

DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2020.56.345-363>

УДК 528.48

**Яковенко Михайло Сергійович,**

*Аспірант кафедри геоінформатики і фотограмметрії,*

*Київський національний університет будівництва та архітектури,*

[yakovenko122mi@gmail.com](mailto:yakovenko122mi@gmail.com),

<http://orcid.org/0000-0001-7800-8166>

**Нестеренко Олена Вікторівна,**

*Кандидат технічних наук, доцент кафедри геоінформатики і фотограмметрії*

*Декан факультету геоінформаційних систем управління територіями,*

*Київський національний університет будівництва та архітектури,*

[elen.vik.nest@gmail.com](mailto:elen.vik.nest@gmail.com),

<http://orcid.org/0000-0001-6908-5821>

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ТА ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ ГРУНТОВИХ МАСИВІВ**

Анотація: проаналізовано два основні напрямки: моніторинг деформацій інженерних споруд та ґрунтових масивів. Описано традиційні методи моніторингу деформацій інженерних споруд та ґрунтових масивів. Представлено метод моніторингу зсувних процесів – інклінометрія. Створено порівняльну таблицю методів за основними критеріями таким як: спосіб, пристрої, об'єкт моніторингу, деформації, точність, можливість отримання результатів дистанційно в режимі реального часу, форма подачі результатів геодезичного моніторингу поділяється на числову та графічну. Проведено аналіз переваг та недоліків, можливих поєднання методів з метою підвищення інформативності, точності і універсальності.

Ключові слова: деформації; інженерні споруди; ґрунтові масиви; зсувні процеси; геодезичний моніторинг деформацій; наземний лазерний сканер; GNSS; інклінометр; автоматизовані геодезичні комплекси.

### **Постановка проблеми.**

Стрімкий розвиток будівельної галузі, а саме впровадження нових технологій будівельного виробництва в результаті якого виникають проблеми деформування існуючої забудови та підробки ґрунтових масивів. Під дією впливу будівельних майданчиків виникає необхідність здійснення інструментального інженерно-геодезичного моніторингу деформацій для отримання актуальної, детальної інформації про стан і параметри будівель та споруд. Забезпечення точної, детальної, достовірної та своєчасної інформації

про технічний стан і геометричні параметри будівельних конструкцій інженерних споруд здатний інструментальний моніторинг деформацій інженерно-геодезичними та геотехнічними методами. Не слід забувати що в кожного методу моніторингу є ряд певних переваг та недоліків, щоб максимально позбутися недоліків у статті буде розглянуто поєднання методі інженерно-геодезичного моніторингу.

У складних інженерно-геологічних та в умовах щільні міської забудови за вимогами стандартів та норм України слід здійснювати комплекс заходів для збереження будівель (споруд) і територій від деформацій та руйнування:

- за національними стандартами України геодезичному моніторингу, як правило, підлягають основи, фундаменти, конструкції будівель (споруд) або їх частин об'єкта нового будівництва, інженерні мережі, підземні споруди та об'єкти інфраструктури, що його оточують [1, с.5];

- для забезпечення надійності та безпеки об'єктів інженерного захисту слід здійснювати моніторинг технічного стану споруд інженерного захисту (споруди, що створені для захисту територій та схилів які запобігають негативному прояву зсувних процесів) [2, с.7].

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій з даної проблеми.**

Проблемою інструментального інженерно-геодезичного моніторингу займається значна кількість вітчизняних науковців зокрема Смолій К., Волошин П., Дзуліт П., Віват А., Ісаєв О., Баран П. та ін.

Смолій К. у статті «Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд» розглядає класичні та сучасні методи досліджень деформацій [8]. В публікації «Моніторинг геодинамічних процесів у центральній частині Львова» наведено результати моніторингу деформацій земної поверхні за даними високоточного нівелювання [9]. У публікаціях «Determination of plumb lines with using trigonometric levelling and GNSS measurements» та «A study of devices used for geometric parameter measurement of engineering building construction» науковців «Львівської політехніки» основну увагу приділено підвищенню точності вимірювання за допомогою електронних та роботизованих тахеометрів [10,11].

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 [12]. Застосування класичних методів моніторингу наведено в роботі «Геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта «Укриття» на Чорнобильській АЕС» під керівництвом Барана П.І. [13].

Значна кількість уваги приділена моніторингу деформацій інженерних споруд російськими науковцями зокрема Міхельов Д., Бондаренко І., Гаврилов С., Яценко А. та ін.

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 [16].

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»[23].

Моніторингом деформацій зсувних процесів ґрунтових масивів займаються зарубіжні науковці, а саме Devendra Kumar Yadav індійський вчений в статті «A Critical Review on Slope Monitoring Systems with a Vision of Unifying WSN and IoT» [22]., де роботу геодезичних приладів доповнює робота інклінометра, така комбінація дає значно більше інформації. Також схожу технологію представлено в публікації «Скважинный прибор инклинометр» російським вченим Баришніковим К. [15].

**Постановка завдання.** Дослідити основні існуючі методи моніторингу та виявити перспективи розвитку поєднання методів, або розроблення нових методик для виявлення та спостереження деформацій з метою отримання більш точних та достовірних знань із збереженням актуальності отриманих результатів.

#### **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.

Прояв деформаційних процесів зазвичай проявляється: відхилення від вертикалі (зміна планового положення – нахил, переміщення), відхилення від горизонтальної площини (зміна висотного положення, вертикальні переміщення – осідання, підйом, прогин). Для виявлення планових переміщень інженерних споруд визначають планові координати деформаційних марок та порівнюють їх з координатами в нульовому циклі вимірювання, різницею координат будуть переміщення. Щоб виявити вертикальні переміщення

проводять вимірювання відміток осадових марок та відповідно зрівнюють з нульовим циклом, різниця даних вважається вертикальним переміщенням.

*Деформації ґрунтових масивів.* Ґрунтовий масив – територія з складними формами рельєфу, що можуть піддаватися руйнуванням та обвалу під дією гравітаційних сил, гідродинамічного тиску, додаткових природних або техногенних навантажень (сейсмічних, навантаження (забудова) схилу тощо). Моніторинг деформацій ґрунтових масивів – це комплекс інструментальних спостережень з метою виявлення зсувних процесів. Моніторинг деформацій здійснюють класичними (нівелюванням, лінійно-кутовими) та сучасними (лазерним скануванням, GNSS, роботизованими тахеометрами, датчиками нахилу та ін..) інструментальними інженерно-геодезичними методами з використанням деформаційних марок (аналогічно інженерним спорудам), або за допомогою інклінометрії та ін.. Актуальність моніторингу зсувних процесів ґрунтових масивів обґрунтовується збереженням та захистом територій від надзвичайних ситуацій.

Геодезичний моніторинг ґрунтових масивів повинен забезпечувати вимоги точності, швидкості отримання інформації, детальності та достовірності. Основною задачею, що стоїть перед геодезичним забезпеченням моніторингу ґрунтових масивів є забезпечення достовірної інформації про внутрішній та зовнішній стан ґрунтових масивів. В ідеалі це може бути 3D-модель.

Основними методами 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 [16] 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 наземного лазерного сканування - визначення крену будівлі, дозволяє окрім кренів визначати геометричні характеристики споруди[12].

5. GNSS-моніторинг – визначення просторового положення за допомогою супутникової навігаційної системи. GNSS-моніторинг чудово підходить для визначення координат марок, що розташовані на значній відстані. У [8] розглянуто метод моніторингу за деформаціями хмарочосів, оснований на даних GNSS-вимірів та акселерометра.

6. Стереофотограмметрія – виконується за допомогою стерео фотокамер, застосовується для об'єктів які мають складну геометричну форму та конфігурацію, в результаті отримуємо змодельовану поверхню або проекцію оболонки об'єкту на площину. Метод стереофотограмметрії має досвід активного застосування при обстеження пам'яток архітектури, археологічних знахідок що мають складну конфігурацію архітектурних форм, з метою виявлення та відновлення дефектів, деформацій, пошкоджень.

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.



А

Б

Рис. 1 – Обладнання інклінометричної системи

Інклінометричні вимірювання – призначені для виявлення горизонтальних переміщень інженерних споруд та ґрунтових масивів, розташованих в зсувонебезпечних районах або в місцях з високою вірогідність розвитку переміщення ґрунтових мас.

Інклінометрична система складається з: Інклінометричний зонд та пристрій зчитування та запису результатів вимірювання (рисунок 1. А), вимірювальний кабель на катушці (рисунок 1. Б).

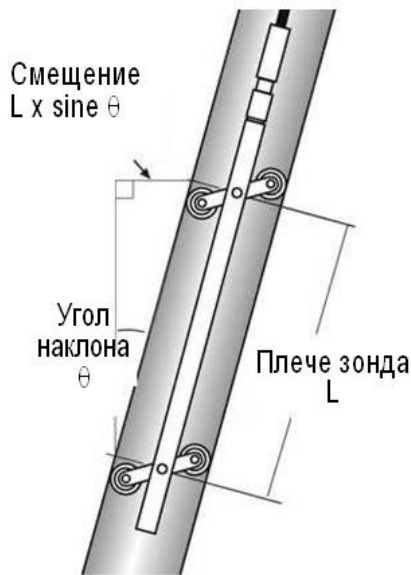


Рис. 2 – Принцип інклінометричних вимірювань

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, споруди інженерного захисту територій, території 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 відповідно до технічного завдання.

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), на основі даних вимог підбираються прилади та методика, що відповідатиме точності, інформативності та ряду інших факторів та умов (доступ до об'єкту, погодні, техногенні, геологічні умови) які можуть вливати на процес моніторингу.

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

**Аналіз методів геодезичного моніторингу деформацій будівель і споруд та зсувних процесів ґрунтових масивів за Таблицею 1.** В таблиці 1 представлені основні сучасні методи спостереження за деформаціями будівель і споруд та зсувних процесів ґрунтових масивів, які застосовуються в даний момент в Україні та за її межами.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика геодезичних методів моніторингу деформацій**

№	Спосіб	Пристрої	Об'єкт моніторингу	Деформації	Точність	Можливість отримання результату в дистанційно в режимі реального часу	Форма подачі результатів	
							Числова	Графічна
1	Нівелювання:							
1.1	геометричне (I та II класу)	Високоточні цифрові та оптичні нівеліри з інварними рейками	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Вертикальні і переміщення об'єкту	±1 мм	Ні	Відомість відміток	Графік розвитку, ізолінії, профіль осідань
1.2	тригонометричне (II та III класу)	Високоточні тахеометри з кутовою похибкою 0.5" та 1"	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Вертикальні і переміщення об'єкту	±2 мм	Ні	Відомість відміток	Графік розвитку, ізолінії, профіль осідань
1.3	технічне	Цифрові та оптичні нівеліри, тахеометри	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Визначення висотного положення	±5 мм	Ні	Відомість відміток	Графік розвитку, ізолінії
2	Лінійно-кутовий метод	Високоточні тахеометри та теодоліти	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Визначення та моніторинг просторового положення	±1-2 мм	Ні	Відомість координат, кутів та відхилень	Графік розвитку переміщень, профіль планових відхилень, система векторів переміщень

Продовження таблиці 1

№	Спосіб	Пристрої	Об'єкт моніторингу	Деформації	Точність	Можливість отримання результату в дистанційно в режимі реального часу	Форма подачі результатів	
							Числова	Графічна
3	Автоматизовані геодезичні комплекси (роботизовані тахеометри, датчики нахилу, датчики розкриття тріщин, електронні рівні та ін.)	Високоточні роботизовані тахеометри з кутовою похибкою 0.5" та 1", датчики нахилу, датчики розкриття тріщин, електронні рівні та ін.	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Моніторинг просторового положення та зміни геометричної форми	±2мм	Так	Відомість координат, кутів та відхилень	Графік розвитку переміщень та осідань, модель деформацій, профіль осідань та планових відхилень, система векторів
4	Лазерне сканування:							
4.1	наземне	Наземний лазерний сканер з кутовою похибкою до 6"	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Визначення та моніторинг просторового положення і зміни геометричної форми	±4мм	Ні	Відомість координат, кутів та відхилень	Об'ємна 3D модель об'єкту, графік розвитку переміщень та осідань, модель деформацій, профіль осідань та планових відхилень, система векторів



Продовження таблиці 1

№	Спосіб	Пристрої	Об'єкт моніторингу	Деформації	Точність	Можливість отримання результату в дистанційно в режимі реального часу	Форма подачі результатів	
							Числова	Графічна
4.2	повітряне	Скануюча аерофотокамера для літальних апаратів	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Моніторинг просторового положення	±50-100 мм	Ні	Відомість координат	Об'ємна 3D модель об'єкту, цифрові топографічні плани масштабу від 1:500 до 1:10000, ортофотоплани з високою роздільною здатністю
4.3	автомобільне	Мобільна скануюча система	Інженерні лінійні споруди	Моніторинг просторового положення та зміни геометричної форми	±10-20 мм	Ні	Відомість координат та відхилень	Об'ємна 3D модель об'єкту, цифрові топографічні плани масштабу від 1:500 до 1:10000, ортофотоплани з високою роздільною здатністю

Продовження таблиці 1

№	Спосіб	Пристрої	Об'єкт моніторингу	Деформації	Точність	Можливість отримання результату в дистанційно в режимі реального часу	Форма подачі результатів	
							Числова	Графічна
5	GNSS	Двочастотні ГНСС-приймачі	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Моніторинг просторового положення	$\pm 5-10$ мм	Так	Відомість координат та відхилень	Графік розвитку переміщень та осідань, профіль осідань та планових відхилень, система векторів
6	Стереодіаграма метрія	Стереодіаграма	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Моніторинг просторового положення та зміни геометричної форми	$\pm 5$ мм	Ні	Відомість координат та відхилень	Графік розвитку переміщень та осідань, модель деформацій, профіль осідань та планових відхилень
7	Інклінометрія	Інклінометр	ґрунтові масиви	Моніторинг зміни планового положення на різних рівнях об'єкту	$\pm 4$ мм	Так	Відомість координат та відхилень	Графік розвитку переміщень, профіль відхилень, система векторів

Наведено порівняльну характеристику методів геодезичного моніторингу за такими параметрами: спосіб (основні методи здійснення геодезичного моніторингу деформацій), пристрої (необхідні прилади для здійснення геодезичних робіт), об'єкт моніторингу (наведено об'єкт на якому може здійснюватись геодезичний моніторинг деформацій), деформації (представлені основні види висотного та планового деформованого положення об'єкту), точність (наведене точність знімальних робіт), можливість отримання результатів дистанційно в режимі реального часу, форма подачі результатів геодезичного моніторингу поділяється на числову (створення відомостей відміток координат та ін..) та графічну (створення графіків, профілів, системи векторів і моделей деформацій).

Проаналізувавши основні методи спостережень за деформаціями можемо зробити висновок, що кожен з методів має рад переваг та недоліків. Але сьогодення диктує умови при яких потрібно шукати можливість поєднання методів моніторингу деформацій для підвищення точності та оперативності отримання даних для вирішення поставлених задач.

Застосування *автоматизованих геодезичних комплексів та інклінометрії*, дозволяє виявляти та аналізувати деформаційні процеси дистанційно в режимі реального часу «online». До переваг даного поєднання можна віднести: універсальність, детальність, точність, оперативність. Недоліками наведених методів та їх поєднання стануть: необхідність суворого контролю подачі живлення та підключення до Інтернету блоків управління і приладів моніторингу, вартість робіт (оскільки прилади постійно перебувають в роботі, а також для забезпечення точності та детальності потрібно декілька роботизованих тахеометрів, деформаційних датчиків та кілька десятків інклінометричних зондів, які будуть постійно знаходитися на об'єкті).

Поєднання класичних (*нівелювання, лінійно-кутових методів*) ручних вимірювань з ручною *інклінометрією* дозволить отримувати аналогічні дані з відповідною точністю що і автоматизований моніторинг. Перевагами такого поєднання над автоматизованим моніторингом буде: незалежність від електроенергії та Інтернету, зниження вартості робіт в декілька разів. Але не слід забувати, що в такому випадку втрачається режим реального часу і виникають наступні недоліки: неможливо відслідкувати в який момент часу відбулися зміни просторового положення і що на них вплинуло, необхідно тривалий час для здійснення чергового циклу спостереження та камеральної обробки.

При розробці кар'єрів гірничодобувний процес може викликати зсувні процеси, виникає необхідність моніторингу стін кар'єрів. Для моніторингу таких деформацій застосовують поєднання *наземного лазерного сканування з*

*інклінометрією та лінійно-кутовий метод.* В результаті лазерного сканування створюють 3D-модель, яку порівнюють та аналізують з метою визначення зсувів та обвалів. По інклінометричних спостереженнях слідкують за внутрішніми рухами. На основі геодезичних спостережень створюють модель деформацій та вивчають для запобігання аварійних ситуацій. До переваг даного поєднання можна віднести: детальність (побудована модель деформацій несе в собі інформацію про зовнішні обвали та зсувні процеси та внутрішні переміщення стін кар'єрів). Зважаючи на те що кар'єри зазвичай значних розмірів, тому точність лазерного сканування на значних відстанях суттєво зменшиться в такому випадку лінійно-кутовим методом створюють опорну геодезичну мережу та контролюють її стійкість, а також якщо шахта інклінометра перевищуватиме 30 м точність спостереження знизиться, тому можемо виділити наступні недоліки: точність (сканування  $\pm 4$  мм на 100 м, інклінометрія  $\pm 4$  мм на 30 м). З огляду на те що об'єктом спостереження є кар'єр та його стіни то дана точність може забезпечувати вимоги.

В ході експлуатації з метою збереження національного надбання виникає необхідність моніторинг пам'яток архітектури. Пам'ятки зі складними архітектурними формами які мають тенденцію до деформаційних процесів доцільно спостерігати комбінуванням *лінійно-кутових та методів стереофотограмметрії.* Така комбінація дозволить виявити найдрібніші деформації на складних архітектурних формах. До переваг даного поєднання можемо віднести: детальність (на отриманих знімках можемо визначати нові тріщини утворення та в результаті формувати модель деформацій, окрім механічних деформацій одночасно можемо виявити деформації покриття архітектурних форм, наприклад зміна кольору, вигорання та ін.), точність і контроль точності (на основі лінійно-кутових вимірювань є можливість контролювати координати станцій встановлення камер, що дозволяє впевнитися у стійкості спостережних станцій між циклами вимірювань). Недоліками можемо назвати: необхідна значна кількість часу на калібрування камер в польових умовах, тривалість зйомки та обробки результатів (при значних розмірах та складних конфігураціях об'єкту зйомка та обробка даних займає значну кількість часу).

Для обстеження лінійних об'єктів (автомобільних доріг, залізниць, тунелів, злітних смуг) застосування *мобільного сканування в поєднанні з GNSS* технологіями дозволить швидко створити 3D-модель об'єкту спостереження. Мобільний лазерний сканер набирає хмару точок з контурів об'єктів що потрапляють в поле зору, а GNSS приймач фіксує координати сканера на момент зйомки під час руху. Мобільне лазерне сканування оптимально підходить для фіксування деформацій дорожнього полотна, дорожньої

розмітки, опор ліній електропередач, шпал та ін.. Перевагами поєднання мобільного сканування та GNSS технологій буде: швидкість збору та обробки даних, детальність. До недоліків можна віднести: точність (сканування  $\pm 10-20$  мм, GNSS приймач  $\pm 10$  мм). Для визначення деформованого стану дорожнього полотна, дорожньої розмітки, опор ліній електропередач, шпал та ін.. точність може забезпечувати вимоги.

### **Висновки і перспективи подальших досліджень.**

В статті розглянуто основні типи деформацій інженерних споруд: зміна планового положення та вертикальні переміщення, що в комплексі просторові переміщення. Наведено найрозповсюдженіші методи геодезичного моніторингу інженерних споруд та ґрунтових масивів. Проаналізовано особливості виконання моніторингу деформацій, методи та прилади, якими здійснюють моніторинг деформацій, з урахуванням поставлених задач і вимог. Основною задачею є отримання інформації про стан інженерних споруд та ґрунтових масивів, виявлення деформацій і зсувних процесів, які відбуваються під дією різного впливу.

Проаналізовано та визначено основні переваги і недоліки методів геодезичного моніторингу деформацій інженерних споруд та ґрунтових масивів. Виявлені найбільш перспективні поєднання ат приведено переваги і недоліки. Перспективою для подальшого розвитку і впроваджень на об'єктах нашої країни в галузі геодезії активно розвивати напрям дистанційного та автоматичного збору інформації про стан деформаційних процесів.

Основний напрям подальших досліджень буде аналіз та виявлення найбільш перспективних поєднань геодезичних методів, які забезпечують отримання детальної інформації, що буде задовольняти основні вимоги точності нормативних документів і технічного завдання, а також що є не менш важливим буде економічно вигідним для виконання геодезичного моніторингу деформацій інженерних споруд та ґрунтових масивів.

Тема даного дослідження є актуальною та обумовлена стрімким розвитком технологій будівництва та вимогами геодезичного забезпечення.

### **Список літератури:**

1. ДСТУ Б В.2.1-30:2014 Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд – К.: Мінрегіон України, 2015. – 20-27 с.
2. ДБН В.1.1-45:2017 Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах – К.: Мінрегіон України, 2017. – 20-23 с.
3. ДБН В.1.1-46:2017 Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів – К.: Мінрегіон України, 2017. – 41-42 с.

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. ДБН В.1.3 – 2: 2010. Геодезичні роботи в будівництві – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 29-33 с.
6. ДБН А.2.1 – 1 2008. Інженерні вишукування для будівництва - К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 3-7 с.
7. ДСТУ – Н Б В.1.2 – 17:2016 Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд, К.: ДП "УкрНДНЦ", 2017;
8. 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.
9. П. Волошин. Моніторинг геодинамічних процесів у центральній частині Львова / П. Волошин. // Вісник Львівського університету – 2013. №41. – С. 83-90.
10. P. Dvulit. Determination of plumb lines with using trigonometric levelling and GNSS measurements / P. Dvulit, Z. Dvulit, I. Sidorov // Geodesy, cartography and aeral fotography. – 2019. №89 P. 12-19;  
<https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.01.012>
11. A. Vivat. A study of devices used for geometric parameter measurement of engineering building construction / A. Vivat, A. Tserklevych, O. Smirnova // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2018. №87 с. 21-29;  
<https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.01.021>
12. Исаев О. П. Геодезичний моніторинг - з досвіду виконання геодезичних робіт кафедри інженерної геодезії КНУБА / Исаев О.П., Адаменко О.В., Шульц Р.В. та ін.]. // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – № 47. – С. 265–277.;
13. 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;
14. Міхельов Д.Ш. Види деформації й причини їхнього виникнення // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mydocx.ru/8-36889.html> ;
15. Барышников К.О. Скважинный прибор инклинометр / К.О. Барышников, М.И. Коптенков, А.И. Баландин, Е.В. Шаховцев. // Лесной вестник. – 2015. – №3. – с. 50–56.
16. 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 // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://masters.donntu.org/2014/igg/kondratenko/library/7.htm> ;

17. Гаврилов С.Г. Система дистанционного мониторинга деформационных процессов парка «Зарядье» / Гаврилов С.Г., Шаров К.В., Трубицын Т. В. // Геопрофи: технологии. – 2019. №4 с. 4-8.

18. Яценко А.И. Мониторинг деформаций всячего моста с использованием технологий Глонасс/GPS / Яценко А. И, Евстафьев О. В., Джоел Ван Крейненброк // Геопрофи: технологии. – 2010. №6 с. 15-19.

19. Зубов А.В. Особенности точных линейно-угловых измерений электронными тахеометрами / Зубов А.В., Зубова Т.В. // Геопрофи: технологии Санкт-Петербурга. – 2005. №4 с. 50-51.

20. Технологии Leica Geosystems в системе мониторинга смещений морской нефтедобывающей платформы // Геопрофи: технологии Leica Geosystems. – 2012. №4 с. 37-39.

21. Технология 3D лазерного сканирования в строительстве и эксплуатации тоннельных сооружений // Геопрофи: технологии Leica Geosystems. – 2012. № 4 с. 35-36.

22. 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.

23. 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;

24. 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;

25. Eteje Sylvester Okiemute. Monitoring and Analysis of Vertical and Horizontal Deformations of a Large Structure Using Conventional Geodetic Techniques / Eteje Sylvester Okiemute, Ono Matthew Nnonnyelu, Oduyebo Olujimi Fatai. // Journal of Environment and Earth Science. – P. 52–61;

26. Яковенко М. Огляд видів геодезичного моніторингу будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах / М. Яковенко, О. Нестеренко // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: зб. наук. праць. Київ: КНУБА, 2020. Вип. 55

#### References

1. DSTU B V.2.1-30:2014 Grunty. Metody vymiryuvannya deformacij osnov budynkiv i sporud (Soils. Methods for measuring the deformation of the foundations of buildings and structures) – К.: Minregion Ukrayiny, 2015. – 20-27 s.(in Ukrainian)

2. DBN V.1.1-45:2017 Budivli i sporudy v skladnyh inzhenerno- geologichnyh umovah (Buildings and structures in difficult engineering-geological conditions) – K.: Minregion Ukrayiny, 2017. – 20-23 s. (in Ukrainian)

3. DBN V.1.1-46:2017 Inzhenernyy zakhyst terytoriy, budivel i sporud vid zsuiv ta obvaliv (Engineering protection of territories, buildings and structures against landslides and collapses) – K.: Minregion Ukrayiny, 2017. – 41-42 s. (in Ukrainian)

4. DBN V.2.1 – 10: 2018 Osnovy i fundamenty budivel ta sporud. Osnovni polozhennya,( Fundamentals and foundations of buildings and structures. Substantive provisions) K.: Ministerstvo regionalnogo rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnogo gospodarstva Ukrayiny, 2019. – 7-8 s. (in Ukrainian)

5. DBN V.1.3 – 2: 2010. Geodezychni roboty v budivnytstvi (Geodetic works in construction ) – K.: Minregionbud Ukrayiny, 2010. – 29-33 s. (in Ukrainian)

6. DBN A.2.1 – 1 2008. Inzhenerni vyshukuvannya dlya budivnytstva (Engineering research for construction ) - K.: Minregionbud Ukrayiny, 2008. – 3-7 s. (in Ukrainian)

7. DSTU – N B V.1.2 – 17:2016 Nastanova schodo naukovo-texnichnogo monitoryngu budivel i sporud, ( Guidance on scientific and technical monitoring of buildings and structures) K.: DP "UkrNDNC", 2017 (in Ukrainian)

8. K. Smoliiy. Analiz suchasnyh geodezychnykh ta geotexnichnykh metodiv monitoryngu za deformatsiyamy inzhenernykh sporud (Analysis of modern geodetic and geotechnical methods of monitoring the structures deformation) / K. Smoliiy. // Cuchasni dosyagnennya geodezychnoyi nauky ta vyrobnyctva. – 2015. – S. 87–89. (in Ukrainian)

9. P. Voloshyn. Monitorynh geodynamichnykh protsesiv u tsentralnii chastyni Lvova (Monitoring of geodynamic processes in central part of Lviv) / P. Voloshyn. // Visnyk Lvivskoho universytetu – 2013. №41. – S. 83-90. (in Ukrainian)

10. P. Dvulit. Determination of plumb lines with using trigonometric levelling and GNSS measurements / P. Dvulit, Z. Dvulit, I. Sidorov // Geodesy, cartography and aeral photography. – 2019. №89 P. 12-19;

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.01.012> (in English)

11. A. Vivat. A study of devices used for geometric parameter measurement of engineering building construction / A. Vivat, A. Tserklevych, O. Smirnova // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2018. №87 с. 21-29;

<https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.01.021> (in English)

12. Isaev O. P. Geodezychnyi monitorynh - z dosvidu vykonannya geodezychnykh robit kafedry inzhenernoi geodezii KNUBA (Geodetic monitoring - from the experience of performing geodetic works of the Department of Engineering Geodesy KNUBA) / Isaev O. P., Adamenko O. V., Shults R. V. ta in.]. // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia. – 2013. – № 47. – S. 265 – 277. (in Ukrainian)



13. Baran P.I. Geodezichni sposterezhennia za deformatsiiamy obiekta «Ukryttia» na Chornobylskii AES (Geodetic monitoring of deformations of the Shelter at the Chernobyl NPP) / Baran P. I., Sushko V. H., Kholodniuk O. V., Chornokin V. Ia. // Visnyk geodezii ta kartohrafii. – 1999. - №1. – S. 18-23. (in Ukrainian)
14. Mikhelov D.Sh. Vydy deformatsii i prychny ikhnoho vynyknennia (Types of deformation and causes of their occurrence) // [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://mydocx.ru/8-36889.html>; (in Ukrainian)
15. Baryshnikov K.O. Skvazhinnyj pribor inklinometr (The device for the well to the inclisnometer) / K. O. Baryshnikov, M. I. Koptenkov, A. I. Balandin, E. V. Shahovcev. // Lesnoj vestnik. – 2015. – №3. – s. 50–56. (in Russian)
16. Bondarenko I. N. Sovremennye metody monitoringa za tehničeskim sostojaniem zdanij i sooruzhenij v processe ih ekspluatacii (Modern methods of monitoring the technical condition of buildings and structures during their operation) / Bondarenko I. N., Martinov A. V., Mokaseev A.V // [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: <http://masters.donntu.org/2014/igg/kondratenko/library/7.htm>. (in Russian)
17. Gavrilov S.G. Sistema distancionnogo monitoringa deformatsionnyh processov parka «Zaryadye» (Remote monitoring system of deformation processes of the Zaryadye park) / Gavrilov S.G., Sharov K.V., Trubicyn T.V. // Geoprofi: tehnologii. – 2019. №4 s. 4-8. (in Russian)
18. Yaschenko A.I. Monitoring deformatsij visjachego mosta s ispolzovaniem tehnologij Glonass/GPS (Suspension Bridge Strain Monitoring Using the GLONASS / GPS Technologies) / Yaschenko A.I, Evstafiev O.V., Dzhoel Van Kreinenbrok // Geoprofi: tehnologii. – 2010. №6 s. 15-19. (in Russian)
19. Zubov A.V. Osobennosti tochnyh linejno-uglovyh izmerenij elektronnyimi taheometrami (Features of the Precise Linear-Angular Measurements by Electronic Tacheometers) / Zubov A.V., Zubova T.V. // Geoprofi: tehnologii Sankt-Peterburga. – 2005. №4 s. 50-51. (in Russian)
20. Tehnologii Leica Geosystems v sisteme monitoringa smeshhenij morskoi nefte dobyvajushhei platformy (Leica Geosystems Technologies for Offshore Offshore Platform Offshore Monitoring System) // Geoprofi: tehnologii Leica Geosystems. – 2012. №4 s. 37-39. (in Russian)
21. Tehnologija 3D lazernogo skanirovanija v stroitelstve i ekspluatacii tonnelnyh sooruzhenij (3D laser scanning technology in the construction and operation of tunnel structures) // Geoprofi: tehnologii Leica Geosystems. – 2012. №4 s. 35-36. (in Russian)
22. 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. (in English)

23. 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.* (in English)

24. 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. (in English)

25. 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. (in English)

26. Yakovenko M. Ohlyad vydiv geodezychnoho monitorynhu budivel i sporud v skladnykh inzhenerno-geolohichnykh umovakh (Review of types of geodesic monitoring of buildings and structures under difficult engineering geological conditions) / M. Yakovenko, O. Nesterenko // *Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya: zb. nauk. prats. Kyiv: KNUBA, 2020. Vyp. 55.* (in Ukrainian)

#### Аннотация

**Яковенко Михаил Сергеевич**, аспирант кафедры геоинформатики и фотограмметрии, Киевский национальный университет строительства и архитектуры; **Нестеренко Елена Викторовна**, кандидат технических наук, доцент кафедры геоинформатики и фотограмметрии, Декан факультета геоинформационных систем управления территориями, Киевский национальный университет строительства и архитектуры.

#### **Анализ методов геодезического мониторинга деформаций инженерных сооружений и оползневых процессов грунтовых массивов.**

Приведены два основных направления: мониторинг деформаций инженерных сооружений и грунтовых массивов. Описаны традиционные методы мониторинга деформаций инженерных сооружений и грунтовых массивов. Представлен метод мониторинга оползневых процессов — Инклинометрия. Создано сравнительную таблицу методов по основным критериям, таким как: способ (основные методы осуществления геодезического мониторинга деформаций), устройства (необходимые приборы для осуществления геодезических работ), объект мониторинга (приведены объекты на которых может осуществляться геодезический мониторинг деформаций), деформации (представлены основные виды высотного и планового деформированного положения объекта), точность (приведена точность съемочных работ), возможность получения результатов дистанционно в режиме реального времени, форма подачи результатов геодезического мониторинга

делится на числовую (создание сведений отметок координат и др ...) и графическую (создание графиков, профилей, системы векторов и моделей деформаций). Рассмотрено сочетания методов мониторинга деформации в конкретных условиях таких как, разработка карьеров, архитектурных памятников, автомобильных и железных дорог, тоннелей, взлетных полос и другое. Проведен анализ преимуществ и недостатков возможных сочетаний методов мониторинга деформаций с целью повышения информативности, точности и универсальности.

Ключевые слова: деформации; инженерные сооружения; грунтовые массивы; оползневые процессы; геодезический мониторинг деформаций; наземный лазерный сканер; GNSS; инклинометр; автоматизированные геодезические комплексы.

#### Annotation

**Yakovenko Mykhailo, Nesterenko Elena**, Cand. of Tech.Sc., Kyiv National University of Construction and Architecture.

#### **Analysis of methods of geodetic monitoring of deformations of engineering structures and landslide processes of soil mass.**

There are two main directions: monitoring of deformations of engineering structures and soil mass. It describes the traditional methods of monitoring of deformations of engineering structures and soil mass. The presented is method of monitoring the landslide processes – Inclinoetry. A comparative table of methods has been created according to the main criteria, such as: method (basic methods for performing geodetic monitoring of deformations), devices (necessary instruments for performing geodetic work), monitoring object (objects on which geodetic monitoring of deformations can be performed), deformations (main types are presented altitude and planned deformed position of the object), accuracy (given the accuracy of shooting work), the ability to obtain results remotely in real mode. At present, the form for submitting the results of geodetic monitoring is divided into numerical (creation of coordinate elevation information, etc. ...) and graphic (creation of graphs, profiles, system of vectors and deformation models). The following methods of monitoring deformation in specific conditions of such as, development of quarries, architectural memorials, car and railways roads, tunnels, runways and so on. The analysis of the advantages and disadvantages of possible combination of methods monitoring of deformations with a purpose to increase the information, accuracy and versatility.

Key words: deformation; engineering structures; soil mass; landslide processes; geodetic monitoring of deformations; terrestrial laser scanner; GNSS; inclinometer; automated geodetic systems.