

**Винограденко С.О., к.е.н., доцент кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру**

**Грек М.О., к.т.н., асистент кафедри управління земельними ресурсами, геодезії та кадастру**

*Державний біотехнологічний університет, м. Харків*

## **ГЕОДЕЗИЧНІ МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ МОНІТОРИНГУ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ**

Використання геодезичних методів є невід'ємною частиною етапів будівництва, обслуговування та моніторингу стану при експлуатації будь-якого інженерного об'єкта.

Висотні інфраструктурні об'єкти являють собою складні конструкції, до яких в інженерній геодезії ставляться з особливою увагою. Фізичні сили та інші зовнішні впливи, які постійно діють на об'єкт, можуть викликати деформації конструкції і положення висотного інженерного об'єкта. Для того, щоб визначити деформації та зміщення об'єкта, необхідно виконати відповідні геодезичні вимірювання [1]. Геодезичні контрольні вимірювання виконуються зі спеціально створеної місцевої геодезичної мережі. Ця мережа складається з декількох геодезичних пунктів, які стабілізуються навколо об'єкта металевими знаками або бетонними стовпами. Для того, щоб вивчити деформацію об'єкта, необхідно виконати точні вимірювання геодезичної мережі. Ці вимірювання здійснюються за допомогою різних геодезичних приладів та методів [2]. На практиці для наземних вимірювань найчастіше використовують класичні геодезичні методи та інструменти, такі як GPS та тахеометр. Остаточні координати пунктів мережі визначаються шляхом обробки результатів вимірювань. Важливо зазначити, що вимірювання в геодезичній мережі можуть бути реалізовані в місцевій або національній системі координат. Для того, щоб мати більш точні та компактні результати вимірювань, рекомендується працювати в місцевій системі координат. Використовуючи сучасну геодезичну техніку (наприклад, 3D лазерний сканер), оператор виконає геодезичні вимірювання на об'єкті з декількох пунктів геодезичної мережі. Кінцевим продуктом геодезичної зйомки буде сітка точок (3D-моделі) об'єкта. За допомогою відповідної геодезичної методики та програмного забезпечення, а також спеціальних математичних рівнянь [3] можна визначити та розрахувати правильність форми та стійкість об'єкта (деформації). Величина деформації подається разом з інженерним ескізом і виражається в сантиметрах або міліметрах.

Геодезичний моніторинг, який є традиційним інструментом, зосереджується на позиціонуванні тіла споруди, наприклад, виявлення аномального нахилу та на змінах її геометричної фігури [1], а саме її деформації. Раніше це завдання виконувалося класичними геодезичними приладами. Сьогодні в геодезичному арсеналі з'явився новий інструмент – супутниковий приймач (GNSS). Спочатку мережі ГНСС були прийняті для періодичних вимірювань контрольних точок (КТ), контрольованих набором реперних точок, встановлених в найближчих стабільних районах. Кінематичні вимірювання в реальному часі (RTK) також використовувалися для високоточного моніторингу деформацій дамб [2]. Звичайна система моніторингу мосту складається з невеликої горизонтальної геодезичної мережі навколо мосту і вибраних точок моніторингу, розподілених на мосту так, щоб покрити всю його довжину з обох боків. Основною метою спроектованої мережі є забезпечення деяких геодезичних пунктів, відносні та абсолютні положення яких точно встановлені [3].

Наземна метрична зйомка є, мабуть, одним з найбільш традиційних методів зйомки, який і сьогодні активно використовується професіоналами. Технологічний прогрес зробив збір даних набагато швидшим і точнішим заняттям [4]. До геодезичного обладнання належать теодоліти і тахеометри. Це обладнання використовується для збору метрично точних 3D-даних для різних цілей. Тахеометр вимірює кути і відстані до заданої точки і від

неї по прямій лінії на місцевості. Тахеометри відіграють важливу роль в обстеженні будівель, де безвідбиваюча функція дозволяє вимірювати точку без необхідності розміщення призми [4]. Вони також використовуються в місцях, де GNSS-зйомка є складною, наприклад, у лісі або навколо високих будівель.

Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) останнім часом використовуються для аналізу моніторингу деформацій. Вони забезпечують високу точність з 24-годинною доступністю обробки даних. Моніторинг базується на коригуванні геодезичної мережі за допомогою GNSS і наземних датчиків. Першим кроком аналізу геодезичних деформацій і першим кроком коригування є визначення опорної системи координат, що розраховується як класичне вільне коригування мережі в системі координат опорних точок. GPS дає векторне значення переміщення у трьох вимірах, тому крім надання інформації про вектор переміщення об'єкта в горизонтальному напрямку, GPS також надає інформацію про вектор переміщення об'єкта у вертикальному напрямку. Завдяки цьому GPS можна використовувати для створення геодезичних мереж на високих інфраструктурних об'єктах з високою точністю.

З кожним роком вдосконалюються і безпілотні літальні апарати (БПЛА). Як інструмент фотограмметричних вимірювань, малі БПЛА забезпечують гнучкість і надійність, є безпечними і простими у використанні. Вони можуть бути розгорнуті за лічені хвилини; початкові вимірювання можуть бути проведені ще на полі, а остаточні точні вимірювання розраховуються швидко, навіть за допомогою онлайн-сервісів. Використання дронів особливо корисне, коли геодезист має справу з важкодоступними територіями, такими як водно-болотні угіддя, болотиста місцевість, густі ліси або крутосхили. За допомогою, належним чином, обладнаного дрона геодезисти можуть отримати хмари точок. За допомогою сучасного програмного забезпечення вони можуть взяти ці точки і створити тривимірну модель місцевості з текстурами, застосованими до окремих точок. Вони створюють неймовірно точне візуальне уявлення про об'єкт і скорочують час його обстеження. Вони мають обмежений радіус дії і швидкість, але високу маневреність і здатність досягати важкодоступних місць.

Тривимірне (3D) лазерне сканування - це нова вимірювальна технологія, що використовується для швидкого і точного визначення точок на поверхні об'єкта з такими перевагами, як висока швидкість, автоматизація, безконтактність і висока точність. Отримані точки, як правило, визначаються на основі координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , пов'язаних з атрибутами, такими як інтенсивність лазерного променя, відбитого від спостережуваного об'єкта. Деформації інфраструктурних об'єктів (димова труба, дамба, міст тощо) можна відстежувати за допомогою 3D лазерного сканера та програмного забезпечення для обробки даних.

#### Перелік посилань

1. Яковенко, М., Мелашенко, Ю., Зорін, Є., & Бень, І. (2023). Багаторічний моніторинг деформацій будівель і споруд геодезичними методами. Наука та будівництво, 37(3). Режим доступу: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-3-2023-8>

2. Олесків, Р.Є., Гера, О.В. (2019). Сучасні геодезичні методи моніторингу технічного стану наземних об'єктів нафтогазової промисловості. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, серія "Технічні науки", 30 (69), № 6. – С. 221 – 225.

3. Бачишин, Б. (2023). Геодезичний моніторинг короткоперіодичних деформацій мосту в м. Рівне. Просторовий розвиток, (5), 258–267. Режим доступу: <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.5.258-267>

4. Serhii Vynohradenko, Arkadii Siedov, Mykola Trehub, Yuliia Zakharchenko and Yuliia Trehub. (2022). Features of providing engineering and infrastructure objects with geospatial information. [ref]: vol.20.2022. Режим доступу: <https://refpress.org/ref-vol20-a74/>