

## ГЕОДЕЗІЯ

УДК 625.72:528.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-2/39>

**Арсеньєва Н.О.**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Фоменко Г.Р.**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

### СУЧАСНІ ГЕОДЕЗИЧНІ ПРИЛАДИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬ ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА, РЕКОНСТРУКЦІ ТА РЕМОНТНИХ РОБІТ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

*Важливим фактором, який визначає сучасний рівень інженерно-геодезичного забезпечення робіт з будівництва та ремонту автомобільних доріг, є рівень використання можливостей сучасних геодезичних приладів та технологій. Нові прилади і технології вимагають високого рівня кваліфікації від фахівців під час їх застосування та дозволяють істотно розширити коло завдань, які вирішують методами геодезії і топографії, підвищують доступність топографо-геодезичних матеріалів під час розробки проєктної документації. Сьогодні майже повсюдно йде оновлення геодезичних інструментів та технологій – на зміну оптико-механічним приладам приходять оптико-електронні, активно впроваджується лазерне обладнання. Паперові графічні матеріали (карти, плани) замінюють на більш сучасні електронні моделі та креслення. Використання сучасного геодезичного обладнання передбачає знання теоретичних основ картографії, геодезії та топографії, знання технічних особливостей приладів, знання специфіки роботи з супутниковими системами, розуміння принципу дії приладів, знання характеру і причин виникнення можливих похибок під час проведення вимірювань. Швидкі темпи розвитку технологій, більш складне в технологічному плані будівництво, велика кількість нестандартних інженерних рішень багато в чому визначили зростаючі вимоги до робіт щодо забезпечення точності в будівництві. Підвищуються стандарти якості, які сприяють застосуванню все більш досконалих, точних і складних приладів у всіх сферах, пов'язаних з будівництвом та ремонтом автомобільних доріг. Особливо явно тенденції до застосування все більш технологічного обладнання проглядаються в сфері інженерної геодезії.*

*Наявність професійного обладнання дозволяє зробити найточніші розрахунки в максимально стислі терміни. В останнє десятиліття темпи модернізації приладів, які використовують під час геодезичних розрахунків, значно зросли, були розроблені зовсім нові технології, які дозволяють поліпшити функціональні особливості та технічні характеристики геодезичного супроводу інженерних об'єктів та споруд.*

**Ключові слова:** сучасні геодезичні прилади, геодезичне забезпечення робіт з будівництва та ремонту автомобільних доріг, топографо-геодезичні роботи, геодезичні вишукування.

**Постановка проблеми.** Відомо, що вимоги до якості будівельної продукції з кожним роком швидко ростуть. Зростає і необхідність постійного підвищення загального технічного рівня будівельних та ремонтних робіт, надійності, довговічності, естетичності, технологічності топографо-геодезичного супроводу об'єктів. Забезпечення проведення якісних вимірів необхідно як для будівництва, так і для ремонту автомобільних доріг.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Поряд з традиційними методиками геодезичних

робіт сьогодні набуває поширення застосування технологій, які передбачають використання сучасних геодезичних приладів, які є більш ефективними. В роботах К. Антановича, А. Островського, Я. Костецької, Т. Шевченко, О. Мороза, І. Тревого, П. Черняги, І. Бялика [1–5] наведено аналіз сучасних електронних тахеометрів, які випускають закордонні виробники, проаналізовані основні характеристики і технічні можливості приладів, наведена класифікація електронних тахеометрів та перспективи їх розвитку. Привертають увагу

роботи білоруських дослідників М.С. Нестеренко, Ю.А. Катькало [5–8], в яких розглянуті інноваційні методи геодезичних робіт під час будівництва автомобільних доріг.

Сьогодні на ринку пропонується велика кількість різних геодезичних приладів, технології виконання геодезичних робіт не стоять на місці, а дуже швидко розвиваються. Сучасні геодезичні технології дуже відрізняються від традиційних технологій і традиційних геодезичних приладів. Ще кілька років тому для певного виду вимірювань застосовували конкретну технологію вимірювань та конкретний прилад для виконання. Так, сферою застосування теодолітів були кутові вимірювання, нівелірів – висотні вимірювання, для лінійних вимірювань – рулетка або далекомір. Також і точність приладів була відповідною. З появою електронних тахеометрів відпала необхідність додаткових побудов на місцевості, виникла можливість швидкого отримання координат та підвищилась точність вимірювань.

**Постановка завдання.** Сучасні геодезичні прилади сьогодні – це об'єкти високих технологій, які включають останні досягнення різних наук – електроніки, точної механіки, оптики та інших. Супровід будівництва, реконструкції або ремонтних робіт автомобільних доріг виконується за допомогою геодезичних вимірювань. Точні геодезичні вимірювання на лінійних об'єктах потребують велику кількість часу. Під час використання традиційних геодезичних приладів – теодоліту, далекоміру, нівеліру та рулетки вимірювання можуть зайняти більше тижня. Сьогодні є актуальними терміни виконання робіт, тому підприємці або виконавці намагаються оснастити своїх фахівців сучасним геодезичним обладнанням. Розвиток комп'ютерних технологій зумовив потребу у швидких обчисленнях і кресленнях. Сучасні прилади є універсальними, вони дозволяють провести геодезичні вимірювання в найкоротші терміни і з максимально точними результатами, а наявність відповідного програмного забезпечення дає можливість використовувати їх у спеціальних програмах для проектування доріг.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Використання сучасного геодезичного обладнання передбачає знання теоретичних основ картографії, геодезії та топографії, знання технічних особливостей приладів, знання специфіки роботи з супутниковими системами, розуміння принципу дії приладів, знання характеру і причин виникнення можливих похибок під час проведення вимірювань. Важливим фактором, який визначає

сучасний рівень інженерно-геодезичного забезпечення будівництва, реконструкції або ремонтних робіт, є рівень використання можливостей сучасних приладів і технологій.

На перший погляд виникає ілюзія того, що сучасні прилади і технології, які характеризуються високим рівнем автоматизації, не вимагають відповідного рівня підготовки фахівців, однак це не так. Тут слід розуміти, що нові прилади і технології під час їх професійного застосування дозволяють істотно розширити коло завдань, які вирішуються, методами геодезії і топографії, підвищити доступність топографо-геодезичних матеріалів під час вирішення різних задач будівництва та експлуатації доріг.

Наявність професійного обладнання дозволяє зробити найточніші розрахунки в максимально стислі терміни. В останнє десятиліття темпи модернізації приладів, які використовують під час геодезичних робіт, значно зросли, були розроблені зовсім нові технології, які дозволили поліпшити їх функціональні особливості та технічні характеристики [5; 9; 10].

Сучасні геодезичні прилади можна розділити на такі групи:

- геодезичне GPS-обладнання;
- електронні тахеометри;
- електронні (цифрові) теодоліти;
- електронні (цифрові) нівеліри;
- лазерні сканери.

Кожен з перерахованих приладів має свою сферу застосування, свої переваги та недоліки. У комплексному будівництві, реконструкції або ремонтних роботах необхідно застосовувати всі види сучасних геодезичних приладів, оскільки кожен з них виконує свій унікальний вид роботи [9].

Геодезичні GPS-приймачі спеціально створені для точного визначення координат точкових об'єктів. GPS-приймачі бувають наступних модифікацій: одночастотні, двочастотні і багаточастотні [9; 10]. Одночастотні використовують для межування земель і проведення підрахунку площі ділянок великих розмірів; двочастотні – для створення мереж згущення опорних геодезичних і межових мереж, проведення зйомок лінійних об'єктів та топографічних зйомок. Багаточастотні GPS-приймачі включають перераховані вище види робіт, а також мають можливість отримання координат в реальному часі. GPS-приймач складається з наступних частин: антена, приймаючий пристрій і польовий контролер. У всіх GPS-приймачах високий ступінь захисту від падінь (з висоти до

1,5 м), пилу і вологи (IP67), що дає можливість застосовувати їх практично у всіх кліматичних умовах [10]. Головним плюсом такого обладнання є мобільність транспортування, оскільки GPS має порівняно невелику вагу і габарити.

Електронний тахеометр об'єднує теодоліт, світлодалекомір і мікроЕОМ, дозволяє виконувати кутові і лінійні вимірювання і здійснювати спільну обробку результатів цих вимірювань [3; 4; 5; 10]. Тахеометри, в яких всі пристрої (кутомірні, далекомірні, зорова труба, клавіатура, процесор) об'єднані в один механізм, називають інтегрованими тахеометрами [3; 4; 5; 10]. Тахеометри, які складаються з окремо сконструйованого теодоліта (електронного або оптичного) і світлодалекоміра, називають модульними тахеометрами.

На цей час найбільш широкого поширення набули електронні тахеометри зарубіжних фірм Sokkia, Topcon, Leica, Trimble. Вони мають вбудоване програмне забезпечення для виробництва практично всього спектру геодезичних робіт: розвиток геодезичних мереж; зйомка і винос в натуру; рішення задач координатної геометрії (пряма і зворотна геодезична завдання, розрахунок площ, обчислення зарубок). Кутова точність у таких приладів може бути від 1" до 5" в залежності від класу точності [3–5].

Електронні теодоліти – це модернізовані пристрої, які намагаються замінити і доповнити можливості оптичних моделей. Попри те, що існує багато спільного в пристрої оптичних і електронних теодолітів, останні мають ряд значних переваг. Головна їх перевага полягає в спрощенні процесу вимірювань. Якщо оператор застосовує оптичну модель, всі відліки знімають візуально, а коли використовує електронний теодоліт, відліки відображаються автоматично, за рахунок чого робота значно прискорюється, а похибка зводиться до мінімуму.

Крім переваг, електронні теодоліти мають кілька досить значущих недоліків. Наявність електронної системи визначає потребу пристрою в електроживленні. Один заряд батарейок гарантує до 20 годин роботи пристрою. Передбачена функція автоматичного вимкнення через 20 хвилин простою забезпечує економічну витрату енергії приладом. Також електронна система досить чутлива до впливу зовнішніх факторів, наприклад, низьких температур, вимагає особливо обережного поводження.

Цифровий нівелір – інструмент, що дозволяє багаторазово підвищити якість і надійність вимірювань. Головною перевагою цифрового нівеліра є можливість автоматичного зняття відліків з використанням спеціальної рейки з нанесеним на неї штрих-кодом. Штрих-код жодного разу не дублюється по всій довжині рейки та дозволяє точно визначити висоту від п'яти рейки до місця наведення горизонтальної труби нівеліра. На відміну від оптичного нівеліра, точність зняття відліків не залежить від особливостей зору спеціаліста або навколишніх умов – досить просто навести на рейку і натиснути на кнопку запуску вимірювань [3–5].

Лазерні сканери – це абсолютно нове геодезичне обладнання. Якщо розглянути технічну сторону лазерних сканерів, лазерний сканер – це прилад, який облаштований високошвидкісним безвідбивачевим лазерним далекоміром і системою зміни напрямку променю лазера. Область сканування – сектор повороту дзеркала, в якому буде з великою швидкістю до 50 000 точок в хвилину поширюватися лазерний промінь далекоміра. Таким чином можна отримати суцільну зйомку об'єкта [3–5; 10].

Найбільше поширення при геодезичному супроводі ремонтних робіт та робіт з будівництва та реконструкції отримали електронні тахеометри та цифрові нівеліри. Великий обсяг геодезичних робіт як під час будівництва, так і під час ремонтних робіт можна виконувати електронним тахеометром.

Тахеометр незамінний під час проведення виносу в натуру. Головною перевагою використання електронних тахеометрів є відсутність необхідності ведення спеціального журналу для запису відстаней і кутів, як під час роботи з теодолітом, оскільки тахеометрична зйомка вимагає тільки ведення абрису. Номери пікетів, відстані і кути зберігаються автоматично в пам'яті інструменту, і в разі зміни місця його розташування необхідно буде тільки ввести відомості про нову станцію і пронумерувати пікет, після чого під час натискання спеціальної кнопки тахеометр сам зробить всі виміри. Також тахеометр дозволяє проводити розрахунок горизонтального положення автоматично – дисплей пристрою показує горизонтальні і вертикальні кути, похили, відстані, перевищення і горизонтальне положення, а режими відображення інформації можуть бути змінені при першій же необхідності. Електронний тахеометр має функцію «виносу в натуру». Тахеометр встановлюють в точці з визначеними координатами, задають координати точки орієнтування або дирекційний кут. Потім виставляється точка для виносу, після введення її координат на

моніторі приладу висвічується кут повороту і дистанція, яку потрібно відміряти в даному напрямку. За допомогою тахеометру можна зробити виміри дистанції між точками, і висоти адаптовані для проведення замірів в зонах особливо знижених температур, проте їх вартість, відповідно, вище.

Під час будівництва та реконструкції автомобільної дороги виконують операційний контроль якості робіт і виконавчий контроль по закінченні всього будівництва або окремої ділянки. Під час контролю перевіряється відповідність геометричних параметрів їх проєктним значенням. Геометричні параметри автомобільної дороги, які можна контролювати з використанням тахеометрів, можна розділити на такі групи: параметри земляного полотна, параметри дорожнього одягу, загальні параметри дороги.

До параметрів земляного полотна, які контролюють, належать [7; 8]:

- довжина прямих ділянок, кути повороту траси;
- радіуси кривих в плані;
- радіуси вертикальних кривих;
- ухили і позначки поздовжнього профілю;
- товщина шарів земляного полотна;
- відстань між віссю і брівкою;
- поперечний ухил;
- крутизна схилів;
- поперечні розміри канав по низу;
- поперечні розміри дренажу;
- поздовжні ухили дренажу;
- ширина насипних бERM.

До параметрів дорожнього одягу відносять:

- висотні позначки по осі дороги;
- ширина шарів дорожнього одягу та земляного полотна;
- товщина шарів дорожнього одягу;
- поперечні ухили.

Загальні параметри дороги включають:

- видимість на перехрестях в одному рівні;
- видимість на горизонтальних кривих;
- видимість на вертикальних кривих.

Одним з методів визначення перевищень в геодезії є нівелювання. Сфера його застосування – вивчення форм рельєфу під час будівництва, реконструкції та виконання ремонтних робіт автомобільних доріг, для спостереження за інженерними та штучними спорудами у процесі експлуатації. Лазерний нівелір, призначений для визначення перевищень і передачі висотних позначок. Відмінністю лазерних нівелірів від їх оптичних аналогів є те, що в них є можливість побудувати робочу площину. В основі конст-  
рукції нівеліру – принцип подвійного зображення. Застосування цифрових нівелірів [9]:

ції нівеліру – принцип подвійного зображення. Застосування цифрових нівелірів [9]:

- спостереження за деформаціями інженерних споруд;
- нівелювання проїзної частини дорожнього полотна;
- нівелювання для визначення ухилів та побудови профілів;
- зйомки русла;
- зйомки зон осідання;
- прокладання нівелірних ходів;
- нівелювання майданчиків.

Завдяки сучасним технологіям цифрові нівеліри спрощують роботу спеціаліста у польових умовах та підвищують продуктивність його праці. Використання цифрових нівелірів забезпечує високу точність вимірів та виключає можливість виникнення помилок за рахунок людського фактору.

Лазерна зйомка автомобільних доріг – це порівняно новий метод топографічної зйомки. Проте лазерне сканування набирає широкі популярності для застосування на наших дорогах. Метод заснований на комп'ютерній обробці даних, отриманих в результаті роботи лазерного далекоміра. Датчики реєструють сигнали лазера, відбиті від різних поверхонь; кожен відбитий сигнал фіксується в пам'яті системи як точка в тривимірному просторі. Прив'язка точок до системи координат здійснюється за допомогою навігаційної супутникової системи і інерціального модуля. Процес лазерного сканування дозволяє визначати координати всіх точок в межах радіусу своєї дії [5; 9; 10].

Сканування проводиться за допомогою автомобіля, на якому встановлена система датчиків та іншої апаратури. Рухаючись по трасі зі швидкістю основного потоку автомобілів, система безперервно сканує місцевість, кут огляду при цьому – 360 градусів, а частота сканування – до мільйона імпульсів в секунду. Результатом лазерного сканування є сформовані хмари точок, які відображають простір на момент сканування. Щільність зйомки може бути різною в залежності від поставленого завдання, аж до декількох тисяч пікетів на квадратний метр.

Лазерна зйомка доріг складається з двох етапів: самого сканування і комп'ютерної обробки її результатів. Із сукупності точок вибираються ті, що належать до дороги; на їх основі будується 3D-модель дороги і прилеглої місцевості. Потім хмари точок зіставляються з фотозображенням місцевості і фарбуються у відповідні кольори, що

надає зображенню повну реалістичність. Основна перевага методу лазерного сканування – це можливість оперативного проведення зйомки в умовах безперервного дорожнього руху, без порушення роботи транспортної інфраструктури. Сканування автомобільних доріг – мобільний і високоточний метод, який може застосовуватися на всіх етапах життєвого циклу автомобільних доріг, від інженерних вишукувань для проектування і будівництва та територіального планування до ремонту і реконструкції автомобільної дороги. До переваг мобільних систем сканування можна віднести вартість зйомки, яка істотно нижче, ніж під час використання традиційних методів, великий об'єм топозйомки (до 200–300 км дороги), технологія дає можливість з високою точністю оцінювати поточний стан траси. На тривимірній карті дороги детально видно не тільки нерівності і пошкодження дорожнього покриття, а і наявність та стан дорожніх знаків та інших об'єктів транспортної інфраструктури [5; 9; 10].

При ремонтних і інших видах робіт лазерне сканування доріг дає можливість порівняти ділянку дороги «до» і «після» та провести оцінку в тому числі товщини нового дорожнього одягу (похибка кожної точки – не більше 1 см по вертикалі). Метод лазерного сканування можна застосовувати для моніторингу стану дорожніх розв'язок і мостів.

**Висновки.** Таким чином, можна бачити наскільки були вдосконалені технології, що застосовуються під час геодезичного супроводу будівництва, реконструкції та ремонтних роботах автомобільних доріг. Сучасне геодезичне обладнання та інструменти дозволяють виконувати найскладніші проекти в максимально короткій термін та забезпечувати точність всіх розрахунків і підвищувати продуктивність праці. Поряд з традиційними методиками виконання геодезичних робіт необхідно застосувати методики, які передбачають використання сучасних приладів, які можуть забезпечити істотний техніко-економічний ефект.

#### Список літератури

1. Островський А.Л. Геодезія : підручник. Частина друга / А.Л. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський; За заг. ред. А.Л. Островського : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2008. 564 с.
2. Мороз О.І. Геодезичні прилади: Навч. посібник / О.І. Мороз, І.С. Тревого, Т.Г. Шевченко. Львів : Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2005. 264 с.
3. Тревого І.С., Шевченко Т.Г., Мороз О.І. Геодезичні прилади: Практикум. Львів : Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2007. 196 с.
4. Тревого І., Баландюк А. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. *Сучасні тенденції розвитку та класифікації електронних тахеометрів*. 2009. Вип. I (170). С. 109–115.
5. Костецька Я.М. Електронні геодезичні прилади. Частина II. Електронні геодезичні прилади : підручник для студентів геодезичних спеціальностей вузів. Львів : ІЗМН, 2000. 324 с.
6. Катькало Ю.А., Тулуевский Н.В., Дроздов Д.Н., Дормаковский И.М. Применение электронных тахеометров для контроля качества работ при строительстве автомобильных дорог. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2015. (3 (48)). С. 143–151.
7. Катькало Ю.А., Подстрелова Е.Н., Терещенко А.С., Тулуевский Н.В. Определение действительных радиусов на закруглениях автомобильных дорог электронным тахеометром. *Вестн. Белорус.-Рос. ун-та*. 2012. № 3. С. 89–95.
8. Нестеренок, М. С. Инновационные методы геодезических работ при строительстве дорог. *Автомобильные дороги, мосты и подземные сооружения: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Белорусского национального технического университета, 21–22 октября 2010 г.* Белорусский национальный технический университет. Минск : БНТУ, 2010. Ч. 1 С. 140–145.
9. Анисенко О.В., Платонова К.А. Сучасні геодезичні прилади, їх значення і роль у геодезичних вимірюваннях. *Інвестиції: практика та досвід*. 2019. № 4. С. 80–83. DOI: 10.32702/2306-6814.2019.4.80
10. Геодезичні прилади та приладдя : Навч. посіб. / В. Ващенко, В. Літинський, С. Перій ; Нац. ун-т «Львівська Політехніка». Львів : Євросвіт, 2003. 160 с.

#### **Arsenieva N.O., Fomenko G.R. MODERN GEODETIC INSTRUMENTS THAT ARE USED IN THE CONSTRUCTION, RECONSTRUCTION AND REPAIR WORK OF HIGHWAYS**

*An important factor that defines the current level of engineering and geodetic provision of work on the construction and repair of highways is the level of use of opportunities for modern geodetic instruments and technologies. New instruments and technologies require a high level of qualification from specialists in their application and allow to significantly expand the range of tasks that solve methods of geodesy and topography,*

---

*increase the availability of topographic and geodetic materials in the development of project documentation. Today, it is almost everywhere upgrading geodetic tools and technologies – optical electronic devices come to the change of opto-mechanical devices, laser equipment is actively implemented. Paper graphic materials (maps, plans) are replaced by more modern electronic models and drawings. The use of modern geodetic equipment involves the knowledge of theoretical bases of cartography, geodesy and topography, knowledge of technical characteristics of devices, knowledge of the specifics of work with satellite systems, understanding the principle of action of devices, knowledge of character and reasons for the emergence of possible errors in carrying out measurements. The rapid growth rates of technology, more complicated in the technological plan, construction, a large number of non-standard engineering solutions largely determined the growing requirements for work, to ensure accuracy in construction. Quality standards are increased that promote the use of increasingly advanced, accurate and complex devices in all spheres related to the construction and repair of highways. Especially clearly tendencies for use of more technological equipment are viewed in the field of engineering geodesy.*

*The presence of professional equipment allows you to make the most accurate calculations in the shortest possible time. In the last decade, the pace of modernization of devices used in geodetic calculations has increased significantly, all new technologies were developed, which allow to improve the functional features and technical characteristics of geodetic accompaniment of engineering objects and structures.*

**Key words:** *modern geodetic instruments, geodetic provision of works on the construction and repair of highways, topographical geodetic works, geodetic surveys.*