

УДК 528.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2664-0406.2026.48.2026.1>**Батракова А. Г.**

д.т.н., професор кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0002-4067-4371

Шелкова І. С.

асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0003-2562-2175

Дорожко Є. В.

к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0003-2894-2131

Урдзік С. М.

к.т.н., доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0000-0001-6914-1221

Бессарабов О. О.

асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків
ORCID: 0009-0008-2784-4680

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ НАЗЕМНОГО 3D-СКАНУВАННЯ ЛІНІЙНИХ МОСТОВИХ СПОРУД

Анотація. У статті розглянуто особливості організації наземного лазерного 3D-сканування лінійного мостового переходу через р. Харків на автомобільній дорозі М-03 протяжністю 198,75 м в умовах активного транспортного руху без перекриття проїзної частини. Об'єкт дослідження – балкова розрізна споруда 1968 року побудови зі схемою $6 \times 33,00$ м, що не проходила інструментального обстеження з 2006 року. Для виконання польових вимірювань застосовувався лазерний сканер Trimble TX6 у режимі «Level 2», що забезпечує точність 11,3 мм на відстані 30 м. Тривалість одного циклу зйомки становила 7 хвилин, загальний обсяг польових робіт на одну сторону – 4 години при 17 станціях сканування. Обґрунтовано вибір кроку між станціями 10–12 м, що є меншим за теоретично допустиме значення 20–25 м і зумовлений необхідністю резервування видимості опорних геодезичних марок в умовах систематичного перекриття їх транспортними засобами. Розроблено схему просторового розміщення геодезичних марок шахматного забарвлення по обидва боки проїзної частини, що забезпечує розподіл опорних точок у різних азимутальних напрямках відносно кожної позиції сканера без виходу в зону руху транспорту. Описано триваріантну систему кріплення планшетних цілей до елементів мостового огороження: розпірне кріплення у швелерний профіль, фіксація еластичними шнурами до огорожі тротуару та закріплення на стійках бар'єрного огороження з використанням біндерів. Обов'язковою вимогою до всіх типів кріплення є абсолютна нерухомість марки впродовж усього циклу сканування. Розглянуто особливості встановлення триноги сканера на мостовому полотні: асиметрична конфігурація з двома опорами у бік проїзної частини та однією у бік тротуарної огорожі забезпечує стійкість системи до вібра-

ційних навантажень від транспорту. Польові роботи виконувались протягом двох робочих днів – по одній стороні на день – для збереження однорідних умов зйомки.

Ключові слова: наземне лазерне сканування, мостовий перехід, геодезичні марки, схема розміщення станцій, Trimble TX6, організація польових робіт, лінійна споруда.

Постановка проблеми. Сучасний стан інженерних споруд характеризується зростанням рівня їх зношеності, що зумовлює необхідність впровадження ефективних безконтактних методів обстеження, зокрема наземного лазерного 3D-сканування (НЛС) [1, 2]. В умовах повоєнного відновлення України цифрове документування транспортної інфраструктури набуває стратегічного значення, оскільки НЛС забезпечує формування верифікованої геометричної бази даних для оцінки пошкоджень і планування відновлювальних робіт. Водночас, незважаючи на значний науковий доробок у сфері застосування LiDAR-технологій, питання організації польових робіт для лінійних мостових споруд середньої протяжності в умовах безперервного транспортного руху залишаються недостатньо дослідженими.

Аналіз останніх досліджень. У сучасних дослідженнях значна увага приділяється оптимізації організації наземного лазерного сканування мостових споруд як з позиції планування зйомки, так і забезпечення якості отриманих даних. Так, у роботі [3] запропоновано універсальний підхід до планування НЛС мостів у складних умовах, який базується на формуванні імітаційної сцени та оптимізації розміщення станцій сканування з урахуванням параметрів огляду. Особливу увагу приділено узгодженню позицій станцій і опорних геодезичних марок на основі взаємної видимості, що дозволяє скоротити тривалість польових робіт.

Подальший розвиток досліджень пов'язаний з аналізом впливу геометрії сканування на точність результатів. У роботі [4] експериментально встановлено, що відстань до об'єкта, кут падіння лазерного променя та конфігурація сканувальних позицій є визначальними чинниками точності оцінки деформацій за даними хмар точок. Показано, що навіть за зміни цих параметрів можливо досягти міліметрової точності, однак це потребує обґрунтованого вибору умов зйомки та методів обробки.

У свою чергу, в роботі [5] розглянуто підхід до підвищення ефективності сканування довгопрольотних мостів шляхом адаптивного планування параметрів зйомки. Запро-

поновано метод, що передбачає автоматичне виділення ключових елементів конструкції та багатосегментне планування сканування з варіюванням кутової роздільної здатності залежно від геометрії об'єкта і відстані до нього. Це дозволяє зменшити надлишковість хмар точок і оптимізувати обсяг даних без суттєвого погіршення точності.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз особливостей організації наземного лазерного 3D-сканування лінійного мостового переходу протяжністю 198,75 м із обґрунтуванням раціональної схеми розміщення станцій сканера та геодезичних марок в умовах активного транспортного руху без перекриття проїзної частини

Результати досліджень. Характеристика об'єкта дослідження. Об'єктом дослідження є мостовий перехід через р. Харків на автомобільній дорозі М-03 Київ – Харків – Довжанський (км 499+798, Харківська область), зведений у 1968 році під проєктне навантаження Н-30, НК-80 [6-8]. Повна довжина споруди становить 198,75 м при розрахунковій схемі $6 \times 33,00$ м.

Прогонова будова – балкова розрізна, виконана з попередньо напружених залізобетонних діафрагмових балок двотаврового перерізу. Підпорні конструкції представлені крайніми обсіпними пальовими опорами (№ 1 та № 7) та п'ятьма проміжними стовпчастими опорами (№ 2–6), кожна з яких складається з трьох стовпів діаметром 1,20 м. Опорні частини – тангенціальні нерухомі та валкові рухомі. Габарит споруди – $\Gamma - 0,96 + 9,10 + 0,96$ м, покриття проїзної частини – асфальтобетон.

Понад півстолітній вік конструкцій у поєднанні з відсутністю інструментального обстеження після 2006 року зумовили вибір даної споруди як об'єкта для апробації методу наземного лазерного сканування (рис. 1).

Вибір режиму сканування та обґрунтування кроку між станціями. Для виконання польових вимірювань застосовувався лазерний сканер Trimble TX6, що забезпечує кругове сканування у діапазоні 360° із декларованою точністю 11,3 мм на відстані 30 м у режимі «Level 2». Саме цей режим обрано як оптимальний компроміс між щільністю хмари



Рис. 1. Загальний вигляд мостового переходу через р. Харків на км 499 + 798 дороги М-03

точок, точністю вимірювань та тривалістю одного циклу зйомки. Повний цикл на одній станції становив 7 хвилин: 6 хвилин – безпосередньо просторове сканування та 1 хвилина – створення кольорової панорами для колоризації хмари точок.

Визначення раціонального кроку між станціями потребувало врахування двох конкуруючих чинників. З одного боку, декларована оптимальна дальність сканування у режимі Level 2 становить 30 м, що теоретично допускає крок між позиціями до 20–25 м при мінімально достатньому перекритті 30 %. З іншого боку, активний транспортний рух на мостовому полотні систематично створює рухомі перешкоди у вигляді транспортних засобів, що перетинають поле зору сканера і частково перекривають опорні марки під час окремих сканів.

З урахуванням цього обмеження крок між станціями було зменшено до 10–12 м, що забезпечило суттєво більше взаємне перекриття суміжних хмар і, головне, резервування видимості опорних марок: якщо в момент сканування одна або дві марки виявлялись перекритими транспортним засобом, решта залишались у полі зору і зберігали придатність для подальшої реєстрації. Загалом для зйомки однієї сторони мостового переходу виконано 17 станцій; повний обсяг польових робіт на одну сторону становив 4 години.

Схема розміщення геодезичних марок. Забезпечення можливості реєстрації окремих сканів у єдину просторову модель потребує наявності спільних опорних елементів у полі зору суміжних станцій. Для цього на мостовому переході встановлювались плоскі геодезичні марки шахматного забарвлення – чорно-білі та фіолетові квадрати. Така кольорова

диференціація забезпечує візуальне розрізнення просторової орієнтації станцій при камеральній обробці даних, дозволяючи чітко ідентифікувати передні та задні позиції сканування відносно напрямку руху вздовж мостового полотна.

Планування схеми розміщення марок визначалось трьома ключовими вимогами. По-перше, сканер здійснює зйомку у повному круговому діапазоні 360°, тому для геометрично надійного зшивання хмар опорні

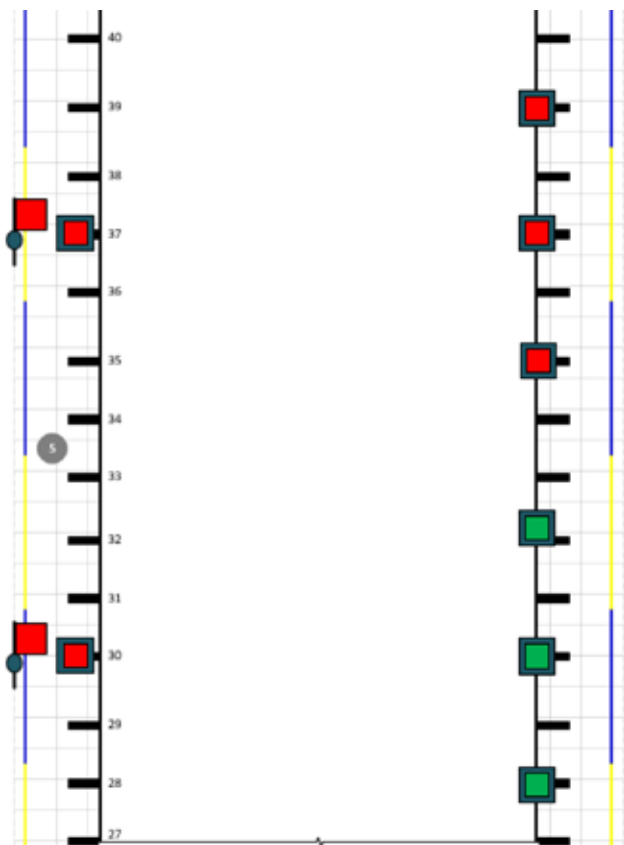


Рис. 2. Схема розміщення станцій сканера та розташування геодезичних марок



Рис. 3. Марки 1-го типу

точки мають бути розподілені в різних азимутальних напрямках відносно кожної позиції приладу. По-друге, встановлення марок безпосередньо на проїзній частині в зоні руху транспортних засобів виключалось з міркувань безпеки. По-третє, кожна марка має бути одночасно видима щонайменше з двох суміжних станцій.

Розв'язання цих вимог досягнуто шляхом розміщення марок по обидва боки проїзної частини: вздовж пішохідного тротуару та вздовж бар'єрного огороження протилежної сторони (рис. 2).

Різноманітність конструктивних елементів огороження мостового переходу зумовила необхідність розробки трьох типів кріплення геодезичних марок залежно від локальних умов на кожній ділянці.

Марки першого типу – планшетні цілі на дерев'яних стійках у вигляді флажків (рис. 3). Стійка встановлювалась безпосередньо у внутрішній простір швелерного профілю огорожі пішохідного тротуару та додатково фіксувалась дерев'яною розпівкою між стійкою та стінкою швелера. Розпівне зусилля надійно утримувало конструкцію від зміщення під дією вібрацій від транспорту та вітрових навантажень.

Марки другого типу застосовувались на ділянках, де профіль огорожі не передбачав можливості розпівного кріплення (рис. 4). Дерев'яна стійка з планшетною ціллю притягувалась до елементів огорожі за допомогою еластичних шнурів-фіксаторів, що багаторазово обмотувались навколо опорного елемента. Натяг шнурів регулювався для досягнення необхідної жорсткості кріплення.



Рис. 4. Марки 2-го типу

Марки третього типу розміщувались на металевих стійках бар'єрного огороження вздовж протилежної сторони проїзної частини (рис. 5). Фіксація здійснювалась еластичними шнурами з закріпленням кінців біндерами після створення необхідного натягу.

Обов'язковою вимогою до всіх типів кріплення була абсолютна нерухомість марки впродовж усього циклу сканування, оскільки навіть мінімальне зміщення цілі між суміжними сканами призводить до систематичних похибок просторової прив'язки хмар точок.

Особливості встановлення сканера. Встановлення сканера на мостовому полотні в умовах безперервного руху транспортних



Рис. 5. Марки 3-го типу



Рис. 6. Загальний вигляд сканера Trimble TX6 встановленого на станції стояння

засобів вимагало особливої уваги до стійкості тринога. Прийнято таке рішення: дві опори триноги орієнтувались у бік проїзної частини, третя – у бік огорожі пішохідного тротуару (рис. 6). Така асиметрична конфі-

гурація забезпечує максимальну стійкість системи до вібраційних навантажень від проїжджаючого транспорту і виключає ризик перекидання приладу при несподіваному поривистому вітрі або наближенні великогабаритної техніки.

Польові роботи виконувались протягом двох робочих днів – по одній стороні мостового переходу на день, що дозволило зберегти однорідні умови зйомки в межах кожної частини та уникнути накопичення похибок, пов'язаних зі зміною метеорологічних умов між сесіями.

Висновки. За результатами виконаних польових робіт з наземного лазерного 3D-сканування мостового переходу протяжністю 198,75 м встановлено, що організація зйомки лінійних мостових споруд в умовах активного транспортного руху потребує низки специфічних рішень, що відрізняють цей вид робіт від сканування стаціонарних об'єктів.

Зменшення кроку між станціями до 10–12 м при оптимальній дальності сканування 30 м обумовлено не технічними характеристиками приладу, а необхідністю резервування видимості опорних марок в умовах перекриття їх транспортними засобами.

Триваріантна система кріплення геодезичних марок відповідає різноманітності конструктивних елементів огороження типового мостового переходу та може бути використана при скануванні аналогічних об'єктів.

Література

1. Батракова А. Г., Шелкова І. С., Дорожко Є. В., Саркісян Г. С., Урдзік С. М. Особливості технології наземного лазерного 3D-сканування для аналізу стану дорожнього покриття. *Вісник ХНАДУ*. 2024. Вип. 107. С. 124–129. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.107.0.124>
2. Батракова А. Г., Шелкова І. С., Дорожко Є. В., Саркісян Г. С., Урдзік С. М. Етапи оброблення показників наземного лазерного 3D-сканування дорожнього покриття з використанням Trimble RealWorks. *Вісник ХНАДУ*. 2025. Вип. 109. С. 134–138. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.109.0.134>
3. Han W.-n., Tao Y.-h., Zhu J.-s., Wang D.-w., Yang R.-p. Terrestrial Laser Scan Planning for Bridge Structures at Complex Sites. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2025. Vol. 152, № 2. DOI: <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-17077>
4. Algadhi A., Psimoulis P., Grizi A., Neves L. Assessment of the Accuracy of Terrestrial Laser Scanners in Detecting Local Surface Anomaly. *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, № 24. Art. 4647. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16244647>
5. Xu Y., Zhao M., Xu C., Wang Y. Efficient in-site laser scanning scheme with adaptive angular resolution for long-span bridge geometry measurement. *Measurement*. 2024. Vol. 232. Art. 114704. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114704>
6. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво [Чинний від 01.04.2016]. Київ : Мінрегіон України, 2015. 91 с.
7. ДБН В.2.3-6:2009. Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження та випробування [Чинний від 01.03.2010]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009.
8. ДБН В.1.2-15:2009. Споруди транспорту. Навантаження та впливи. Мости та труби [Чинний від 01.03.2010]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 70 с.

References

1. Batrakova, A. H., Shelkova, I. S., Dorozhko, Ye. V., Sarkisian, H. S., & Urdzik, S. M. (2024). Osoblyvosti tekhnolohii nazemnoho lazernoho 3D-skanuvannia dlia analizu stanu dorozhnoho pokryvu [Features of terrestrial laser 3D scanning technology for road surface condition analysis]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, (107), 124–129. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.107.0.124>
2. Batrakova, A. H., Shelkova, I. S., Dorozhko, Ye. V., Sarkisian, H. S., & Urdzik, S. M. (2025). Etapy obrobлення pokaznykiv nazemnoho lazernoho 3D-skanuvannia dorozhnoho pokryvu z vykorystanniam Trimble RealWorks [Stages of processing terrestrial laser 3D scanning data of road pavement using Trimble RealWorks]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*, (109), 134–138. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2025.109.0.134>
3. Han, W.-N., Tao, Y.-H., Zhu, J.-S., Wang, D.-W., & Yang, R.-P. (2025). Terrestrial laser scan planning for bridge structures at complex sites. *Journal of Construction Engineering and Management*, 152(2). <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-17077>
4. Algadhi, A., Psimoulis, P., Grizi, A., & Neves, L. (2024). Assessment of the accuracy of terrestrial laser scanners in detecting local surface anomaly. *Remote Sensing*, 16(24), 4647. <https://doi.org/10.3390/rs16244647>
5. Xu, Y., Zhao, M., Xu, C., & Wang, Y. (2024). Efficient in-site laser scanning scheme with adaptive angular resolution for long-span bridge geometry measurement. *Measurement*, 232, 114704. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114704>
6. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2015). DBN V.2.3-4:2015. Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo [Highways. Part I. Design. Part II. Construction]. Kyiv : Minrehion Ukrainy.
7. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine. (2009). DBN V.2.3-6:2009. Sporudy transportu. Mosty ta truby. Obstezhennia ta vyprobuвання [Transport structures. Bridges and culverts. Inspection and testing]. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy.
8. Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine. (2009). DBN V.1.2-15:2009. Sporudy transportu. Navantazhennia ta vplyvy. Mosty ta truby [Transport structures. Loads and impacts. Bridges and culverts]. Kyiv : Minrehionbud Ukrainy.

FEATURES OF ORGANISING TERRESTRIAL 3D SCANNING OF LINEAR BRIDGE STRUCTURES

Abstract. The article examines the specific features of organising terrestrial laser 3D scanning of a linear bridge crossing over the Kharkiv River on the M-03 highway, with a total length of 198.75 m, under conditions of continuous traffic flow without road closure. The study object is a simply supported beam bridge constructed in 1968 with a 6×33.00 m span arrangement, which has not undergone instrumental inspection since 2006. Field measurements were carried out using a Trimble TX6 laser scanner in Level 2 mode, providing an accuracy of 11.3 mm at a distance of 30 m. Each scanning cycle lasted 7 minutes, and the total field work duration per side was 4 hours across 17 scanning stations. The selection of a station interval of 10–12 m, which is smaller than the theoretically permissible value of 20–25 m, is justified by the need to ensure redundant visibility of geodetic reference targets under conditions of systematic occlusion by passing vehicles. A spatial placement scheme for checkerboard-patterned geodetic targets on both sides of the carriageway was developed, ensuring distribution of reference points in different azimuthal directions relative to each scanner position without encroaching on the traffic zone. A three-variant system for fixing flat targets to bridge

barrier elements is described: wedge-type mounting in a channel section profile, elastic cord fastening to pedestrian railing elements, and binder-secured attachment to barrier post uprights. An absolute requirement for all mounting types is complete immobility of the target throughout the entire scanning cycle. The article also addresses the specific requirements for tripod placement on the bridge deck: an asymmetric configuration with two legs oriented toward the carriageway and one toward the pedestrian railing provides stability against vibration loads from traffic. Field operations were carried out over two working days, one side per day, to maintain uniform scanning conditions within each part of the survey.

Key words: *terrestrial laser scanning, bridge crossing, geodetic targets, station placement scheme, Trimble TX6, field survey organisation, linear structure.*

A. H. Batrakova

Doct. of Science, Professor at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

I. S. Shelkova

Assistant at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

Ye. V. Dorozhko

Ph.D., Associate Professor at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

S. M. Urdzik

Ph.D., Associate Professor at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv

O. O. Bessarabov

Assistant at the Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv



Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.07.2026

**Стаття поширюється на умовах ліцензії
 відкритого доступу (CC BY 4.0)**