

Необхідно грамотно та розумно використовувати цифрові технології для швидкого та конкретного відновлення в післявоєнний період.

Список джерел:

1. Aghion P., Howitt P. Growth and Unemployment. The Review of Economic Studies. 1994. Vol. 61. № 3. P. 477-494.
2. Mahroum S., Dachs B., Weber M. Trend spotting the future of information society technology human resources. International Journal of Foresight and Innovation Policy. 2007. Vol. 3. № 2. P. 169-186.

## **МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОТНИХ ІНФРАСТРУКТУРНИХ СПОРУД**

*Сахно Любомир (Україна)*

*Науковий керівник – доцент, к. філол. н. Сметанська М.І.*

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

*м. Київ, Україна*

Географічно-ландшафтна характеристика території України надзвичайно розмаїта. Рівнини, гори, ліси, річки, озера – все це природні багатства. І сучасна людина мусить опанувати місцевість задля створення комфортних умов проживання, не нашкодивши природі. Чимала роль у цьому належить такій науці, як геодезія. У дослівному перекладі з грецької мови це - поділ землі. Вивчення та відображення кожної ділянки її поверхні необхідні для картографії, для вивчення землеустрою, для застосування наукових досліджень в різних галузях людської діяльності.

Особлива роль геодезичних вимірювань полягає у супроводі будівництва, оскільки тільки правильно проведені геодезичні роботи є запорукою втілення кожного будівельного проекту з високим рівнем якості. У Київському національному університеті будівництва і архітектури на факультеті геоінформаційних систем і управління територіями готують спеціалістів з

геодезії. У даній роботі ми подаємо інформацію про найбільш оптимальне, як на наш погляд, використання геодезичних приладів із кваліфікаційними сертифікатами щодо окремих промислових чи приватних об'єктів. Особлива роль надається висотним структурам, адже щонайменші неточності у розрахунках можуть призвести у перспективі до їхньої неякісної, недовготривалої експлуатації або ж навіть до руйнування.

Висотні інфраструктурні споруди – це складні інженерні об'єкти значної висоти та просторової протяжності (дамби, мости, димові труби тощо), які в процесі будівництва та експлуатації зазнають просторових деформацій під дією природних факторів та внутрішніх фізико-механічних процесів. Їх геодезичний моніторинг необхідний для своєчасного виявлення небезпечних зміщень та відхилень від проєктної документації, запобігання аваріям, економічним втратам і ризикам для населення.

Геодезичний моніторинг – це комплекс систематичних геодезичних вимірювань, фіксації та аналітичної обробки даних, спрямований на спостереження за деформаціями конструкцій у процесі будівництва та експлуатації з метою оцінки їхнього технічного стану, забезпечення необхідної точності, своєчасного виявлення небезпечних змін і запобігання аварійним ситуаціям відповідно до вимог проєктної документації, технічного завдання та чинних нормативних документів [1].

Для моніторингу деформації та зміщення конструкції необхідно виконувати певні геодезичні контрольні вимірювання. Існує широкий спектр технічних рішень для моніторингу стану споруд. Умовно їх можна поділити на класичні та сучасні.

Класичними технічними рішеннями є:

- нівеліри і теодоліти для контролю горизонтальних та вертикальних переміщень при побудові триангуляційних та нівелірних мереж;
- оптичні коліматори для відстеження горизонтальних відхилень;

- геотехнічні датчики для вимірювання локальних деформацій (нахиломіри, екстензометри, деформометри тощо) та інших фізичних величин (п'єзометри, датчики навантаження, датчики напружень) [3].

Вони забезпечують високу точність вимірювань, але зазвичай потребують значних трудових затрат і не дозволяють отримати загальну картину деформацій.

Сучасні технології включають: роботизовані тахеометри, глобальні навігаційні супутникові системи, наземні радіочастотні системи позиціонування, наземне лазерне сканування, наземні радары із синтезованою апертурою і супутникову диференціальну інтерферометрію [6]. Новітні підходи базуються на інтегрованих системах моніторингу, які поєднують геодезичні, дистанційні та геотехнічні сенсори з автоматизованим збором і обробкою даних. Це дозволяє аналізувати тривимірні деформації у просторово-часовому контексті, підвищувати надійність інтерпретації результатів та створювати основи для прогнозування поведінки споруд під дією зовнішніх навантажень. Проте використання таких технологій потребує відносно більших матеріальних витрат.

Основними труднощами дослідження висотних інфраструктурних споруд є їх конструктивна складність, малі величини деформацій, вплив навколишніх умов на результати спостережень, складність створення стабільних геодезичних мереж, потреба в інтеграції різних методів зондування і сенсорів для отримання надійної інформації тощо.

Вибір обладнання і методів досліджень висотних інфраструктурних об'єктів залежить від їх типу, умов виконання вимірювань та вимог до точності результатів. З метою комплексної оцінки деформаційних процесів застосовуються як наземні методи, так і супутникові та дистанційні технології. Нижче наведено основні методи моніторингу, що найбільш широко використовуються на практиці.

## *Прилади, системи і технології геодезичного моніторингу стану висотних споруд*

### Електронний тахеометр

Наземна метрична зйомка є базовою технологією збору просторових даних. Основним знімальним обладнанням для її проведення є електронний тахеометр, що використовується для вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів, а також відстаней до точок у межах прямої видимості. Він дозволяє отримувати метрично точні тривимірні координати об'єктів на місцевості [10].

Однією з ключових переваг електронного тахеометра є можливість безвідбивачевих вимірювань у ситуаціях, коли фізичний контакт із об'єктом небажаний або неможливий; електронні тахеометри ефективні в середовищах, де використання GNSS-обладнання ускладнене або неможливе, зокрема в лісистій місцевості, у щільній міській забудові або поблизу високих споруд [4]. Незважаючи на високу точність, процес вимірювання залишається трудомістким.

### *Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) та GPS-орієнтована система онлайн-контролю та оповіщення (GOCA)*

GNSS широко застосовуються для моніторингу деформацій інженерних споруд. GNSS-методи забезпечують високоточне визначення просторових координат пунктів спостережень і дозволяють формувати динаміку переміщень об'єктів у часі. Безперервні GNSS-спостереження в реальному часі дають змогу здійснювати довготривалий моніторинг протяжних об'єктів без необхідності взаємної видимості між пунктами. Порівняно з традиційними методами, GNSS є більш придатним при скануванні великих територій, де вплив геоїдних неоднорідностей і гравітаційних аномалій може суттєво ускладнювати класичні вимірювання [8].

GPS-орієнтована система онлайн-контролю та оповіщення (GOCA) є прикладом багатосенсорної системи онлайн-моніторингу деформацій. GOCA –

це система автоматичного геодезичного моніторингу, яка відстежує зміщення та деформації споруд. GOCA поєднує GNSS-вимірювання з наземними сенсорами (тахеометри, інклінометри тощо) та обробляє дані як єдину геодезичну мережу. Система значно полегшує вирішення задач моніторингу деформацій і зсувів, підвищує точність, зменшує людський фактор та дозволяє швидко реагувати на небезпечні зміни завдяки функції автоматичного оповіщення [5].

*Наземне дистанційне зондування, технологія наземного лазерного сканування (TLS)*

Наземне дистанційне зондування, є тривимірною (3D) технологією збору просторових даних. Його принцип базується на випромінюванні лазерного імпульсу наземним сканером у напрямку об'єкта та вимірюванні часу або фази його повернення після відбиття. На основі цих вимірювань обчислюється відстань до точки, а її просторове положення визначається координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Сукупність таких точок формує щільну 3D-хмару точок, яка використовується для побудови цифрових моделей і виявлення деформацій або змін поверхні при повторних зйомках [9,2].

Завдяки високій просторовій роздільній здатності та повторюваності вимірювань TLS є ефективним інструментом для моніторингу деформацій. TLS-зйомки дозволяють виконувати кількісну оцінку змін поверхні з точністю аж до частки міліметра [4]. Поєднання TLS із сучасними алгоритмами обробки 3D-хмар точок значно підвищує достовірність результатів і дозволяє виявляти ранні стадії деформаційних процесів [2].

Тому наземне дистанційне зондування є потужним інструментом для інспекції та контролю технічного стану інфраструктурних об'єктів, а його подальший розвиток пов'язаний із автоматизацією обробки даних та інтеграцією з фізичними моделями.

## *БПЛА (UAV)*

Широке використання БПЛА в сфері моніторингу деформацій обумовлене можливістю швидкого та економічно вигідного здобуття високоточної просторової інформації. Безпілотні літальні апарати дозволяють оперативно отримувати ортофотоплани, цифрові моделі рельєфу й місцевості без залучення авіації чи тривалих наземних робіт [4].

Використання БПЛА з фотограмметричними камерами або лазерними сканерами (LiDAR) дозволяє швидко формувати щільні хмари точок і цифрові моделі рельєфу, які за своєю структурою є аналогічними даним наземного лазерного сканування (TLS). Це дає змогу переходити від традиційного точкового контролю до площинного аналізу деформацій. БПЛА значно підвищують оперативність спостережень і зменшують обсяг польових робіт, що є критичним для регулярного моніторингу динамічних процесів. Аналогічно до методів TLS, деформації можуть визначатися за допомогою різниці моделей, аналізу відстаней між хмарами точок або побудови візуалізації переміщень. Перевагою БПЛА є можливість охоплення великих площ і складних об'єктів (схили, кар'єри, дамби, насипи) без фізичного доступу до них [7].

Отже, геодезичний моніторинг є необхідним для контролю стійкості висотних інженерних споруд у процесі їх експлуатації. Поєднання та інтеграція різних методів моніторингу деформацій забезпечує високоточне визначення просторових переміщень. Комплексне використання різних методів підвищує надійність результатів та ефективність контролю стану висотних споруд. Отримані дані геодезичного моніторингу використовуються для своєчасного виявлення небезпечних змін, оцінки технічного стану споруд і запобігання аварійним ситуаціям.

Варто також зауважити, що для ретельного виконання робіт інженер-геодезист мусить бути ознайомлений не тільки з приладами та методикою вимірювань, але й знати основні положення чинного законодавства України. Це Земельний кодекс України, Закон України «Про топографо-геодезичну і

картографічну діяльність», ДБН А 2. 1-1-2008 «Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Інженерні вишукування для будівництва». Гармонійне поєднання цих знань з якісною фаховою підготовкою сприятиме забезпеченню успіху.

Список джерел:

1. ДБН В.1.3-2:2010 Геодезичні роботи у будівництві [Електронний ресурс] / Державні будівельні норми України. – Режим доступу: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_v\\_1\\_3\\_2\\_2010\\_geodezichni\\_roboti\\_u\\_budivnictvi/1-1-0-787](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_1_3_2_2010_geodezichni_roboti_u_budivnictvi/1-1-0-787)
2. Abellan, A., Derron, M., Jaboyedolf, M. Use of 3D point clouds in geohazards / A. Abellan, M. Derron, M. Jaboyedolf. – Remote Sens., 2016. – Vol. 8, 130.
3. Beshr, A. Abd El-W. Structural deformation monitoring and analysis of highway bridge using accurate geodetic techniques / A. Abd El-W. Beshr. – Faculty of Engineering, Mansoura University, Egypt, 2015.
4. Burdziakowski P. International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Sofia, 2018. – P. 240–241.
5. Kälber S., Jäger R. GPS-based online control and alarm system (GOCA) // Proc. 10th FIG Int. Symp. on Deformation Measurements. — Orange, CA, 19–22 March, 2001. – P. 164–174.
6. Marco, S., Maia, M., Michele, C., Vincenza, T., Jin, W. Geodetic and remote-sensing sensors of dam deformation monitoring / S. Marco, M. Maia, C. Michele, T. Vincenza, W. Jin. – Milano, Italy, 2018.
7. Sizeng, Zh., Fei, K., Junjije, L., Chuanbo, M. Structural monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D construction / Zh. Sizeng, K. Fei, L. Junjije, M. Chuanbo. – Automation in Construction, 2021.
8. Tan, D., Li, A., Ji, B., Duan, J., Tao, Y., Luo, H. Ground deformation monitoring for subway structure safety based on GNSS / D. Tan, A. Li, B. Ji, J. Duan, Y. Tao, H. Luo. – Buildings, 2023. – Vol. 13, No. 11, 2682
9. Teng, J., Shi, Y., Wang, H., Wu, J. Review on the research and applications of TLS in ground surface and constructions deformation monitoring / J. Teng, Y. Shi, H. Wang, J. 10. Terrestrial Metric Survey – CHERISH Project [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cherishproject.eu/en/tool-kit/terrestrial-metric-survey/>
10. Wu. – Sensors, 2022. – Vol. 22, No. 23, 9179.