

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2019.55.341-350>

УДК 528.4

**Яковенко М. С.,**

yakovenko122mi@gmail.com, orcid.org / 0000-0001-7800-8166,

*к.т.н., доцент* **Нестеренко О. В.,**

elen.vik.nest@gmail.com, orcid.org / 0000-0001-6908-5821,

*Київський національний університет будівництва та архітектури*

## **ОГЛЯД ВИДІВ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД В СКЛАДНИХ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВАХ**

Анотація: розглянуто основні види деформованого стану інженерних споруд, розглянуто проблему моніторингу ґрунтових масивів. Наведено основні методи геодезичного моніторингу деформацій споруд у складних інженерно-геологічних умовах. Ознайомлення з комбінуванням геодезичних методів моніторингу зсувних процесів ґрунтових масивів.

Ключові слова: деформації, інженерні споруди, ґрунтові масиви, геодезичний моніторинг деформацій, наземний лазерний сканер, GPS, інклінометр, автоматизовані геодезичні комплекси.

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток будівельної галузі вимагає точної, детальної, достовірної та своєчасної інформації про технічний стан і геометричні параметри будівельних конструкцій інженерних споруд. Будівельна галузь розвивається в різних складних інженерно-геологічних умовах, будівельні роботи проводять у щільній міській забудові, на глибині залягання ґрунтових вод та на руслах підземних річок, поруч з заляганням діючих інженерних комунікацій та шляхів сполучення, на складних геологічних структурах ґрунту та ін.. Всі вище перелічені фактори є джерелом статистичних та динамічних навантажень на основи, фундаменти та конструкції інженерних споруд.

Проблема технічного стану та руху ґрунтових масивів під дією сейсмологічних умов та втручання людської діяльності до природи, встановлює завдання – перевірка сучасного стану ґрунтових масивів природного та штучного походження. Під терміном «ґрунтові масиви» слід розуміти рельєфну сукупність нерівностей поверхні суходолу різноманітних за обрисами, розмірами, походженням, будовою, віком та історією розвитку.

Сукупність форм земної поверхні, які перебувають на різних стадіях розвитку, у складному поєднанні одна з одною й у взаємозв'язку з довкіллям під дією сейсмологічних умов можуть викликати руйнівні процеси, а саме розколи, обвали, падіння та ін., які негативно можуть вплинути на людську діяльність.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій з даної проблеми.** Застосування сучасних геодезичних приладів (лазерних сканерів, тахеометрів, GPS-приймачів та станцій, нівелірів та роботизованих приладів спроможних працювати та отримувати інформацію при дистанційному керуванні) – актуальне рішення для моніторингу технічного стану і геометричні параметри будівельних конструкцій інженерних споруд.

Проблемами виявлення деформацій та ведення моніторингу для збереження архітектурних пам'яток при будівництві та реконструкції споруд займається багато українських вчених зокрема Ісаєв О. П., Войтенко С. П. Шульц Р. В., Баран П. І. Смолій К. та ін.

Вченими кафедри інженерної геодезії КНУБА в періодичному виданні - «Геодезичний моніторинг - з досвіду виконання геодезичних робіт кафедри інженерної геодезії КНУБА» розглянуто методи моніторингу горизонтальних та вертикальних переміщень сучасними геодезичними приладами [6]. Застосування класичних методів моніторингу наведено в роботі «Геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта «Укриття» на Чорнобильській АЕС» під керівництвом Барана П. І. [7]. Войтенко С. П. у публікації «Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування» довів можливість використання лазерного сканера для визначення деформації геометричних параметрів будівлі [10]. Смолій К. у статті «Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд» розглядає класичні та сучасні методи досліджень деформацій [10].

У публікації «Современные методы мониторинга за техническим состоянием зданий и сооружений в процессе их эксплуатации» російський вчений Бондаренко І. М. розглядає десять методів моніторингу будівельних конструкцій і споруд використовуючи не лише геодезичні прилади, а й натурні випробування та моделювання [5].

Кореляція дистанційних датчиків моніторингу та роботизованих тахеометрів дозволяє отримувати інформацію дистанційно та в режимі online розглядає польський вчений Malesa A. M. в роботі «Monitoring of civil engineering structures using Digital Image Correlation technique» [14].

Приклад моніторингу ґрунтових масивів описано в статті «A Critical Review on Slope Monitoring Systems with a Vision of Unifying WSN and IoT» індійськими вченими [13], де роботу геодезичних приладів доповнює робота інклінометра, така комбінація дає значно більше інформації.

**Постановка завдання.** Основним завданням є огляд основних існуючих методів моніторингу та виявлення перспектив на розвиток комбінованих методів, або розроблення нових методики для виявлення та спостереження

деформацій з метою отримання більш точних та достовірних знань із збереження актуальності.

**Виклад основного матеріалу.** *Деформації інженерних споруд.* Причини виникнення деформацій зазвичай за походженням поділяються на деформації природного походження і в результаті діяльності людей. Деформації – це спотворення або зміна форми і розмірів об'єкту під дією зовнішніх впливів. Якщо об'єкт дослідження зазнає якихось рухів, то відповідно основні контури змінюють своє просторове положення, а відповідно змінюються координати.

Інженерні споруди – це об'ємні, площинні або лінійні наземні, надземні або підземні будівельні системи, що складаються з несучих та в окремих випадках огорожувальних конструкцій і призначені для виконання виробничих процесів різних видів, розміщення устаткування, матеріалів та виробів, для тимчасового перебування і пересування людей, транспортних засобів, вантажів, переміщення рідких та газоподібних продуктів тощо. До них відносяться:

- будівлі: підземні, наземні;
- баштові споруди – димові труби, теле- та радіовишки, водонапірні башти, вітрогенератори, ЛЕП та ін.;
- шляхи сполучення: дороги, тунелі, мости, естакади, переправи та ін.;
- промислові споруди: заводи, фабрики, елеватори, електростанції та ін.;
- культурно розважальні споруди: стадіони, будинки культури, музеї, торгово-розважальні комплекси та ін.;
- гідротехнічні споруди: греблі, ГЕС, шлюзи, суднопропускні споруди, мостові переходи, порти, причали, гідро вокзали та ін.

Для виявлення наявності деформацій споруд виконують комплекс інженерно-геодезичних робіт з метою встановлення причин, що вплинули на геометричні параметри споруди.

Деформації інженерних споруд, або будівельних конструкцій (частина інженерної споруди) бувають:

1. Відхилення від умовної горизонтальної площини (висотні переміщення):
  - прогин;
  - вигин;
  - перекид;
  - осідання;
  - підйом.
2. Відхилення від умовної вертикальної площини (планові переміщення):
  - крен (нахил споруди);
  - випуклість площини – характерна для площинних об'єктів, де в результаті деформацій виникає «пузо»;

- опуклість площини – характерна для площинних об'єктів, де в результаті деформацій виникає «пузо» в протилежному напрямку;

- зсув;

- кручування – характерне для споруд баштового типу.

Висотні деформації визначають за допомогою нівелювання (геометричного, тригонометричного, гідростатичного, барометричного, автоматичного та GPS-нівелювання), стереофотограмметрії, наземного лазерного сканування та електронних датчиків нахилу.

Планові деформації визначають за допомогою лінійно-кутових вимірювань, GPS, лазерного сканування, стереофотограмметрії, електронних датчиків нахилу, датчиків розкриття тріщин, електронних рівнів, інклінометрів.

Геодезичний моніторинг деформацій – це визначення за допомогою геодезичних приладів та методів просторового положення об'єкту і періодичні визначення змін його положення відносно умовно горизонтальних та вертикальних площин.

Геодезичний моніторинг включає в себе систему вимірювань, фіксації результатів та аналітичну обробку отриманих даних. Геодезичному моніторингу, підлягають основи, фундаменти, конструкції будівель або їх частин, об'єкти нового будівництва, інженерні мережі, підземні споруди та об'єкти інфраструктури, що їх оточують.

Для висотних будинків, експериментальних та складних споруд моніторинг входить до робіт з науково-технічного супроводу і є складовою частиною загального моніторингу об'єкту будівництва[3,4].

Геодезичний моніторинг виконується геодезичними методами та приладами, або автоматизованими геодезичними комплексами. Проект та програму геодезичного моніторингу розробляють за технічним завданням.

Методи і вимоги до точності геодезичних вимірювань деформацій основ будівель на сьогоднішній день приймають згідно з вимогами [1].

Точність, періодичність та детальність встановлюють ПВГР (Проекти виконання геодезичних робіт).

Геодезичний моніторинг класичними методами виконують по спеціально закладеним спостережним маркам відносно вихідних знаків, марок та реперів опорної геодезичної мережі.

Найрозповсюдженіші методи геодезичного моніторингу деформацій вважають:

1. Нівелювання (переважно геометричне та тригонометричне) – спостереження висотного положення, або вертикальних переміщень об'єкту, вважається найточнішим.

2. Лінійно-кутовий – спостереження просторового положення об'єкту, теж відносять до найточнішого методу.

3. Автоматизовані геодезичні комплекси (роботизовані тахеометри, датчики нахилу, датчики розкриття тріщин, електронні рівні та ін..) – призначені для моніторингу інженерних споруд безперервно та отримання інформації про переміщення online. За точність не поступаються попереднім двом методам. В праці [5] наведено переваги даного методу – інформація в трьох осях координат, оперативність, потребує мінімум персоналу.

4. Лазерне сканування (наземне, повітряне та автомобільне) – дозволяють отримати 3D-модель об'єкту спостереження. 3D-модель несе в собі всю інформацію про об'єкт, завдяки якій можливо швидко виявити всі дефекти та деформації. Практичне застосування визначення крену будівлі, дозволяє окрім кренів визначати геометричні характеристики споруди [6, 10].

5. GPS-моніторинг – визначення просторового положення за допомогою супутникової навігаційної системи. GPS-моніторинг чудово підходить для визначення координат марок, що розташовані на значній відстані (коли використання лінійно-кутових вимірювань недоцільно). У джерелі [11] розглянуто метод моніторингу за деформаціями хмарочосів, оснований на даних GNSS-вимірів та акселерометра.

6. Стереодіаграметрія – виконується за допомогою стереофотокамер, застосовується для об'єктів які мають складну геометричну форму та конфігурацію, в результаті отримуємо змодельовану поверхню або проекцію оболонки об'єкту на площину.

7. Інклінометрія – метод полягає у використанні труби «моніторингової шахти» встановленої у вертикальне або горизонтальне положення по якій пересувається зонд в двох взаємно перпендикулярних площинах. Шахта має властивість приймати деформований стан (нахилятися, прогинатися, приймати опуклу чи випуклу форму) об'єкту.

*Деформації ґрунтових масивів.* Актуальність моніторингу зсувних процесів гірських мас, в зв'язку з проведенням будівельних робіт в умовах складного рельєфу та експлуатацією споруд зосереджених під впливом падіння та обвалів, вимагає розвитку методів моніторингу ґрунтових масивів.

Геодезичний моніторинг ґрунтових масивів повинен забезпечувати вимоги точності, швидкості отримання інформації, детальності та достовірності. Основне завдання, що стоїть перед геодезією, моніторинг зсувних процесів – під такими словами слід розуміти, що потрібно щось на кшталт 3D-моделі ґрунтових масивів, не лише ззовні але й з середини.

У праці [13] використовують інклінометр в комбінації з лазерним сканером та роботизованим тахеометром для отримання детальної та

достовірної інформації про зсувні рухи ґрунтових масивів поруч з кар'єром. На вершині гори встановлені свердловини в середині неї шахта по якій рухається зонд та дозволяє отримати планові зміщення шахти через кожен метр руху. Тобто, ми отримуємо не лише зовнішнє просторове положення гори, а і інформацію про внутрішні зсувні процеси, які ззовні не спостерігаються.

В Україні з розвитком будівельних технологій та ущільненою забудовою виникає потреба моніторингу зсувних процесів ґрунтових масивів. При будівництві мостового переходу в Києві від арки Дружби Народів до Володимирської гірки у 2019 році було застосовано метод інклінометрії для моніторингу зсувних процесів, роботи проводила «Сіксенс Україна». Під час будівництва на вулиці Мечникова у 2014-2018 роках при укріпленні схилу та зведені будівлі штучно знижували рівень ґрунтових вод та застосовували інклінометрію. Також при будівництві розв'язки та торгово-розважального центру у 2015 році на Поштовій площі застосовуючи технологію будівництва «urdown» використовували інклінометрію в комбінації разом з ручними методами вимірювань деформацій.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Проаналізовано основні види деформацій і основні типи інженерних споруд та особливості інженерно-геодезичного моніторингу, методи та прилади, що підходять для здобуття потрібної інформації про переміщення. Сучасність вимагає розвитку комбінування геодезичних методів для моніторингу інженерних та гірських споруд.

За межами нашої країни вчені активно розвиваються в напрямку дистанційного та автоматичного збору інформації геодезичними методами.

Актуальність теми обумовлена стрімким розвитком технологій, для практичного впровадження яких необхідна швидкість та точність збору та оброблення інформації.

#### Список літератури:

1. ДБН В.1.3 – 2: 2010. Геодезичні роботи в будівництві – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 29-33 с.
2. ДБН А.2.1 – 1 2008. Інженерні вишукування для будівництва - К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 3-7 с.
3. ДСТУ – Н Б В.1.2 – 17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд, К.: ДП "УкрНДНЦ", 2017.
4. ДБН В.2.1 – 10: 2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення, К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. – 7-8 с.

5. Бондаренко И. Н. Современные методы мониторинга за техническим состоянием зданий и сооружений в процессе их эксплуатации / Бондаренко И. Н., Мартинов А. В., Мокасеев А. В // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2014/igg/kondratenko/library/7.htm>.

6. Ісаєв О.П. Геодезичний моніторинг - з досвіду виконання геодезичних робіт кафедри інженерної геодезії КНУБА / Ісаєв О. П., Адаменко О. В., Шульц Р.В. та ін.]. // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – № 47. – С. 265 – 277.

7. Баран П.І. Геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта «Укриття» на Чорнобильській АЕС / Баран П. І., Сушко В. Г., Холоднюк О. В., Чорнокінь В. Я. // Вісник геодезії та картографії. – 1999. - № 1. – С. 18 – 23.

8. Міхельов Д. Ш. Види деформації й причини їхнього виникнення // [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://mydocx.ru/8-36889.html>.

9. Барышников К. О. Сквжинный прибор инклинометр / К. О. Барышников, М. И. Коптенков, А. И. Баландин, Е. В. Шаховцев. // Лесной вестник. – 2015. – № 3. – с. 50 – 56.

10. 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.

11. К. Смолій. Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд / К. Смолій. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – С. 87 – 89.

12. К. Р. Третьак. До питання надійності активних моніторингових геодезичних мереж / К. Р. Третьак, І. Р. Савчин. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – №77. – С. 122 – 126.

13. Devendra Kumar Yadav. A Critical Review on Slope Monitoring Systems with a Vision of Unifying WSN and IoT / Devendra Kumar Yadav, Singam Jayanthu, Santos Kumar Das. // ReView by River Valley Technologies. – 2019. – P. 2 – 19.

14. Malesa A.M. Monitoring of civil engineering structures using Digital Image Correlation technique / [A. M. Malesa, D. Szczepanek, M. Kujawińska та ін.]. // Adaptronica sp. z o.o., R&D company, Szpitalna 32, 05-092 Łomianki, Poland.

15. Displacements Study of an Earth Fill Dam Based on High Precision Geodetic Monitoring and Numerical Modeling / Luis Enrique Acosta, M. Clara De Lacy, M. Isabel Ramos та ін.]. // Received: 8 February 2018 / Accepted: 19 April 2018 / Published: 27 April 2018.

16. Eteje Sylvester Okiemute. Monitoring and Analysis of Vertical and Horizontal Deformations of a Large Structure Using Conventional Geodetic

Techniques / Eteje Sylvester Okiemute, Ono Matthew Nnonyelu, Oduyebo Olujimi Fatai. // Journal of Environment and Earth Science. – P. 52 – 61.

#### References

1. DBN V.1.3 – 2: 2010. Heodezychni roboty v budivnytstvi – K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010. – 29 – 33 s.
2. DBN A.2.1 – 1 2008. Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva - K.: Minrehionbud Ukrainy, 2008. – 3 – 7 s.
3. DSTU – N B V.1.2 – 17:2016 Nastanova shchodo naukovotekhnichnoho monitorynhu budivel i sporud, K.: DP "UkrNDNTs", 2017.
4. DBN V.2.1 – 10: 2018 Osnovy i fundamentey budivel ta sporud. Osnovni polozhennia, K.: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho gospodarstva Ukrainy, 2019. – 7 - 8 s.
5. Bondarenko Y.N. Sovremennyye metody monitorynha za tekhnicheskym sostoianyem zdanyi y sooruzheniy v protsesse ykh ekspluatatsyy / Bondarenko Y. N., Martynov A. V., Mokaseev A. V // [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://masters.donntu.org/2014/igg/kondratenko/library/7.htm>.
6. Isaev O.P. Heodezychni monitorynh - z dosvidu vykonannia heodezychnykh robot kafedry inzhenernoi heodezii KNUBA / Isaev O. P., Adamenko O.V., Shults R. V. ta in.]. // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. – 2013. – № 47. – S. 265 – 277.
7. Baran P. I. Heodezychni sposterezhennia za deformatsiiamy obiekta «Ukryttia» na Chornobylskii AES / Baran P.I., Sushko V. H., Kholodniuk O. V., Chornokin V. Ia. // Visnyk heodezii ta kartohrafi. – 1999. - № 1. – S. 18-23.
8. Mikhelov D.Sh. Vydy deformatsii y prychny yikhnoho vynyknennia // [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://mydocx.ru/8-36889.html>.
9. Varыshnykov K. O. Skvazhynnyi prybor ynklynometr / K.O. Varыshnykov, M. Y. Koptenkov, A. Y. Balandyn, E. V. Shakhovtsev. // Lesnoi vestnyk. – 2015. – №3. – s. 50 – 56.
10. Voitenko S. Vyznachennia kreniv inzhenernykh sporud metodom nazemnoho lazernoho skanuvannia / S. Voitenko, R. Shults, M. Bilous // Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky i vyrobnytstva: zb. nauk. pr. – 2009. – Vyp. I (17). – S. 144 – 150.
11. K. Smolii. Analiz suchasnykh heodezychnykh ta heotekhnichnykh metodiv monitorynhu za deformatsiiamy inzhenernykh sporud / K. Smolii. // Cuchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. – 2015. – S. 87 – 89.
12. K.R. Tretiak. Do pyttannia nadiinosti aktyvnykh monitorynhovykh heodezychnykh merezh / K.R. Tretiak, I.R. Savchyn. // Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznmannia.. – 2013. – №77. – S. 122 – 126.



13. Devendra Kumar Yadav. A Critical Review on Slope Monitoring Systems with a Vision of Unifying WSN and IoT / Devendra Kumar Yadav, Singam Jayanthu, Santos Kumar Das. // ReView by River Valley Technologies. – 2019. – P. 2–19.
14. Malesa A.M. Monitoring of civil engineering structures using Digital Image Correlation technique / [A.M. Malesa, D. Szczepanek, M. Kujawińska та ін.]. // Adaptronica sp. z o.o., R&D company, Szpitalna 32, 05-092 Łomianki, Poland.
15. Displacements Study of an Earth Fill Dam Based on High Precision Geodetic Monitoring and Numerical Modeling / Luis Enrique Acosta, M. Clara De Lacy, M. Isabel Ramos та ін.]. // Received: 8 February 2018 / Accepted: 19 April 2018 / Published: 27 April 2018.
16. Eteje Sylvester Okiemute. Monitoring and Analysis of Vertical and Horizontal Deformations of a Large Structure Using Conventional Geodetic Techniques / Eteje Sylvester Okiemute, Ono Matthew Nnonyelu, Oduyebo Olujimi Fatai. // Journal of Environment and Earth Science. – P. 52 – 61.

#### Аннотация

Яковенко М.С.; к.т.н., доцент Нестеренко Е.В., Киевский национальный университет строительства и архитектуры.

#### **Обзор видов геодезического мониторинга зданий и сооружений в сложных инженерно-геологических условиях.**

Вступительная статья является обзорной, в статье рассматривается и проводится анализ последних исследований и публикаций по данной проблеме, а именно инженерно геодезический мониторинг деформаций зданий и сооружений в условиях современного развития строительной отрасли. Во вступительной статье рассматриваются основные типы деформированного состояния инженерных сооружений, рассматривается проблема мониторинга грунтовых масс. Представлены основные методы геодезического мониторинга деформаций строительных конструкций в сложных инженерно-геологических условиях. Приведен обширный перечень сфер применения и актуальность развития геодезического мониторинга деформаций. Рассмотрены распространенные методы и приборы геодезического мониторинга деформаций: нивелирование, линейно-угловые измерения, автоматизированные геодезические комплексы - используются для дистанционного получения данных и в режиме "онлайн", внедрение лазерного сканирования (наземное, воздушное и автомобильное) и процесс комплексной съемки, использования спутниковых навигационных систем, стереофотограмметрия, предлагается применение инклинометров в сочетании с геодезическими приборами для

мониторинга инженерных сооружений и грунтовых массивов. Приведены преимущества и недостатки современных геодезических методов мониторинга.

Ключевые слова: деформации, инженерные сооружения, грунтовые массивы, геодезический мониторинг деформаций, наземный лазерный сканер, GPS, инклинометр, автоматизированные геодезические комплексы.

#### Annotation

Yakovenko M.; Cand. of Tech.Sc.Nesterenko E., Kyiv National University of Construction and Architecture.

#### **Review of types of geodesic monitoring of buildings and structures under difficult engineering-geological conditions.**

The introductory article is a review, the article examines and analyzes the latest research and publications on this issue, namely, engineering and geodetic monitoring of deformations of buildings and structures in the modern development of the construction industry. The introductory article discusses the main types of deformed state of engineering structures, considers the problem of monitoring ground masses. The basic methods of geodetic monitoring of deformations of building structures in complex engineering geological conditions are presented. An extensive list of applications and the relevance of the development of geodetic monitoring of deformations is given. Common methods and instruments for geodetic deformation monitoring are considered: leveling, linear-angular measurements, automated geodetic systems - they are used for remote data acquisition and on-line, the implementation of laser scanning (terrestrial, air and automobile) and the process of complex shooting, using satellite navigation systems, stereophotogrammetry, the use of inclinometers in combination with geodetic instruments for monitoring engineering structures and soil masses. The advantages and disadvantages of modern geodetic monitoring methods are given.

Key words: deformations, engineering structures, soil masses, geodetic monitoring of deformations, terrestrial laser scanner, GPS, inclinometer, automated geodetic systems