

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРУ

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

к.г.н., доцент

_____ Ірина ЛЕОНІДОВА

« ____ » _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття другого (магістерського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Геодезія та землеустрій»
за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій»

МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ
ПОШКОДЖЕНОЇ БУДІВЛІ НА ПРИКЛАДІ ОБ'ЄКТУ
ЗА АДРЕСОЮ: М. ОДЕСА, ПРОСП. ШЕВЧЕНКА, 4Д

Науковий керівник:

_____ к.е.н., доцент В'ячеслав ФОМЕНКО

Рецензент:

_____ Олег ШУРИПА

Виконав здобувач заочної форми навчання
Антон ВИХВАТНЮК

*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень. Використання
ідей і текстів інших авторів має посилання
на відповідне джерело.*

_____ Антон ВИХВАТНЮК

ОДЕСА – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії
Кафедра геодезії, землеустрою та земельного кадастру
Освітній рівень другий (магістерський)
Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

доц. Ірина ЛЕОНІДОВА

« _____ » _____ 202_р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ**

Вихватнюк Антон Миколайович

1. Тема проекту: **«Методичні засади геодезичного моніторингу пошкодженої будівлі на прикладі об'єкту за адресою: м. Одеса, просп. Шевченка, 4д».**

Керівник проекту: к.е.н., доцент В'ячеслав ФОМЕНКО, затверджені наказом закладу вищої освіти від _____ 202__ р. № ____.

2. Строк подання здобувачем роботи _____ 2023р. _____

3. Вихідні дані проекту: матеріали топографо-геодезичних робіт.

4. Зміст розрахунково – пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. Методичні основи геодезичного моніторингу будівель. Теорія деформацій будівель і споруд. Організація проведення геодезичного моніторингу. Планово-висотна основа для геодезичного моніторингу. Практичні аспекти геодезичного моніторингу. Висновки. Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Схема топографо-геодезичної забезпеченості району робіт
2. Схема трансформаційного поля
3. Топографічний план
4. Схема фіксації створів
5. Схема вивірки крену будівлі

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Оформлення графічних матеріалів	Ст.викл. Варфоломєєва О.А		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	примітка
1	Вступ.		
2	Методичні основи геодезичного моніторингу будівель		
3	Теорія деформацій будівель і споруд		
4	Організація проведення геодезичного моніторингу		
5	Планово-висотна основа для геодезичного моніторингу		
6	Практичні аспекти геодезичного моніторингу		
7	Висновки		
8	Список використаної літератури		

Здобувач _____

Антон ВИХВАТНЮК

Керівник роботи _____

В'ячеслав ФОМЕНКО

РЕФЕРАТ

Методичні засади геодезичного моніторингу пошкодженої будівлі на прикладі об'єкту за адресою: м. Одеса, просп. Шевченка, 4д – 2023. – 85 сторінок текстової частини, 3 таблиці, 23 літературних джерела, 7 аркушів графічної частини.

Текстова частина складається з: вступу; методичних основ геодезичного моніторингу будівель; теорії деформацій будівель і споруд; організації проведення геодезичного моніторингу; планово-висотної основи для геодезичного моніторингу; практичних аспектів геодезичного моніторингу; висновків; списку використаної літератури.

Графічна частина містить: схему топографо-геодезична забезпеченості району робіт; схему трансформаційного поля; топографічний план; схему фіксації створів; схему вивірки крену будівлі

Об'єктом розробки кваліфікаційної роботи являється будівля бізнес-центру на просп. Шевченка, 4д, в м. Одеса.

Ключові слова: ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ, БУДІВЛЯ, ВІДХИЛЕННЯ ВІД ВЕРТКАЛІ, ДЕФОРМАЦІЯ, КРЕН, ГЕОДЕЗИЧНА ОСНОВА

Кваліфікаційна робота об'єднує аспекти дослідження та практичні рішення щодо геодезичного моніторингу будівлі пошкодженої ракетним ударом.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ	
БУДІВЕЛЬ.....	8
1.1 Основні поняття геодезичного моніторингу.....	8
1.2 Види геодезичного моніторингу.....	10
1.3 Нормативна база здійснення моніторингу територій, будівель і споруд.....	22
1.4 Геодезичний моніторинг як елемент інженерних вишукувань.....	25
1.5 Сучасні технології для проведення геодезичного моніторингу.....	27
2. ТЕОРІЯ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД.....	40
2.1 Види деформацій будівель і споруд.....	40
2.2 Моніторинг деформацій будівель і споруд.....	43
3. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ..	45
3.1 Вимоги щодо організації та здійснення геодезичного моніторингу....	45
3.2 Види геодезичних моніторингових робіт та порядок їх проведення...	46
4. ПЛАНОВО-ВИСОТНА ОСНОВА ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ.....	50
4.1 Визначення необхідності створення планово-висотного обґрунтування.....	50
4.2 Створення планово-висотної основи для інструментальних вимірювань при геодезичному моніторингу.....	51
4.3 Вимоги до вихідної планово-висотної основи для геодезичних робіт..	52
4.4 Прилади для виконання робіт.....	53
4.5 Топографо-геодезична вивченість району робіт. Розбудова трансформаційного поля.....	57
5. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ	65
5.1 Геодезичний моніторинг при осіданні будівель і споруд	65
5.2 Геодезичний моніторинг при відхиленні від вертикалі будівель і споруд.....	70
5.3 Особливості застосування спеціалізованого програмного забезпечення при геодезичному моніторингу.....	77
5.4 Класифікація та принципи застосування спеціалізованих програм для здійснення геодезичного моніторингу.....	79
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	83

ВСТУП

Моніторинг технічного стану об'єктів будівництва, прилеглої до будівництва забудови та будівель пошкоджених в результаті військової агресії є актуальною темою сучасного стану будівництва. Метою моніторингу є спостереження за технічним станом об'єкта будівництва, техногенним впливом нового будівництва на прилеглі будівлі і споруди, інженерно-геологічною та екологічною ситуацією на прилеглій території, а також визначення часу і величини можливих відхилень від нормального функціонування досліджуваних об'єктів.

За функціональним призначенням моніторинг будівель і споруд в умовах ущільненої забудови поділяється на такі напрями:

- об'єктний, що включає спостереження за станом основ, фундаментів і несучих конструкцій об'єкта нового будівництва або реконструкції, прилеглих будівель і підземних споруд, а також об'єктів інфраструктури;
- інженерно-геологічний, гідрогеологічний, геофізичний, що включає спостереження за динамікою ґрунтів, рівнів і складу ґрунтових вод та розвитком деструктивних процесів: ерозії, зсувів, карстово-суфозійних явищ, осідання земної поверхні тощо, а також за станом температурного, електричного та інших фізичних полів;
- еколого-біологічний, що включає системи спостережень за зміною навколишнього природного середовища, радіаційної обстановки тощо.

Об'єктний моніторинг поділяється на візуальний (обстеження технічного стану об'єкта) та геодезичний (інструментальний).

Геодезичний моніторинг — комплекс геодезичних робіт та систематичних спостережень за динамікою розвитку деформацій у період будівництва та експлуатації. Перед початком виконання моніторингу обов'язково створюється програма моніторингу. Програма з геодезичного моніторингу має встановлювати основні види, обсяги виконання геодезичних вимірів з обов'язковим встановленням періодичності виконання.

Основна мета моніторингу – це деформаційні процеси об'єкта. Ступінь

деформації та інші показники досліджуються шляхом їх вимірювання. Ці вимірювання фіксуються, а потім обробляються і аналізуються.

Моніторинг виконується по відношенню до ключових елементів конструкції. Це фундамент, інженерні споруди. Також моніторити можна не тільки елементи, але і повністю всю споруду. Що саме досліджувати і якими способами, визначається індивідуально для кожного об'єкта відповідним технічним завданням. Кожен з методів моніторингу передбачає застосування спеціального геодезичного обладнання, що відрізняється високою точністю.

Геодезичний моніторинг будівель і споруд вельми важливий у процесі експлуатації конструкції. Він допомагає своєчасно виявити відхилення від норми. А своєчасно виявити, значить своєчасно виправити ситуацію і вирішити проблему. Якщо ігнорувати регулярний моніторинг, можна в результаті отримати деформації в запущеній ступеня, які не підлягають відновленню або на відновлення яких потрібно затратити великі кошти.

Окремої уваги геодезичний моніторинг набув під час воєнного стану. Будівлі які пошкоджені ракетними ударами потребують проведення геодезичного моніторингу з метою встановлення фактичного стану будівлі та можливості подальшої експлуатації.

В червні місяці 2023р. в результаті ракетного удару було пошкоджено 11-поверхову будівлю бізнес-центру за адресою: м. Одеса, проспект Шевченка, 4д. В вересні місяці 2023р. для оцінки стану будівлі були виконані роботи щодо геодезичного моніторингу будівлі та визначення відхилення споруди від проектного положення в вертикальній площині.

В кваліфікаційній роботі досліджено методичні основи та представлено практичні аспекти комплексу топографо-геодезичних робіт щодо геодезичного моніторингу будівлі пошкодженої в результаті військової агресії.

1. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ БУДІВЕЛЬ

1.1. Основні поняття геодезичного моніторингу

Геодезичний моніторинг – комплекс геодезичних робіт та систематичних спостережень за динамікою розвитку деформацій в період будівництва та експлуатації будівель та споруд або просторового розміщення територій.

Мета геодезичного моніторингу за деформаціями будівель і споруд – отримати дані, які характеризують абсолютні величини осідань і зміщень, а також встановити показники їх зміни в часі. В період будівництва – геодезичний моніторинг об'єкту будівництва IV, V категорії необхідний для отримання дійсних значень деформацій, порівняння отриманих даних з розрахунковими та максимально допустимими значеннями. В період експлуатації – геодезичний моніторинг об'єкту будівництва V категорії проводять в перші два роки експлуатації. Прилеглі до будівельного майданчику території, будівлі та споруди, для запобігання руйнівного впливу нового будівництва та прийняття рішень, щодо усунення наявних деформацій. До складу геодезичних моніторингових робіт при вимірюванні осідань, зсувів та деформацій можна віднести так:

- визначення методик та періодичності промірів осідань, зсувів та деформацій;
- створення технології, методів та програми реалізації планових і висотних опорних моніторингових мереж;
- створення конструкції геодезичних моніторингових знаків;
- визначення інтервалів та методик перевірки просторового розташування знаків опорної мережі;
- улаштування геодезичних моніторингових знаків;
- виконання робіт з тріангуляції, полігонометрії чи геометричного нівелювання для створення опорної моніторингової мережі;
- виконання вимірювань величини горизонтальних і вертикальних зміщень,

величин крену і переносу споруди, тріщини і виміри їх розмірів, а також зсувних процесів.

Виконання вимірювань деформацій будівель та споруд носять систематичний характер, періодичність виконання 1 раз на місяць. Періодичність може змінюватись в залежності від етапів будівництва.

Як зазначають провідні практики, високоточний просторовий моніторинг проводиться при будівництві та експлуатації висотних та унікальних об'єктів, особливо в умовах щільної забудови, енергетичних і транспортних споруд, при прокладці інженерних мереж і комунікацій, у випадку зміни геологічного або гідрологічного режиму середовища, при впливі сейсмічної діяльності і т. д.

Метою здійснення високоточного просторового моніторингу є контроль положення будівель і споруд по вертикалі, відстеження зсувів і відхилень несучих конструкцій, спостереження за опадами та підйомом будівель по відношенню до ґрунту, розкриття тріщин і стиків на їх поверхні. Для споруд баштового типу, а також на територіях зі складними геологічними умовами, проводиться моніторинг горизонтальних зсувів, тобто кренів і зрушень.

Одним з методів високоточного просторового моніторингу є регулярне проведення геодезичних вимірювань деформаційних марок, закріплених в таких місцях, де гарантована реакція на найменший порух об'єкта (наприклад, стовпи або точки перегину основного прольоту моста і т. д.).

Геодезичний моніторинг об'єктів і аналіз деформацій є складним завданням, що вимагає максимальної точності вимірювань, безперервності й автоматизації процесу спостережень, максимальної надійності датчиків і наявності гнучких інструментів обробки й аналізу даних.

Традиційні методи геодезичних спостережень, які припускають закладку деформаційних марок по периметру будівлі та проведення регулярного нівелювання. За величинами різниці висотних відміток виконується аналіз величин деформації та швидкості їх змін.

В якості сучасних геодезичних рішень застосовуються роботизовані тахеометри, встановлені в стабільній зоні та самостійно наводяться на деформаційні марки.

Також застосовуються GNSS-антени, встановлені в точках вимірювань і регулярно посилають сигнали на моніторинговий сервер. Програмне забезпечення цілодобово обробляє дані та формує діаграми, які представляють рух точок по функції часу. Оскільки в цьому випадку вимірювання трьох- координатні, то додатково аналізується інформація про рух точок. Сучасні моніторингові системи мають засоби, що активують сигнали тривоги, коли амплітуда рухів досягає критичних величин.

За результатами спостережень за деформаціями будівель і споруд складається висновок про стан об'єкта і прогноз розвитку виявлених деформацій, розробляються рекомендації з ведення відповідних заходів, що запобігають наслідки критичних деформацій.

1.2. Види геодезичного моніторингу

Сучасний розвиток будівельної галузі вимагає точної, детальної, достовірної та своєчасної інформації про технічний стан і геометричні параметри будівельних конструкцій інженерних споруд [1].

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 «грунтові масиви» слід розуміти рельєфну сукупність нерівностей поверхні суходолу різноманітних за конфігураціями, 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 [1].

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.

Причини виникнення деформацій зазвичай за походженням поділяються на деформації природного походження і деформації, які виникли 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;
- перекис;
- 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, в результаті деформацій виникає «пузо» в протилежному напрямку;
- зсув;
- скручування – 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 (території, квартали).

Для висотних будинків, експериментальних та складних споруд моніторинг входить до робіт з науково-технічного супроводу і є складовою частиною загального моніторингу об'єкту будівництва [2].

Геодезичний моніторинг виконується геодезичними методами та приладами, або автоматизованими геодезичними комплексами. Проєкт 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 [3]. Точність, періодичність та детальність встановлюють проєкти виконання геодезичних робіт (ПВГР).

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.

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 [4, 5].

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).

6. Стереοфотограмметрія – виконується за допомогою стереο фотокамер, 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.

Таблиця 1. Порівняння методів геодезичного моніторингу деформацій

№	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

№	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

№	Спосіб	Пристрої	Об'єкт моніторингу	Деформації	Точність	Можливість отримання результатів 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

№	Спосіб	Пристрої	Об'єкт моніторингу	Деформації	Точність	Можливість отримання результатів 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	Стереофотограмметрія	Стереофотокамера	Інженерні споруди, ґрунтові масиви	Моніторинг просторового положення та зміни геометричної форми	± 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	± 4 мм	Так	Відомість координат та відхилень	Графік розвитку переміщень, профіль відхилень, система векторів

В таблиці 1 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 ряд переваг та недоліків. Але сьогодні 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 інклінометри, 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 ± 4 мм на 100 м, інклінометрія ± 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 GNSSприймач 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 ± 10 мм). Для визначення деформованого стану дорожнього полотна, дорожньої розмітки, опор ліній електропередач, шпал та ін.. точність може забезпечувати вимоги.

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 в результаті отримати щось подібне 3D-моделі ґрунтових масивів, не лише ззовні але й з середини. У праці [6] 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.

1.3. Нормативна база здійснення моніторингу територій, будівель і споруд

Останніми роками Мінрегіоном України розроблено ряд нормативних документів, що входять до системи забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві [7]. Особливу увагу необхідно звернути перш за все на ДБН В. 1.3-2:2010 Геодезичні роботи у будівництві та ДСТУ-Н Б В.1. 3- 1:2009 Виконання вимірювань. Розрахунок та контроль точності геометричних параметрів. Настанова.

Документи розроблені співробітниками Науково-дослідного інституту будівельного виробництва у співпраці з Київським національним університетом будівництва та архітектури, Науково-виробничим інститутом метрологічного забезпечення вимірювання геометричних, механічних та віброакустичних величин, ВАТ ПТІ «Київоргбуд», АТ ХК «Київміськбуд» та ДП «Укргеодезмарк» ВАТ «Київметробуд» відповідно до Технічних завдань погоджених та затверджених Міністерством регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України.

ДБН встановлює загальні правила проектування, виконання та приймання геодезичних робіт. ДСТУ встановлює загальні положення, методичні принципи та порядок розрахунку точності і правил вимірювання геометричних параметрів у будівництві.

Існують проблеми інформаційного забезпечення будівельного

комплексу з питань геодезії, маркшейдерії та якості будівництва. Недостатньо використовуються інформаційні технології в будівництві та експлуатації будівель і споруд, відсутній банк даних про їх стан та експлуатаційні параметри.

Ці питання могли б вирішити науково-дослідні інститути Мінрегіону за участю фахівців вищої школи. В той же час слід відмітити, що корпорації, відомства, підвідомчі їм організації недостатньо приділяють уваги цьому питанню. Не є винятком, коли будівельні організації ведуть роботи без кваліфікованих геодезистів та сучасної геодезичної техніки, що негативно впливає на надійність та якість будівництва. Не може не хвилювати те, що стан геодезичного забезпечення будівництва в Україні вкрай незадовільний.

Вирішення наукових та практичних задач ведеться епізодично розрізненими організаціями, що призводить до послаблення ефективності роботи геодезичних служб, відтоку кваліфікованих кадрів, зниження надійності, безпеки та якості будівництва і, як наслідок, до підвищення аварійності. Це свідчить про відсутність державної концепції розвитку геодезичного забезпечення будівництва, організація якої потребує об'єднання зусиль багатьох зацікавлених міністерств, відомств та підприємств.

Проте, слід виділити низку нормативно-правових документів, якими на даний момент регламентується здійснення моніторингу територій, будівель і споруд. Серед них:

- Закон України «Про архітектурну діяльність»;
- Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки»;
- Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки» від 29.02.2012 № 306;
- ДБН А.2.1-1-2008 Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва;

- Проєкт ДБН А.3.1- 5:20Х Х Організація будівельного виробництва;
- ДБН В.1.1-12:2014 Будівництво у сейсмічних районах України;
- ДБН В.1.2- 2:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування;
- ДБН В.1.2-5:2007 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково- технічний супровід будівельних об'єктів;
- ДБН В.1. 2-12-2008 Система надійності та безпеки будівельних об'єктів. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки;
- ДБН В.1.2-14- 2009 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ;
- ДБН В.1.3-2:2010 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві;
- Проєкт ДБН В.3. 1-XX:201Х2 Підтримання експлуатаційної придатності будівель та споруд. Основні положення;
- Проєкт ДСТУ Б А.1.3-XX:201Х3 Визначення параметрів будівель, споруд і території забудови. Загальні вимоги;
- ДСТУ Б А.2.4-14:2005 Система проектної документації для будівництва. Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Технічне завдання;
- ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Прогини і переміщення. Вимоги проектування;
- ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів. Настанова;
- ДСТУ Б В.2.1-30:2014 Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд;
- ДСТУ Б В.2.6-25- 2003 Конструкції будинків і споруд. Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Загальні

технічні вимоги;

- ДСТУ Б В.2.6-27:2006 Конструкції будинків і споруд. Автоматизовані системи технічного діагностування будівельних конструкцій. Види випробувань;
- ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва;
- ДСТУ-Н Б В.2.5- 37:2008 Настанова з проектування, монтування та експлуатації автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями і спорудами;
- ДСТУ-Н Б Д.1. 1-8:2008 Правила визначення вартості наукових та науково-технічних робіт у будівництві;
- ДК 018-2000 Державний класифікатор будівель та споруд.

1.4 Геодезичний моніторинг як елемент інженерних вишукувань

Інженерні вишукування для будівництва є видом науково-технічної діяльності (згідно з Законом України «Про наукову та науково-технічну діяльність»), що забезпечує вивчення природних і техногенних умов територій (ділянок) об'єктів будівництва, розроблення прогнозів взаємодії об'єктів будівництва з навколишнім середовищем, розроблення усіх видів проєктів (у тому числі інженерної підготовки територій, захисту територій і об'єктів від небезпечних процесів).

Інженерні вишукування для будівництва виконують відповідно до норм чинного законодавства, нормативних актів та нормативних документів, які регулюють діяльність у відповідних сферах та на конкретній території, з дотриманням вимог цивільного захисту у сфері техногенної безпеки, охорони праці та навколишнього середовища.

Вишукування для будівництва в складних інженерно-геологічних умовах (III категорія), а також вишукування для будівництва будівель і споруд підвищеного рівня відповідальності (ГОСТ 27751) повинні виконувати спеціалізовані вишукувальні та проєктно-вишукувальні

організації, які мають відповідне технічне оснащення та фаховий склад.

Інженерні вишукування виконують на основі договору підряду згідно з технічним завданням та програмою виконання робіт.

Інженерні вишукування для будівництва включають такі види вишукувань:

- інженерно-геодезичні;
- інженерно-геологічні;
- геотехнічні та інженерно-гідрогеологічні (у складі комплексних інженерно-геологічних вишукувань або окремо);
- інженерно-гідрометеорологічні;
- вишукування для раціонального використання та охорони навколишнього середовища;
- спеціалізовані (умовно вишукувальні).

Залежно від порядку розроблення проектної документації (згідно з ДБН А. 2.2-3) обсяги вишукувальних робіт розподіляють так:

- для передпроектних робіт, а також для розроблення ескізного проекту (ЕП) – на основі літературних, фондових джерел (враховуючи і державний картографо-геодезичний фонд) і обґрунтованого обсягу польових і лабораторних робіт;
- на стадіях: техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) чи техніко-економічний розрахунок (ТЕР), проект (П) або робочий проект (РП) – основні обсяги вишукувань (до ста відсотків);
- на стадії робочої документації (Р) – додаткові обсяги вишукувальних робіт за відповідного обґрунтування у технічному завданні.

У разі проектування об'єктів підвищеного рівня відповідальності та об'єктів у складних інженерно-геологічних умовах постадійне виконання вишукувальних робіт встановлюють відповідно до технічного завдання і програми виконання вишукувальних робіт.

У всіх випадках склад і обсяги вишукувальних робіт визначає вишукувальна організація з урахуванням таких факторів:

- вид будівництва (мета вишукувань);
- регіональні, територіальні та локальні особливості території (складність умов);
- ступінь вивченості території;
- стадія проєктування.

Відповідні конкретні відомості необхідно вказувати у технічному завданні та програмі виконання робіт (технічному приписі) вишукувальної організації з обов'язковим урахуванням наявних фондових (геодезичних, геологічних і ін.) матеріалів.

1. 5 Сучасні технології для проведення геодезичного моніторингу

Наземне лазерне сканування – це сучасна технологія, як дозволяє з високою швидкістю та точністю визначати координати значної кількості точок (хмар точок) на поверхні об'єктів, які характеризують його форму, розміри та розташування в просторі.

Ця технологія реалізується з допомогою спеціальних приладів – наземних лазерних сканерів, які вимірюють горизонтальні та вертикальні напрямки розповсюдження лазерного випромінювання і похилі відстані до точок об'єкту.

Крім координат точок об'єкту, під час лазерного сканування відбувається також фіксація кольорових RGB характеристик. Колір отримують в результаті фотографування об'єкту цифровою фотокамерою (рис. 1).

Таким чином результатом наземного лазерного сканування є масив або хмара точок сканованого об'єкту, які мають такі параметри: координати X, Y, Z в просторовій системі координат і RGB параметри кольору.

Останні тенденції в містобудуванні та проєктуванні локальних територій передбачають тривимірне моделювання поточного стану місцевості та проєктування розвитку території по створеній моделі території. 3D- модель інфраструктури місцевості здатна відобразити сукупність споруд певної

території з визначеною точністю та детальністю, перегляд якої буде доступний під різними кутами, з різних рівнів і за різних умов освітлення. Поетапне моделювання локального об'єкту чи цілого міста починається з моделювання інтер'єру та екстер'єру окремих споруд, а з одиничних будівель формується загальний силует міста.

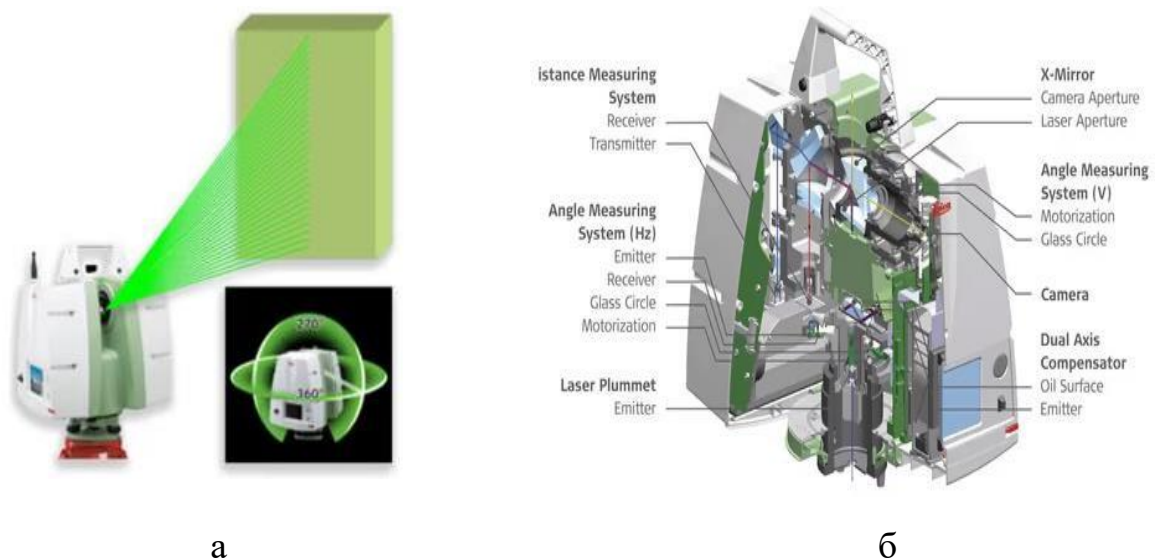


Рис. 1 – Технології лазерного сканування:

а – схема роботи сканувальної станції;

б – будова лазерної сканувальної станції

Застосування методів лазерного сканування в архітектурі дозволяє одержати високоточні та детальні вихідні дані для складання планів реконструкції по відновленню будівель та пам'ятників, проводити моніторинг та оцінку їх стану.

При відсутності достатнього фінансування і в умовах інтенсивного руйнування під впливом навколишнього середовища, лазерне сканування дозволить зберегти для майбутніх поколінь архітектурний вигляд історичних будівель і споруд, а також використовувати отримані дані для подальшого проєктування реконструкції та будівництва.

З використанням наземного лазерного сканера при проєктуванні і будівництві споруд можуть виконуватись такі види робіт:

- коригування проєкту в процесі будівництва;

- оптимальне планування і контроль переміщення, установки і видалення великих частин споруд або обладнання;
- монтажні роботи;
- моніторинг стану об'єкта при експлуатації;
- відновлення втрачених креслень;
- контроль будівництва;
- виконавча зйомка в процесі будівництва і після його закінчення;
- точне профілювання і побудова тривимірних моделей різних об'єктів.

Наземне лазерне сканування має ряд переваг над традиційним геодезичним зніманням серед яких:

- об'єктивне трактування розміщення усіх об'єктів та деталей навколишньої території;
- чітке відображення висоти споруд;
- детальне знімання поверхні споруди та рельєфу;
- одержання тривимірного представлення відсканованого об'єкта;
- висока швидкість проведення вимірів.

Як результат роботи по первинній обробці хмар точок, має бути створена єдина точкова модель об'єкту, яка складається з вимірів, виконаних з різних станцій сканування.

Роботи з наземного лазерного сканування ділять на три етапи:

- польові вимірювальні роботи;
- камеральні роботи по первинному опрацюванні хмар точок;
- камеральні роботи по складанню відповідної документації та проєктів за даними лазерного сканування

Польові роботи забезпечують збір даних про поверхню сканованого об'єкту (інтер'єр чи екстер'єр) з метою створення точної та повної точкової 3D-моделі середовища. Результатом роботи польового етапу з НЛС є окремі скани чи хмари точок з певної станції стояння 3D-сканера у різних системах координат.

В результаті первинного опрацювання даних одержаних в результаті проведення польового етапу з НЛС, будується попередня (точкова) тривимірна модель споруди, яка складає собою сукупність сканів чи хмар точок з усіх станцій стояння приладу. При цьому можна говорити, що усі скани приведені в одну систему координат

Безпосереднє використання хмари точок є досить обмеженим, але воно є найнадійнішою основою для створення архітектурних креслень, точного профілювання, детального дослідження елементів споруди та 3D-моделювання.

Необхідними атрибутами проведення наземного лазерного сканування є:

- лазерний 3D-сканер;
- програмне забезпечення для первинного опрацювання хмари точок;
- програмне забезпечення для опрацювання точкової моделі.

Для попереднього опрацювання даних лазерного сканування – реєстрації та редагування хмари точок, використовується як правило програмне забезпечення Autodesk ReCap. Це ПЗ оптимізоване для роботи з більшістю видами сканерів, поширених моделей сканерів Trimble та Leica.

Робота з точковою моделлю базується на вписуванні полігонів та CAD-об'єктів у точки, які описують поверхню. Залежно від програмного забезпечення та кінцевого результату роботи, розрізняють три основні стратегії опрацювання даних сканування: ручне, автоматичне, напівавтоматичне.

Мобільне лазерне сканування з'явилося понад 10 років тому і з тих пір зробило величезний технологічний прорив від експериментальних установок до сучасних геодезичних приладів. В Україні мобільне лазерне сканування з'явилося в 2000-х роках і більше всього застосовується для виконання вимірювань лінійно-протяжних об'єктів, у першу чергу – автомобільних доріг, зйомки маршрутів міст та населених пунктів, залізничних шляхів.

Результатом сканування є дуже докладний та щільний набір (хмара) тривимірних точок поверхні, кількість яких може досягати сотні і тисячі на 1 м² знімальної поверхні. Приклад представлений на рис. 2. Мобільне лазерне сканування здійснюється, як правило, з візкових пристроїв або транспортних засобів зі швидкостями від 3 км/год до 90 км/год залежно від необхідної щільності хмари точок та детальності запланованого сканування. Головною причиною вибору саме мобільного лазерного сканування для вишукувань та складання проєктної документації є виконання польових вимірювань з дуже високою та достатньою швидкістю і детальністю.



Рис. 2 Результати сканування у вигляді хмари точок

У першу чергу випробування мобільних лазерних сканерів проводилось на автомобільних дорогах міського та міжміського типів. Випробування несли за собою зіставний характер. В результаті перших випробувань були отримані неперевершені результати та продемонстровано готовність даної технології для геодезичних вишукувань, в тому числі таких відповідальних, як для проєктів з ремонтів та реконструкцій ділянок і окремих об'єктів.

Принцип роботи мобільних лазерних пристроїв сканування достатньо простий і зрозумілий. Високошвидкісний мобільний лазерний далекомір, або його дзеркало, встановлюється на поворотній основі. Така поворотна основа представляє собою головку для лазера. За один оберт головки далекомір

може робити від сотні до тисячі вимірювань, що дає можливість детально оцінити профіль оточуючого простору в одній двовимірній площині (рис. 3). При використанні лазерної головки, встановленої на рухомій базі з поступальним рухом під кутом до площини сканування, далекомір з кожним обігом головки зніматиме нову площину.

В результаті буде отримано множину поперечних сканованих площин вздовж напрямку руху (рис. 4). Для обчислення координат окремих отриманих точок лазерного сканування необхідно знати точне розташування і орієнтацію лазерної головки у просторі в момент фіксування кожного виміру. Для цього використовуються інерційні навігаційні системи (ІНС), суміщені з GPS/ГЛОНАСС – приймачем геодезичного класу.

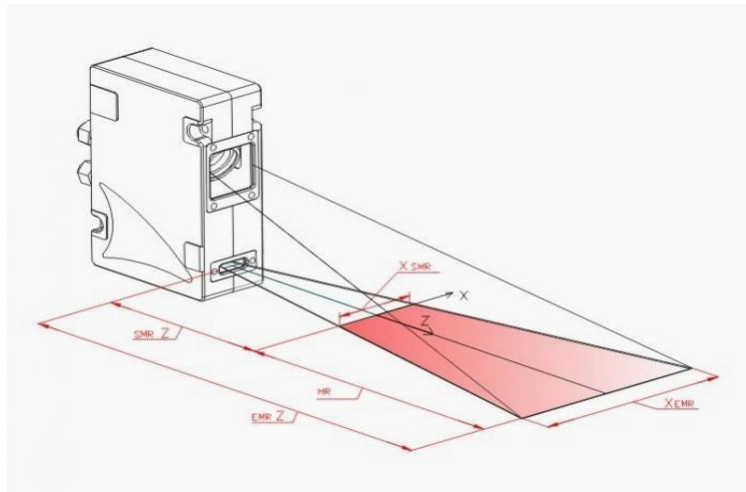


Рис.3 Схема роботи мобільного лазерного скануючого пристрою

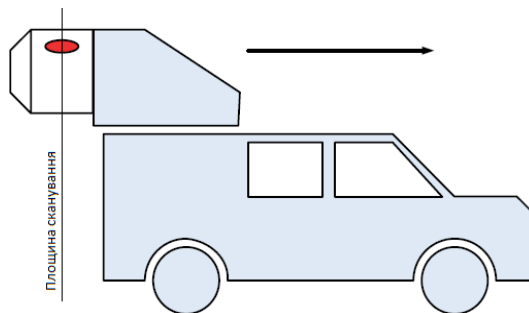


Рис. 4 Схема встановлення далекоміру на рухомій базі

Лазерне сканування має дуже широку область застосування, зокрема:

- топографічна зйомка лінійних об'єктів (автодороги, залізниці, мости, тунелі);
- створення 3D-моделей об'єктів;
- створення поздовжніх і поперечних профілів автодороги;
- поздовжні і поперечні ухили проїжджої частини;
- цифрова модель рельєфу і цифрова модель дорожнього покриття;
- створення паспорта автодороги;
- оцінка колійності та визначення поздовжньої рівності покриття;
- оцінка зон видимості;
- створення відомостей дорожніх знаків, дорожніх огорожень, інформаційних і рекламних щитів та ін. з додатком фотоматеріалів.

В дорожній галузі лазерне сканування (рис. 5) ефективно застосовується у трьох широких областях: інженерно– геодезичні вишукування при проєктуванні і виконавчої зйомці; для паспортизації, інвентаризації існуючої інфраструктури; для створення ГІС та геопросторових баз дорожніх даних.

При проєктуванні та проведенні виконавчої зйомки необхідна максимальна точність, особливо за висотою. Це досягається, головним чином, плануванням проведення вимірювань і застосуванням декількох базових станцій в районі робіт, введенням опорних точок для вирівнювання траєкторій. При виконанні паспортизації та інвентаризації необхідне максимальне охоплення, особливо придорожньої смуги, об'єктів сервісу, побутових приміщень та інженерного облаштування.



Рис. 5 Виконання зйомки мобільним лазерним сканувальним пристроєм

Лазерне сканування в таких випадках ефективно поєднувати з панорамною відео зйомкою. Такого типу поєднання необхідне для камерального дешифрування об'єктів проєктування. Висока точність для проведення даних робіт не потрібна, можливе виконання роботи без базових станцій з високою швидкістю руху.

Створення ГІС і геопросторових баз дорожніх даних вимагає проміжної точності, але при цьому високої деталізації і максимального охоплення, зокрема придорожньої смуги, об'єктів сервісу, побутових приміщень та інженерного облаштування. Окрема увага приділяється зйомці укосів насипів та контрбанкетів, оголовків труб, елементів мостових споруд та переїздів. Необхідним є використання базових станцій, а також планування траєкторій руху на складних ділянках для повного покриття навколишнього оточення та маршруту зйомки.

При зйомці для проєктування ремонтних робіт та реконструкції найбільш складним і важливим є докладне моделювання деталізації поверхні автомобільної або залізничної дороги з високою точністю в профільному та плановому відношеннях. Традиційне нівелювання дає високу точність, проте не дає докладної моделі проїжджої частини, враховуючи тільки колійність,

або полосність, невеликі просадки та однорідні малі дефекти, в силу того, що точок зйомки досить мало. Лазерне сканування вирішує такі обмеження. Для отримання детального і високоточного результату зйомка виконується ділянками по 10–15 км. В районі робіт виставляється не менше двох базових станцій (рис. 6). Обов'язковим є планування роботи при очікуваній достатньо високій точності сеансу вимірювань. У випадку необхідності зйомки насипу попередньо проводиться покіс трави на укосах для досягнення високої точності вимірювань і визначення підосви укосу та його форми.

При зйомці для проведення ремонтів покриття або виправочних робіт на залізницях швидкість руху лабораторії обмежується до 20 км/ год, для інших проєктів – 30 км/год при зйомці. Для підвищення абсолютної точності та посилення контролю за кожні 200 м на крайній смузі встановлюються «опорні точки» з обох сторін дороги, вони маркуються світловідбиваючою фарбою, при цьому окремо виконується їх нівелювання. Після зйомки порівнюються траєкторії по базовим станціям за допомогою програмного забезпечення Novatel. Далі хмара точок накладається на опорні точки в IndorCAD, або AUTOCAD, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії.

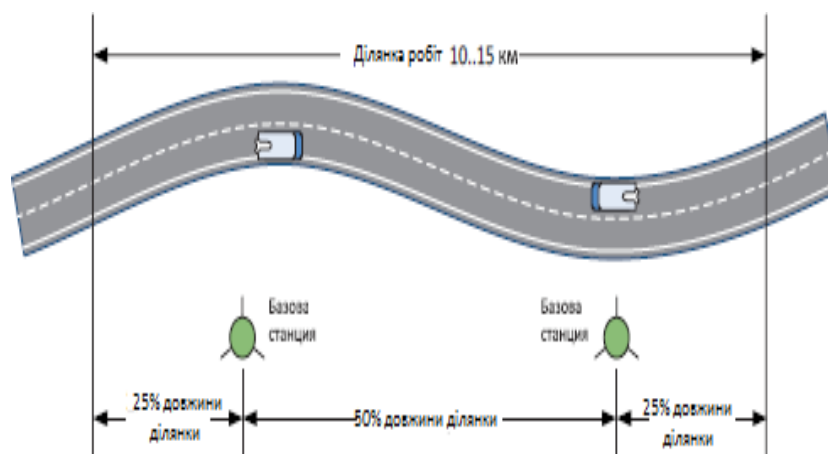


Рис. 6 Розміщення базових станцій в районі виконання сканувальних робіт

Після цього отримуємо остаточну хмару точок, яку використовуємо у потрібному програмному забезпеченні для розробки необхідної проєктної

документації. Перевага мобільного лазерного сканування перед традиційними зйомками – набагато більш детальна модель поверхні, яка відображає реальні ухили на всій поверхні шляху сканування з деталізацією дефектних місць та ін.

При зйомці для паспортизації розглядається особливий вид зйомки, який не вимагає дуже високої абсолютної точності, але вимагає охоплення всіх елементів дороги та придорожньої смуги. Матеріали такої зйомки можуть застосовуватися як власне для паспортизації, так і для інвентаризації майнового комплексу та для проектування організації дорожнього руху. В даному виді робіт проводиться зйомка ділянками, протяжність яких може досягати 100 км. Плануються роботи з достатньою точністю вимірювань для даного виду робіт. Швидкість руху мобільних лазерних пристроїв знаходиться в межах 60–80 км/год. Одночасно виконується панорамна відеозйомка. Для повного охоплення автомобільної або залізничної дороги виконуються окремі проїзди по всіх елементах розв'язок, заїзди на майданчики та об'єкти сервісу, обгонні колії, під'їзні шляхи. На автомобільних шляхах рух здійснюється по крайній правій смузі для того, щоб «тінь» від сусіднього транспорту не закривала огляд вправо і перекривалась зворотним проїздом.

Після зйомки зіставляються траєкторії по опорним точкам та перехрестям за допомогою програмного забезпечення Novatel, AUTOCAD та ARCGIS. Далі хмари точок зіставляються одна з одною у вигляді шарів, при цьому нев'язки розподіляються по траєкторії. Після цього отримується остаточна хмара точок. Отримана хмара точок фільтрується і класифікується, після чого будується спрощена модель автомобільної або залізничної дороги для формування паспортної документації.

При зйомці для ГІС і геопросторових баз даних роботи виконуються ділянками по 100 км. В районі робіт виставляється не менше двох базових станцій. Швидкість руху знаходиться в межах 5–60 км/год. Одночасно виконується панорамна відеозйомка. Виконуються окремі проїзди по всіх

елементам розв'язок, заїзди на майданчики, об'єкти сервісу, великі з'їзди. Рух здійснюється по одиночним маршрутам, з частковим заїздом на узбіччя у межах твердого покриття. Після зйомки зіставляються траєкторії по опорним точкам та перехрестям за допомогою програмного забезпечення Novatel, AUTOCAD та ARCGIS. Далі хмари точок зіставляються одна з одною у вигляді шарів, при цьому нев'язкі розподіляються по траєкторії зйомки. Отримана хмара точок фільтрується і класифікується для побудови моделі автомобільної дороги, маршрутних шляхів, залізничних шляхів та ін.

Оцінка продуктивності. Продуктивність мобільного лазерного сканування при вишукуваннях для паспортизації може досягати 300 км за день польових робіт однією лабораторією. Продуктивність при вишукуваннях для ГІС – до 200 км за день польових робіт однієї лабораторії і бригади геодезичного забезпечення. Продуктивність при вишукуваннях для проєктування ремонтних робіт – до 50 км за день польових робіт однієї лабораторії і бригади геодезичного забезпечення.

Як видно, швидкість виконання польових робіт перевершує класичні методи в кілька разів, а при зйомці для проєктування ремонтних робіт – на порядок. При обліку найвищої точності і детальності одержуваних даних можна робити чіткий висновок про доцільність широкомасштабного застосування мобільного лазерного сканування в дорожньому господарстві.

Обробка даних мобільного лазерного сканування. Як уже було сказано, в даний час мобільне лазерне сканування стає дуже популярною темою при замовленні проєктно–вишукувальних робіт у дорожній галузі. З'являється велика кількість компаній, які опанували технологію виконання мобільного лазерного сканування. У той самий час виконання сканування та отримання хмари точок – це лише початок довгого шляху в проєктуванні автомобільних та залізничних доріг.

Типовий порядок обробки даних. Розглянемо типовий порядок обробки даних мобільного лазерного сканування – від отримання вихідних даних до побудови моделі. Процес отримання хмари точок має досконалу технологію і

досить добре опрацьований. Але для досягнення необхідної точності, особливо за висотою, необхідне якісне планово–висотне обґрунтування і поміщення хмар на контрольні точки. Процес обробки даних лазерного сканування практикується досить безсистемно і зазвичай збігається до класифікації і розфарбування хмар точок. Цього явно виявляється замало для подальшої роботи інженерів в системах автоматичного програмування та ГІС. Для цього визначаються етапи, які потрібні для отримання практичних 3D–моделей, хоча деякі з них зазвичай не виконуються.

При виділенні модельних точок рельєфу розглядаються хмари точок лазерного сканування, які зазвичай містять десятки і сотні мільйонів точок, що належать до рельєфу. Дуже велика отримана кількість точок зовсім зайва, коли мова йде про побудову триангуляційної моделі рельєфу, що застосовується як вихідний матеріал для проєктування. Для того, щоб отримати таку модель рельєфу, з великої кількості вихідних точок, що належать до рельєфу, виокремлюють невелику кількість характерних модельних точок рельєфу. Модельними точками рельєфу називають такі точки хмари, які роблять найбільший внесок у форму рельєфу (рис. 7) і необхідні для становлення моделі рельєфу заданої точності.

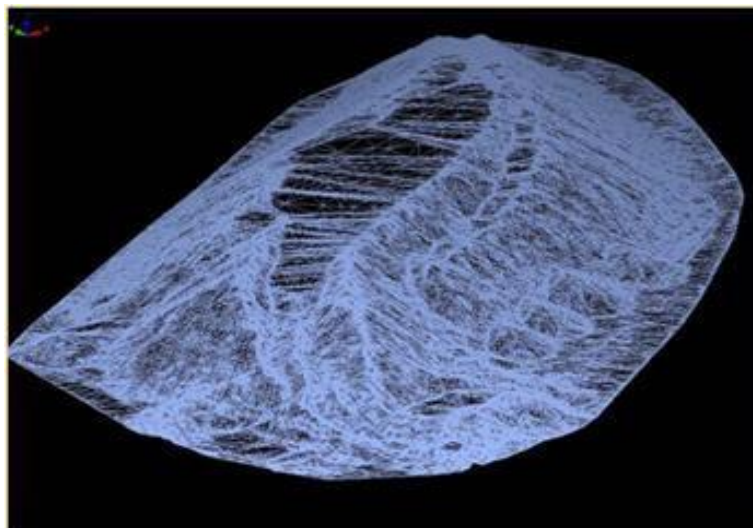


Рис. 7 Модельні точки рельєфу в загальній хмарі точок

Зазвичай під «точністю» сформованого набору модельних точок

розуміють максимально припустиме відхилення по висоті точок, що належать до рельєфу (вихідних точок хмари), від тріангуляційної моделі, побудованої за модельним точкам.

Зазвичай число модельних точок для моделей рельєфу із заданою точністю 1 см буває на 2–3 порядки менше за число вихідних точок, що належать до рельєфу (рис. 8). Модельні точки поверхні застосовуються для моделювання рельєфу поряд з автомобільною або залізничною дорогою і задають цифрову модель рельєфу, придатну для застосування в будь-яких системах автоматичного програмування і ГІС, а також для швидкої тривимірної візуалізації.

При оцифруванні структурних ліній дороги розглядають такі лінії, які задають базову просторову геометрію автомобільної або залізничної дороги. Такий процес є першим і найважливішим елементом, який необхідно визначати при створенні 3D-моделі дороги. Структурні лінії дороги включають в себе осьові лінії, кромки проїжджої частини, бровки, підшви, межі укосів виїмок, насипів, контр банкетів, берм та ін.

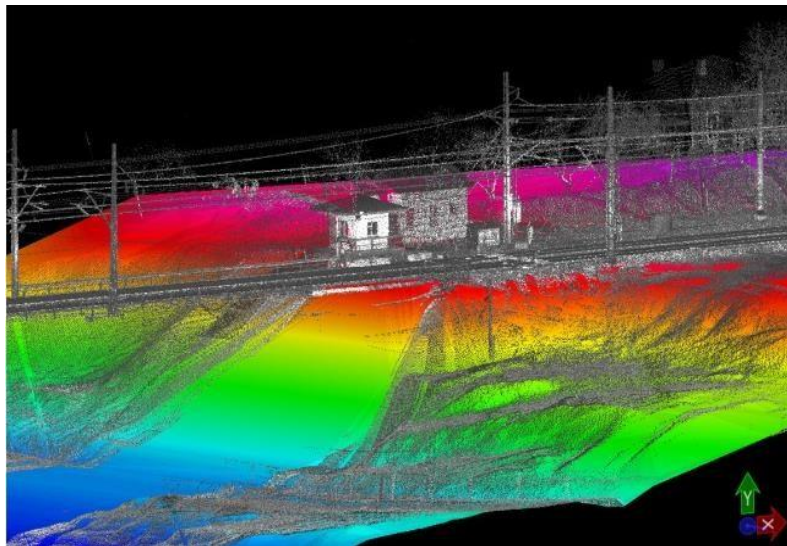


Рис. 8 – Мобільні точки рельєфу в тримірному представленні

У наш даний час вже існує низка алгоритмів і програмних продуктів, що дозволяють розпізнавати дані структурні лінії і будувати статистично згладжені просторові лінії за хмарою точок. Отримувані структурні лінії є

найважливішим елементом моделі сканування дороги і використовуються напряму сучасними системами автоматичного програмування автомобільних і залізничних доріг. Слід зазначити, що автоматизоване розпізнавання структурних ліній дороги надійно працює тільки для нових доріг. У решти випадків точно розпізнати вісь дороги, напівзасипану кромку, зарослу травою бровку та ін. досить проблематично – в цьому випадку єдиним виходом є ручне оцифрування структурних ліній. Підмогою оператору тут може бути механізм локальної статистичної оцінки розподілу точок за висотами.

2. ТЕОРІЯ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

2.1. Види деформацій будівель і споруд

Забезпечення безвідмовної роботи конструкцій будівель і споруд – одна з найважливіших проблем будівельної науки [8]. Причини, що зумовлюють цю проблему такі:

- у склад сучасних будівель і споруд входить багато елементів із складним характером взаємодії як між собою, так і з навколишнім середовищем;
- багато будівель і споруд мають національну та загальнолюдську цінність.

Порушення безвідмовності роботи таких будівель і споруд може призвести до великих матеріальних і моральних збитків. Пошук раціональних рішень, які забезпечують підвищення надійності та якості будівельних об'єктів будівництва при мінімальному використанні ресурсів на їх зведення, є концептуальною стратегією сучасного будівництва в Україні, ближньому та далекому зарубіжжі. Реалізація цієї стратегії знаходиться в прямій залежності не тільки від правильного врахування даних про конструктивні особливості споруди, але й адекватного відображення особливостей поведінки ґрунтової основи, яка сприймає навантаження і працює спільно з будівельною спорудою.

Нерівномірні деформації основи, що виникають при зведенні та

експлуатації будівель у складних ґрунтових умовах, слід вважати одним із основних факторів, які впливають на їх несучу здатність, деформативність і довговічність.

Звичайно будівництво в складних ґрунтових умовах проводилося на так званих «плаваючих фундаментах», утворених або суцільною монолітною плитою достатньої товщини, чи плитою з пустотами. Останні можуть використовуватись для різного роду вбудованих приміщень. Це досить суттєво при будівництві будівель підвищеної поверховості, коли все більш актуальним стає питання про раціональне використання фундаментно-підвальної частини будівлі. Будівлі повинні стояти на фундаменті твердо та надійно. Але у будь-якому випадку осадка споруди неминуча. Будівельні правила враховують це, нормуючи її допустиму величину. Небезпечна не стільки сама осадка, скільки її нерівномірність. Тому перед будівельниками-проектувальниками завжди стоїть задача: передбачити такі конструкції, для яких нерівномірне осідання основи не призвело б до недопустимих деформацій будівлі чи споруди.

Виходячи з розрахунків на міцність, можна іноді отримати площу фундаментної плити настільки велику, що вона перевищить площу плями будівлі та заважатиме будівництву сусідніх будівель. Може також статися, що при визначенні розмірів основи потрібно мати на увазі не той ґрунт, на якому буде стояти споруда, а шар, який залягає набагато глибше. І якщо цей шар виявиться сильно ущільнювальним і достатньо потужним, то осадка буде настільки значною, що запобігти їй не вдасться.

Суттєвий вплив на осідання земної поверхні викликає дренавання ґрунтів. Розглянемо основні причини деформування будівель і споруд. Деформації будівель і споруд (нахил, прогин, вигин, перекіс, тріщиноутворення), розташованих у складних ґрунтових умовах, є наслідком нерівномірних осадок (рис. 9).

Природа їх походження різна, проявляються вони по-різному, однак у всіх випадках дія їх на будівлі та споруди ідентична.

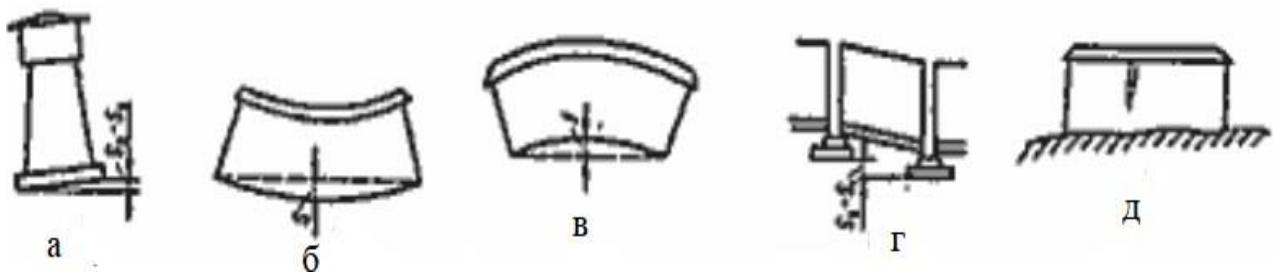


Рис. 9 Види деформацій споруд:

а – нахил; б – прогин; в – вигин; г – тріщиноутворення

Нерівномірні деформації основи є наслідком силових діянь на фундамент внаслідок неоднорідної структури ґрунту, різної потужності шарів ґрунту чи деформаційних діянь: складного деформування земної поверхні внаслідок замочування льосових просадкових, засолених і набухаючих ґрунтів, підробки вугільних, калійних і рудних родовищ, карстових і тектонічних явищ (рис. 10).

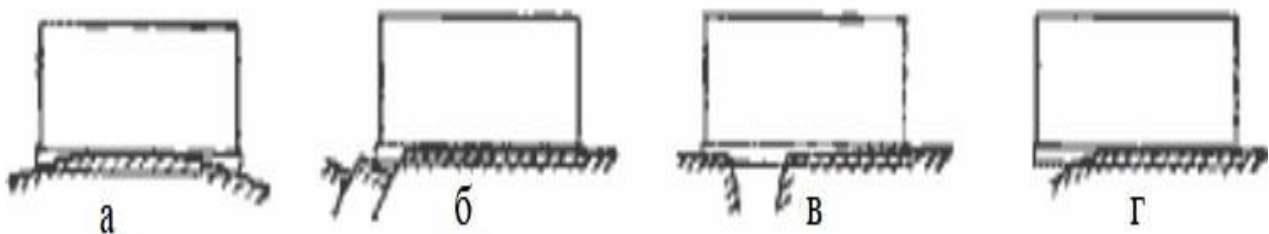


Рис.10 Деформування основи:

а – викривлення; б – уступ; в – провал; г – западина

Приклади деформацій будівель і споруд, викликаних недооцінкою складних ґрунтових умов будівництва, наведені в багаточисельних публікаціях вітчизняних і зарубіжних авторів. При аналізі цих прикладів виявляється відповідність форм деформацій будівель і споруд, збудованих у різноманітних умовах.

Незалежно від причин, які призводять до деформації ґрунтів, усі види

діянь з боку основ на будівлю зводяться до нерівномірних вертикальних і горизонтальних переміщень основ. Наслідком нерівномірних вертикальних переміщень основи є крени споруд, різні форми деформацій згину, здвигу та крутіння. Деформації ці проявляються як у чистому вигляді, так і в різних сполученнях: крутіння із згином, крен із згином, стискання із крутінням і т.п.

Нерівномірні горизонтальні переміщення основи діють на підземні частини споруд у вигляді зсуваючи сил по бокових поверхнях і по підшві фундаменту, а також у результаті нормального тиску зсуваючого ґрунту на лобові поверхні фундаментів. Території зі складними ґрунтовими умовами у тій або іншій мірі є у всіх регіонах України. Карстонебезпечними є всі ділянки земної поверхні, де на глибині залягають карстуючі породи, але процеси карстоутворення відбуваються з різною швидкістю. Так як карстові процеси протікають стохастично і ступінь їх активності залежить у значній мірі від техногенних факторів, при освоєнні закарстованих територій слід приділяти увагу карстовій небезпеці, що загрожує не тільки об'єктам, які будуються, але й уже існуючим.

Найбільш небезпечним для споруди є порушення стійкості основи, що супроводжується випиранням з-під фундаменту масиву ґрунту, значними осадками та кренами споруди, що призводить, як правило, до її повного руйнування. З цієї причини відомо багато випадків аварій. У м. Стаханов (регіон Донбасу) відбулося обрушення секції 9-поверхового житлового будинку внаслідок деформації земної поверхні на підроблюваній території з круто падаючими вугільними пластами.

Таким чином, надійність основ будівель і споруд є запорукою їх надійності та довговічності за умови дотримання правил експлуатації та своєчасного проведення обслуговування та ремонтів.

2.2 Моніторинг деформацій будівель і споруд

Одним із напрямів сучасної прикладної геодезії є деформаційний моніторинг. У це поняття входить геодезичний моніторинг за осіданнями та

деформаціями фундаментів, а також інших важливих конструктивних елементів будівель і споруд. Крім них, об'єктами моніторингу деформаційного може бути різноманітне промислове обладнання (насоси, компресори, резервуари, вишки, щогли, труби та ін).

Деформаційний геодезичний моніторинг полягає в регулярному відстеженні деформацій споруд та інших важливих конструкцій геодезичними методами, проводиться з метою своєчасного виявлення і попередження розвитку аварійних ситуацій. Даний вид інженерного моніторингу є важливою ланкою в будівництві, а також в системі державного і відомчого технічного нагляду.

Геодезичний моніторинг за осіданнями та деформаціями будівель і споруд необхідний не тільки для контролю об'єктів, уже введених в експлуатацію. Незавершені будівельні проекти також часто потребують пильної уваги і ретельного контролю. В ході геодезичного моніторингу будівлі, що будується проводять спостереження за деформаціями, так і за тими будівлями, які розташовані в радіусі можливого впливу будівельного майданчика. Особливо важлива організація подібних спостережень при будівництві висотних будівель в міських умовах, коли осідання і деформації нової будівлі можуть викликати «ланцюгову реакцію» подібних проблем серед сусідніх.

Геодезичний моніторинг за осіданнями та деформаціями будівель і споруд необхідний не тільки для контролю об'єктів, уже введених в експлуатацію. Незавершені будівельні проекти також часто потребують пильної уваги і ретельного контролю. В ході геодезичного моніторингу будівлі, що будується проводять спостереження за деформаціями, так і за тими будівлями, які розташовані в радіусі можливого впливу будівельного майданчика. Особливо важлива організація подібних спостережень при будівництві висотних будівель в міських умовах, коли осідання і деформації нової будівлі можуть викликати «ланцюгову реакцію» подібних проблем серед сусідніх.

3. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

3.1 Вимоги щодо організації та здійснення геодезичного моніторингу

Моніторинг технічного стану будівель і споруд є актуальною темою сучасного стану будівництва.

Метою моніторингу є спостереження за технічним станом об'єкта будівництва, техногенним впливом нового будівництва на прилеглі будівлі і споруди, інженерно-геологічною та екологічною ситуацією на прилеглій території, а також визначення часу і величини можливих відхилень від нормального функціонування досліджуваних об'єктів.

За функціональним призначенням моніторинг будівель і споруд в умовах ущільненої забудови поділяється на такі напрями:

- об'єктний, що включає спостереження за станом основ, фундаментів і несучих конструкцій об'єкта нового будівництва або реконструкції, прилеглих будівель і підземних споруд, а також об'єктів інфраструктури;
- інженерно-геологічний, гідрогеологічний, геофізичний, що включає спостереження за динамікою ґрунтів, рівнів і складу ґрунтових вод та розвитком деструктивних процесів: ерозії, зсувів, карстово-суфозійних явищ, осідання земної поверхні тощо, а також за станом температурного, електричного та інших фізичних полів;
- еколого-біологічний, що включає системи спостережень за зміною навколишнього природного середовища, радіаційної обстановки тощо.

Об'єктний моніторинг поділяється на візуальний (обстеження технічного стану об'єкта) та геодезичний (інструментальний).

Перед початком виконання моніторингу обов'язково створюється програма моніторингу. Програма з геодезичного моніторингу має встановлювати основні види, обсяги виконання геодезичних вимірів з обов'язковим встановленням періодичності виконання [9].

3.2. Види геодезичних моніторингових робіт та порядок їх проведення

Основними видами робіт (етапів) геодезичного моніторингу однієї будівлі нескладної форми є:

- рекогностування об'єкта;
- аналіз результатів спостережень попередніх років;
- складання програми спостережень;
- встановлення деформаційних марок та плівкових відбивачів;
- технічний огляд знаків нівелювання (деформаційних марок) та плівкових відбивачів;
- спостереження за осіданнями основи — нівелюванням II класу;
- обробка результатів спостережень за осіданням основи будівлі;
- спостереження за відхиленнями від вертикальності (кренами) кутів будівлі шляхом побудови лінійно-кутової мережі та лінійно-кутових засічок;
- обробка результатів спостережень за відхиленнями від вертикальності (кренами) кутів будівлі;
- аналіз отриманих даних;
- складання проміжних та заключного звітів з науково-дослідної роботи.

Обсяги робіт з геодезичного моніторингу однієї будівлі нескладної форми включають [9]:

- 1) рекогностування об'єкта.

Рекогностування об'єкта робіт виконується перед складанням кошторисної документації для визначення даних, що необхідні для складання кошторису та договірної документації. За результатами складається попередня схема нівелірного та полігонометричного ходів, визначаються місця встановлення деформаційних марок та вихідних пунктів (реперів). Виконується один раз на весь період спостережень;

2) аналіз результатів спостережень попередніх років.

Аналіз результатів спостережень попередніх років виконується з метою визначення величин і характеру розвитку деформацій будинку в часі, що діяли на будівлю в попередніх роках. Аналізу підлягають: технічні звіти, плани, профілі, проєкти на реконструкцію тощо. Виконується один раз на весь період спостережень;

3) складання програми спостережень.

Складання програми спостережень виконується для визначення та обґрунтування видів та обсягів спостережень. Визначається методика виконання спостережень, вибираються та розробляються конструкції деформаційних марок та інших знаків. Розраховується необхідна кількість робітників та визначається їх кваліфікація. Розраховується необхідна кількість транспорту, обладнання, приладів та іншого устаткування. Складається попередній графік виконання спостережень. Виконується підготовка необхідної документації для укладання договору з замовником. Програма погоджується з замовником. Виконується один раз на весь період спостережень;

4) встановлення деформаційних марок та плівкових відбивачах.

Деформаційні марки встановлюють за допомогою висвердлення перфатором отвору та цементування в ньому марки. Місце встановлення марок визначається на кутах будівлі, біля осадового шва по обидві сторони, в місцях примикання поперечних та поздовжніх стін. Марки встановлюються так, щоб виступна частина дорівнювала 5 см – це достатньо для встановлення нівелірної рейки на верхню точку на висоті 30–50 см від рівня земної поверхні та приблизно на однаковому рівні, відстань між марками 2-4 м;

Плівкові відбивачі мають розмір 15 мм × 15 мм або 25 мм × 25 мм та клейову зворотну частину. Встановлюються плівкові відбивачі так, щоб сторона відбивача була суміщена з кутом будівлі. Виконується один раз на початку спостережень та у разі знищення або руйнації деформаційних марок та плівкових відбивачів;

5) технічний огляд знаків нівелювання (деформаційних марок) та плівкових відбивачів.

Технічний огляд знаків нівелювання (деформаційних марок) та плівкових відбивачів виконується для виявлення пошкоджень знаків із метою усунення пошкоджень.

При виявленні пошкоджень деформаційних марок виконується ремонт шляхом повторного бетонування марки розчином. У разі неможливості ремонту на місце пошкодженої марки встановлюється нова шляхом висвердлювання отвору в основі будівлі та бетонування в отворі нової марки подібної конструкції. Плівкові відбивачі оглядаються на наявність та можливість відбиваючої поверхні. У разі втрати плівкового відбивача або зафарбовування фарбою на його місце встановлюється новий плівковий відбивач. Виконується перед кожним циклом спостережень – два рази на місяць;

6) спостереження за осіданнями основи – нівелюванням II класу.

Складання схеми нівелірного ходу. Повірка приладу, компарування рейки. Виконання нівелювання у відповідності з вимогами нормативних документів. Закріплення місць встановлення приладу тимчасовими знаками (дюбелями). Нівелювання виконується від вихідних пунктів мережі. Схема нівелірного ходу буде однакова у всіх циклах спостережень для зменшення кількості джерел похибок. Ведення польового журналу. Виконується два рази на місяць;

7) обробка результатів спостережень за осіданням основи будівлі.

Перевірка та обробка польових результатів спостережень, складання відомості позначок деформаційних марок із визначенням осідання, складання схем, графіків. Виконання розрахунків відповідно до нормативних документів. Виконується два рази на місяць;

8) спостереження за відхиленнями від вертикальності (кренами) кутів будівлі шляхом побудови лінійно-кутової мережі та лінійно-кутових засічок.

Вибір найвигіднішої схеми лінійно-кутової мережі

(полігонометричного ходу). Повірка приладу (тахеометра). Вимірювання кутів та ліній у полігонометричному ході відповідно до вимог нормативних документів та інструкції на тахеометр. Закріплення місць встановлення приладу тимчасовими знаками (дюбелями). Запис результатів вимірів у блок накопичення тахеометра. Виконується 2 рази на квартал;

9) обробка результатів спостережень за відхиленнями від вертикальності (кренами) кутів будівлі.

Обробка результатів спостережень виконується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. За результатами обробки визначаються координати та позначки плівкових відбивачів. Результати вносяться в відомість координат із визначеними деформаціями. Складаються схеми та графіки, виконуються необхідні розрахунки. Виконується 2 рази на квартал;

10) аналіз отриманих даних.

Аналіз отриманих значень осідання та відхилень від вертикалі та характеру розвитку деформацій будівлі у часі. Порівняння отриманих даних з гранично-допустимими значеннями у відповідності з нормативними документами. Виявлення ступеня небезпеки деформацій для нормальної експлуатації будівлі. Виконується один раз на квартал під час формування звітів;

11) складання проміжних та заключного звітів з науково-дослідної роботи.

Складання текстової частини звіту з науково-дослідної роботи відповідно до вимог нормативних документів. Опис методики виконання інженерно- геодезичних спостережень. Складання табличних та графічних додатків. Редагування звіту. Оформлення та випуск звіту. Виконується один раз на квартал.

4. ПЛАНОВО-ВИСОТНА ОСНОВА ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

4.1 Визначення необхідності створення планово-висотного

обґрунтування

Планово-висотні геодезичні мережі служать основою для забезпечення всіх видів моніторингових робіт при будівництві та експлуатації будівель і споруд.

Для забезпечення практично всіх видів моніторингових геодезичних робіт створюються мережі, пункти яких зберігають планові й висотні координати. Ці мережі служать геодезичною основою для виконання комплексу проєктно-вишукувальних, будівельних та експлуатаційних робіт на територіях міст, великих промислових, енергетичних, гірничо-видобувних об'єктів.

Планово-висотні геодезичні мережі являють собою систему геометричних фігур, вершини яких закріплені на місцевості спеціальними знаками. Їх створюють відповідно до розробленого проєкту виконання геодезичних робіт (ПВГР) чи програми моніторингу [3].

До такої геодезичної мережі відносяться:

- державна геодезична мережа;
- розрядні геодезичні мережі згущення (опорні мережі);
- знімальні геодезичні мережі.

Державна геодезична мережа включає планову і нівелірну геодезичні мережі. Державна планова геодезична мережа: українська постійно діюча мережа спостережень глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС); геодезична мережа 1 класу; геодезична мережа 2 класу; геодезична мережа 3 класу.

Державна нівелірна геодезична мережа – це нівелірна мережа I класу; нівелірна мережа II класу; нівелірна мережа III класу; нівелірна мережа IV класу.

Опорні геодезичні мережі (розрядні геодезичні мережі згущення): опорні постійно діючі мережі спостережень; геодезичні мережі спеціального призначення; мережі триангуляції, трилатерації IV класу, I і II розрядів; полігонометрія IV класу, I і II розрядів; нівелірна мережа II, III та IV класів.

Знімальна планова геодезична мережа: – теодолітні ходи з використанням електронних тахеометрів; – триангуляційні розрядні мережі; – прямі, зворотні та комбіновані засічки або поєднання їх.

Знімальна нівелірна геодезична мережа створюється такими методами: прокладання ходів геометричного та тригонометричного нівелювання; супутникове нівелювання за допомогою GPS- метода. Знімальна геодезична мережа розвивається від пунктів державної геодезичної мережі та опорних геодезичних мереж.

4.2 Створення планово-висотної основи для інструментальних вимірювань при геодезичному моніторингу

Порядок створення планових опорних геодезичних мереж методами полігонометрії, триангуляції, трилатерації, методами геометричного нівелювання, вимоги до їх точності визначаються ДБН А.2.1-1 [10].

Зйомочна (планово-висотна) геодезична мережа об'єктів будівництва створюється із застосуванням супутникових ГНСС технологій, прокладанням теодолітних ходів з використанням електронних тахеометрів, методами триангуляції, прямими, оберненими та комбінованими зарубками або поєднанням цих методів, прокладанням ходів геометричного та тригонометричного нівелювання, а також супутниковим нівелюванням.

Побудова висотної геодезичної мережі – двоступенева:

I ступінь – висотна геодезична мережа для оцінювання стабільності вихідної нівелірної основи та вибору найбільш стабільного її репера, визначення висот реперів вихідної нівелірної основи.

У період експлуатації, коли осідання будівель не перевищують 5 мм за рік, у першу ступінь можна включати додатково по два реperi, розміщені в сприятливих для спостережень умовах, на кожному з об'єктів, за якими ведуть спостереження, якщо це не зменшить вагу ходу.

II ступінь — окремі висотні геодезичні мережі для кожного з об'єктів, за якими ведуть спостереження, які включають крім всіх

деформаційних марок, розміщених на даному об'єкті, ще мінімум два вихідних реperi 1 ступеню.

Вимірювання осідань при спостереженнях за деформаціями виконують методом високоточного геометричного нівелювання коротким променем. Відстані від нівеліра до рейок не повинні перевищувати 25 м. Схема ходів нівелювання має бути однаковою в усіх серіях спостережень. Місця установки нівеліра і рейок (зв'язуючі точки) в усіх серіях спостережень слід маркувати, а в експлуатаційний період закріпити постійними знаками.

Методика вимірювання осідань для кожного об'єкта розробляється індивідуально, за умови забезпечення середньої квадратичної похибки вимірювання осідання в найбільш послабленому місці геодезичної мережі рівної 1 мм відносно стабільного репера вихідної нівелірної основи.

4.3 Вимоги до вихідної планово-висотної основи для геодезичних робіт

Перед початком геодезичного моніторингу обов'язково встановлюються вихідні реperi (пункти). Можуть використовуватись такі реperi:

- глибинний – фундаментальний геодезичний знак, що закладається в практично нестискальні шари ґрунтів (при виконанні моніторингу складних, великих об'єктів, будівництво яких розраховано на два і більше років);
- ґрунтовий – геодезичний знак, що закладається нижче глибини промерзання ґрунту (при виконанні моніторингу нескладних об'єктів, будівництво яких розраховано на менше ніж на один рік);
- стінний – геодезичний знак, закладений в стіні будівлі або споруди, осідання фундаменту яких можна вважати практично закінченим (при виконанні моніторингу будівель, що знаходяться в експлуатації)

Основні вимоги до місця розташування вихідних пунктів (реперів):

- тривале збереження нерухомості;
- надійний контроль за стабільністю;
- безперешкодний підхід до пункту (репера) протягом всього

періоду моніторингу;

- поза зоною розповсюдження тиску від будівництва;
- в стороні від проїздів, підземних комунікацій, територій, де можливе пошкодження або зміна положення репера;
- поза зоною впливу осадових явищ.

Види та типи реперів мають відповідати вимогам, що встановлені в нормативних документах. При використанні ґрунтових реперів їх кількість має бути не менше двох, при використанні стінних реперів їх кількість має бути не менше трьох.

Перед кожним циклом спостережень обов'язково контролюється стійкість вихідних реперів (пунктів). Якщо визначаються горизонтальні деформації разом з вертикальними, допускається використання реперів як вихідних планових.

При виконанні геодезичного моніторингу під час будівництва об'єкта встановлені пункти (репери) передаються на зберігання за актами будівельній або експлуатуючій організаціям.

4.4 Прилади для виконання робіт

Для виконання топографо- геодезичних робіт для геодезичного моніторингу в умовах міста потрібно мати GPS-приймач (з підбраною трансформацією на об'єкт робіт), електронний тахеометр, нівелір, рулетку, віху з відбивачем, штатив, та все що необхідно для ведення абрису (ручка, планшетка, чисті аркуші паперу). Всі прилади повинні бути відюстовані для нормальної роботи.

Вибір типу приймача залежить від вимог конкретного проекту. Загальною вимогою до приймачів, що застосовуються в топографо- геодезичному виробництві є можливість виконання і кодових, і фазових вимірювань.

При виконанні високоточних робіт необхідно використовувати двочастотні приймачі, що дозволяють за рахунок вимірювань по двох

частотах підвищити надійність і достовірність визначення векторів. Число незалежних приймальних каналів приймача має бути не менше чотирьох.

Для виконання роботи мною були вибрані такі прилади: GPS-приймач Trimble 5800 з контроллером, електронний тахеометр Leica TCR1201+R400.

Технічні характеристики GPS- приймача Trimble 5800:

- Вимірювання: 24 канали для відстеження L1 C / A коду, повного циклу фаз несучих L1 / L2, WAAS / EGNOS;
- Точність при диференціальній GPS зйомці: СКП в плані 0,25 м + 1 мм / км СКП по висоті 0,50 м + 1 мм / км;
- Точність при статичній зйомці; СКП в плані 5 мм + 0,5 мм / км, СКП по висоті 5 мм + 1 мм / км;
- Точність при кінематичній зйомці: СКП в плані 10 мм + 1 мм / км, СКП по висоті 20 мм + 1 мм / км;
- Споживання енергії: 2,5 Вт;
- Вага батареї: 0,1 кг;
- Зарядний пристрій: внутрішній із зовнішнім адаптером змінного струму;
- Робоча температура: від - 40 ° С до + 65 ° С;
- Корпус міцний і легкий, ізольований, з магнієвого сплаву;
- Водонепроникність: IP67, занурення на глибину до 1 метра;
- Ударостійкість: IP67, падіння з 2 метрової віхи на жорстку основу;
- Вага: 1,21 кг;
- Розміри: 19 см x 10 см;

Технічні характеристики електронного тахеометру Leica TCR1201:

- Кутова точність: 1";
- Метод визначення відліку: абсолютний, безперервний, діаметральний;
- Розрядність дисплея: 1";
- Дальність без відбивача: 1000 м;
- Точність, без відбивача: $\pm (2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm})$
- Дальність на відбивач: 7500 м;

- Точність, на відбивач: $\pm (1 \text{ мм} + 1,5 \text{ ppm})$;
- Час, на відбивач: 2,4 / 0,8 / $< 0,15$ сек.;
- Час, без відбивача: 3- 6, мах 12 сек.;
- Дальність на плівку: 250 м;
- Компенсатор чотирьохосьовий;
- Діапазон роботи $\pm 4''$;
- Точність фіксації 1,0 ";
- Зорова труба: збільшення 30х;
- Кут поля зору $1^\circ 30'$;
- Підсвічування сітки ниток;
- Мінімальна фокусна відстань 1, 7м;
- Батарея 7.4 В Li-Ion акумулятор 3.8 А/ч;
- Час зарядки: 4год;
- Час роботи: 5-8 годин;
- Запис даних: Комунікації Порти RS232, USB, Bluetooth, CompactFlash (256MB);
- Формат даних GSI / DXF / LandXML / задані користувачем ASCII-формати;
- Внутрішня пам'ять: 256MB (optional) 1750 / MB;
- Операційна система: Windows CE 5.0 Core;
- Захист від пилу і вологи: IP54;
- Робоча температура: -20°C до $+50^\circ \text{C}$;
- Габарити приладу: 345x226x203;
- Вага з акумулятором: 5кг ;
- Країна-виробник: Швейцарія;
- Прикладні програми; Установка і Зйомка, Винос в натуру;
- Тип дисплея: чорно- білий сенсорний 1/4 VGA (320 * 240 pixels), LSD з підсвічуванням;
- Тип клавіатури: буквено- цифрова;
- Клавіатура: 62 клавіші (12 функціональних, 40 алфавітно-цифрових) з

підсвіткою;

- Тип центрира: лазерний;
- Точність центрування: 1,5 мм на 1, 5 м;

Отже, для виконання роботи були використані геодезичні прилади зображені на рис.2 та рис. 3.



Рис. 11 GPS-приймач 5800 з контроллером



Рис. 12 Електронний тахеометр Leica TCP1203+R400

4.5. Топографо-геодезична вивченість району робіт. Розбудова трансформаційного поля.

Об'єктом виконання геодезичного моніторингу є будівля бізнес-центру, який знаходиться на проспекті Шевченко, 4д.

Метою геодезичних робіт окрім геодезичного моніторингу є топографічне знімання земельної ділянки М 1:500, адже для забезпечення проектних робіт по об'єкту необхідно мати достовірний топографічний план, відображаючий всю ділянку, включаючи підземні комунікації.

Топографо-геодезична забезпеченість району робіт відіграє дуже велику роль при виконанні геодезичних вимірювань, адже для виконання топографо-геодезичних робіт повинна бути розвинена геодезична основа, в нашому випадку це пункти полігонометрії 1-2 розряду Приморського району Одеської області міста Одеса.

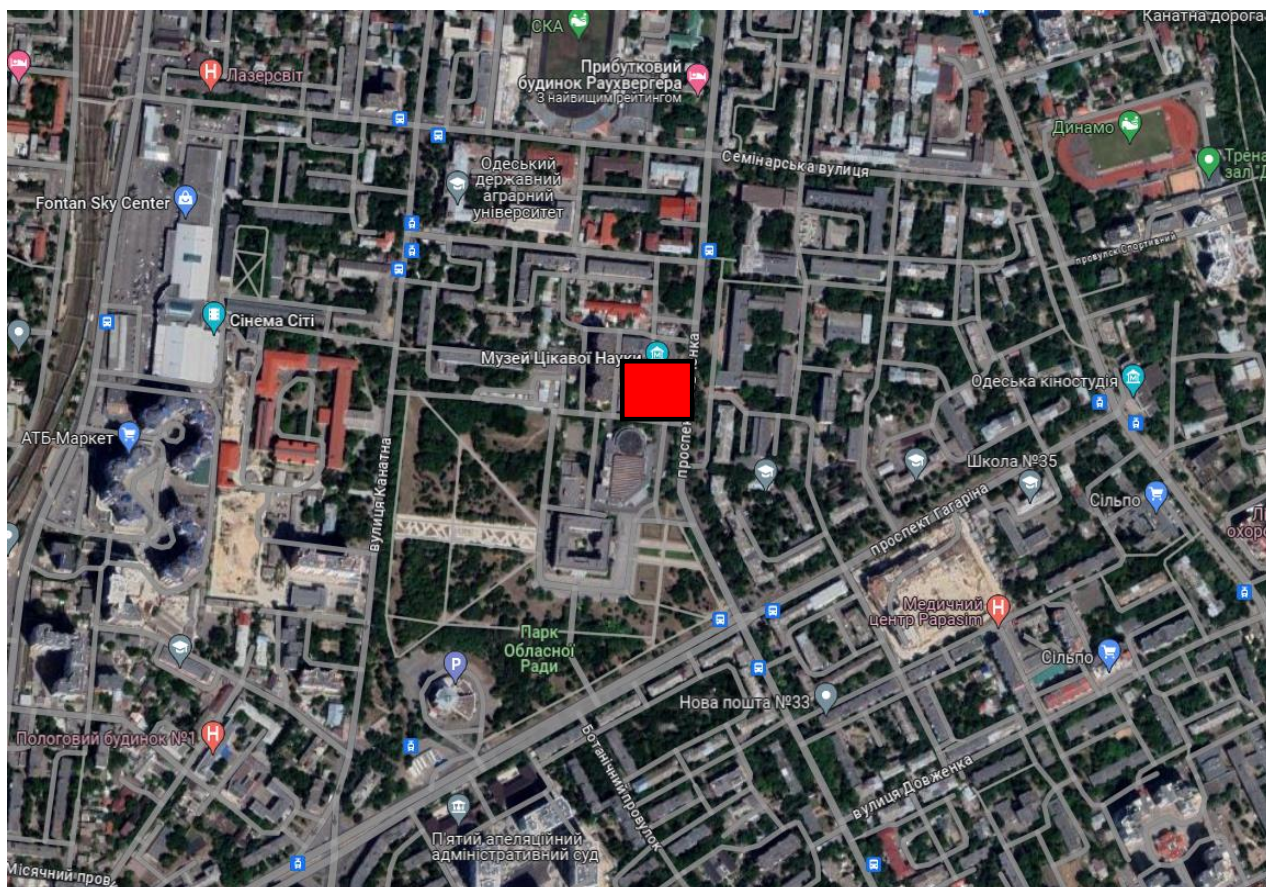


Рис. 13 Схема розташування об'єкту робіт

Мною було проведено дослідження забезпеченості району робіт мережею згущення, після чого я можу сказати, що Приморський район був забезпечений пунктами полігонометрії, тому це давало змогу виконувати різні види геодезичних робіт, беручи ці пункти за основу, а саме:

- використовувати пункти полігонометрії як базові точки стояння, з них виходити та на них замикатися (якщо тахеометричний хід замкнутий) або виходити з одних пунктів та замикатися на інші (якщо тахеометричний хід розімкнений);
- можна за допомогою GPS-приймача зробити трансформаційний полігон навколо об'єкту робіт, після чого визначати координати своїх вихідних точок GPS-приймачем там, де буде зручніше для продуктивного виконання поставлених задач.

При огляді та вивченні району робіт, було виявлено, що значна кількість пунктів міської полігонометрії знищена, а саме: із 127 досліджених

пунктів виявилось, що лише 51 пункт дійсно можна використовувати для топографо-геодезичних робіт, - решта 76 є знищеними або збитими, тобто не дійсними. Найближчі пункти до ділянки робіт розташовані на відстані 700 м. Тому було прийнято проектне рішення створити трансформаційне поле на район робіт в межах вулиць Італійський бульвар, Французький бульвар, Фонтанська дорога, вул. Посмітного. На основі рекогностування було прийнято проектне рішення виконати калібровку від пунктів полігонометрії 8525, 227, 4561, 4416. Кроки та координати вказаних пунктів отримані в геодезичній службі м. Одеса.

Геодезична референцна система (ГРС) — сукупність параметрів, що використовуються для перетворення референц-еліпсоїда у локальні географічні координати.

Розташування будь-якого географічного об'єкту на планеті може бути визначене за допомогою географічних координат. Однак вони мають однозначність лише коли повністю визначена ГРС, до якої ці координати відносять. ГРС складається з двох основних компонентів:

- поверхня відносності (datum);
- система координат (coordinate system).

Існує велика різноманітність ГРС і у кожній з них географічні координати одного об'єкта будуть відрізнятись. Для точного визначення координат потрібно знати до якої саме ГРС вони відносяться і, за необхідності, мати також параметри зв'язку між різними ГРС.

Поверхня відносності включає в себе параметри референц-еліпсоїда, його положення щодо центру маси Землі та його орієнтацію у тілі планети. За звичай для кожної країни існує свій референц-еліпсоїд та окрема картографічна проекція, яку обирають заради зменшення спотворень території.

Визначення вертикальної поверхні відносності залежить від початку відліку висот, для встановлення якого використовують збіг середнього рівня моря із поверхнею геоїда. В основному використовуються 3 типи висот:

- ортометричний;
- нормальний;
- геодезичний.

Іноді горизонтальні та вертикальні компоненти визначення розташування географічного об'єкта відносяться до різних ГРС — так утворюється комбінована ГРС. Вона включає в себе компоненти ГРС та вертикальної референцної системи.

ГРС координат та регіональні гравітаційні моделі широко застосовуються на практиці ведення топографо-геодезичних робіт. Ще у 1950-их роках для створюваних систем просторової інформації, спільних навігаційних систем та реалізації глобальних проектів необхідним кроком стало об'єднання класичних ГРС. Першою об'єднаною системою координат у Європі стала квазігеоцентрична система ED50 (European Datum 50). 1987 року було завершено створення нової єдиної геодезичної мережі, параметри якої було визначено на основі класичних наземних та супутникових спостережень. Нову ED87 систему так і не вдалося реалізувати, оскільки того ж року була узгоджена вже зовсім інша концепція об'єднаної системи координат, яка отримала назву EUREF. Було прийнято, що вона має опиратися на вибрані супутникові станції міжнародної земної референцної системи ITRF. Загальноєвропейську систему було названо ETRS, а практичну реалізацію системи, яка отримала пізніше назву ETRF, розпочато 1989 року, через що вона була перейменована у ETRS89.

У наступні роки, особливо після розпаду СРСР та переорієнтації східноєвропейських країн на структури Євросоюзу, на території Європи були організовані чисельні кампанії EUREF зі згущення мережі. Основною їх метою було адаптування національних ГРС у відповідність з вимогами загальноєвропейської ETRS89, що стало фактичною реалізацією цієї системи у національних масштабах. У той же час загальноземна ГРС, яка була реалізована сучасними супутниковими технологіями, не може замінити існуючі ГРС, наприклад, відомої у нас системи координат 1942 року (СК42),

оскільки вона є геоцентричною, а, отже, координати цієї системи будуть відрізнятися від координат ГРС до сотні і більше метрів.

1997 року вперше була запропонована концепція Європейської вертикальної системи, а 2000 року затверджено основні її принципи. На сьогоднішній час вона представляє собою добре узгоджену геометрично-фізичну референцну систему висот, зв'язаних з гравітаційним полем Землі. Як наслідок була створена Європейська вертикальна референцна система EVRF2000. Європейська модель гравіметричного квазігеоїда EGG97, яка була розроблена 1997 року, знайшла пряме практичне використання при перетворенні геодезичних висот, отриманих із GPS-спостережень, до висот, пов'язаних з гравітаційним полем Землі для застосування в задачах геодезії, геофізики тощо.

ГРС, що створювалися класичними геодезичними технологіями, не можуть забезпечити на належному рівні точності переходу до загальноземних референцних систем, чи навпаки, через різні технології їх отримання.

Традиційна задача визначення параметрів трансформування між різними ГРС за заданими в кожній системі положеннями однойменних фізичних точок стосовно території України не може бути безпосередньо розв'язана з належною для геодезії точністю. Проблемами для такого розв'язання є:

- недостатня кількість спільних пунктів, координати яких відомі у двох ГРС;
- точне визначення висотної складової вектора положення для існуючої системи координат.

Проте основна причина безпосередньо пов'язана із невідповідністю систем координат, що використовуються у супутникових визначеннях і тих, що традиційно склалися за попередні десятиліття, та різними параметрами двох технологій визначення розташування пунктів геодезичної мережі.

За допомогою трансформаційного поля GPS ми можемо виконувати геодезичні роботи, трансформуючи, наприклад, систему координат СК-63, отриману від пунктів ДГМ України, в місцеву систему координат.

На основі рекогностування було прийнято проектне рішення виконати калібровку від пунктів полігонометрії 8525, 227, 4561, 4416 за допомогою GPS приймача Trimble 5800 в RTK режимі з отриманням корегуючих поправок від постійно діючої базової станції. За результатами калібровки обчислені 7 параметрів перетворень з системи координат WGS-84 до міської системи координат м. Одеса. Похибки трансформаційного поля не перевищують 3 см в плані і 4 см по висоті. Контрольні виміри по трансформаційному полю проведені на незалежному пункті полігонометрії 8457 та перебувають в межах допуску. Біля об'єкту робіт GPS приймачем Trimble 5800 з застосуванням параметрів перетворень визначено опорний базис T1GPS - T2GPS.

Отримавши за допомогою GPS координати 4 пунктів полігонометрії, які покривають район робіт, ми можемо в приладі бачити, як врівноважується опорна геодезична мережа та її точність.

Параметри калібрування в плані

Перенос в східному напрямку:	- 0.611 m
Перенос в північному напрямку:	0.252 m
Розворот:	0°00'08"
Початок відліку по Y:	1135.568 m
Початок відліку по X:	-3114.231 m
Масштаб:	0.9999799526

Параметри калібрування по висоті

Здвиг по висоті на початку відліку:	2.948 m
Нахил на схід:	3.588 ppm
Нахил на північ:	-24.967 ppm
Початок відліку по Y:	497.837 m
Початок відліку по X:	-1230.662 m

Таблиця. 2. Порівняння вимірних і фактичних значень на пунктах полігонометрії

№ п/п	Назва пункту	Значення каталогу, м			Виміряні значення, м		
		X	Y	H	X	Y	H
1	227	-1923, 079	1535,988	49,275	-1923.096	1535,971	49,312
2	8525	-1230, 679	497,826	48,767	-1230.662	497,837	48,743
3	4416	-6188, 179	1371,057	40,515	-6188.179	1371,063	40,524
4	4561	-4524, 119	2664,841	38,385	-4524.099	2664,082	38,364
№ п/п	Назва пункту	Відхилення значень, м					
		dX		dY		dH	
1	227	0,017		0,017		-0, 037	
2	8525	0,017		-0,011		0,024	
3	4416	0		-0,006		- 0,009	
4	4561	-0,02		-0, 037		0,021	
№ п/п	Назва пункту	X		Y		H	
1	t1GPS	-3296,703		1592,394		41,284	
2	t2GPS	-3385, 698		1636,294		41,726	
№ п/п	Назва пункту	Значення каталогу, м			Виміряні значення, м		
		X	Y	H	X	Y	H
1	8457	-4256,671	1970,338	36, 924	-4256,652	1970,355	36,951
№ п/п	Назва пункту	Відхилення значень, м					
		dX		dY		dH	
1	8457	-0,019		- 0,017		-0,027	

Від точок T1GPS - T2GPS були визначені координати стінних знаків тривалого зберігання (mr1, mr2, mr3), які будуть забезпечувати процес геодезичного моніторингу. Також від пунктів геодезичної мережі згущення T1GPS - T2GPS проведено топографічне знімання об'єкту.

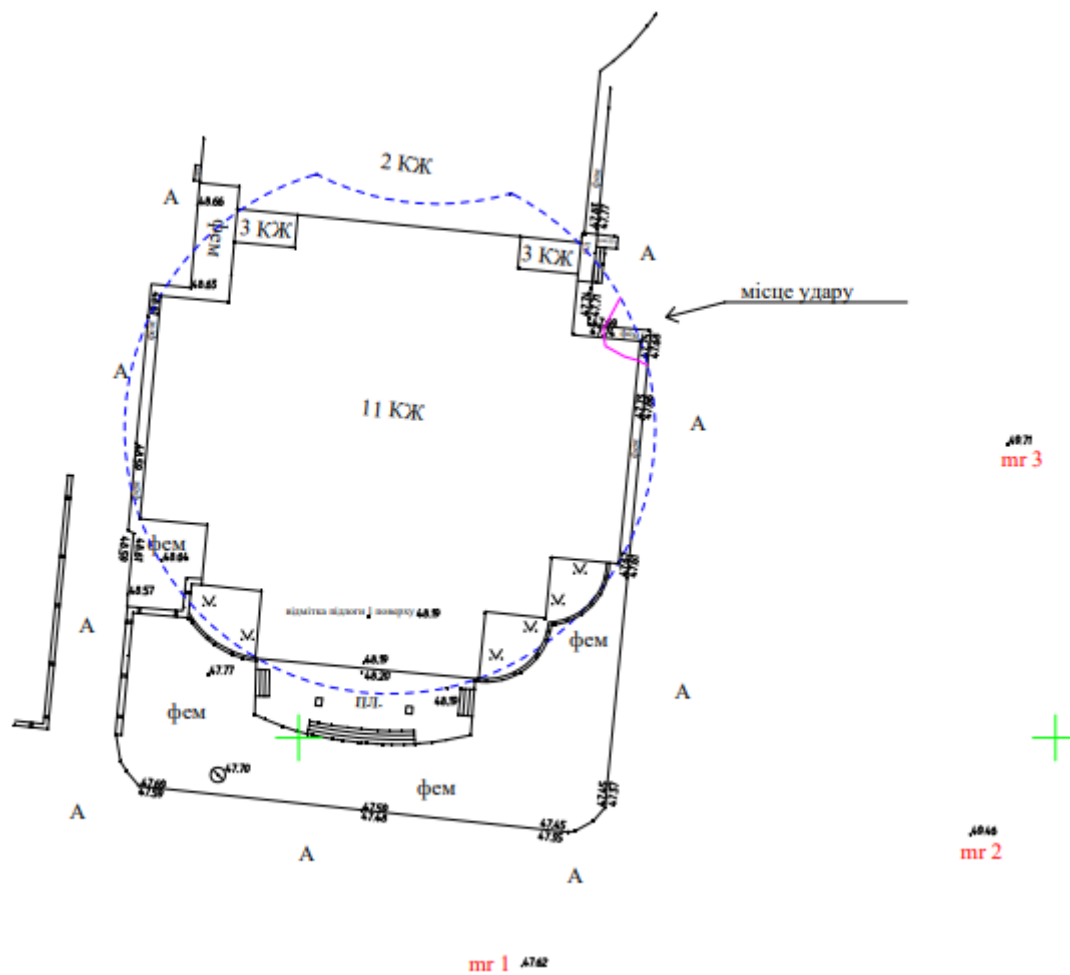


Рис. 14 Схема стінних знаків тривалого зберігання

5. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

5. 1. Геодезичний моніторинг при осіданні будівель і споруд

Більш детально слід розглянути способи спостереження за деформаціями. Найбільш поширеним, простим, універсальним, високоточним і найбільш відомим є спосіб геометричного нівелювання. Спостереження виконують при двох горизонтах приладу. Для мінімізації похибок рекомендують, щоб візирний промінь проходив на віддалі 0,3–0,5 м від перешкоди, в т.ч. над землею. З цієї ж причини попередньо розмічають місця станцій, добиваючись рівності плеч [22]. Стаціонарну гідростатичну систему застосовують там, де неможливо використати геометричне нівелювання: обмеженість простору, небезпечні умови для перебування людини.

Основні фактори помилок гідростатичного нівелювання:

- локальні коливання температури (усувається застосуванням напірного резервуара, за допомогою якого перемішують воду перед зняттям відліків, що зменшує похибку за коливання температури);
- локальні коливання атмосферного тиску (усувають використовуючи спеціальні додаткові шланги).

Цей спосіб забезпечує похибку визначення осідань 0,1 мм. Варіація способу – гідродинамічне нівелювання, в якому рідина безперервно рухається трубками. В автоматизованих гідростатичних чи гідродинамічних системах нівелювання застосовують фотоелектричні та електроконтактні способи реєстрації відліків – рівня рідини в трубках. Тригонометричне нівелювання виконують коротким променем (до 100 м), що значно зменшує вплив всіх джерел похибок, в тому числі і вертикальної рефракції. Цей спосіб ефективний при спостереженні точок на різних висотах, важкодоступних висотних споруд (веж, споруд баштового типу, гребель) та при спостереженні через перешкоди.

Значної продуктивності можна досягти, якщо застосовувати безвідбивний тахеометр, або спеціальні тонкі плівки в якості відбивача. При вимірюванні вертикальних кутів з похибкою 1 секунда на відстанях до 100

метрів можна досягти точності 0,1-0,5 мм визначення перевищень.

Наземне фототеодолітне знімання забезпечує одночасно величезну кількість точок для визначення деформацій. Саме в цьому полягає ефективність даного способу вимірювання деформацій. Поруч із отриманням знімків інженерної споруди необхідно визначити координати кількох добре розпізнаваних точок будівлі геодезичними методами, наприклад безвідбивним електронним тахеометром.

Наземне лазерне сканування – відносно новий, але ефективний метод спостереження за деформаціями. Він як і фототеодолітне знімання забезпечує велику кількість точок для аналізу, в той же час є найбільш автоматизованим способом. Крім того, останні два способи дозволяють оперувати просторовим зміщенням точок.

Після завершення будівництва спостереження за зміщеннями виконують 1–2 рази в рік осінню або весною, коли відбуваються різкі зміни умов. При швидкості зміщень менше 1–2 мм/рік, спостереження припиняють. Віддаль між деформаційними марками 10–20 метрів. Вихідні пункти потрібно розмістити поза зоною зміщень. Способи визначення:

- створні вимірювання;
- лінійно-кутові побудови;
- стереотопографічний;
- наземне лазерне сканування.

Найбільш класичний варіант створних вимірювань – схема повного створу А–Б, відносно якого визначають відхилення марок 1–5 (рис. 11).

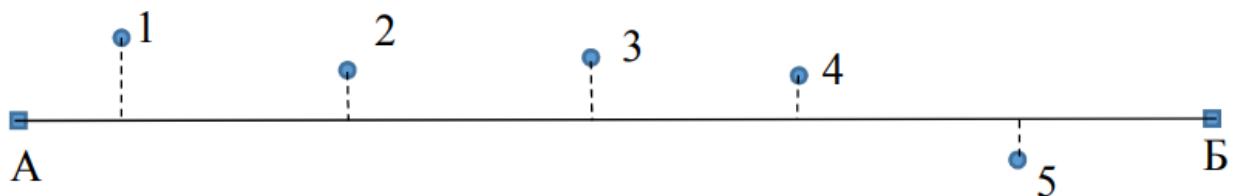


Рис. 15 – Схема визначення горизонтальних зміщень методом створу

Якщо видимості між кінцевими точками створу немає, то застосовують модифікації способу: схема послідовних створів, схема частин створу, схема створів, що перекриваються, схема послідовних створів частинами.

Створний спосіб дуже широко аналізується в літературі, але він має один суттєвий недолік – зміщення визначаються лише в одному напрямку, перпендикулярному до створу. Такі вимірювання ефективні, якщо зміщень вздовж створу немає, або їх розвиток не впливає негативно на функціонування споруди [22].

Три інші способи дозволяють отримувати зміщення не тільки в плані, вздовж обох координатних осей, але й визначати просторове зміщення.

Моніторинг осідання будівлі геодезичними методами слід виконувати по контрольних точках, закріплених деформаційними стінними марками. Марки встановлюють приблизно на одному рівні. Розміщують їх по кутах будівлі, біля осадового шва, в місцях примикання поперечних та поздовжніх стін. Конструкція стінних марок може бути різною від типу 143 до марок зі сталі кутового профілю або звичайних болтів та костилів з головкою, що заточена у вигляді півсфери. Конструкції деформаційних стінних марок, що встановлені на будівлі, наведено на рисунку 16. Розміщення марок на будівлі має задовольняти такі основні вимоги: – безперешкодний доступ до марки; – встановлення на марці рейки у вискове положення.

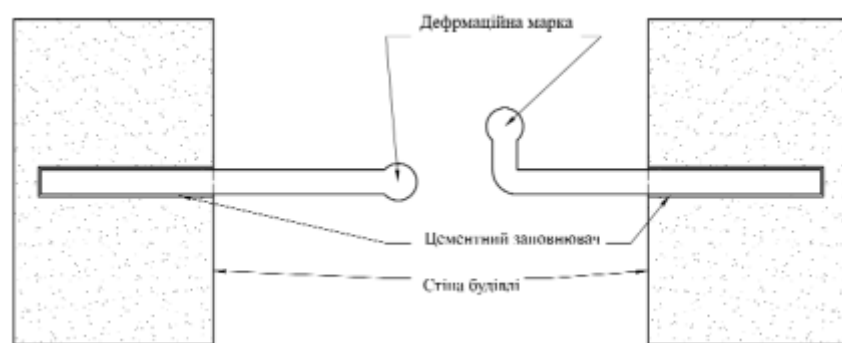


Рис. 16 Конструкції деформаційних стінних марок

Основний метод визначення позначок деформаційних марок — геометричне нівелювання. Нівелювання деформаційних марок виконують за програмою II класу високоточними нівелірами Н-05 і подібними до них за точністю (ГОСТ 10528-76) інварними штриховими рейками згідно з "Інструкцією з нівелювання I, II, III та IV класів". Нівелювання проводять при одному горизонті в прямому і зворотному напрямках, використовуючи

штрихові інварні рейки. У всячому ході допускають не більше 2 станцій. Мережа ходів повинна спиратися не менше ніж на 2 вихідних реperi. Максимально допустимі довжини візирного променя та нерівності плечей при нівелюванні II класу наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Вимоги до нівелювання II класу

Клас нівелювання	Нормальна довжина візирного променя, м	Мінімальна висота візирного променя, м	Нерівність відстаней від нівеліра до рейок, м	
			на станції	накопичення по секції
II	30	0,5	1,0	3,0

На кожній станції належить виконувати контроль спостережень, який полягає у наступному: обчислюють різницю відліків основної та додаткової шкали кожної рейки, яка повинна відрізнятись від сталого числа не більше ніж на три поділки барабана (0,15 мм); обчислюють різницю подвійних перевищень, отриманих по основній і додатковій шкалах, яка не повинна перевищувати 6 поділок барабана (0,3 мм). При більших розбіжностях спостереження на станції повторюють. Гранична нев'язка в замкнутому полігоні або між пунктами I класу підраховується за формулою

$$f_{\text{вклад}} = 0,5\sqrt{n},$$

де n — кількість станцій у полігоні або ході. Обробка результатів вимірювання включає в себе перевірку польових журналів, зрівнювальні обчислення за методом найменших квадратів, обчислення величини осідання, оцінку точності проведених польових робіт, складання відомостей по кожному циклу вимірювань, графічне оформлення матеріалів, складання звіту. Осідання основи будівель під кожною маркою визначається як різниця позначок марки поточного та початкового циклів спостережень:

$$\Delta H_i = H_i - H_1,$$

Де H_i та H_1 — відповідно позначки марки поточного та початкового циклів спостережень. Результати спостережень наводяться у вигляді таблиці, в якій записані позначка кожної марки та величина осідання. На основі даних спостережень визначається: середнє осідання, відносні значення прогину

(вигину) та крену. Середнє осідання визначають за формулою:

$$\Delta H_{\text{ср}} = \frac{[H]}{n},$$

де $[H]$ — сума вертикальних переміщень, n — кількість марок.

Відносний прогин (вигин) f обчислюють за даними вертикальних переміщень трьох суміжних марок, розташованих на осях будинку за формулою:

$$f = \frac{2S_2 - (S_1 + S_3)}{2L},$$

де S_1 та S_3 — значення вертикальних переміщень крайніх марок осі, мм; S_2 — значення вертикальних переміщень середньої марки, мм; L — відстань між крайніми марками, мм. Для марок, які встановлені на кінцях осей будівлі, визначаємо відносний крен K за формулою:

$$K = \frac{S_a - S_b}{L},$$

де S_a , S_b — вертикальні переміщення крайніх марок по осі будинку, мм; L — відстань між цими марками, мм. На основі відомості осідань складається таблиця середньомісячних та середньорічних швидкостей осідання V , які визначають за формулою:

$$V = \frac{S_k - S_n}{t},$$

де S_k — середнє осідання будинку в кінці періоду; S_n — те саме на початку періоду; t — період спостережень. Після обробки польових даних виконується аналіз отриманих результатів.

В будівлі бізнес-центру закладено 8 осадочних марок та станом на вересень 2023р. проведено тільки нульовий цикл спостережень.

5.2 Геодезичний моніторинг при відхиленні від вертикалі будівель і споруд

При спостереженнях за кренами граничні похибки вимірювань не повинні перевищувати [21]:

- $0,00001L$ – для фундаментів під агрегати і машини (L – довжина фундаменту);
- $0,0001H$ – для стін будівель (H – висота будівлі);
- $0,0005H$ – для димових труб, баштових споруд.

Серед способів спостереження за кренами виділимо такі:

- за допомогою виска;
- приладами вертикального проєктування;
- визначення положення осі електронними тахеометрами з кількох опорних точок – координатні визначення: в літературі описані різноманітні модифікації цього способу: спосіб координат, спосіб горизонтальних кутів, спосіб горизонтальних і вертикальних кутів, метод нахиленого проєктування;
- за результатами геометричного нівелювання при вимірюванні осідань необхідно мати мінімум 3–4 деформаційні марки у фундаменті башти; за різницею висот можна визначити крен;
- за допомогою клинометрів – накладного високоточного рівня з ціною поділки 2–5 секунд.

Застосування виска вимагає його встановлення на верху споруди із внутрішньої сторони, тому для дуже високих споруд це затратно й небезпечно. Використання приладів вертикального проєктування можливе лише у випадку, коли такий прилад можна встановити над центром симетрії споруди, або ж створити вертикаль на малій віддалі паралельно конструкціям (стіні).

Дуже простим видається метод нахиленого проєктування, при якому прилад встановлюють на відстані 1,5–2 висоти від споруди у двох (J_x , J_y) взаємно перпендикулярно розміщених точках (рис. 13).

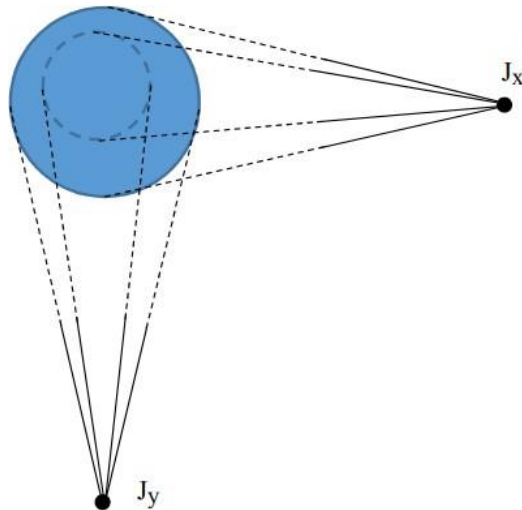


Рис. 17 – Схема вимірювань крену методом нахиленого проєктування

З обох точок вимірюють горизонтальні кути на краї нижнього та на краї верхнього січень споруди.

Вираховують середній відлік, що відповідає центру башти. Різниця середніх значень кутів на низ і на верх башти дає значення кута крену (нахилу, вираженого в кутових секундах) в площині, перпендикулярній до напрямку візування.

Для спостережень способом координат раніше [21] пропонувалося прокласти навколо башти замкнений полігонометричний хід на віддалі 1,5–2 висоти споруди. З пунктів цього ходу можна визначати координати точок башти (які можна чітко розпізнати, ідентифікувати) різними засічками: кутовими чи лінійно-кутовими.

З появою безвідбивних тахеометрів ці два способи дещо модифікувалися. Достатньо мати на навколишній території 2–4 чіткі контурні точки, визначити їх координати з першої станції стояння тахеометра, а потім використати ці зв'язні точки на наступних станціях як вихідні для визначення координат методом вільної станції. Найпростіше координувати крайні видимі точки башти. Використавши локальну систему координат об'єкта, лінійні складові крену можна одразу отримати як різницю координат центру споруди на різних висотах [21].

Під креном будівлі слід розуміти відхилення від горизонтальної площини кутів будівлі, які виникають внаслідок нерівномірних осідань фундаментів без руйнування будівлі в цілому, зі збереженням її геометричних форм. Для визначення величини крену застосовується багато способів. Завдання виконавця — вибрати такий спосіб, який задовольнить за точністю та може застосовуватись в умовах щільної міської забудови. Розглянемо приклад використання способу координат. Він полягає у визначенні лінійно-кутовою (полярною) засічкою з місця установки тахеометра координат точок, розміщених зверху та знизу споруди.

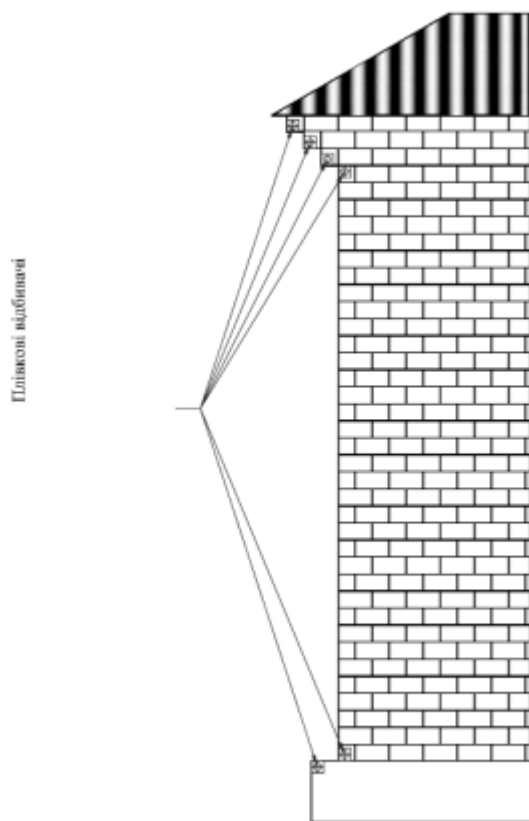


Рис. 18 Схема закріплення відбивачів

Точки постійно закріплюють на куті будинку плівковими відбивачами розміром 15мм x 15мм або 25мм x 25мм так, щоб сторона відбивача була суміщена з кутом (рисунок 14). За несуміщення центра відбивача з кутом будівлі вводяться відповідні поправки. Запроектовані точки наведено у схемі знімальної планово-висотної геодезичної мережі. З різниці координат між початковим та наступними циклами спостережень визначають величину та

напрям крену за даний період спостережень. Обчислюють лінійну величину крену Q :

$$Q = \sqrt{(x_B - x_H)^2 + (y_B - y_H)^2},$$

дирекційний кут крену

$$\alpha = \arctg \frac{y_B - y_H}{x_B - x_H},$$

та кутову величину крену v

$$v = \arctg \frac{\sqrt{(x_B - x_H)^2 + (y_B - y_H)^2}}{z_B - z_H}.$$

де x_B, y_B, z_B — координати точки у верхній частині споруди; x_H, y_H, z_H — координати точки у нижній частині споруди у разі, якщо точки, розміщені зверху та знизу споруди, не лежать за проектом на одній прямо висній лінії, визначають відносний крен Q' :

$$Q' = Q_n - Q_0,$$

де Q_n — значення крену у n -мому циклі спостережень, Q_0 — значення крену у нульовому циклі спостережень. Координати точок можуть також бути використані для визначення планових та висотних зміщень елементів будівель. При розробці методики вимірювань у вихідній геодезичній мережі скористаємось досвідом їх виконання в державних геодезичних мережах та при побудові спеціальних геодезичних мереж. Побудову спеціальної планової опорної геодезичної основи слід виконувати методом лінійно-кутової мережі з допусками кутових вимірювань триангуляції та полігонометрії IV класу, оскільки розраховані точності відповідають точності триангуляції та полігонометрії IV класу.

Для визначення кренів геодезичним методом створюється знімальна планово- висотна геодезична мережа у вигляді полігонометричного ходу та зворотних лінійно-кутових засічок. Середньоквадратична похибка вимірювання ліній m_S не повинна перевищувати 2,2 мм, а середньоквадратична похибка вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів m_β — 2". Вимірювання кутів на пунктах лінійно-кутової мережі виконують способом кругових прийомів за триштативною системою оптичними електронними приладами не нижче двосекундної точності. Кути вимірюють двома круговими прийомами, лінії — трьома прийомами. Середньоквадратична похибка вимірювання ліній не повинна перевищувати 2,2 мм, а середньоквадратична похибка вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів m_β — 2". Середньоквадратична похибка положення пункту мережі не повинна перевищувати 3,5 мм. Камеральну обробку вимірювань слід виконувати методом найменших квадратів. Результати вносяться в таблицю порівняння. Після обробки польових даних виконується аналіз отриманих результатів.

Під час геодезичного моніторингу будівлі бізнес центру на просп. Шевченко, 4д у м. Одеса, для визначення крену будівлі у нижній та верхніх частинах стін обирались добре визначені точки (43 створи), на них наводилось перехрестя ниток сітки труби тахеометра і труба підіймалась до кожної зафіксованої на стіні точки. Після цього операція повторювалась при іншому положенні вертикального круга. Щоб оцінити деформацію всієї споруди, крен визначався за всіма площинами її стін. Для аналізу стану бокової поверхні будівлі по висоті були обрані характерні точки її зламу. В цьому випадку після зведення по нулях лімба і алідаду горизонтального круга перетин сітки труби націлюють на верхню або нижню точку стіни і пересувають перехрестя сітки поздовж стіни вимірюючи горизонтальне прокладання в безвідбивному режимі. Аналіз результатів проведених спостережень підтвердив те, що крен більшості вертикалей будівлі становить 4 см.

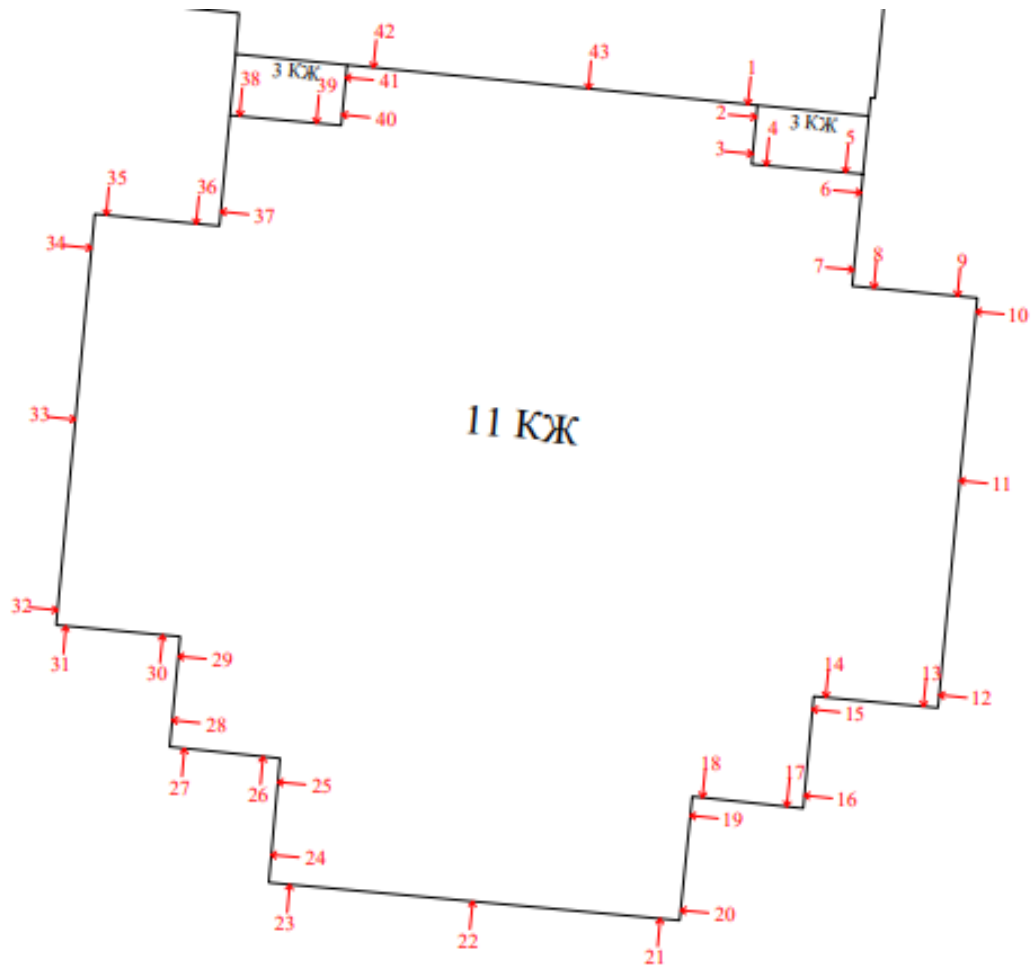


Рис. 19 Створи по яким визначали крен будівлі

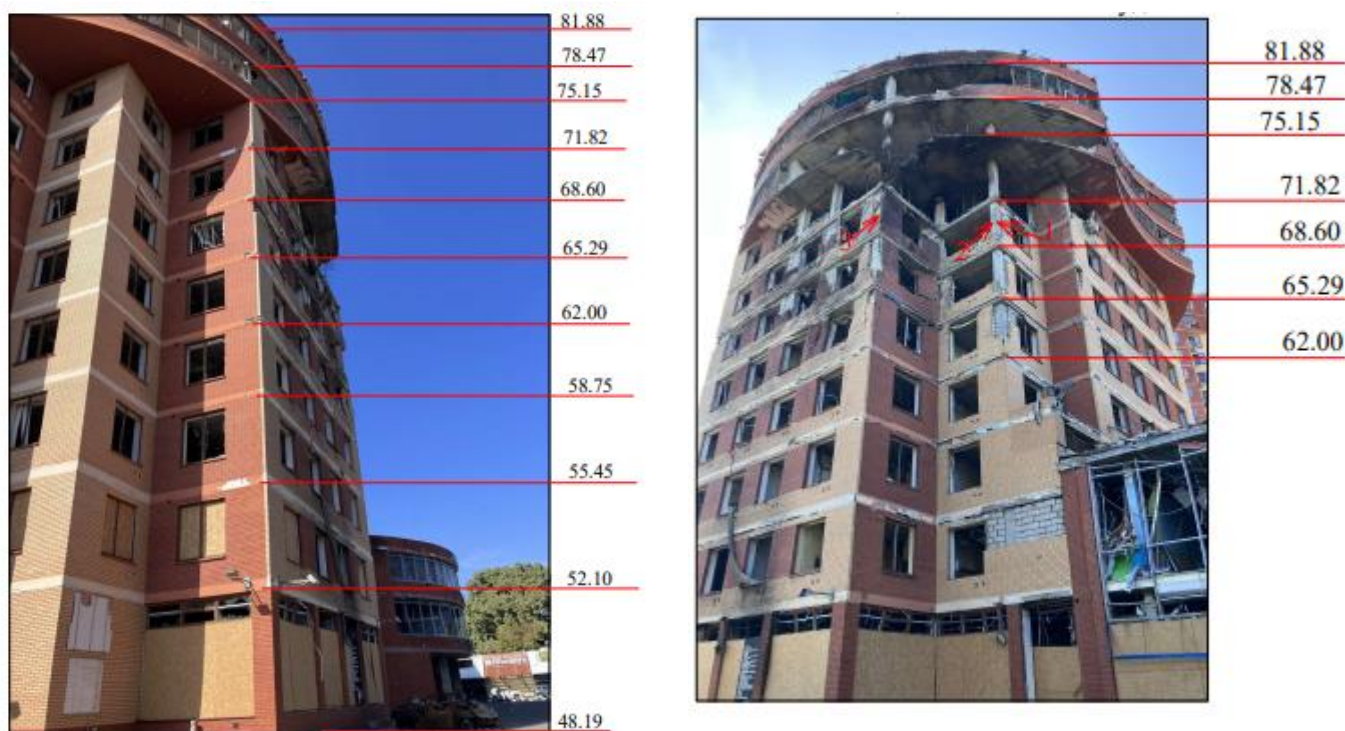


Рис. 20 Схема визначення крену з прив'язкою по висоті



Рис. 21 Приклад оформлення відомості відхилень

Детальні результати геодезичного моніторингу представлені в графічних додатках кваліфікаційної роботи.

5.3. Особливості застосування спеціалізованого програмного забезпечення при геодезичному моніторингу

Всі великі інженерні споруди (мости, стадіони, промислові будівлі і т.д.) потребують моніторингу геометричних параметрів. Дуже важливо швидко реагувати на критичні події, щоб вчасно приймати рішення по супроводу сучасних проєктів.

Однією з невід'ємних частин комплексу моніторингу є спеціалізоване програмне забезпечення, яке можна адаптувати до специфічних запитів будь-якого користувача. Програмне забезпечення повинно забезпечувати найвищу надійність і підходити як для постійних, так і для короткострокових моніторингових програм.

Одним з важливих видів геодезичного моніторингу є моніторинг в режимі реального часу і аналіз отриманих даних.

При такому виді моніторингу, спеціалізоване програмне забезпечення працює в режимі реального часу, що відповідає за накопичення даних і контроль вимірів, перевірку допустимих значень, моніторингу повідомлень і контролю вимірювального циклу.

Наступним етапом застосування спеціалізованого програмного забезпечення є аналіз і створення звітів вимірюваних даних, редагування і пост-обробка, де вона необхідна. Дані і результати можуть бути представлені в цифровому і графічному вигляді і експортовані в різні стандартні формати. Підтримуються різні пристрої, які управляються за допомогою спеціалізованих програм.

Зазначені програми для обробки даних геодезичного моніторингу встановлюються на об'єктах будь-яких розмірів, як існуючих, так і споруджуваних і масштабується за конкретними вимогами.

Серед пристроїв, на які встановлюється спеціалізоване програмне забезпечення з обробки даних геодезичного моніторингу слід відміти:

- тахеометри (як правило роботизовані);
- GNSS-антени;

- метеорологічні сенсори (виміри температури, атмосферного тиску, вітру);
- геотехнічні сенсори (екстенсіометри);
- сенсори інших виробників. Технічні характеристики:
- віддалений доступ для роботи і налаштувань;
- масштабна конфігурація від однієї до кількох станцій;
- підтримка великих баз даних з розрахованих на багато користувачів інтерфейсом (SQL-Server);
- велика кількість вимірювальних станцій, об'єднаних в одну систему
- паралельне використання декількох пристроїв (тахеометри, GPS, метрологічні і геотехнічні сенсори);
- автоматичне регулювання і синхронізація отримання даних по кабелю, радіомодему, LAN, WAN або через інтернет;
- можливість вимірювати відстані на великій дальності (до 5 км);
- моделювання метеорологічної мережі навколо об'єкта вимірювань;
- потужний набір засобів для графічного і цифрового аналізу даних;
- запис змін під час редагування та пост-обробки;
- управління повідомленнями про поточний стан;
- передача повідомлень по електронній пошті або цифровому інтерфейсу;
- імпорт-експорт в інші формати (ASCII, DGN, WMF, XLS);
- архівація даних.

Сфери застосування вказаного спеціалізованого програмного забезпечення включають:

- вимірювання деформацій (дамби, тунелі, скелі, мости і висотні будівлі);
- визначення зсувів і стабільності (гірничодобувна промисловість);
- автоматизовані безперервні вимірювання та ін.

Сучасні сервіси зберігання дозволяють отримувати доступ до

результатів в будь-який час та в будь-якому місці, де є доступ до мережі інтернет. Новітні технології дозволяють переглядати звіти, карти і таблиці; візуалізувати дані у вигляді графіків за потрібні проміжки часу і для будь-якої кількості учасників. При цьому є регулювання рівнів доступу та ін.

5.4. Класифікація та принципи застосування спеціалізованих програм для здійснення геодезичного моніторингу

Як вказано в ДБН В. 1.3-2:2010, обробка результатів вимірювання повинна включати перевірку польових журналів, обчислення величин деформацій, оцінку точності проведених польових робіт, складання відомостей по кожному циклу вимірювання, і їх графічне зображення. Останні види зазначених робіт обов'язково потребують застосування сучасного спеціалізованого програмного забезпечення.

Види та принципи застосування спеціалізованих програм для здійснення геодезичного моніторингу слід відобразити у відповідності до виконання конкретних робіт:

1. Створення геодезичної моделі:

- виконання попереднього розрахунку точності проєкту геодезичної мережі;
- вирівнювання з врахуванням похибок вихідних даних;
- вирівнювання з контролем грубих помилок;
- вирівнювання просторових мереж будь-якої конфігурації з різнорідними виміряними величинами;
- вирівнювання з ітераційним уточненням вагових коефіцієнтів;
- приведення результатів спостережень до заданих метеорологічних умов;
- перетворення в різні системи координат, у тому числі визначення параметрів перетворення між системами координат.

2. Виконання розмічувальних робіт та виконавчого знімання:

- обчислення розмічувальних елементів для різних способів;
- обчислення в реальному часі елементів редукування;
- обчислення в реальному часі відхилів вимірянних координат точок від

проектних;

- робота одночасно з двома та більше приладами для визначення координат;
- визначення геометричних параметрів об'єктів за результатами виконавчого знімання;
- приведення результатів спостережень до заданих метеорологічних умов;
- побудова об'ємної 3D- моделі.

3. Геодезичний моніторинг:

- виконання попереднього розрахунку точності проєкту геодезичної мережі;
- вирівнювання з врахуванням похибок вихідних даних;
- вирівнювання з контролем грубих помилок;
- вирівнювання просторових мереж будь-якої конфігурації з різнорідними виміряними величинами;
- вирівнювання з ітераційним уточненням вагових коефіцієнтів;
- виконання контролю стабільності пунктів просторової геодезичної мережі;
- виконання прогнозу деформацій з використанням різних моделей деформацій;
- приведення результатів спостережень до заданих метеорологічних умов;
- побудова об'ємної 3D- моделі.

Насамперед рекомендовано використовувати програмне забезпечення фірм виробників геодезичного устаткування, які пропонують його для своїх приладів.

ВИСНОВКИ

Систематичний геодезичний моніторинг будівель та споруд є одним із основних методів вивчення деформацій конструкцій будівель у змінених умовах експлуатації та має велике практичне та наукове значення. Практичне значення полягає в тому, що результати моніторингу використовуються як вихідний матеріал для характеристики стабільності будівлі в період експлуатації для своєчасного проведення ремонту. А під час виконання моніторингу об'єктів, що будуються, своєчасно приймати рішення щодо усунення деформаційних явищ, вносити зміни в існуючі правила технічної експлуатації. Наукове значення моніторингу полягає в тому, що за його результатами можливо уточнити методи розрахунку деформацій конструкцій та основи, дозволяє вносити фактичні значення деформації для визначення допустимих величин та вжиття необхідних заходів.

Під час експлуатації інженерних споруд необхідним є проведення високоточного моніторингу за їх деформаціями. В процесі спостережень важливо визначити швидкість і напрямок деформацій, тому суттєве значення має вибір оптимального методу моніторингу. 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 опрацювання результатів спостережень. Завдяки інструментальним спостереженням способами інженерної геодезії виконується моніторинг і спостереження за осіданнями будівель. Першочерговим завданням є забезпечення надійної роботи та перевірки експлуатаційної надійності об'єктів спостереження. Методи і точність визначення осідань регламентуються нормативним документом та державним стандартом.

В кваліфікаційній роботі представлено найперспективніші методи моніторингу, а саме: моніторинг конструкцій за допомогою оптико-електронних систем, геодезичний моніторинг за допомогою електронних тахеометрів, використання лазерного сканера для фотограмметричних

методів вимірювання, геодезичний моніторинг методом супутникової геодезії з використанням системи навігації GNSS.

Обґрунтовано 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. У кваліфікаційній роботі розглянуто способи визначення вертикальності будівлі електронним тахеометром

Основною задачею є отримання інформації про стан інженерних споруд, виявлення деформацій і зсувних процесів, які відбуваються під дією різного впливу. Проаналізовано та визначено основні переваги і недоліки методів геодезичного моніторингу деформацій інженерних споруд. Виявлені найбільш перспективні поєднання та 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.

Визначено, що основний напрямок 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.

В практичному аспекті проведено аналіз результатів проведених спостережень за будівлею бізнес-центру в м. Одеса, та встановлено, що крен більшості вертикалей будівлі становить 4 см. Отримані результати будуть покладені в основу експертного звіту про стан будівлі. Доцільним залишається продовження спостережень за динамікою помічених деформацій в періоді часу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.2-5:2007 Науково-технічний супровід будівельних об'єктів - Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2007/
2. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. – Чинний від 2017–04–01. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 47 с.
3. ДБН В.2.1 – 10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – Чинний від 2019–01–01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019. – С. 7–8.
4. ДБН В.1.3 – 2:2010. Геодезичні роботи в будівництві. – Чинний від 2010–09–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – С. 29–33.
5. Геодезичний моніторинг – з досвіду виконання геодезичних робіт кафедри інженерної геодезії КНУБА / О. П. Ісаєв, О. В. Адаменко, Р. В. Шульц та ін. // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – № 47. – С. 265 – 277.
6. 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. – Київ, 2009. – Вип. I (17). – С. 144–150.
7. 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.
8. Галінський О. М. Геодезичне забезпечення будівництва сьогодні. Відкриття конференції [Електронний ресурс] / О. М. Галінський // Нові технології в будівництві. – 2011. – № 2. – С. 3. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntvb_2011_2_3, вільний (дата

звернення: 31.10.2022). – Назва з екрана.

9. Хачатурян С. Л. Про надійність основ будівель і споруд [Електронний ресурс] / С. Л. Хачатурян // Наукові записки : зб. наук. пр. – Кіровоград : КНТУ, 2010. – Вип. 10, ч. 3. – С. 12–13. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5504>, вільний (дата звернення: 31.10.2022). – Назва з екрана.

10. Григоровський П. Є. Розробка програми геодезичного моніторингу / П. Є. Григоровський, Ю. В. Дейнека, Д. М. Дорошенко // Нові технології в будівництві. – 2011. – № 2. – С. 20-27. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntvb_2011_2_8, вільний (дата звернення: 31.10.2022). – Назва з екрана.

11. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. – Чинний від 2008–07–01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. – 76 с.

12. Літинський В. (ред.) Геодезичний енциклопедичний словник / В. Літинський. – Львів : Євросвіт, 2001. – 668 с.

13. Електронний атлас України /Інститут географії НАНУ [Електронний ресурс]. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/atlas/default.html>, вільний (дата звернення: 31.10.2022). – Назва з екрана.

14. Рудько Г. И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты) : монография / Г. И. Рудько. – Задруга, 2006. – 624 с.

15. Айзенберг М. М. Гідролого-гідрографічна вивченість селевих явищ на Україні. Селеві потоки на території України / М. М. Айзенберг, М. С. Каганер. – М. : Недра, 1959. – 145 с.

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

17. ДБН В.1.1-46:2017 Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. – Чинний від 2017–11–01. – Київ : Мінрегіон України, 2017. – С. 41–42.
18. ДБН В.2.1 – 10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. – Чинний від 2019–01–01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України, 2019. – С. 7–8.
19. ДСТУ Б В.2.1-30:2014 Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд. – Чинний від 2015–07–01. – Київ : Мінрегіон України, 2015. – С. 20–27.
20. Бачишин Б. Д. Інженерна геодезія : навч. посіб. / Б. Д. Бачишин. – Рівне : НУВГП, 2020. – 196 с.
21. Баран П. І. Інженерна геодезія : монографія / П. І. Баран. – Київ : ПАТ «ВІПОЛ», 2012. – 618 с. : іл.
22. Кравець О. Я. Використання геоінформаційних технологій при дослідженні зсувних процесів / О. Я. Кравець // Науковий вісник НЛТУ України / О. Я. Кравець, 2020. – 30 (2). – С. 113–117.
23. Яковенко М. О. Огляд видів геодезичного моніторингу будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах. Сучасні проблеми архітектури та містобудування [Електронний ресурс] / М. О. Яковенко, С. Г. Нестеренко. – Київ, 2020. – Вип. 55. – С. 341–350. – Електронні текстові дані. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2019.55.341-350>, вільний (дата звернення: 31.10.2022). – Назва з екрана