

УДК 528.72/73

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТА ГЕОТЕХНІЧНИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

**К. Смолій**

Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** деформація, моніторинг, інклінометр, GNSS

### Постановка проблеми

Тепер, у час інтенсивного технічного прогресу, на вибір методу моніторингу за деформаціями інженерних споруд звертають особливу увагу. Це зумовлено швидким розвитком високоточних приладів та програмних пакетів, які використовують для обробки результатів спостережень. Отже, актуальним є завдання – виконати аналіз сучасного стану технологічних особливостей цих методів та засобів їх реалізації.

### Зв'язок з важливими науково-практичними завданнями

Під час експлуатації інженерних споруд необхідно проводити високоточний моніторинг за їх деформаціями. В процесі дослідження важливим є визначення швидкості та напрямку деформацій, ось чому так важливо вибрати оптимальний метод моніторингу [4]. Тому дослідження цих методів дасть змогу вибрати таку технологію моніторингу, яка б надала найточнішу інформацію про поведінку споруди.

### Постановка завдання

Виконати аналіз літературних джерел, в яких висвітлено методи, способи та алгоритми моніторингу деформаційних процесів. Зробити відповідні висновки.

### Виклад основного матеріалу

Сьогодні є декілька методів досліджень деформацій споруд. У табл. 1 наведено найпоширеніші з них.

Таблиця 1

#### Сучасні методи дослідження деформацій

Назва методу	Сфера застосування
Високоточне нівелювання	Дослідження деформації фундаменту споруд
Спосіб GPS-вимірювань	Дослідження деформації багатоповерхівок
Лінійно-кутові вимірювання	Визначення осідань та деформацій споруд різних типів
Наземне лазерне сканування	Визначення кренів споруд
Інклінометрія	Контроль горизонтального зміщення споруд
Виміри датчиками розкриття тріщин	Контроль за розкриттям тріщин у режимі реального часу
Стереодіаграмметричний	Визначення деформацій фасадів споруд

Кожний з цих методів ґрунтується на отриманні даних з різних геодезичних приладів. Для дослідження деформацій потрібно використовувати високоточні геодезичні прилади і приладдя. У табл. 2 наведено рекомендовані моделі сучасних геодезичних приладів та їх точність.

Таблиця 2

#### Моделі сучасних геодезичних приладів

Прилад	Точність	Фірма виробник та модель
Нівелір	0,2÷0,3 мм на 1 км подвійного ходу	Sokkia (PL1, SDL1X); Leica (DNA03, NA2); Trimble (DiNi03); Nikon (AS 2/2C)
Тахеометр	0,5÷2"	Trimble (S3, S6, S8, M1, 5601 DR, 5602, 5603); Leica (Nova TS50, Nova TM50, TPS 1201/1202/1203, TM 30); Sokkia (SET 030RK3-31); Nikon (DTM 362); Topcon (GTS-751)
Наземний сканер	±4÷±6 мм	Leica (Scan station 2, C5, C10, P10, P20); Trimble (GX, TX8); Faro (Focus 3D x 130); Riegl (VZ-400, LMS-Z620)
Інклінометр	±0,0047÷±0,05 мрад	Leica (Nivel 200/210/220); Sherborne sensors (LWS inclinometer)
GNSS	Планова: ±3 мм+0,1ppm; Висотна: ±3,5 мм+0,4 ppm	Leica (GS08 NetRover, GS09, VIVA); Topcon (Hiper+, NET-G3A); Trimble (R4, R6, R7, R8, R9, R10 NETR9); Hi-target (V9-S, V8200X).

Розглянемо літературні джерела, в яких досліджено вищеперелічені методи. У статтях [9, 10] висвітлено метод моніторингу за деформаціями хмарочосів, оснований на даних GNSS-вимірів та акселерометра [13]. Дослідження проводили на даху хмарочоса “Yokohama Island Tower” у місті Токіо. Прилади були встановлені на даху споруди та працювали в безперервному режимі. На рисунку зображено розміщення приладів на об'єкті.

Отримані дані опрацьовано сумісно. З результатів обробки спостережень можна зробити висновок, що виміри GPS добре узгоджуються з вимірами акселерометра. Але зазначимо, що GPS-виміри містять помилки базису, адже відстань між парою приладів становила 34 км.



*Встановлений GPS та акселерометр*

Ще одним досліджуваним хмарочосом є вежа Комтар у Малайзії. В процесі дослідження деформацій використано мережу з шести GPS-станцій: чотири – на даху споруди і дві – на площі перед будівлею. Автори [13] виконали лише два цикли спостережень, цього недостатньо, щоб зробити достовірні висновки стосовно поведінки споруди.

У публікації [5] представлено детальний опис будови та особливості експлуатації інклінометра серії NIVEL 200 швейцарської фірми Leica. Увага автора зосереджена на точності результатів спостережень, отриманих під час вимірювань у різних режимах роботи. Результати вимірів опрацьовуються у програмному пакеті GeoMos, але прості команди керування дозволяють створювати власні програмні модулі для розв'язання конкретних геодезичних задач. NIVEL 200 має можливість створення вимірювальної мережі до 32 приладів, що дає змогу досліджувати деформації протяжного об'єкта цілісно.

У роботі [7, 8] виконано дослідження деформацій греблі Кабріл (Португалія). На території греблі щорічно виконуються цикли спостережень за допомогою GNSS та лінійно-кутових методів. Під час виконання нового циклу спостережень на верхній галереї греблі використано інклінометр, який працював упродовж двох днів. Аналіз отриманих результатів довів кореляцію між рухами тіла греблі й щоденними коливаннями рівня води у водосховищі.

Автори публікації [2] зосередили свою увагу на причинах виникнення деформацій споруд та на необхідності виконання періодичного моніторингу за станом споруд, у зв'язку зі збільшенням кількості аварій. У роботі виділено найперспективніші, на думку авторів, методи моніторингу, а саме: моніторинг конструкцій за допомогою оптико-електронних систем, геодезичний моніторинг з використанням електронних тахеометрів, використання лазерного сканера для фотограмметричних методів вимірювання, геодезичний моніторинг методом супутникової геодезії з використанням системи навігації GNSS, метод фотофіксації дефектів, моніторинг із застосуванням динамічних методів випробувань, відеогідростатичний моніторинг. Наведено опис цих методів та умови їх використання.

Аналізуючи матеріали роботи, необхідно зазначити, що у публікації не розглянуто методи, які б поєднували в собі декілька способів моніторингу, що значно спростило технологічний процес.

Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування розглянуто у роботі [3]. З технологічного погляду метод лазерного сканування значно швидший і простіший порівняно з іншими способами дослідження деформацій. Основна частина цього методу полягає в камеральній обробці, що є громіздкою процедурою, оскільки зі всієї хмари точок необхідно виділити досліджуваний об'єкт, розчленити його на графічні примітиви, адже в автоматичному режимі побудувати 3D-модель споруди складної форми неможливо [12]. Автори виконували дослідження для споруди прямокутної форми, що істотно спростило процес обробки даних, але для детальніших досліджень технології необхідно виконати виміри споруди складної геометричної форми.

Ще одна технологія моніторингу деформацій споруд наведена у роботі [15]. Описаний метод полягає у високоточному нівелюванні марок, які розташовані по периметру фундаменту споруд. На основі різниці відміток марок проводять аналіз абсолютних величин деформацій і швидкості їх зміни. Зауважимо, що для визначення швидкості зміни деформації такі дослідження необхідно проводити періодично і впродовж тривалого часу.

Методом лінійно-кутових вимірювань досліджено території греблі Ямула (Туреччина) [6] та греблі Касте (Південна Африка) [11]. Спостереження виконувалися декількома циклами з використанням високоточних тахеометрів. Метод дав змогу спостерігати деформації під час роботи греблі, пов'язані з підняттям рівня води у водосховищі.

Об'єктом досліджень роботи [1] є саркофаг Чорнобильської АЕС. Спостереження за деформаціями споруди проводяться з 1987 р. Визначаються вертикальні зміщення (осідання) контрольних марок, закладених у цокольної частині споруд, методом повторного прецизійного геометричного нівелювання, а горизонтальних і вертикальних зміщень марок верхніх ярусів та покрівель – методом повторних визначень їх просторового положення прямими кутівими засічками і тригонометричним нівелюванням. Детально описано швидкість та напрямок деформації саркофага. Виконано аналіз та порівняння результатів вимірів за великий проміжок часу, що дало змогу встановити максимальне осідання (40 мм) і горизонтальне зміщення (20 мм).

### **Висновки**

1. Аналізуючи розглянуті публікації, зауважимо, що тема дослідження деформацій споруд є актуальною та широко висвітлена в сучасних публікаціях.

2. Дослідження деформацій споруд виконують традиційними методами, але для досягнення надійніших результатів слід поєднувати різні методи моніторингу.

3. Наведено прилади, точність яких достатня для проведення моніторингу деформаційних процесів споруд.

## Література

1. Баран П.І. Геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта "Укриття" на Чорнобильській АЕС / Баран П. І., Сушко В. Г., Холодюк О. В., Чорнокін В. Я. // Вісник геодезії та картографії. – 1999. – № 1. – С. 18–23.
2. Бондаренко И. Н. Современные методы мониторинга за техническим состоянием зданий и сооружений в процессе их эксплуатации / Бондаренко И. Н., Мартынов А. В., Мокасеев А. В. // <http://www.pamag.ru/pressa/sovremenniy-monitoring>.
3. Войтенко С. Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування / С. Войтенко, Р. Шульц, М. Білоус // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. пр. – 2009. – Вип. I (17). – С. 144–150.
4. Міхельов Д. Ш. Види деформації й причини їхнього виникнення // <http://lection.com.ua/geodesy/ingdz/vidi-deformatsiyi-y-prichini-yihnologo-viniknennya>
5. Яценко А. И. От водяного уровня до высокоточного инклинометра // Геопрофи 4'2010. – С. 17–19.
6. Bayrak Temel. Monitoring temporal behavior of the Yamula Dam // Shaping the Change XXIII FIG Congress. Munich, Germany, October 8–13, 2006.
7. Casaca João. The Geodetic Surveying Methods in the Monitoring of Large Dams in Portugal / Casaca João, Henriques Maria João // FIG XXII International Congress. Washington D.C. USA, April 19–26 2002.
8. Henrique Maria J. Measuring Inclinations in Cabril Dam with an Optoelectronic Sensor / Henrique Maria J., Lima José N., Oliveira Sérgio B. // FIG Working Week 2012. Knowing to manage the territory, protect the environment, evaluate the cultural heritage. Rome, Italy, 6–10 May, 2012.
9. Li X. Fundamental bending mode and vibration monitoring with inclinometer and accelerometer on high-rise buildings subject to wind loads / Li X., Rizos C., Tamura Y., Ge L., Yoshida A., Cranenbroeck J. // [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/lix\\_et al 2010a.pdf](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/lix_et al 2010a.pdf)
10. Li X. How hybrid GPS-based surveying techniques can further assist with structural design and construction / Li X., Yoshida A., Tamura Y., Rizos C., Ge L., Imai R. // [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/lix\\_et al 2008a.pdf](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/publications/lix_et al 2008a.pdf)
11. Pretorius C. J. The extensive geodetic system used for the monitoring of a 185 metre high arch dam in Southern Africa / Pretorius C. J., Schmidt W. F., van Staden C. S., Egger K. // Session VI: Deformation monitoring and modelling of large dams. Orange, California, USA. 19–22 March. – P. 203–213.
12. Rinske van Gosligal, R. Lindenbergh, N. Pfeifer Deformation analysis of a bored tunnel by means of terrestrial laser scanning International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXV. – 6 p.
13. Wan Aziz. Monitoring high-rise building deformation using Global Positioning System / Wan Aziz, W. A. Othman Z., Najib H // <http://www.gisdevelopment.net/technology/gps/techgp0024.htm>
14. Yigit C. O. Monitoring of tall building's dynamic behavior using precision inclination sensors / Yigit C. O., Inal C., Yetkin M. // [http://www.fig.net/commission6/lisbon\\_2008/papers/pas12/pas12\\_04\\_yigit\\_mc069.pdf](http://www.fig.net/commission6/lisbon_2008/papers/pas12/pas12_04_yigit_mc069.pdf)
15. Електронний ресурс. Режим доступу <http://geodesist.ru/forum/topic.php?forum=1&topic=334>

**Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд**

К. Смолій

Проаналізовано сучасні публікації, зосереджені на вирішенні питань дослідження деформацій інженерних споруд.

**Анализ современных геодезических и геотехнических методов мониторинга за деформациями инженерных сооружений**

К. Смолий

Проанализировано современные публикации, сосредоточенные на решении вопросов исследования деформаций инженерных сооружений.

**Analysis of modern geodetic and geotechnical methods of monitoring the structures deformation**

K. Smoliy

Analysis of current publications focus on the study of engineering.



[www.fig.net/fig2015](http://www.fig.net/fig2015)