

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ОБ'ЄМНИХ ВИМІРЮВАНЬ НА БУДІВЕЛЬНИХ МАЙДАНЧИКАХ

Коваленко Л. О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті розглянуто особливості застосування сучасних геодезичних приладів для виконання вимірювань об'ємів сипких матеріалів на будівельних майданчиках. Дослідження продемонстрували переваги використання роботизованого тахеометра: високу швидкість роботи, безконтактний метод вимірювань, автоматизацію процесу й точність обчислення об'ємів.

Ключові слова: геодезичні роботи, будівельний майданчик, геодезичні прилади, електронний тахеометр, програмне забезпечення.

Вступ

У процесі виконання різноманітних будівельних робіт виникає необхідність визначення й перевірки об'ємів насипних матеріалів на будівельних майданчиках. Також аналогічні завдання виникають під час роботи на асфальтобетонних заводах. Від того, наскільки точно розраховані об'єми насипних будівельних матеріалів, залежить організація планування виробництва, облік ресурсів і ефективність діяльності підприємств загалом.

Найвні методи вимірювань об'ємів будівельних матеріалів потребують значних затрат часу, залежать від суб'єктивних факторів і мають недостатню точність. Тому виникла необхідність упровадження сучасних технологій, зокрема використання роботизованих тахеометрів. Такі геодезичні технології дають змогу забезпечити автоматизацію вимірювань, підвищити точність отриманих просторових визначень і можливість створення тривимірних моделей для поверхонь складів будівельних матеріалів [1, 2].

Аналіз публікацій

Нині для виконання великого обсягу геодезичних робіт використовують різні електронні й сучасні цифрові геодезичні прилади, як-от електронні нівеліри, тахеометри, лазерні рулетки та інші інструменти. Також для різноманітних цілей можуть бути застосовані супутникові зйомки, лазерне сканування, тощо [3, 4].

Для виконання різних геодезичних робіт на площадних і лінійних будівельних майданчиках застосовують електронні тахеометри. Вимірювання можуть проводити на відбивачі, які встановлюють на віхи, або в безвідбивному режимі, іноді використовують світло-відбивні плівки.

Точність виконання геодезичних робіт буде змінюватись залежно від технічних характеристик тахеометра, а також від погодних умов: атмосферного тиску, температури повітря, вологості тощо. Від режиму роботи тахеометра, а саме безвідбивному або на відбивачі, залежить і можливий діапазон вимірювань.

У разі, коли необхідно виконувати зйомку точок на недосяжній висоті та відстані в процесі виконання польових вимірювань для визначення об'ємів складів сипких матеріалів, як-от пісок, щебінь, ґрунт, гравій тощо, застосовують тахеометри безвідбивного типу [5, 6].

Використання електронних геодезичних приладів, на відміну від звичайних оптичних, дає змогу скоротити час вимірювань, підвищити точність результатів, усунути можливі помилки виконавців під час візуального взяття відліків, записів вручну результатів і обчислень у журналах.

Нині використовують значну кількість різних типів електронних тахеометрів, розроблених компаніями *Sokkia*, *Trimble*, *Leica* тощо. Геодезичним приладам різних марок властиві неоднакові показники й характеристики [7, 8]. Сучасні електронні прилади мають різні пристрої для автоматизації процесів вимірювань, що дає змогу підвищити точність результатів.

Крім того, для автоматизації геодезичних робіт і отримання проектних матеріалів застосовують спеціальне програмне забезпечення, що допомагає працювати в різних режимах, виконувати обчислення й завдання в польових умовах [9–11].

Інформація, отримана в процесі зйомки, буде відображена на дисплеї та зареєстрована внутрішньою пам'яттю приладу. Надалі

вона може бути передана на комп'ютер для оброблення.

Мета й постановка завдання

Метою роботи є аналіз можливих методів геодезичних вимірів об'ємів насипних матеріалів на будівельних майданчиках. Для досягнення окресленої мети необхідно дослідити застосування електронних тахеометрів різних типів і роботизованого тахеометра *Leica TS16* для виконання об'ємних вимірювань.

Виклад основного матеріалу

Виконання широкого спектру геодезичних робіт на будівельних майданчиках можливе із застосуванням великого асортименту сучасних електронних приладів. Основна різниця між класичним електронним і роботизованим тахеометром полягає в рівні автоматизації та способі взаємодії з приладом. Традиційний електронний тахеометр вимагає постійної присутності оператора біля окуляра для візування на ціль. Натомість роботизовані системи, як-от *Leica TS16*, оснащені сервоприводами та інтелектуальними функціями автоматичного пошуку, розпізнавання й стеження за відбивачем (ATR), що дає змогу приладу самостійно зосереджуватися на цілі без участі людини [2].

Роботизований тахеометр *Leica TS16* (рис. 1) – це геодезичний прилад, що поєднує в собі електронний тахеометр і далекомір. Він має автоматизовану систему наведення на точки [7].

Прилад може виконувати топографо-геодезичну зйомку, виводити на місцевість проектну інформацію, спостерігати за зрушеннями й деформаціями об'єктів. Також з високою точністю він здатний визначати об'єми насипних матеріалів.

Тахеометр *Leica TS16* має такі характеристики:

- точність вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів становить 1–5 секунд;
- дальність вимірювання може бути до 1000 метрів залежно від виду поверхні й освітлення;
- швидкість вимірювання в режимі сканування дорівнює до 20 точок за секунду;
- прилад можна автоматично наводити на точки й розпізнавати їх;
- тахеометр має сучасне програмне забезпечення *Leica Captivate* (рис. 2) з можливістю обчислення об'ємів;
- тахеометр може автономно й безперервно працювати до 7 годин.

Режими роботи тахеометра *Leica TS16* можуть бути обрані залежно від виду й особливості завдання:

- відбивний режим;
- безвідбивний режим, який застосовується під час вимірювання об'ємів будівельних матеріалів;
- режим сканування поверхні або безперервне вимірювання з високою швидкістю, який використовується для знімання рухомих об'єктів або маси точок.



Рис. 1. Роботизований тахеометр *Leica TS16*

Застосування роботизованих систем кардинально змінює логістику польових робіт. Класична технологія зйомки вимагає участі щонайменше двох осіб: оператора, який проводить вимірювання за приладом, і рейкового, який встановлює відбивач. Роботизований тахеометр дає змогу виконувати весь спектр робіт одній особі, оскільки геодезист керує приладом дистанційно за допомогою польового контролера, перебуваючи безпосередньо в точці зйомки. Це не лише скорочує витрати на персонал, а й значно підвищує темпи виконання робіт.

Хоча обидва типи приладів підтримують безвідбивний режим вимірювань, роботизовані тахеометри мають розширені можливості для автоматизованого сканування поверхонь. Це особливо критично під час роботи

на промислових об'єктах, асфальтобетонних заводах, де необхідно вимірювати об'єми сипких матеріалів у бункерах. Роботизована система може самостійно сканувати задану ділянку за сіткою точок, що забезпечує високу щільність показників (так звану «хмару точок») для побудови детальних цифрових моделей рельєфа й точного обчислення об'ємів.

Упровадження роботизованих технологій мінімізує вплив людського фактора. У звичайних тахеометрах точність візування залежить від гостроти зору й втоми оператора, що може спричинити помилки в процесі взяття відліків. Роботизовані прилади забезпечують стабільно високу точність завдяки автоматичному центруванню на призмі. Крім того, вони дають змогу проводити вимірювання в стислі терміни без зупинки технологічних процесів на об'єкті.

Роботизовані тахеометри є частиною системи цифрового будівництва. Завдяки вбудованому потужному програмному забезпеченню результати вимірювань миттєво обробляються й можуть бути подані у вигляді тривимірних моделей. Якщо звичайний тахеометр переважно слугує для збору окремих координатних точок, то роботизована система фактично є інтелектуальним сенсором, що дає змогу створювати цифрові двійники об'єктів у реальному часі, забезпечуючи надійну базу для планування виробництва й обліку матеріальних ресурсів.

Роботизований тахеометр *Leica TS16* має сучасне програмне забезпечення *Leica Captivate* (рис. 2). Основні можливості ПЗ:

- створення й управління проектами;
- автоматичне сканування поверхонь і визначення меж вимірювань;
- обчислення об'ємів будівельних матеріалів методами штабеля, відміток і відміток між поверхнями;
- візуалізація результатів тахеометричної зйомки, що виконується в реальному часі.



Рис. 2. Програмне забезпечення *Leica Captivate*

Польові вимірювання починають з виконання підготовчих робіт. До них належать рекогносцирувальні роботи, а саме огляд місцевості, об'єкта майбутньої зйомки. Під час підготовчих робіт обирають місця встановлення приладу, оцінюють видимість і доступність об'єктів і окремих точок вимірювань. Крім того, у підготовчих роботах визначають можливість використання державних опорних геодезичних пунктів, реперів та інших пунктів геодезичної мережі. За необхідності створюють додаткові опорні геодезичні точки.

Кількість станцій залежить від розмірів об'єкта, його форми й вимог до ділянок сканування. Повне охоплення місцевості та об'єкта будівництва можливе за умови 3–5 станцій, розташованих навколо об'єкта. Для калібрування приладу перевіряють геометричні параметри приладу згідно з інструкцією виробника. У програмному забезпеченні *Leica Captivate* проектується об'єкт із вказівкою дати робіт.

Основні завдання польової зйомки:

- створення опорної геодезичної мережі або прив'язка до наявної системи координат;
- виконання орієнтування тахеометра в заданій системі координат;
- визначення меж насипу та їх фіксація у цифровій формі;
- автоматизоване сканування поверхні матеріалу з необхідною щільністю точок;
- контроль якості виконаних вимірювань;
- документування результатів польових робіт.

Геодезична зйомка, виконана за допомогою роботизованого тахеометра дає змогу отримати просторову модель складованого матеріалу й розрахувати його об'єм із необхідною точністю.

Приклад камерального оброблення показників тахеометричної зйомки в програмному забезпеченні *Leica Captivate* наведено на рис. 3–5.



Рис. 3. Первинний контроль показників



Рис. 4. Фільтрація точок



Рис. 5. Робота з поверхнею

Переваги використання *Leica TS16* унаслідок обчислення об'ємів насипних матеріалів такі: висока швидкість роботи за допомогою виконання зйомки з декількох станцій за короткий відрізок часу; безконтактний метод вимірювань, який не потребує встановлення відбивачів на штабелях матеріалів, що важливо для сипких і нестійких поверхонь; висока щільність точок завдяки невеликому кроку сканування до 1 см, що забезпечує детальну модель поверхні; автоматизація процесу завдяки роботизованим функціям приладу й мінімальне втручання людини у процес вимірювань; точність обчислення об'ємів становить 98–99 % завдяки високій точності приладу й сучасним алгоритмам оброблення результатів вимірювань.

Висновки

Роботизований тахеометр *Leica TS16* можна визначити як найкращий прилад для роботи на будівельних майданчиках, асфальтобетонних заводах, складах будівельних матеріалів. Він дає змогу швидко й точно визначити об'єми насипних будівельних матеріалів. Застосування роботизованих тахеометрів на асфальтобетонних заводах сприяє вимірюванню об'ємів сипких матеріалів у стислі терміни без зупинки виробничого процесу, а також підвищує об'єктивність і повторюваність результатів.

Література

1. Баран П. І. Інженерна геодезія: монографія. Київ: ВІПОЛ, 2012. 618 с.
2. Тельнов В. Г. Геодезія: навч. посіб. Дніпро: НТУ, 2019. 317 с.
3. Earthwork Volume Calculation, 3D Model Generation, and Comparative Evaluation Using

Vertical and High-Oblique Images Acquired by Unmanned Aerial Vehicles / K. Lee, W. H. Lee. Aerospace. 2022. Vol. 9, № 10. 606. DOI: 10.3390/aerospace9100606

4. Wu C., Yuan Y., Tang Y., Tian B. Application of Terrestrial Laser Scanning (TLS) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. Sensors 2022, 22, 265. <https://doi.org/10.3390/s22010265>
5. Шемякін М. В., Кирилюк В. П., Романчук С. В. Геодезія: підручник. Київ: Центр навчальної літератури, 2019. 296 с.
6. Калинич І. В., Гриник Г. Г., Ничвид М. Р. Геодезія: навч. посіб. Ужгород, 2020. 248 с.
7. Калинич І. В., Радиш І. П., Ваш Я. І. Електронні геодезичні прилади: конспект лекцій. Ужгород, 2021. 156 с.
8. Нормативно-правове забезпечення професійної діяльності: навч. посіб. / Казаченко Л. М., Батракова А. Г., Ряпухін В. М. Арсеньева Н. О. Харків: ХНАДУ, 2019. 120 с.
9. Шевченко Р. Ю. Картографія: електронний підручник. Київ. 2015. 230 с.
10. Методи моделювання та оптимізації в геодезії: методичні вказівки до курсового проекту та практичних занять / Дорошко Є. В., Казаченко Л. М., Коваленко Л. О., Урдзік С. М. Харків: ХНАДУ, 2019, 36 с.
11. Geometric Accuracy of 3D Reality Mesh Utilization for BIM-Based Earthwork Quantity Estimation Workflows / P. Kavaliuskas, D. Židaniavičius, A. Jurelionis. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021. Vol. 10, № 6. 399. DOI: 10.3390/ijgi10060399

References

1. Baran, P. I. (2012). Inzhenerna heodeziia [Engineering geodesy]. Kyiv: VIPOL.
2. Telnov, V. H. (2019). Heodeziia [Geodesy]. Dnipro: NTU.
3. Lee, K., & Lee, W. H. (2022). Earthwork volume calculation, 3D model generation, and comparative evaluation using vertical and high-oblique images acquired by unmanned aerial vehicles. Aerospace, 9(10), 606. <https://doi.org/10.3390/aerospace9100606>
4. Wu, C., Yuan, Y., Tang, Y., & Tian, B. (2022). Application of terrestrial laser scanning (TLS) in the architecture, engineering and construction (AEC) industry. Sensors, 22, 265. <https://doi.org/10.3390/s22010265>
5. Shchemiakin, M. V., Kyrlyuk, V. P., & Romanchuk, S. V. (2019). Heodeziia [Geodesy]. Kyiv: Tsentr navchalnoi literatury.
6. Kalynych, I. V., Hrynyk, H. H., & Nychvyd, M. R. (2020). Heodeziia [Geodesy]. Uzhhorod.
7. Kalynych, I. V., Radysh, I. P., & Vash, Ya. I. (2021). Elektronni heodezychni prylyady [Electronic geodetic instruments]. Uzhhorod.
8. Kazachenko, L. M., Batrakova, A. H., Riapukhin, V. M., & Arsenieva, N. O. (2019). Normatyvno-pravove zabezpechennia profesiinoi diialnosti [Regulatory and legal support of professional activity]. Kharkiv: KhNADU.

9. Shevchenko, R. Yu. (2015). Kartohrafiia [Cartography]. Kyiv.
10. Dorozhko, Ye. V., Kazachenko, L. M., Kovalenko, L. O., & Urdzik, S. M. (2019). Metody modeliuvania ta optymizatsii v heodezii [Methods of modeling and optimization in geodesy]. Kharkiv: KhNADU.
11. Kavaliauskas, P., Židanavičius, D., & Jurelionis, A. (2021). Geometric accuracy of 3D reality mesh utilization for BIM-based earthwork quantity estimation workflows. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6), 399. <https://doi.org/10.3390/ijgi10060399>

Коваленко Людмила Олександрівна, канд. техн. наук, доц. кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, milakowalenko@gmail.com, +380506318900.

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

Application of modern geodetic instruments for volumetric measurements on construction sites

Abstract. Problem. Modern road construction production requires prompt and reliable monitoring of bulk material volumes used on construction sites and in the technological processes of asphalt concrete plants. The accuracy of bulk material volume determination directly affects production planning, material resource accounting, and the economic efficiency of enterprises. Traditional methods of bulk material volume accounting are often characterized by significant labor intensity, dependence on subjective factors, and insufficient accuracy. In this regard, the implementation of modern geodetic technologies is relevant – in particular, the use of robotic total stations, which ensure automation of the measurement process, high accuracy of spatial determinations, and the ability to construct three-dimensional surface models of material stockpiles. **Goal.** The purpose of this study is to analyze possible methods of geodetic measurements of bulk material volumes on construction sites. To achieve this goal, it is necessary to examine the application of electronic total stations of various types and the Leica TS16 robotic total station for volumetric measurements. **Methodology.** The Leica TS16 robotic total station (Fig. 1) is a state-of-the-art high-precision geodetic instrument that combines the functions of an electronic total station, a reflectorless distance meter, and an automated target acquisition system. The instrument is capable of performing a wide range of geodetic tasks, including the determination of bulk material volumes. A conventional electronic total station requires the constant presence of an operator at the eyepiece for target sighting. In contrast, robotic systems such as the Leica TS16 are equipped with servo drives and intelligent functions for automatic target search, recognition, and tracking (ATR – Automatic Target Recognition), enabling the instrument to focus on a target autonomously without human

intervention. **Results.** The use of robotic systems fundamentally transforms the logistics of fieldwork. The conventional survey technology requires the participation of at least two surveyors. A robotic total station allows the entire scope of work to be performed by a single person (one-man mode), as the surveyor controls the instrument remotely via a field controller while standing directly at the measurement point. This not only reduces personnel costs but also significantly increases the pace of operations. Both instrument types support reflectorless measurement mode; however, robotic total stations offer capabilities for automated surface scanning. This is particularly important when working at industrial facilities and asphalt concrete plants, where it is necessary to measure the volumes of bulk materials in hoppers and storage bins. The robotic system can independently perform scanning of a defined area over a point grid, providing high data density (a so-called point cloud) for constructing detailed digital terrain models and accurately computing volumes. **Originality.** The study demonstrated the following advantages of using a robotic total station for determining bulk material volumes: high operational speed through scanning from multiple instrument stations in a short time; a non-contact measurement method that eliminates the need to place reflectors on the material surface, which is especially important for loose and unstable surfaces; high point density with the ability to set a scanning step down to 1 cm, ensuring a detailed surface model; and, owing to the high measurement accuracy and advanced data processing algorithms, a volume determination error not exceeding 1–2%. **Practical Value.** The proposed methodology can be effectively implemented in practical operations on construction sites and at asphalt concrete plants. The reviewed technology for applying modern geodetic instruments to volumetric measurements ensures a reduction in fieldwork time, minimization of the human factor, and high accuracy. Office-based processing of results using specialized software enables the production of reliable and visually informative outputs in the form of digital models.

Key words: geodetic works, construction site, geodetic instruments, electronic total station, software.

Kovalenko Lyudmila, Ph.D., Assoc. Prof. Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3829-3131>, milakowalenko@gmail.com.

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

Стаття надійшла до редакції / Received: 12.01.2026.

Прийнята до друку після рецензування / Revised and Accepted: 20.01.2026.

Дата публікації статті / Published: 11.05.2026.