під час сканування транспортних розв'язок, що мають різномірну структуру, необхідно знімати як на верхньому, так і на нижньому рівнях.

Це дозволить зафіксувати всі елементи дороги та забезпечить єдність з'єднання хмар точок. У цьому випадку станції стояння мають бути розміщені з огляду на складності об'єкта, рельєф місцевості та інші фактори, що можуть вплинути на якість сканування.

Після завершення процесу сканування важливо здійснити камеральне оброблення отриманої інформації. На цьому етапі інформація, отримана з різних станцій, об'єднується в єдину модель через етапи очищення, фільтрації та побудови остаточної тривимірної хмари точок (рис. 7).

Отримана інформація використовується для аналізу стану дорожнього покриття, аналізу дефектів і складання звітів.

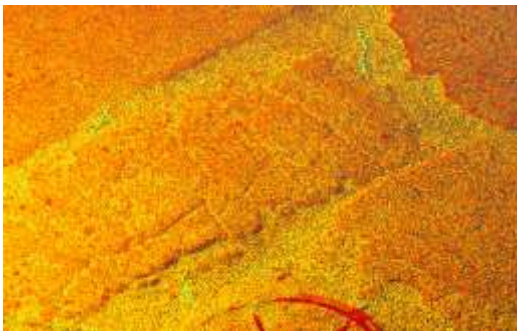


Рис. 7. Приклад відзнятої ділянки дороги наземним лазерним скануванням

Висновки

Процес наземного лазерного сканування в дорожньому будівництві є ефективним для моніторингу дорожнього покриття завдяки таким чинникам:

– висока точність, що забезпечує детальну інформацію про стан дорожнього покриття без необхідності вимірювань геометричних параметрів кожного окремого дефекту для подальшого їх позиціонування в просторі;

– великий обсяг інформації, отриманої за короткий період часу, що дозволяє значно прискорити процес моніторингу великих ділянок доріг;

– можливість створення тривимірних моделей покриття, що дозволяє автоматизувати процес розрахування обсягів матеріалів під час розроблення проєктів ремонту.

Використання запропонованої технології дозволяє значно полегшити процеси аналізу й оброблення результатів лазерного сканування та підвищує ефективність застосування тривимірних моделей дорожнього покриття під час планування ремонтних робіт.

Література

1. Батракова А. Г., Урдзік С. М., Батраков Д. О. Аналіз сучасних методів і засобів діагностики нежорсткого дорожнього одягу. *Комунальне господарство міст*. 2022. Т. 3. Вип. 170. С. 134–142.
2. Інноваційні технології у галузі геодезії, землеустрою та проектування: колективна монографія. Харків: ХНАДУ, 2021. 486 с.
3. Zakeri H., Moghadas Nejad F., Fahimifar A. Image Based Techniques for Crack Detection, Classification and Quantification in Asphalt Pavement: a Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2017. 24 (4). P. 935–977.
4. Staniek M. Detection of cracks in asphalt pavement during road inspection processes. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2017. № 96. P. 175–184.
5. Miskiewicz M., Lachowicz J., Tysiac P., Jaskula P., Wilde K. The application of non-destructive methods in the diagnostics of the approach pavement at the bridges. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. № 356. P. 1–8.
6. Батракова А. Г., Урдзік С. М. Застосування георадарних технологій при обстеженні дорожнього одягу. *Комунальне господарство міст*. 2023. Т. 3. Вип. 177. С. 68–73.
7. Maruddani B., Sandi E., The Development of Ground Penetrating Radar (GPR) Data Processing. *International Journal of Machine Learning and Computing*. 2019. Vol. 9. No. 6. P. 768–773.

8. Bo Chen, Chunlong Xiong, Weixiong Li, Jiarui He, Xiaoning Zhang. Assessing Surface Texture Features of Asphalt Pavement Based on Three-Dimensional Laser Scanning *Technology. Buildings*. 2021. 11. 623. P. 1–21.
9. Horst B. B., Lindenbergh R. C., Puister S. W. J. Mobile laser scan data for road surface damage detection. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2019. Vol. XLII-2/W13. P. 1141–1148.
10. Azam, A., Alshehri, A.H., Alharthai, M., El-Banna, M.M., Yosri, A.M., Beshr, A.A.A. Applications of Terrestrial Laser Scanner in Detecting Pavement Surface Defects. *Processes*, 2023. 11. 1370. P. 1–18.
11. ДСТУ 9154:2021. Настанова з виконання геодезичних робіт у дорожньому будівництві. Київ, 2022.
12. ТР 218-02071168-395:2008. Технологічний регламент з діагностики автомобільних доріг методом сканування. Харків, 2008.
13. ДСТУ 8745:2017. Методи вимірювання нерівностей основи і покриття дорожнього одягу. Київ, 2019. 32 с.
14. ДСТУ 8954:2019. Автомобільні дороги. Оцінювання рівня дефектності дорожнього одягу. Київ, 2021. 36 с.

References

1. Batrakova, A. G., Urdzik, S. M., & Batrakov D. O. (2022). Analiz suchasnykh metodiv i zasobiv diahnostryky nezhorstkoho dorozhnoho odiagu [Analysis of modern methods and tools for diagnosing flexible pavement]. *Komunalne hospodarstvo mist*. 3 (170). 134–142 [in Ukrainian].
2. Innovatsiini tekhnolohii u haluzi heodezii, zemleustroi ta proektuvannia. [Innovative technologies in the field of geodesy, land management and design]: kolektyvna monohrafiia. (2021). Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
3. Zakeri, H., Moghadas Nejad, F., & Fahimifar, A. (2017). Image-based techniques for crack detection, classification and quantification in asphalt pavement: a review. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 24 (4). 935–977.
4. Staniek, M. (2017). Detection of cracks in asphalt pavement during road inspection processes. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 96. 175–184.
5. Miskiewicz, M., Lachowicz, J., Tysiac, P., Jaskula, P., & Wilde, K. (2018). The application of non-destructive methods in the diagnostics of the approach pavement at the bridges. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 356. 1–8.
6. Batrakova, A. G., & Urdzik, S. M. (2023). Zastosuvannia heoradarnykh tekhnolohii pry obstezhenni dorozhnoho odiagu [Application of GPR technology in the survey of road pavement]. *Komunalne hospodarstvo mist*. 3 (177). 68–73 [in Ukrainian].
7. Maruddani, B., & Sandi, E. (2019). The development of ground penetrating radar (GPR) data processing. *International Journal of Machine Learning and Computing*. 9 (6). 768–773.
8. Chen, B., Xiong, C., Li, W., He, J., & Zhang, X. (2021). Assessing surface texture features of asphalt pavement based on three-dimensional laser scanning technology. *Buildings*. 11 (623). 1–21.
9. Horst, B. B., Lindenbergh, R. C., & Puister, S. W. J. (2019). Mobile laser scan data for road surface damage detection. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-2/W13. 1141–1148.
10. Azam, A., Alshehri, A. H., Alharthai, M., El-Banna, M. M., Yosri, A. M., & Beshr, A. A. A. (2023). Applications of terrestrial laser scanner in detecting pavement surface defects. *Processes*. 11(1370). 1–18.
11. DSTU 9154:2021. (2022). Nاستanova z vykonannia heodezychnykh robit u dorozhniomu budivnytstvi [Guide to performing geodetic work in road construction]. Kyiv [in Ukrainian].
12. TR 218-02071168-395:2008. (2008). Tekhnolohichniy rehlyament z diahnostryky avtomobilnykh dorozhnykh odiazh metodom skanuvannia [Technological regulations for road diagnostics by scanning method]. Kharkiv [in Ukrainian].
13. DSTU 8745:2017. (2019). Metody vymiryuvannia nerivnostei osnovy i pokryttia dorozhnoho odiagu [Methods for measuring the unevenness of the road base and pavement]. Kyiv [in Ukrainian].
14. DSTU 8954:2019. (2021). *Avtomobilni dorohy. Otsiniuvannia rivnia defektnosti dorozhnoho odiagu* [Automobile roads. Assessment of road pavement defectiveness]. Kyiv [in Ukrainian].

Батракова Анжеліка Геннадіївна, д.т.н., проф. 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,

Саркісян Гор Саркісович, к.т.н., доц. каф. проектування доріг, геодезії і землеустрою, gorsar14@gmail.com, +38 050-148-73-55,

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

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, 61002, Україна.

Features of Terrestrial Laser 3D Scanning Technology for Pavement Condition Assessment

Abstract. Problem. Traditional methods of road condition monitoring have limitations in terms of data accuracy and completeness, particularly in the detection of surface defects. There is a need for methods that provide accurate, rapid data collection to support effective maintenance and repair planning. **Goal.** The goal of this study is to develop and optimise a methodology for terrestrial 3D laser scanning and to provide practical recommendations for its application in road surface monitoring. **Methodology.** The proposed methodology examines the effectiveness of terrestrial laser scanning on road segments, addressing parameters such as optimal station count, placement and scanning mode to ensure accurate and comprehensive data collection. The Trimble TX6 scanner is used as an example, with specifications including a range of up to 120 metres, 2 mm accuracy and an adjustable scanning speed of up to 500,000 points per second. **Results.** The research identifies optimal setups for different road segments, covering short (~100–150 m) and long (up to 1000 m) sections, as well as complex road infrastructure such as multi-level interchanges. The results demonstrate the ability of the 3D scanning method to detect various linear and areal pavement defects. **Originality.** This study advances the field by developing specific recommendations for station positioning and scanning protocols, addressing blind spots, and ensuring data integrity for 3D modelling. **Practical value.** The application of this technology supports detailed analysis of pavement condition, significantly increasing the efficiency of data

processing and improving repair planning and material estimation. The results are beneficial for transport infrastructure management, enabling more reliable monitoring and maintenance practices.

Key words: terrestrial laser 3D scanning, monitoring, pavement defects, Trimble TX6 laser scanner, point cloud

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,

Sarkisian Hor, Ph.D., Assoc. Prof. Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2343-4461>, gorsar14@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

Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.