

УДК 528.4

DOI <https://doi.org/10.32782/apcmj.2024.4.6>**Коваленко Людмила Олександрівна,**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою  
дорожньо-будівельного факультету,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,  
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 62002, Україна  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3829-3131>  
E-mail: [rp@khadi.kharkov.ua](mailto:rp@khadi.kharkov.ua)

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОНАННЯ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПІД ЧАС КАПІТАЛЬНОГО РЕМОНТУ ДІЛЯНКИ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

**Анотація.** У статті детально розглянуто виконання топографо-геодезичних робіт і вишукувань, які є важливим складником усіх будівельних процесів. Геодезичні роботи надають інформацію щодо правильного розташування будівель, доріг, комунікаційних систем та інших інженерних об'єктів у просторі з високою точністю й з урахуванням усіх геометричних параметрів.

Розглянуто проведення зйомки ділянки автомобільної дороги й закріплення опорно-геодезичної мережі з використанням сучасного високоточного електронного тахеометра. Прилад обладнаний модулем віддаленого зв'язку, який отримує повідомлення про доступні оновлення внутрішнього програмного забезпечення. Під час топографічної зйомки використана мережа активних базових станцій ТОВ «Систем Солюїнс» (м. Київ). Мережа Real Time Kinematic дала змогу отримувати поправки до вимірювань і встановлювати місце розташування із сантиметровою точністю в режимі реального часу. Результати знімання подано у вигляді векторної цифрової моделі місцевості, у якій визначено всі дані за планом наявної дороги та її профілем із високою точністю.

Розглянута в статті технологія виконання геодезичних робіт може бути застосована під час капітального ремонту автомобільних доріг і виконання інших будівельних робіт. У результаті виконання топографо-геодезичних робіт отримують топографічні плани, які можуть бути використані для широкого переліку цілей, таких як розвідка територій, планування будівництва, військові операції, розробка місцевих планів, і в інших галузях, де потрібна детальна геодезична інформація.

**Ключові слова:** топографо-геодезичні роботи, інженерні об'єкти, геодезичні прилади, опорні геодезичні мережі, глобальна система позиціонування, цифрова модель місцевості.

### Kovalenko Liudmyla. TECHNOLOGY FOR PERFORMING TOPOGRAPHIC AND GEODETIC WORKS DURING THE OVERHAUL OF A ROAD SECTION

**Abstract.** The article discusses in detail the performance of topographic and geodetic works and surveys, which are an important part of all construction processes. Geodetic surveys provide information on the correct location of buildings, roads, communication systems and other engineering facilities in space with high accuracy and taking into account all geometric parameters.

The article considers the surveying of a road section and the establishment of the geodetic network using a modern high-precision electronic total station. The instrument is equipped with a remote communication module that receives notifications of available internal software updates. A network of active base stations from System Solutions LLC (Kyiv) was used for the topographic survey. The Real Time Kinematic network made it possible to receive corrections to the measurements and determine the location with centimeter accuracy in real time. The results of the survey are presented in the form of a vector digital terrain model, in which all data on the plan of the existing road and its profile were determined with high accuracy.

The technology of geodetic works discussed in the article can be applied in the process of major repairs of roads and other construction works. As a result of topographic and geodetic works are obtained topographic plans, which can be used for a wide range of purposes, such as territory exploration, construction planning, military operations, development of local plans and in other areas where detailed geodetic information is required.

**Key words:** topographic and geodetic works, engineering facilities, geodetic instruments, geodetic reference networks, global positioning system, digital terrain model.

**Вступ.** Інженерно-геодезичні роботи – це комплекс вимірювань, спрямованих на отримання точних геодезичних даних про місцевість або територію для подальшого проектування, будівництва чи реконструкції інженерних споруд та інших об'єктів [1; 2].

Топографо-геодезичні роботи й вишукування є важливим складником будь-якого будівельного процесу, оскільки надають ключову інформацію правильного розташування будівель, доріг, комунікаційних систем та інших інженерних об'єктів у просторі з високою точністю й з урахуванням усіх геодезичних параметрів [3; 4]. Геодезичні параметри включають різноманітні характеристики місцевості й об'єктів, які вимірюються та враховуються під час інженерно-геодезичних вишукувань. Основні геодезичні параметри включають таке:

- координати: географічні координати точок на землі визначають їх положення в просторі. Координати можуть бути виражені у форматі широти, довготи й висоти над рівнем моря;

- рельєф: висотні дані, що описують зміни висоти місцевості. Вимірюються або моделюються для визначення характеру території, наявності схилів, гірських утворень тощо;

- горизонтальні й вертикальні відстані: вимірюються для визначення відстаней між точками на землі в горизонтальній і вертикальній площинах;

- кутові виміри: описують напрямок та орієнтацію об'єктів або точок у просторі;

- геодезичні маршрути: траскторії або лінії, які вказують шлях між точками на землі й можуть бути використані для побудови доріг, магістралей чи інших інженерних споруд;

- геодезичні мережі: системи взаємопов'язаних геодезичних точок, які використовуються для вимірювань та обчислень у різних інженерних проектах.

**Матеріали та методи.** Геодезичні вимірювання проводять сертифіковані фахівці – інженери-геодезисти. У процесі вимірювань геодезисти використовують різноманітні прилади й технології (наприклад, тахеометри, нівеліри, GPS-приймачі, лазерні вимі-

рювальні прилади, електронні сканери тощо) для збирання даних про рельєф місцевості, межі земельної ділянки, геометрію будівельних об'єктів, їх місце розташування тощо [5; 6; 7]. Також важливо зазначити, що геодезичні параметри можуть бути виміряні й використовувані в різних системах вимірювань, таких як:

- геодезична система координат (далі – ГСК) – це система визначення координат, яка використовується для точного опису місцевості на землі. ГСК може бути глобальною (наприклад, WGS84 – світова геодезична система) або локальною (наприклад, координатна система, використовувана для певної країни або регіону);

- геодезичні координати: широта, довгота й висота певної точки стосовно обраної системи координат;

- геодезичні прив'язки – це відомі точки з відомими геодезичними координатами, що використовуються як посилання для вимірювань і створення геодезичних мереж;

- проєкції карт: геодезичні дані можуть бути перетворені за допомогою геодезичних проєкцій, що дає змогу представляти плоскі картографічні проєкції з географічних координат на площині.

Основою для виконання інженерно-геодезичних робіт є опорні геодезичні мережі [8; 9]. Державна геодезична мережа – це система геодезичних пунктів, яка охоплює територію держави й призначена для визначення географічних координат, висот, формування карт і забезпечення точних геодезичних даних для різноманітних цілей. Ця мережа є ключовим складником інфраструктури в галузі геодезії та картографії країни.

Геодезично-розмічувальна мережа – це система точок на місцевості, які виміряні й розмічені за допомогою геодезичних інструментів і методів з метою створення відповідної бази для визначення географічних координат, висот, рельєфу й інших геодезичних параметрів. Ця мережа використовується для проведення різноманітних геодезичних робіт, таких як картографування, будівництво, дослідження земельної ділянки, моніторинг змін у рельєфі тощо.

Геодезично-розмічувальна мережа складається з точок з відомими координатами й висотами, які зазвичай розташовані визначеним чином у просторі та зв'язані між собою за допомогою вимірювань, таких як тригонометричні спостереження, GPS (глобальна система позиціонування), нівелювання тощо. Ця мережа надає основу для подальших вимірювань і геодезичних обчислень, що використовуються в різних галузях геодезії та картографії.

**Результати.** Виконання топографо-геодезичних робіт розглянемо на прикладі геодезичного супроводу капітального ремонту ділянки автомобільної дороги в Донецькій області, роботи виконували у 2021 році. Схема розташування об'єкта показана на рисунку 1.

Закріплення опорно-геодезичної мережі та зйомка ділянки автомобільної дороги виконані електронним тахеометром Sokkia CX-105 і ГНСС-приймачем Sokkia GRX3, ділянка представлена у вигляді векторної цифрової моделі місцевості (ЦММ) [6; 11]. Згідно із ЦММ, визначено всі дані за планом наявної дороги та її профіль із високою точністю.

Безвідбивний електронний тахеометр SOKKIA CX-105 поєднує всі переваги попередніх моделей з унікальними техніч-

ними інноваціями. Електронний тахеометр SOKKIA CX-105 узяв усе найкраще від попередніх серій (таких як SET550RX, SET530RK3, SET530R тощо) і наповнений останніми технічними досягненнями та передовими технологіями. Маючи найкращий у своєму класі далекомір REDtech Technology Reflectorless EDM, тахеометр SOKKIA CX-105 може міряти відстані до 5000 м на одну призму та до 500 м у безвідбивному режимі з великою швидкістю й точністю [7; 13].

Безвідбивний тахеометр SOKKIA CX-105 обладнаний модулем віддаленого зв'язку TSshield, який дистанційно забезпечує безпеку інструменту й отримує повідомлення про доступні оновлення внутрішнього програмного забезпечення. Швидка зміна налаштувань у роботі здійснюється за допомогою однієї клавіші на клавіатурі, а швидкий вимір виконується за допомогою клавіші, яка розташована на бічній панелі інструмента. Завдяки цьому є можливість виконувати вимірювання, не відриваючись від окуляра й не втрачаючи візуального контролю мети. Бездротовий модуль Bluetooth™ першого класу з функцією LongLink дає змогу працювати з тахеометром SOKKIA CX-105 на відстані 300 м.

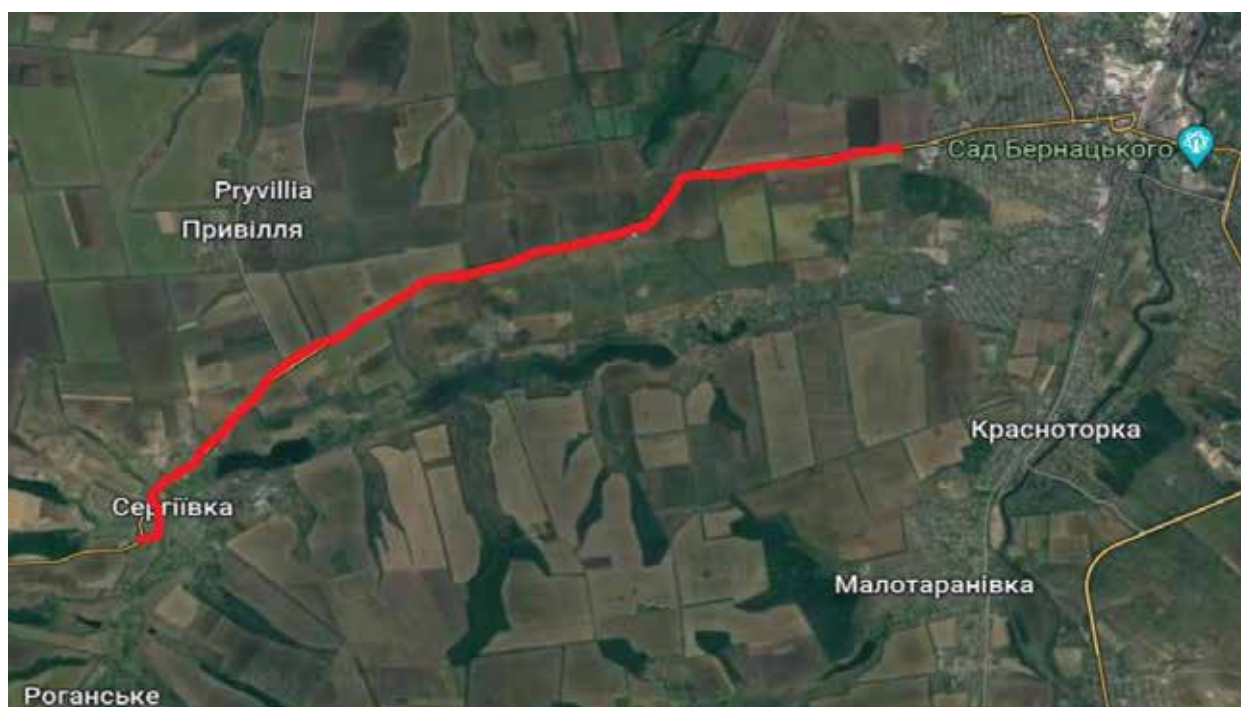


Рис. 1. Схема розташування об'єкта [10]

Основні етапи топографічного знімання включали таке:

- планування й підготовку до знімання: визначення ділянки знімання, вибір методів та інструментів, попередні вимірювання й планування робіт;
- збір даних: проведення аерофотознімання для отримання геодезичних даних і зображень земельної поверхні;
- обробку даних: обробку отриманих даних для створення цифрових моделей рельєфу, відтворення карт та іншої інформації;
- виготовлення планів: створення й редагування топографічних планів на основі оброблених даних.

Під час топографічної зйомки використана мережа активних базових станцій

GNSS System.NET TOB «Систем Солюшнс» (м. Київ) GNSS System.NET. Мережа RTK (Real Time Kinematic) дає змогу користувачам отримувати поправки до вимірювань і встановлювати місце розташування із сантиметровою точністю в режимі реального часу за допомогою GNSS-приймача в мережі постійно діючих референчних GNSS станцій [2; 7]. Виконання зйомки точок і передачу поправок показано на рисунках 2, 3.

RTK (Real-Time Kinematic – кінематика в реальному часі) – метод зйомки, за яким робиться запит, щоб мобільний приймач практично миттєво визначав координати свого поточного розташування із сантиметровою точністю [1; 12; 13].

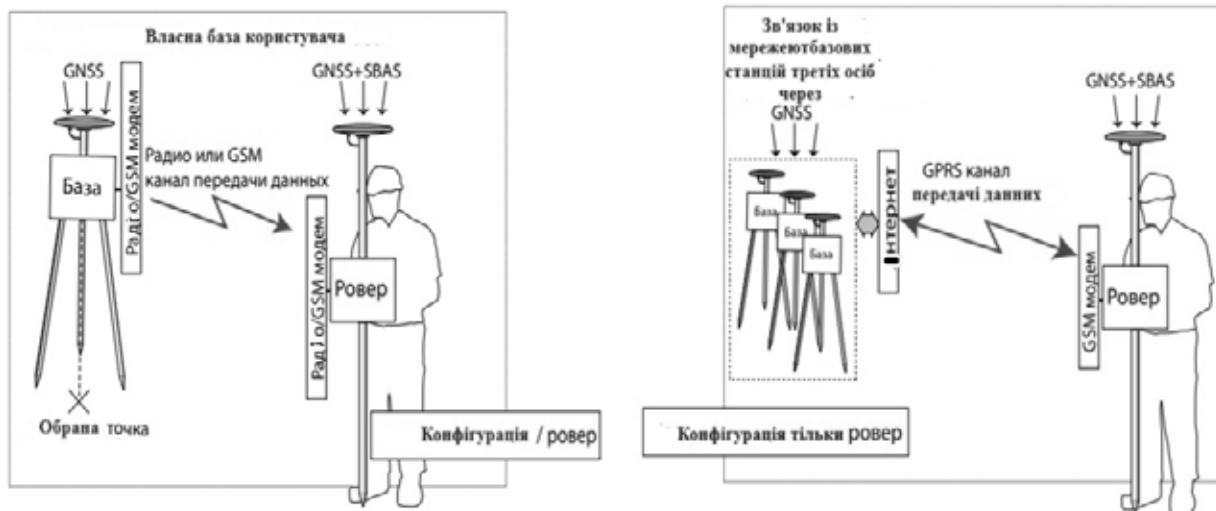


Рис. 2. Передача поправок [9]

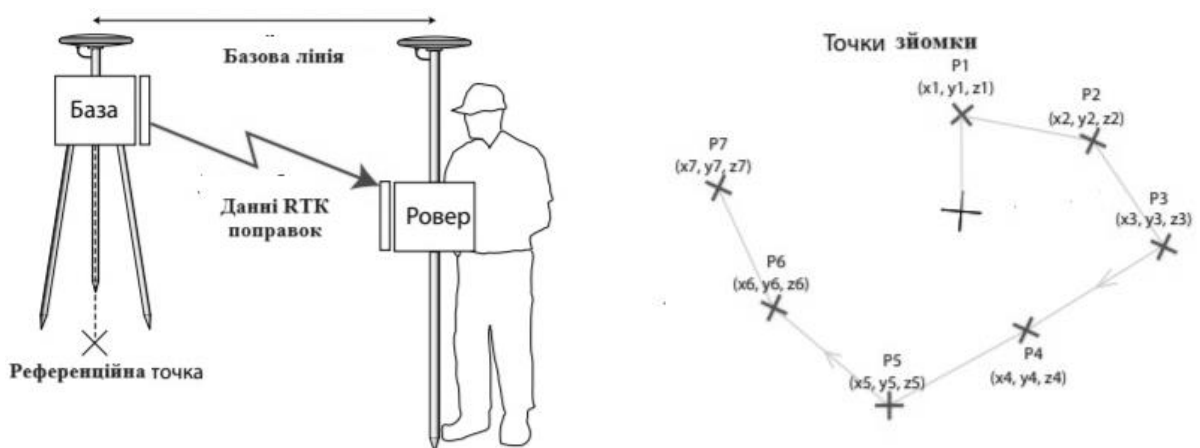


Рис. 3. Виконання зйомки точок [9]

Використовуються два приймачі: один (база) встановлюється на вибраному пункті, тоді як інший (ровер) використовується для зйомки.

База може бути такою:

- власна база з UHF радіомодемом, або GSM модемом, або іншим зовнішнім пристроєм для передачі поправок;

- належить третій особі, яка управляє базою або мережею базових станцій (з'єднання відбувається за допомогою NTRIP протоколу) і надає дані роверу через GSM/GPRS модем.

Для передачі RTK поправок базового приймача (бази) до ровера має бути встановлений канал передачі.

Передача даних може бути здійснена кількома способами:

- UHF радіо;

- стільниковий модем (GSM, GPRS чи CDMA);

- інші зовнішні пристрої (такі як Wi-Fi тощо).

Успішна зйомка вимагає ініціалізації системи та збереження ініціалізації протягом усієї зйомки.

Можливо кілька одночасно працюючих роверів, причому кожен отримує дані RTK поправок від тієї самої бази.

Визначення й реєстрація координат пунктів здійснюється у вибраній системі координат.

Основні правила під час виконання зйомки точок такі:

- перед початком роботи необхідно переконатися, що ровер отримує положення RTK (ініціалізація повинна бути досягнута й підтримуватися);

- антенну вішку необхідно утримувати вертикально на кожному пункті зйомки (якщо не використовується приймач із компенсацією нахилу);

- час зйомки на кожному пункті встановлюється користувачем (кількість точок);

- протягом узяття відліків ровер усереднює послідовні положення, які він обчислює;

- при різній кількості точок ровер реєструє лише перше положення, яке він обчислює на цьому пункті (немає усередненого положення).

При зйомках в реальному часі ініціалізація системи вважається досягнутою, коли система отримала фіксоване рішення RTK для будь-якого нового положення, яке вона обчислює. Потрібно завжди бути впевненим, що цей статус ініціалізації підтримується до кінця зйомки. Тому це природно, що в режимі RTK необхідно бути впевненим, що процес ініціалізації був успішним. Якщо губиться статус RTK становища, то маєтись на увазі, що система втратила ініціалізацію і її необхідно відновити.

У зйомках з постобробкою є та сама потреба в ініціалізації, за винятком того, що в реальному часі система не завжди здатна повідомити, що ця вимога виконана. Потрібно враховувати, що при цьому методі зйомки система – тільки збирач сирих даних. Тільки згодом, повернувшись назад до офісу для здійснення постобробки сирих даних, аналізуючи повний набір результатів зібраних даних, можемо з'ясувати, чи була успішною ініціалізація.

У геодезичній RTK системі канал передачі використовується для передачі RTK поправок від бази до ровера. Канал може бути одним із таких двох типів:

- автономний: користувач має повний контроль над формуваннями передачі RTK поправок (обладнання використовується в конфігурації бази/ровера);

- мережевий: користувач повинен звернутися до третьої сторони, мережного провайдера для отримання RTK поправок (обладнання використовується лише в конфігурації ровера).

Представлено два основні способи передачі даних, доступних у геодезичних системах:

- радіо (автономний);

- мобільні комунікації.

Ключові терміни й вирази:

- вік поправок: дорівнює проміжку часу, що протікає між часом поправок, що генеруються на базі, і часом, коли вони фактично використовуються для отримання координат RTK в ровері, якість поправок зменшується зі збільшенням їхнього віку;

- CSD (Circuit Switched Data – технологія передачі даних для мобільних телефонів).

Оригінальна форма передачі даних, що розвивається для TDMA (Time Division Multiple Access – множинний доступ із поділом за часом), що базується на телефонних мобільних системах, подібних до GSM;

– GPRS (General Packet Radio Service – пакетний радіозв'язок загального користування). Сервіс мобільних даних, доступний користувачам модемів GSM (наприклад, стільникового телефону). Передача даних GPRS зазвичай оплачується за мегабайт переданих/отриманих даних, а передача даних через традиційне CSD підключення оплачується за час з'єднання щохвилини (незалежно від того, передає користувач дані чи ні);

– NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol – мережна передача RTCM поправок за допомогою Інтернет-протоколу). Протокол, використовуваний GNSS сервісом провайдерів, слугує передачі поправок від мереж референціальних станцій (баз). Серед добре відомих використовуваних NTRIP протоколів – VRS, MAC, FKP тощо.

У результаті топографічного знімання зазвичай отримують плани, що відображають усі показники ділянки автомобільної дороги, рельєф придорожньої смуги, ситуацію навколо дороги й інші характеристики місцевості. Топографічні плани й інша геодезична інформація використовуються для

обстеження автомобільних доріг, розробки проектів капітального ремонту та реконструкції доріг.

**Висновки.** Топографічне знімання як процес створення топографічних планів, що відображають рельєф та інші характеристики земельної поверхні й різноманітних інженерних об'єктів, широко використовується в будівництві. Топографічні плани включають та узагальнюють інформацію про ландшафт, рельєф, гідрографію, дороги, будівлі, межі земельних ділянок, ліси, поля й інші об'єкти, які є важливими для визначення географічних областей і планування в різних галузях.

Топографічне знімання включає вимірювання й реєстрацію різних параметрів земельної поверхні з використанням геодезичних і картографічних методів. Зазвичай воно виконується за допомогою аерофотознімання, лазерного сканування, геодезичних вимірювань на місці або комбінації цих методів. Розглянута в статті технологія виконання геодезичних робіт може бути застосована під час капітального ремонту автомобільних доріг і виконання інших будівельних робіт.

Топографічні плани можуть бути використані для різних цілей, таких як розвідка територій, планування будівництва, військові операції, розробка місцевих планів та інші галузі, де потрібна детальна географічна інформація.

#### Список використаних джерел:

1. Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія : підручник / за заг. ред. Н.Л. Островського. 2-ге вид., випр. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. 564 с.
2. Тельнов В.Г. Геодезія : навчальний посібник. Дніпро : НТУ, 2019. 317 с.
3. Войтенко С.П. Інженерна геодезія : підручник. Київ : Знання, 2012. 574 с.
4. Нормативно-правове забезпечення професійної діяльності : навчальний посібник / Л.М. Казаченко, А.Г. Батракова, В.М. Ряпухін та інші. Харків : ХНАДУ, 2019. 120 с.
5. Graham R., Koha A. Digital Aerial Survey: Theory and Practice / Whittles Publishing. Scotland, UK, 2002.
6. Bird P. An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2003. Vol. 4. № 3. Art. no. 1027. doi: 10.1029/2001GC000252, 1. 52.
7. Калинич І.В., Радиш І.П., Ваш Я.І. Електронні геодезичні прилади : конспект лекцій. Ужгород, 2021. 156 с.
8. Hofmann Wellenhof V. Physical Geodesy / V. Hofmann, Wellenhof, H. Morit. New York, 2005. 403 p.
9. Калинич І.В., Гриник Г.Г., Ничвид М.Р. Геодезія : навчальний посібник. Ужгород, 2020. 248 с.
10. Державне агентство автомобільних доріг України : веб-сайт. URL: <https://ukravtodor.gov.ua/> (дата звернення: 10.09.2024).
11. Батракова А.Г., Кузьмін В.І. Інженерно-геодезичний моніторинг і контроль в будівництві. Частина І. Геодезичні роботи при будівництві мостових переходів : навчальний посібник. Харків : ХНАДУ, 2018. 116 с.

12. Шевченко Т.Г., Мороз О.І., Тревого І.С. Геодезичні прилади. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2009. 482 с.
13. Nadolinets L., Levin E., Akhmedov D. Surveying instruments and technology. Florida, 2017. 253 p.
14. Баран П.І. Інженерна геодезія : монографія. Київ : ПАТ «ВІПОЛ», 2012. 618 с.

#### References:

1. Ostrovskiy, A. L., Moroz, O. I., & Tarnavskiy, V. L. (2012). *Geodeziia: Pidruchnyk* [Geodesy: Textbook] (2nd ed.). Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politehniky [in Ukrainian].
2. Telnov, V. G. (2019). *Geodeziia: Navchalnyi posibnyk* [Geodesy: Textbook]. Dnipro: NTU [in Ukrainian].
3. Voitenko, S. P. (2012). *Inzhenerna geodeziia: Pidruchnyk* [Engineering geodesy: Textbook]. Kyiv: Znannia [in Ukrainian].
4. Kazachenko, L. M., Batrakova, A. G., Riapuhin, V. M., & Arsenieva, N. O. (2019). *Normatyvno-pravove zabezpechennia profesiinoi diialnosti: Navchalnyi posibnyk* [Regulatory and legal support of professional activity: Textbook]. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
5. Graham, R., & Koh, A. (2002). *Digital aerial survey: Theory and practice*. Whittles Publishing [in English].
6. Bird, P. (2003). An updated digital model of plate boundaries. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4 (3), 1027 [in Ukrainian].
7. Kalynych, I. V., Rady, I. P., & Vash, Ya. I. (2021). *Elektronni geodezychni prylady: Konspekt lektsii* [Electronic geodetic instruments: Lecture notes]. Uzhhorod [in Ukrainian].
8. Hofmann-Wellenhof, B., & Moritz, H. (2005). *Physical geodesy*. Springer [in English].
9. Kalynych, I. V., Grynyk, G. G., & Nychvyd, M. R. (2020). *Geodeziia: Navchalnyi posibnyk* [Geodesy: Textbook]. Uzhhorod [in Ukrainian].
10. State Road Agency of Ukraine. (2024). *Official website*. Retrieved September 10, 2024, from <https://ukravtodor.gov.ua/> [in English].
11. Batrakova, A. G., & Kuzmin, V. I. (2018). *Inzhenerno-geodezychnyi monitoring i kontrol v budivnytstvi, chastyna I. Geodezychni roboty pry budivnytstvi mostovykh perekhodiv: Navchalnyi posibnyk* [Engineering-geodetic monitoring and control in construction, part I. Geodetic works during the construction of bridge crossings: Textbook]. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
12. Shevchenko, T. G., Moroz, O. I., & Trevoga, I. S. (2009). *Geodezychni prylady* [Geodetic instruments]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politehniky [in Ukrainian].
13. Nadolinets, L., Levin, E., & Akhmedov, D. (2017). *Surveying instruments and technology* [in English].
14. Baran, P. I. (2012). *Inzhenerna geodeziia: Monografia* [Engineering geodesy: Monograph]. Kyiv: PAT «VIPOЛ» [in Ukrainian].