МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв

ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ, БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Нестеренко С. Г. Технології геодезичного моніторингу територій, будівель і споруд : конспект лекцій для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій / С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 87 с.

Автори:
канд. техн. наук, доц. С. Г. Нестеренко,
канд. техн. наук, доц. О. В. Афанасьєв

Рецензент
М. О. Пілічева, кандидат технічних наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 1 від 16.08.2024

© С. Г. Нестеренко, О. В. Афанасьєв, 2024
© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП..... 5
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ 7
ТЕМА 1 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ 7
1.1 Види деформації будівель і споруд…….. 7
1.2 Основні поняття геодезичного моніторингу 11
1.3 Поняття, чинники виникнення та основні види екзогенних процесів 13
1.4 Види геодезичного моніторингу..... 20
1.5 Нормативна база здійснення моніторингу територій, будівель і споруд 25
ТЕМА 2 ІНЖЕНЕРНІ ВИШУКУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД. ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕРИТОРІЙ 28
2.1 Традиційні та сучасні методи геодезичного моніторингу територій…… 29
2.2 Види інженерних вишукувань 31
2.3 Моніторинг деформацій будівель і споруд…….....33
ТЕМА 3 ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ 35
3.1 Вимоги щодо організації та здійснення геодезичного моніторингу . 35
3.2 Планування робіт, розробка програми геодезичного моніторингу…36
3.3 Види геодезичних моніторингових робіт та порядок їх проведення 38
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ГЕОДЕЗИЧНОМУ МОНІТОРИНГУ 43
ТЕМА 4 ПЛАНОВО-ВИСОТНА ОСНОВА ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ.. 43
4.1 Визначення необхідності створення планово-висотного обґрунтування..... 43

4.2 Створення планово-висотної основи для інструментальних вимірювань при геодезичному моніторингу 44
4.3 Вимоги до вихідної планово-висотної основи для геодезичних робіт 46
ТЕМА 5 ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЕКЗОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ ТЕРИТОРІЙ 47
5.1 Методи геодезичного моніторингу екзогенних процесів 47
5.2 Моделювання екзогенних процесів 49
ТЕМА 6 МЕТОДИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД 55
6.1 Методи геодезичного моніторингу 55
6.2 Геодезичний моніторинг при осіданні будівель і споруд 57
6.3 Геодезичний моніторинг при відхиленні від вертикалі будівель і споруд 60
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ 63
ТЕМА 7 СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ 63
7.1 Особливості застосування спеціалізованого програмного забезпечення при геодезичному моніторингу 63
7.2 Класифікація та принципи застосування спеціалізованих програм для здійснення геодезичного моніторингу 65
ТЕМА 8 МОДЕЛЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ. 68
8.1 Сучасні лазерні технології для проведення геодезичного моніторингу 68
8.2 Технології камерального опрацювання результатів лазерного сканування при проведенні геодезичного моніторингу. 71
8.3 Моделі представлення тривимірних об’єктів при проведенні геодезичного моніторингу 73
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ 84

ВСТУП

Метою викладання навчальної дисципліни «Технології геодезичного моніторингу територій, будівель і споруд» є формування майбутніх науковців вищої кваліфікації, які володіють системою знань, включаючи теоретико-методичні підходи та практичні навички, інструменти та методи геодезичного моніторингу деформацій будівель і споруд, екзогенних процесів, наукового обґрунтування причин їх виникнення, застосування лазерних технологій при проведенні геодезичного моніторингу.

Завданнями вивчення дисципліни є оволодіння теоретико-методичними основами геодезичного моніторингу територій, будівель і споруд, виявлення параметрів, необхідних для ефективного прогнозу розвитку критичних величин деформацій будівель та споруд, встановлення причин їх виникнення, розробки науково-обґрунтованих заходів з метою усунення несприятливих процесів при їх будівництві та експлуатації.

Зміст курсу «Технології геодезичного моніторингу територій, будівель і спор» для майбутніх науковців спеціальності «Геодезія та землеустрій» представлено в таких темах:

1. Поняття та напрями застосування геодезичного моніторингу.
2. Інженерні вишукування та моніторинг деформацій будівель і споруд.
3. Організація проведення геодезичного моніторингу.
4. Планово-висотна основа для геодезичного моніторингу.
5. Геодезичний моніторинг екзогенних процесів територій.
6. Методи геодезичного моніторингу деформацій будівель і споруд.
7. Спеціалізоване програмне забезпечення для обробки даних геодезичного моніторингу.
8. Лазерні скануючи технології та програмне забезпечення при проведенні геодезичного моніторингу.

У рамках цього курсу ***виокремлюють три змістових модулі***:

1. Організація проведення геодезичного моніторингу.

2. Методики виконання інструментальних вимірювань при геодезичному моніторингу.

3. Методи обробки даних геодезичного моніторингу.

У результаті вивчення дисципліни здобувач повинен

знати :

– принципи застосування геодезичного і фотограмметричного обладнання і технологій моніторингу;

– методи математичного оброблення вимірювань щодо геодезичного моніторингу територій, будівель і споруд;

– нормативне забезпечення геодезичних моніторингових робіт в Україні;

вміти:

– визначати види деформацій будівель і споруд, характеру екзогенних процесів;

– виконувати моделювання результатів геодезичного моніторингу;

– визначати метод геодезичного моніторингу та його порядок проведення.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

ТЕМА 1 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

План

1.1 Види деформації будівель і споруд.

1.2 Основні поняття геодезичного моніторингу.

1.3 Методи геодезичного моніторингу екзогенних процесів

1.4 Види геодезичного моніторингу.

1.5 Нормативна база здійснення моніторингу територій, будівель і споруд.

1.1 Види деформації будівель і споруд

Забезпечення безвідмовної роботи конструкцій будівель і споруд – одна з найважливіших проблем будівельної науки [1]. 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-проєктувальниками 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 дренування 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. 1.1.).

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

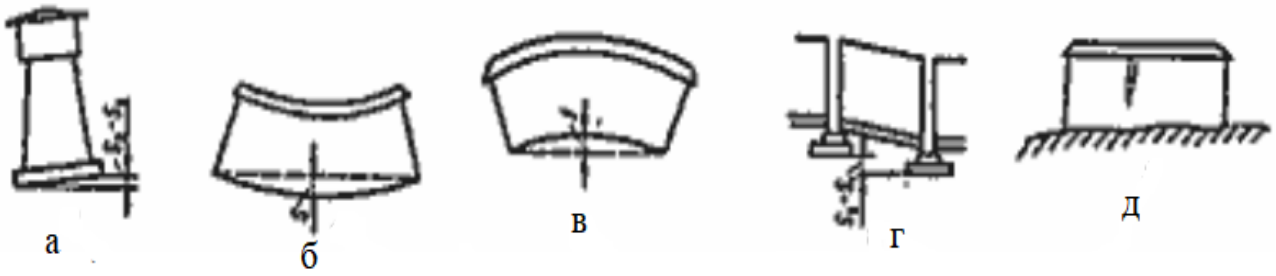


Рисунок 1.1 – Види деформацій споруд:
а – нахил; б – прогин; в – вигин; г – перекіс; д – тріщиноутворення

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 лесових просадкових, засолених і набухаючих ґрунтів, підробки вугільних, калійних і рудних родовищ, карстових і тектонічних явищ (рис. 1.2).

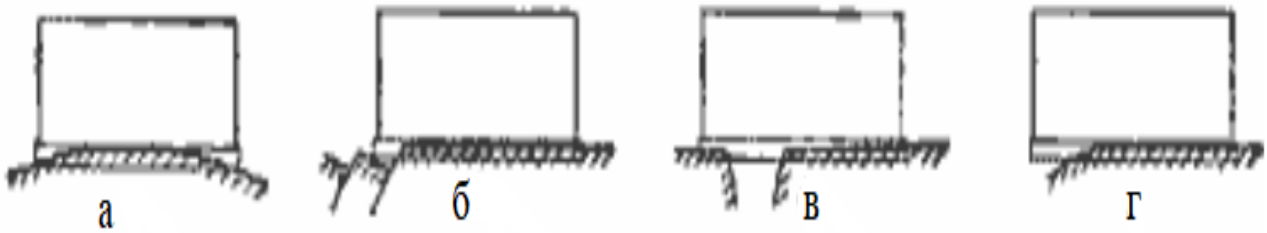


Рисунок 1.2 – Деформування основи:
а – викривлення; б – уступ; в – провал; г – западина

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 підошві 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 фундамента 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.

1.2 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 такі:

– 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.

1.3 Поняття, чинники виникнення та основні види екзогенних процесів

Екзогенні процеси (exogenic processes): геологічні процеси, спричинені, здебільшого, зовнішніми відносно Землі силами, вони відбуваються на поверхні Землі та в приповерхневих частинах літосфери (вивітрювання, денудація, абразія, ерозія тощо) й зумовлені, переважно, енергією сонячної радіації, силою ваги і життєдіяльністю організмів. Серед них виділяють такі як: зсуви, ерозії пружні та площинні, заболочування, підтоплення, просідання, карсти, селі, осідання та засолення [2]. На рисунку 1.3 наведено поширення екзогенних геологічних процесів на території України.

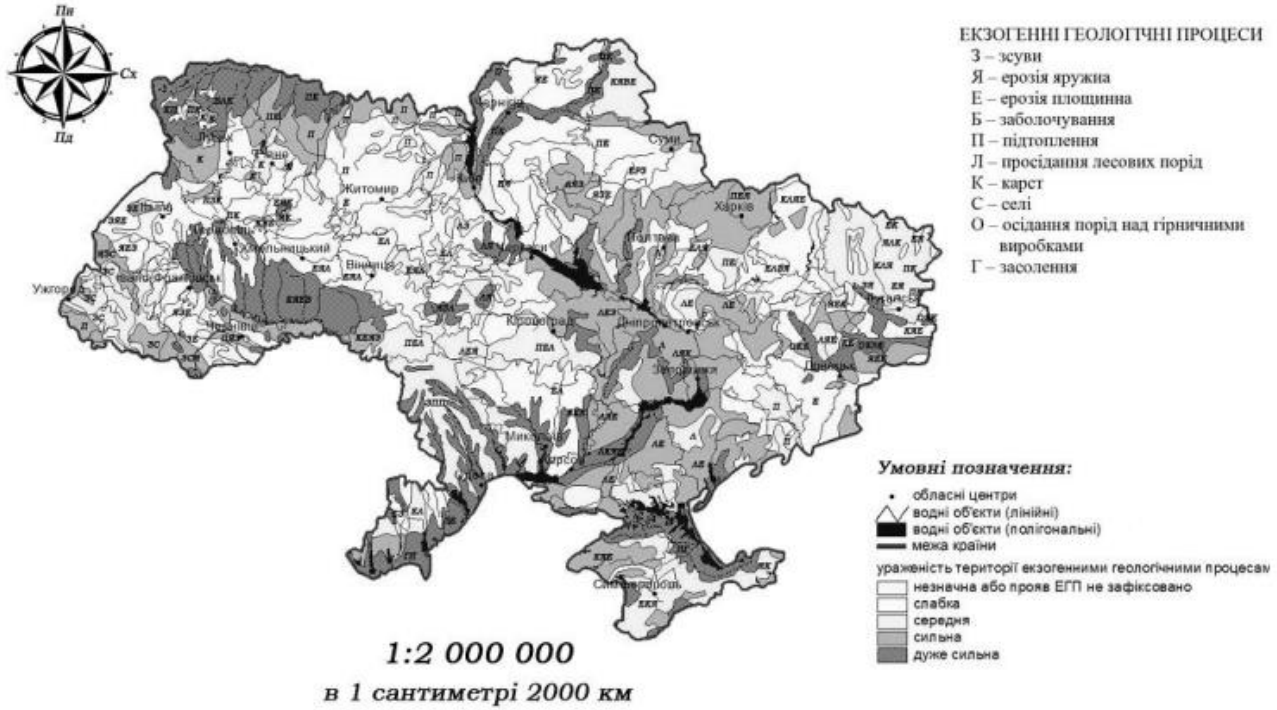


Рисунок 1.3 – Екзогенні геологічні процеси на території України [3]

Зсуви. Зсуви – це результат зміщення порід на схилах, що відбувається під впливом гравітації. Зсуви характеризуються різними формами, обсягами та швидкостями зміщення (рис. 1.4).

В межах території України поширені зсуви різних розмірів та стадій активізації. Їх кількість постійно змінюється внаслідок ліквідації та формування нових зсувів та становить близько 23 тисяч одиниць.

Активна господарська діяльність викликала поширення зсувів в понад 200 містах і селищах міського типу (рис. 1.5). Активізація зсувів у місцях забудови негативно впливає на безпеку споруд і будівель, функціонування господарських об’єктів і територій в цілому. Спостереження дозволили встановити феноменальну особливість швидких зсувів великих мас ґрунтів. Встановлено, що при збільшенні об’єму зсуву (коли він наближається до 100 000 м^3) відбувається зменшення коефіцієнта тертя та збільшуються швидкість і шлях зсуву. При великих зсувах об’ємом від 100 тис. м^3 до 5–10 млн м^3 і потужності зсувного тіла понад 100–150 м відбуваються аномально далекі зсуви [4].

Рисунок 1.4 – Приклад зсувного процесу з пошкодженням конструкції проїжджої частини

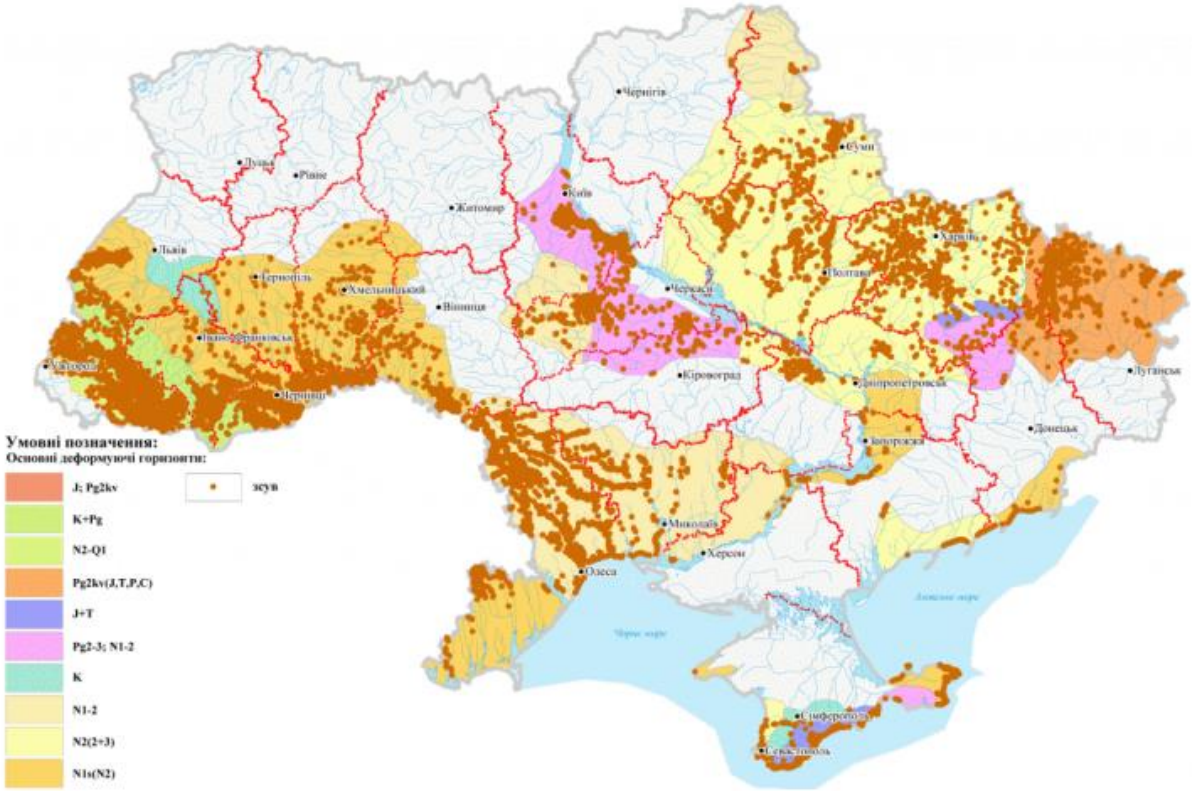


Рисунок 1.5 – Схема поширення зсувів на території України [3]

Особлива небезпека зсувів полягає в їх раптовому виникненні переважно на територіях населених пунктів, де зосереджені населення та матеріальні

цінності, а також у тому, що при виникненні у відповідних ґрунтових умовах вони зупиняться лише при завершенні повної руйнації ґрунтового масиву, на якому можуть бути розташовані будівлі та споруди.

Підтоплення. Підтоплення є одним з найбільш розповсюджених сучасних геологічних процесів. Суть даного процесу – це підйом рівня ґрунтових вод та стійке порушення природного режиму зволоження, що викликає несприятливі зміни геологічного середовища. Протягом останніх десятиліть загострилися проблеми підтоплення, а це загрожує безпеці проживання населення на підтоплених територіях, знижує сейсмічну стійкість територій та істотно впливає на ефективність ведення сільського господарства. В Україні налічується 541 місто і селище із сталими проявами процесів підтоплення, а у 97 із цих населених пунктів площа підтоплення перевищує 50% їх територій (рис. 1.6).

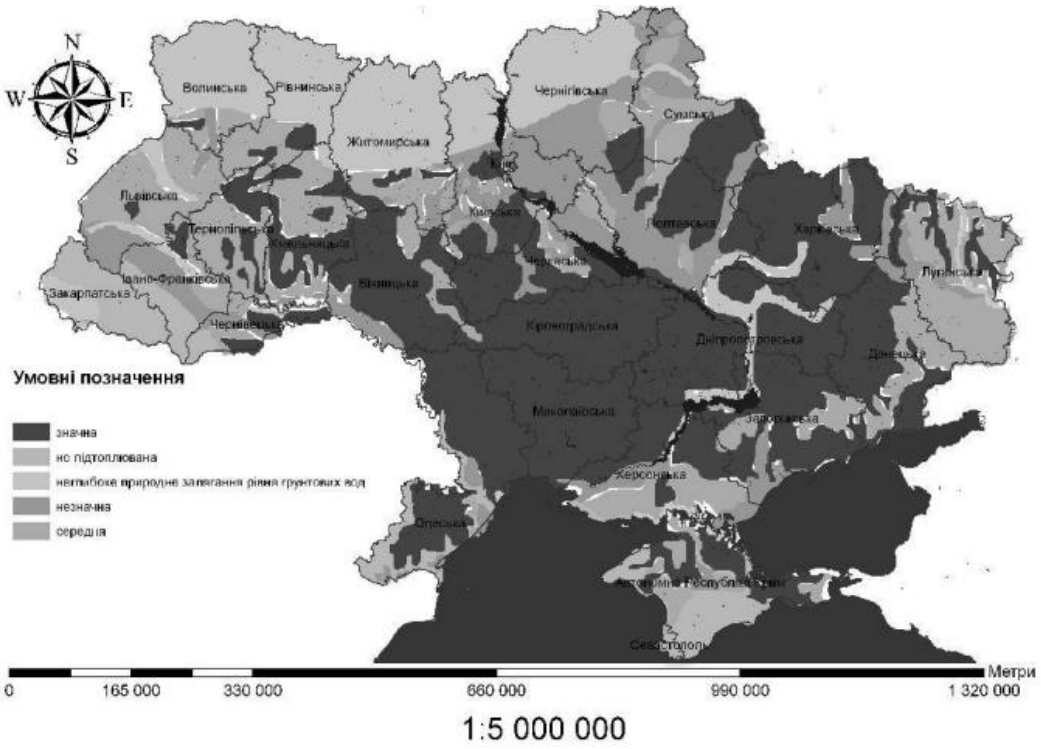


Рисунок 1.6 – Схильність території України до підтоплення [3]

Обвали. Обвали (рис. 1.7) – це швидкі зсуви масивів гірських порід (падіння, кочення, перекидання), що виникають при крутизні схилів більш 15°, переважно при 45–70° за рахунок їх відриву від корінного масиву. Зазвичай такі явища стимулюються землетрусами, активізацією ерозійних процесів, морозним вивітрюванням, а також техногенними чинниками (підрізуванням гірських схилів при будівництві доріг та інших споруд (рис. 5.5)). Об'єми обвалів можуть досягати мільйонів кубічних метрів [4].

Рисунок 1.7 – Обвальний процес на автошляху

Селі. Селі – це короткочасні гірські потоки, які складаються із суміші води і великої кількості твердого матеріалу. Поширення та інтенсивність селевого процесу у гірських і передгірських областях Карпат і Криму визначається особливостями тектонічного, неотектонічного, сейсмічного режимів гірських зон та залежить від геологічної будови території, геоморфологічних та гідрологічних умов, клімату, діяльності людини, тощо.

Потужність потоків досягає 30 м^3, швидкості в середньому перевищують 10 м/с і доходять до 30 м/с. Рух може відбуватися ривками, хоча зазвичай потоки течуть по раніше сформованим долинам. Щільність потоків може

досягати 2,5 г/см^3 , а об'єми глиб – від 4,75 до 10 м^3 і більше [5]. На рисунку 1.8 представлено поширення та інтенсивність селевих потоків у Карпатах та в Криму.

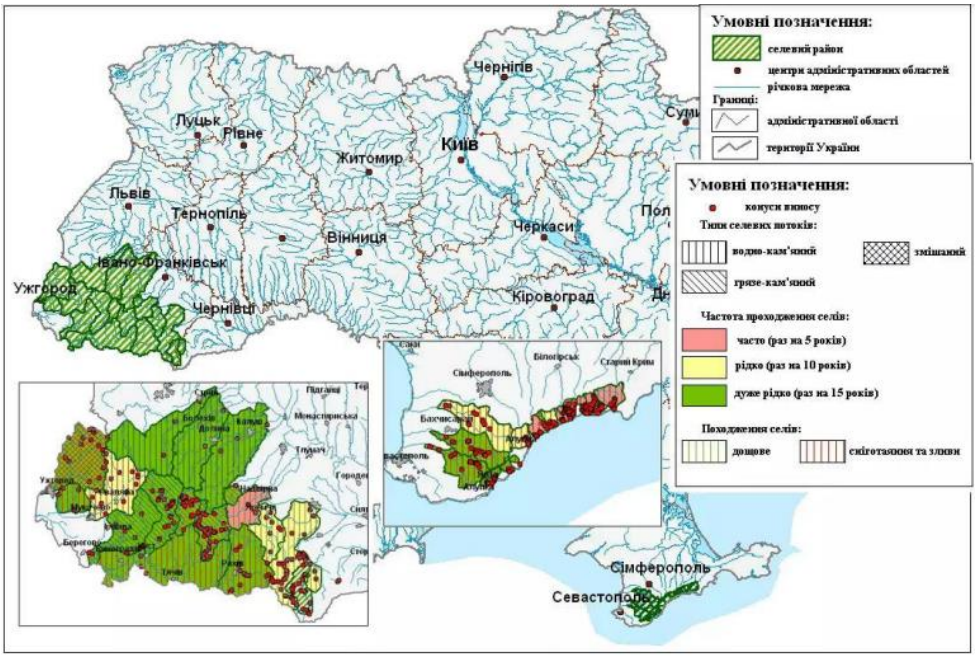


Рисунок 1.8 – Картограма поширення та інтенсивність селевих потоків у Карпатах і Криму

Групи факторів, які впливають на селеутворення:

1. Літолого-стратиграфічні. До них відносяться літофаціальний тип підстильних гірських порід. Характеризуються коефіцієнтом ураженості літофаціальної зони.

2. Інженерно-геологічні. До них відносяться інженерно-геологічні райони. Характеризуються коефіцієнтом ураженості в межах району.

3. Геоморфологічні. До них відносяться фактори з характеристиками відповідно:

– базис ерозії – відстань до базису ерозії;

– вододіл – відстань до вододілу, абсолютна висота вододілу;

– висота – абсолютна позначка;

– крутість схилу – кут нахилу земної поверхні;

– рельєф – енергія рельєфу;

– річковий басейн – коефіцієнт ураженості басейну;

– сучасні геологічні процеси – відстань до зсуву.

4. Тектонічні. До них відноситься тектонічна зона, яка характеризується коефіцієнтом ураженості тектонічної зони та тектонічні порушення з відстанню до тектонічного розлому.

5. Ландшафтні. Представлені рослинністю з відстанню до межі лісу.

6. Метеорологічні. Характеризуються кількістю опадів.

7. Техногенні. Характеризуються наявністю та відстанню до населених пунктів та доріг і шосе.

Карстоутворення. Карст – це інженерно-геологічний процес, що відбувається при взаємодії води з розчинними гірськими породами. Він є особливо небезпечним тому, що його раптова активізація може сприяти виникненню миттєвих провалів чи осідань земної поверхні. Ділянки, що уражені карстом, займають значну частину території України і щороку збільшуються, завдаючи значних збитків. На території України зареєстровано понад 26 000 поверхневих і підземних карстових проявів (рис. 1.9).

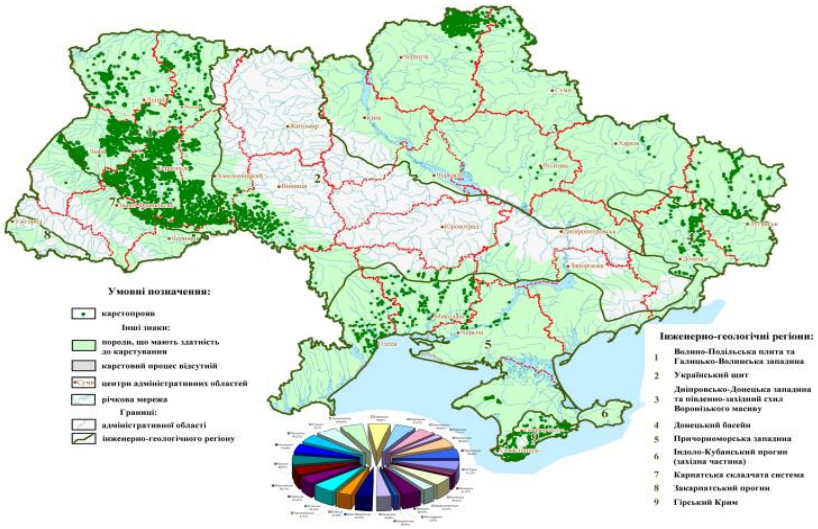


Рисунок 1.9 – Схема розвитку карстових районів на території України

За даними дослідників [6] зсувоутворюючі фактори класифікують за:

– факторами умовами (виникнення): геолого-літологічні, геолого-морфологічні, кліматичні, гідрогеологічні;

– фактори процесу (розвитку):

– діють незворотно з накопиченим ефектом: тектонічні рухи, зміни механічних властивостей ґрунтів, абразія, ерозія;

– діють зворотно, періодично: метеоумови, землетруси, техногенні дії.

1.4 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 «ґрунтові 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.

Деформації інженерних спору. 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 огороджувальних 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 належать:

– 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;

– перекіс;

– осідання;

– підйом.

2. Відхилення від умовної вертикальної площини (планові переміщення):

- крен (нахил споруди);

– випуклість площини – характерна для площинних об’єктів, де в результаті деформацій виникає «пузо»;

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

– зсув;

– 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 [13].

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 сьогодні приймають згідно з вимогами [14]. 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 онлайн. За точність не поступаються попереднім двом методам.

4. Лазерне сканування (наземне, повітряне та автомобільне) – дозволяють отримати 3D-модель об’єкта спостереження. 3D-модель вміщує 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 [9, 10].

5. GPS-моніторинг – визначення просторового положення за допомогою супутникової навігаційної системи. GPS-моніторинг чудово підходить для визначення координат марок, що розташовані на значній відстані (коли використання лінійно-кутових вимірювань недоцільно).

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

7. Інклінометрія – метод полягає у використанні труби «моніторингової шахти» встановленої у вертикальне або горизонтальне положення по якій пересувається зонд в двох взаємно перпендикулярних площинах. Шахта має властивість приймати деформований стан (нахилятися, прогинатися, приймати опуклу чи випуклу форму) об'єкту. Деформації ґрунтових масивів. Актуальність моніторингу зсувних процесів гірських мас, в зв'язку з проведенням будівельних робіт в умовах складного рельєфу та експлуатацією споруд зосереджених під впливом падіння та обвалів, вимагає розвитку методів моніторингу ґрунтових масивів.

Геодезичний моніторинг ґрунтових масивів повинен забезпечувати вимоги точності, швидкості отримання інформації, детальності та достовірності. Основне завдання, що стоїть перед геодезією, моніторинг зсувних процесів – під такими словами слід розуміти, що потрібно в результаті отримати щось подібне 3D-моделі ґрунтових масивів, не лише ззовні але й з середини. У праці [11] 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.

1.5 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 [12]. 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 проєктування, 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, зокрема:

– 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-ХХ:201Х2 Підтримання експлуатаційної придатності будівель та споруд. Основні положення;

– Проєкт ДСТУ Б А.1.3-ХХ: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, розрахунок 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.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте визначення поняттю «геодезичний моніторинг».
2. Для яких цілей застосовується геодезичний моніторинг?
3. Визначте основні види робіт з геодезичного моніторингу.
4. Зазначте основні нормативно-правові документи з виконання геодезичних моніторингових робіт.
5. Яким чином проводиться геодезичний моніторинг?
6. Хто має право на виконання робіт з геодезичного моніторингу?
7. Наведіть приклади екзогенних процесів.

ТЕМА 2 ІНЖЕНЕРНІ ВИШУКУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД. ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТЕРИТОРІЙ

План

2.1 Традиційні та сучасні методи геодезичного моніторингу територій.

2.2 Види інженерних вишукувань.

2.3 Моніторинг деформацій будівель і споруд.

2.1 Традиційні та сучасні методи геодезичного моніторингу територій

Традиційні методи геодезичного моніторингу територій зосереджуються на класичних техніках визначення просторового положення точок і вимірювання змін поверхні. До основних методів відносяться геометричне нівелювання, тріангуляція, теодолітні і тахеометричні зйомки, які забезпечують високу точність при правильній організації роботи.

Нівелювання дозволяє фіксувати зміну висоти і є основним методом вимірювання вертикальних зміщень. Ця техніка, хоч і дуже точна, вимагає суттєвих зусиль і витрат часу, особливо на складних рельєфах або віддалених місцевостях. Її використання обмежене, оскільки кожна точка повинна бути фізично доступною, що утруднює процес в гірській або лісистій місцевості.

Тріангуляція, яка заснована на вимірюванні кутів у мережі трикутників між точками з відомими координатами, також була широко застосована для визначення горизонтальних зміщень. Теодолітна зйомка дозволяє фіксувати зміну кутів та вимірювати відстані, забезпечуючи інформацію про горизонтальні та вертикальні деформації. Всі ці традиційні методи залежать від фізичної доступності місцевості і сприйнятливі до кліматичних умов, що обмежує їхнє застосування на великих територіях і в складних умовах.

У сучасну епоху розвиток супутникових технологій, зокрема глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), кардинально змінив підходи до геодезичного моніторингу. Системи GPS і GNSS забезпечують постійний зв’язок із мережею супутників, що дозволяє точно визначати координати точок в будь-якій точці земної поверхні. Це особливо важливо для моніторингу руху земної кори, деформацій будівель та інших об’єктів. У сучасних системах використовуються спеціалізовані приймачі RTK-GNSS, які працюють у режимі реального часу і досягають точності в межах кількох сантиметрів за допомогою диференціальних корекцій. GNSS технології є ефективними на великих територіях і в будь-який час, хоча їх ефективність може знижуватися через вплив іоносферних і тропосферних спотворень.

Іншим сучасним методом є інтерферометрія синтетичної апертури (SAR), яка дозволяє отримувати високоточні дані про зсуви та зміни поверхні шляхом аналізу сигналів, відбитих від земної поверхні. Цей метод широко використовується для моніторингу великих територій, де традиційні методи важко застосувати, наприклад, для відстеження осідання ґрунту або деформацій в зонах впливу землетрусів. Сучасні радарні зображення, отримані з SAR, дозволяють створювати детальні карти зміщень навіть при незначних змінах, які складно зафіксувати іншими методами. SAR дозволяє проводити моніторинг навіть у важкодоступних або небезпечних місцях, що робить його дуже ефективним для геодинамічних досліджень.

Наземне лазерне сканування (TLS) та дрони з LiDAR-обладнанням стали інноваційними методами, які забезпечують надзвичайно високу точність та об'єм інформації. TLS використовується для сканування великих структур та збирання даних з мільйонів точок, створюючи тривимірну модель об’єкта. Ці дані дозволяють проводити аналіз деформацій та змін на поверхні з детальністю, недосяжною для традиційних методів. Дрони з LiDAR дають можливість знімати важкодоступні місцевості, наприклад густі ліси або круті схили, з мінімальними витратами часу та людських ресурсів. LiDAR також дозволяє проводити зйомки при різних погодних умовах та з високою точністю, що робить його ефективним для моніторингу ландшафтів та великих інфраструктурних об’єктів.

Таким чином, сучасні методи геодезичного моніторингу дозволяють не лише суттєво скоротити час проведення вимірювань, але й підвищують точність та об’єм зібраних даних. Комбінування GNSS, SAR та LiDAR дозволяє досягати комплексних результатів у складних географічних умовах, забезпечуючи високий рівень надійності та точності моніторингу. Сучасні технології дозволяють здійснювати моніторинг як природних об’єктів, так і інженерних споруд з метою забезпечення безпеки та запобігання небезпечним ситуаціям.

2.2 Види 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 проєктної документації (згідно з ДБН А.2.2-3) обсяги вишукувальних робіт розподіляють так:

– для передпроєктиих робіт, а також для розроблення ескізного проєкту (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), проєкт (П) або робочий проєкт (РП) – основні обсяги вишукувань (до ста відсотків);

– на стадії робочої документації (Р) – додаткові обсяги вишукувальних робіт за відповідного обґрунтування у технічному завданні.

У разі проєктування 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);

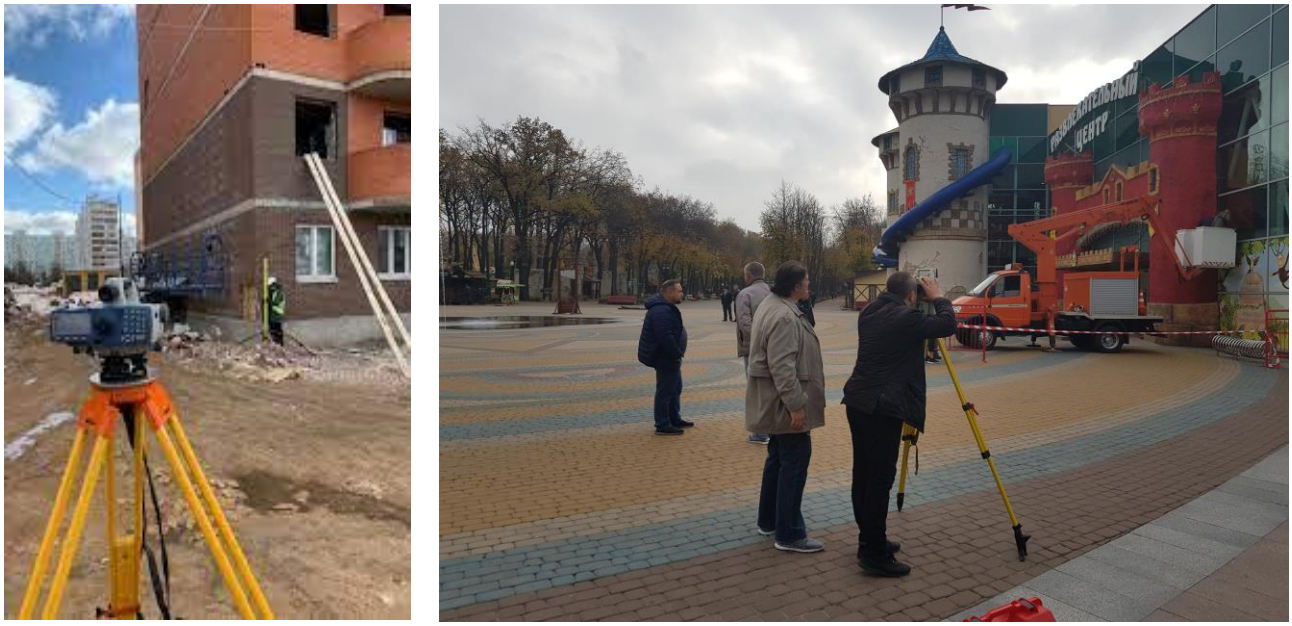
– ступінь вивченості території;

– 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.

2.3 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 (рис. 2.1). Крім них, об'єктами моніторингу деформаційного може бути різноманітне промислове обладнання (насоси, компресори, резервуари, вишки, щогли, труби та ін).



а б

Рисунок 2.1 – Геодезичний моніторинг:

а – багатоповерхової житлової будівлі на стадії будівництва; б – конструкції декоративної колони Центрального розважального парку в місті Харків

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 проєкти також зазвичай 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 проєкти 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.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке «інженерні вишукування»?
2. Вкажіть види інженерних вишукувань?
3. Що таке деформація?
4. Які бувають види деформацій будівель і споруд?
5. Причини виникнення деформацій?
6. Яким чином виконується моніторинг деформацій будівель і споруд?

ТЕМА 3 ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

План

3.1 Вимоги щодо організації та здійснення геодезичного моніторингу.

3.2 Планування робіт, розробка програми геодезичного моніторингу.

3.3 Види геодезичних моніторингових робіт та порядок їх проведення.

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 [14].

3.2 Планування робіт, розробка програми геодезичного моніторингу

Планування робіт і розробка програми геодезичного моніторингу – складний і багатокомпонентний процес, що вимагає комплексного підходу до збору, обробки та аналізу геоданих для точного виявлення та моніторингу змін у стані об’єкта. Цей процес є особливо актуальним для об’єктів, що знаходяться під впливом природних або техногенних чинників, таких як інженерні споруди, природні схили, зсувні зони, місця видобутку корисних копалин тощо. Першим і найважливішим етапом є визначення чітких цілей і завдань моніторингу: необхідно зрозуміти, які саме аспекти та показники стану об'єкта є критичними для спостереження.

Програма геодезичного моніторингу зазвичай розробляється після попереднього аналізу місцевості, що допомагає ідентифікувати потенційні ризики і характерні точки, які потребують особливої уваги. Наприклад, у випадку моніторингу висотних будівель акцент робиться на горизонтальні та вертикальні деформації, які можуть вказувати на нерівномірне осідання фундаменту. Такий аналіз дозволяє спланувати вимірювальні роботи з урахуванням специфічних характеристик об'єкта, що забезпечує високу ефективність моніторингу та знижує ризик небезпечних наслідків.

На основі отриманих даних розробляється технічне завдання, в якому детально описується методологія, обґрунтовується вибір технологій і обладнання для моніторингу. Вибір інструментів і методів залежить від багатьох факторів, зокрема від типу об'єкта, його розмірів, доступності

місцевості, кліматичних умов, а також від бажаної точності даних. Наприклад, для великих територій зручніше використовувати GNSS-технології, які дозволяють охопити значну площу за короткий час, тоді як для детального аналізу інженерних споруд доцільним є наземне лазерне сканування (TLS). У випадках складних рельєфів та густої рослинності застосування LiDAR на БПЛА може стати оптимальним рішенням.

Важливим елементом програми є визначення точок вимірювання — реперів, які слугуватимуть орієнтирами для подальшого контролю змін. Вибір і розташування реперів здійснюються таким чином, щоб забезпечити рівномірне покриття території, максимальну доступність для вимірювань і врахувати можливі напрямки деформацій. Крім того, необхідно розробити схему маршруту для обладнання, якщо застосовуються мобільні методи моніторингу, або визначити стаціонарні точки, якщо методи вимірювання передбачають постійне місцезнаходження інструментів.

Програма моніторингу також містить детальний графік робіт, що враховує сезонні фактори, кліматичні умови і можливий вплив цих чинників на точність вимірювань. Наприклад, у зонах із різкими перепадами температур необхідно враховувати можливі похибки через температурні деформації матеріалів і устаткування. Точність вимірювань особливо залежить від якості та стану обладнання, тому програма включає періодичні перевірки та калібрування інструментів, що забезпечують надійність даних.

Для забезпечення якості та достовірності результатів у програму включаються процедури контролю якості, які передбачають багатоступеневу перевірку отриманих даних, оцінку похибок і коригування результатів. Цей контроль дозволяє уникнути випадкових помилок і гарантує надійність геодезичних вимірювань. На кожному етапі моніторингу результати документуються у протоколах, що містять інформацію про всі параметри вимірювань, умови їх проведення, а також виявлені зміни у стані об’єкта.

Особливу увагу під час розробки програми моніторингу приділяють безпеці робіт. В деяких випадках, коли об’єкт або територія перебуває у

небезпечних умовах (наприклад, зони потенційних зсувів або наявності високих конструкцій), застосовують дистанційні методи, такі як GNSS або БПЛА з LiDAR, що дозволяють проводити роботи без необхідності фізичного перебування оператора на місці. Це не тільки знижує ризики для персоналу, але й підвищує ефективність моніторингу в складних умовах.

Завершальним етапом планування є розробка та узгодження програмного забезпечення для обробки й аналізу отриманих даних. Залежно від складності проєкту і типів зібраних даних обирається відповідний програмний комплекс, здатний обробляти великі обсяги інформації, аналізувати зміни у просторі та часі, а також візуалізувати результати у вигляді графіків, карт та тривимірних моделей. Ефективне програмне забезпечення дає змогу не лише вчасно виявляти зміни, але й робити прогнози щодо розвитку ситуації на основі отриманих результатів, що є важливим елементом для попередження потенційних аварій або руйнувань.

Таким чином, планування робіт і розробка програми геодезичного моніторингу — це не лише технічний, але й управлінський процес, що потребує злагодженої роботи різних спеціалістів і грамотного поєднання технологій для досягнення найвищої точності та ефективності у відстеженні змін території чи інженерних об'єктів.

3.3 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 перфоратором 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.

Запитання для самоконтролю

1. Яким чином відбувається проведення геодезичного моніторингу?
2. Які вимоги пред’являються до організації та здійснення геодезичного моніторингу.
3. Хто виконує організацію геодезичного моніторингу?
4. Визначити види геодезичних моніторингових робіт.
5. Який порядок проведення робіт з геодезичного моніторингу?
6. Наведіть приклад організації моніторингових робіт.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ГЕОДЕЗИЧНОМУ МОНІТОРИНГУ

ТЕМА 4 ПЛАНОВО-ВИСОТНА ОСНОВА ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

План

4.1 Визначення необхідності створення планово-висотного обґрунтування.

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

4.3 Вимоги до вихідної планово-висотної основи для геодезичних робіт.

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, гірничовидобувних 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 [8].

До такої геодезичної мережі належать:

– 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 тріангуляції, 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; – тріангуляційні 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, тріангуляції, трилатерації, методами геометричного нівелювання, вимоги до їх точності визначаються ДБН А.2.1-1 [2].

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

Побудова висотної геодезичної мережі – двоступенева:

І 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 репери, розміщені в сприятливих для спостережень умовах, на кожному з об'єктів, за якими ведуть спостереження, якщо це не зменшить вагу ходу.

ІІ 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 репери 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 репери (пункти). Можуть використовуватись такі репери:

– 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.

Запитання для самоконтролю

1. Причини створення планово-висотного обґрунтування.
2. Що таке «планово-висотне обґрунтування»?
3. Яким чином відбувається створення планово-висотної основи для інструментальних вимірювань при геодезичному моніторингу?
4. Які пред’являються вимоги до вихідної планово-висотної основи для геодезичних робіт?
5. Яка точність забезпечується при створенні планово-висотної основи для інструментальних вимірювань при геодезичному моніторингу?

ТЕМА 5 ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЕКЗОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ ТЕРИТОРІЙ

План

5.1 Методи геодезичного моніторингу екзогенних процесів.

5.2 Моделювання екзогенних процесів.

5.1 Методи геодезичного моніторингу екзогенних процесів

Спостереження за зсувами виконують різними геодезичними методами. Залежно від виду й активності зсуву та напрямком й швидкості його переміщення ці методи поділяють на чотири групи:

1. Осьові (одномірні), коли зсув визначають стосовно заданої лінії або осі.

2. Планові (двовимірні), коли зсув зсувних точок спостерігають за двома координатами у горизонтальній площині.

3. Висотні – для визначення тільки вертикальних зсувів.

4. Просторові (тривимірні), коли знаходять повний зсув точок у просторі за трьома координатами.

Осьові методи застосовують у тих випадках, коли напрямок зсуву відомо. До осьових відносять:

1) метод відстаней, що полягає у вимірі відстаней по прямій лінії між знаками, встановленими уздовж руху зсуву;

2) метод створів, облаштований у напрямку, який є перпендикулярним до руху зсуву;

3) променевий метод, що полягає у визначенні зсуву зсувної точки за зміною напрямку візирного променя з вихідного знаку на зсувний.

До планового належать:

1) метод прямих;

2) зворотній метод;

3) метод лінійних засічок;

4) метод полігонометрії;

5) комбінований метод

Висотні зсуви зсувних точок знаходять в основному методами геометричного та тригонометричного нівелювання. Для визначення просторового зсуву зсувних точок застосовують лазерне сканування. Спостереження за зсувами проводяться не рідше одного разу рік. Періодичність коректуються залежно від коливання швидкості руху зсуву. Вона повинна збільшуватися в періоди активізації й зменшуватися в період вгасання.

Порядок дій для боротьби з зсувними процесами:

– встановити і класифікувати за категоріями райони нестабільності ґрунту і створити детальну нестійку карту ґрунтів;

– забезпечити громадських посадових осіб, наукових робітників, науковців і викладачів методологією оцінки та визначення кількості ризику зсуву;

– забезпечити відповідною керованою стратегією ризику, включаючи ступінь ризику послаблення і запобігання зсувних процесів, таким чином допомогти громадській владі у встановленні пріоритетів у розвитку планів зсувів;

– проаналізувати фактори, що сприяють нестійкості ґрунту і розвинути модель нестабільності земної поверхні;

– підвищити інформованість місцевих людей, щодо ризику зсувів.

Таким чином, завданням моніторингу екзогенних процесів повинна бути актуальна оцінка, виявлення змін та прогнозування їх розвитку, та насамперед запобігання природним збиткам.

5.2 Моделювання екзогенних процесів

Кількісні характеристики динаміки зсувних процесів є вирішальними у розробленні методів захисту від зсувів. Здійснення спостережень на зсувних схилах забезпечує вирішення завдання із вивчення механізму та динаміки зсувного процесу.

За результатами спостережень отримують інформацію про схил у вигляді топографічних, геоморфологічних та інших планів і карт. З часом вони поновлюються та коректуються з урахуванням змін на схилах, що відбулися.

Геодинамічні спостереження дають змогу отримати геометричні параметри зміщень на зсувних схилах. Геодезичні дослідження зсувів передбачають створення геодезичної основи на зсувонебезпечних ділянках, закріплення геодезичної основи спеціальними марками та періодичні повторні вимірювання координат і висот геодезичних знаків, визначення меж та об'ємів зсувних мас, визначення величин сповзання земляних мас у плані та по висоті, швидкість та напрям зсуву.

Щоб визначити геологічні характеристики зсувних мас, у місцях закладання геодезичних марок бурять свердловини для вимірювання глибини залягання поверхні ковзання, вологості та інших характеристик ґрунтів.

Вимірювання на зсувних пунктах здійснюють сучасними електронними геодезичними приладами, ГНСС-приймачами з точністю 1-3 мм. За результатами спостережень складають картографічні матеріали, за якими розробляють відповідні протизсувні заходи. Застосування цифрового моделювання зсувних процесів дає змогу вдосконалити визначення просторово-часових характеристик зсувів.

Тривимірна модель рельєфу візуалізує рельєф, дає наочне об'єктивне його зображення. На ній добре видно основні форми рельєфу, напрямки хребтів, долин. Порівняно з картою інформативність зображення рельєфу значно вища. Окрім цього 3D-модель дає змогу отримати різні кількісні морфометричні характеристики рельєфу [15].

Карти крутизни та експозиції схилів наочно демонструють можливості цифрових моделей рельєфу та їх похідних як об'єктивних джерел інформації про рельєф, необхідної для вирішення геоморфологічних, гідрогеологічних завдань. Цифрова модель рельєфу надає багатосторонню кількісну характеристику рельєфу, а саме розподіл території за величиною кутів нахилів схилів, експозиції схилів, визначення об'ємів гірських порід, значення середніх ухилів для певної території.

З допомогою цифрової моделі рельєфу можна отримати максимальну інформацію для комплексного розв'язання геодинамічних задач на зсувах, виділити зсувні осередки, встановити лінії найбільших рухів зсувного тіла, вибрати типи захисних заходів, уточнити зони можливого розвитку сповзання схилу, оцінити ефективність протизсувних заходів.

За даними топографічного знімання зсувонебезпечного схилу з допомогою пакету програм Surfer за результатами спостережень можна створювати цифрову модель рельєфу, зображення якої наведено на рисунку 5.1. Крутизна схилу є одним з основних факторів зсувоутворення.

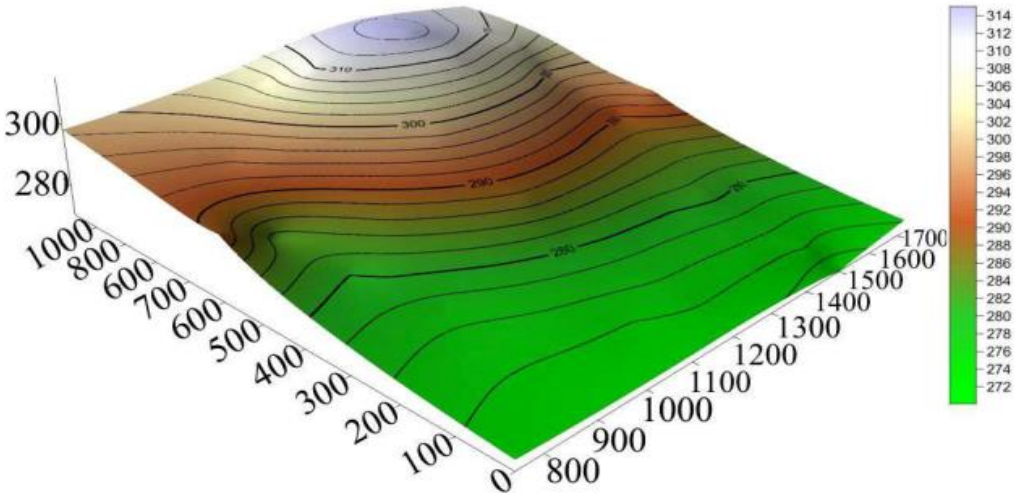


Рисунок 5.1– 3D-модель рельєфу

Тому детальний аналіз крутизни по всій площі зсувного схилу має наукове та практичне значення. Карту крутизни схилу наведено на рисунку 5.2.

За даними повторних вимірювань визначають зміщення марок у плані та по висоті. Періодичність повторних вимірювань залежить від швидкості зсуву, розміру зсувного тіла та може становити від кількох днів до тижнів або місяців.

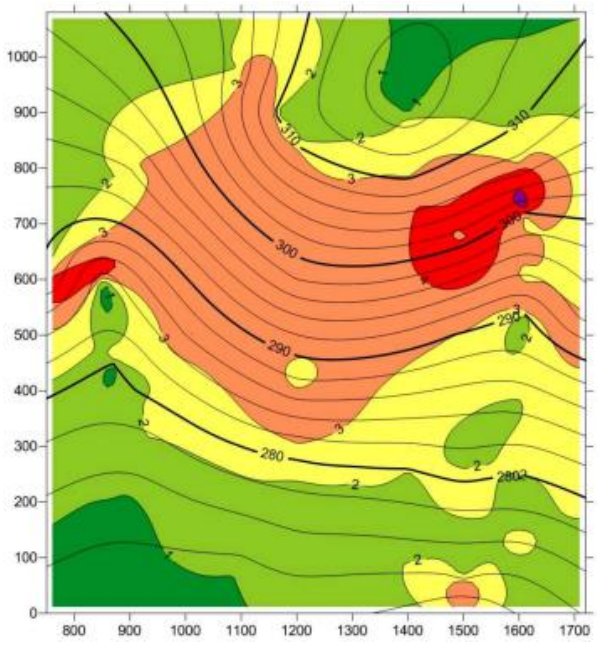


Рисунок 5.2 – Карта крутизни схилу (у градусах)

За значеннями висот та планових зміщень створюють карти зсувних зміщень. Такі параметри зсувів визначають по кожному циклу спостережень. Аналізуючи зміни величини векторного зміщення, визначають швидкість зсуву за певний час, наприклад за місяць.

На рисунку 5.3 наведено карту ізозміщень ґрунту по висоті у міліметрах. На карті позначено величину та напрям зміщення кожної марки. По марках, на яких зміщення відсутні, проходить межа зсуву. На рисунку 5.4 показано, що ґрунт з верхньої частини зсуву переміщується в нижню.

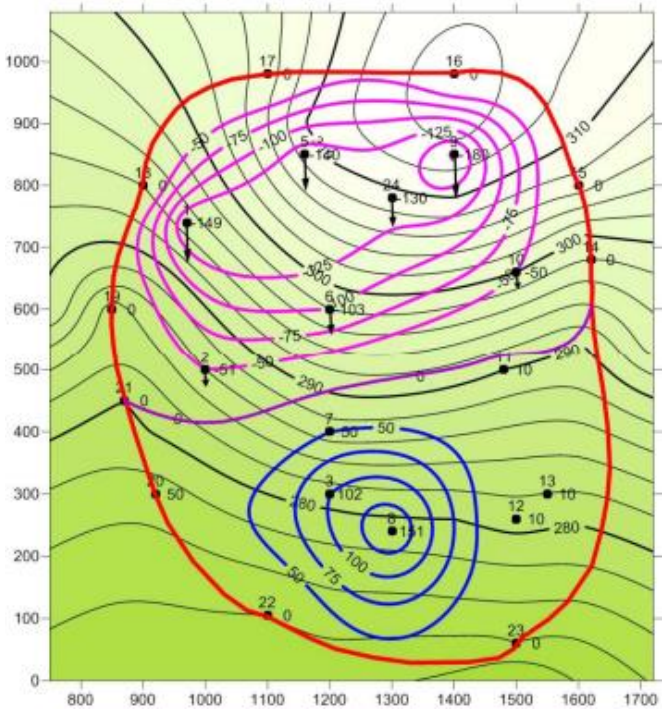


Рисунок 5.3 – Карта ізозміщень на зсувному схилі (мм)

За даними геологічних досліджень визначають поверхню ковзання та складають карту ізопотужностей зсувного тіла у метрах, за якою можна визначити його об’єм і масу (рис. 5.4).

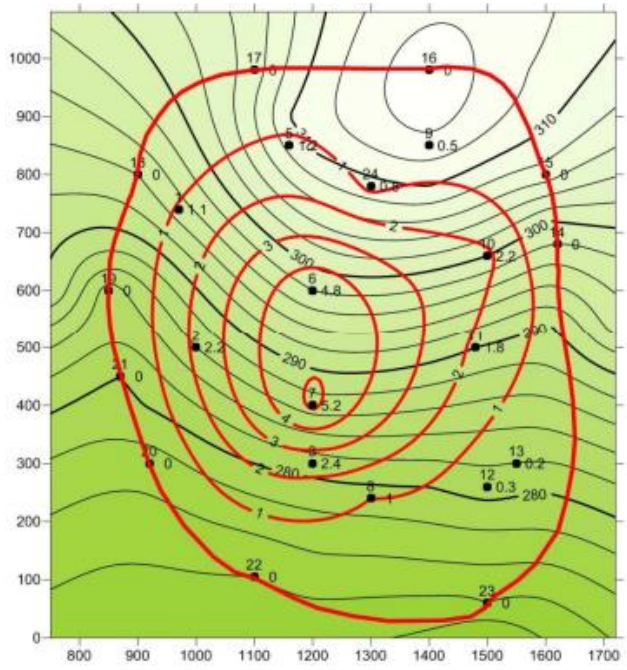


Рисунок 5.4 – Карта ізопотужностей зсувного тіла (м)

За значеннями швидкості зсуву створюють карту швидкості зсуву у мм/місяць, яку наведено на рисунку 5.5.

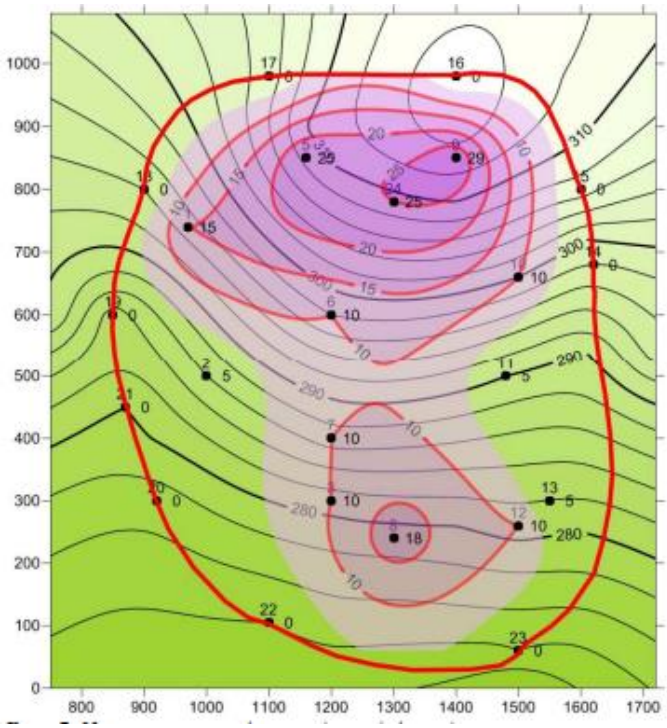


Рисунок 5.5 – Карта швидкості зсуву (мм/місяць)

Аналогічно картам швидкості складають карти напрямів зсувів. Модель зсуву може бути доповнена гідрометеорологічними, гідрогеологічними, геофізичними даними.

Оскільки перезволоження ґрунту внаслідок опадів призводить до збільшення ваги зсувного тіла, вплив цього фактору обов'язково треба враховувати. Наведені на рисунках 5.3–5.5 карти складають по кожному циклу спостережень. Порівнюючи дані з різних циклів, можна проаналізувати динаміку зсувного процесу, розробити прогноз його розвитку та запроєктувати відповідні протизсувні заходи. Наприклад, якщо внаслідок виконаних протизсувних заходів (підпірні стінки, дренаж) швидкість зсуву не зменшилась, це вказує на їх неефективність та необхідність розроблення інших заходів. І навпаки, припинення зсуву підтверджує правильність інженерних рішень. Період між циклами спостережень при цьому може збільшитись до кількох місяців. Під час збільшення швидкості зсуву період між циклами спостережень може зменшуватись до кількох днів, що означає практично безперервність вимірювань. При цьому оброблення отриманих результатів потрібно виконувати оперативно з використанням сучасних інформаційних технологій і засобів обчислення.

Отже, застосування геоінформаційних технологій для створення геодинамічних карт дає змогу підвищити об'єктивність та оперативність отримання та аналізу даних, які характеризують зсувний процес, а також якісніше та своєчасно прогнозувати розвиток зсувів та розробляти протизсувні заходи.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте визначення поняттю «екзогенні процеси».
2. Які чинники впливають на виникнення екзогенних процесів?
3. Які бувають види екзогенних процесів?
4. Які використовують методи моніторингу екзогенних процесів?
5. Розкрийте основні етапи моделювання екзогенних процесів.

ТЕМА 6 МЕТОДИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

План

6.1 Методи геодезичного моніторингу.

6.2 Геодезичний моніторинг при осіданні будівель і споруд.

6.3 Геодезичний моніторинг при відхиленні від вертикалі будівель споруд.

6.1 Методи геодезичного моніторингу

Геодезичний моніторинг ґрунтових масивів повинен забезпечувати вимоги точності, швидкості отримання інформації, детальності та достовірності [1].

Основною задачею, що стоїть перед геодезичним забезпеченням моніторингу ґрунтових масивів є забезпечення достовірної інформації про внутрішній та зовнішній стан ґрунтових масивів.

В ідеалі це може бути 3D-модель. Основними методами геодезичного моніторингу деформацій вважають:

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

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

3. Автоматизовані геодезичні комплекси (роботизовані тахеометри, датчики нахилу, датчики розкриття тріщин, електронні рівні та ін.) – призначені для моніторингу інженерних споруд безперервно та отримання інформації про переміщення онлайн.

4. Лазерне сканування (наземне, повітряне та автомобільне) – дозволяють отримати 3D-модель об‘єкта спостереження. 3D-модель містить всю інформацію про об’єкт, завдяки якій можливо швидко виявити всі дефекти та деформації. Практичне застосування наземного лазерного сканування – визначення крену будівлі, дозволяє окрім кренів визначати геометричні характеристики споруди [9].

5. GNSS-моніторинг – визначення просторового положення за допомогою супутникової навігаційної системи. GNSS-моніторинг чудово підходить для визначення координат марок, що розташовані на значній відстані.

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

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

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

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 систему вимірювань, фіксації результатів та аналітичну обробку отриманих даних. Геодезичному моніторингу, підлягають основи, фундаменти, конструкції будівель або їх частин, об’єкти нового будівництва, інженерні мережі, підземні споруди, споруди інженерного захисту територій, території та об’єкти інфраструктури, що їх оточують.

Для висотних будинків, експериментальних та складних споруд моніторинг входить до робіт з науково-технічного супроводу і є складовою частиною загального моніторингу об’єкту будівництва [16, 17]. Геодезичний моніторинг виконується геодезичними методами та приладами, або автоматизованими геодезичними комплексами.

Проєкт та програму геодезичного моніторингу розробляють відповідно до технічного завдання. Методи і вимоги до точності геодезичних вимірювань деформацій основ будівель на сьогоднішній день приймають згідно з вимогами [9].

Точність, періодичність та детальність встановлюють проєкти виконання геодезичних робіт (ПВГР), на основі даних вимог підбираються прилади та методика, що відповідатиме точності, інформативності та ряду інших факторів та умов (доступ до об’єкта, погодні, техногенні, геологічні умови) які можуть в пливати на процес моніторингу.

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

6.2 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, зокрема над землею. З цієї ж причини попередньо розмічують місця станцій, добиваючись рівності плеч [19].

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. Окрім отриманих 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. 6.1).

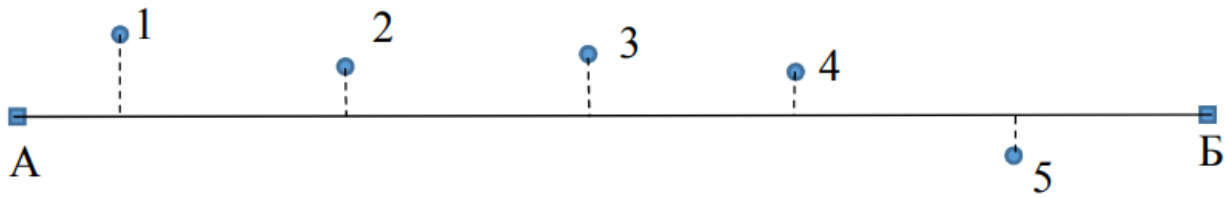


Рисунок 6.1 – Схема визначення горизонтальних зміщень методом створу

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 [18].

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

6.3 Геодезичний моніторинг при відхиленні від вертикалі будівель і споруд

При спостереженнях за кренами граничні похибки вимірювань не повинні перевищувати [18]:

– 0,00001L – для фундаментів під агрегати і машини (L – довжина фундамента);

– 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 (Jx, Jy) взаємно перпендикулярно розміщених точках (рис. 6.2).

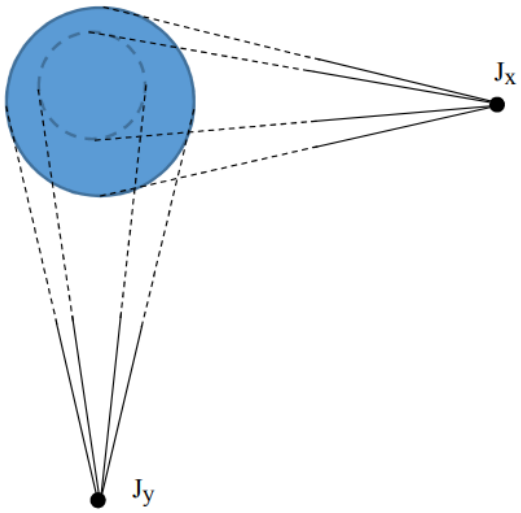


Рисунок 6.2 – Схема вимірювань крену методом нахиленого проєктування

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 [19] 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 [19].

Для спостережень за тріщинами встановлюють маяки. Маяк – це пластинка з гіпсу, алебастру чи скла, яка кріпиться поперек тріщини на обох краях її. При збільшенні тріщини маяк руйнується.

Запитання для самоконтролю

1. Які бувають методи геодезичного моніторингу?
2. Які методи геодезичного моніторингу застосовують при осіданні будівель?
3. Які методи геодезичного моніторингу застосовують при осіданні окремих споруд?
4. Дайте визначення поняттю «крен».
5. Які методи геодезичного моніторингу застосовують при відхиленні від вертикалі будівель і споруд?

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 МЕТОДИ ОБРОБКИ ДАНИХ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

ТЕМА 7 СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ ДАНИХ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

План

7.1 Особливості застосування спеціалізованого програмного забезпечення при геодезичному моніторингу.

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

7.1 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 виміряних 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 (екстенціометри);

– 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 великої 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.

7.2 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 виміряних координат точок від проєктних;

– 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.

Запитання для самоконтролю

1. Що представляє собою спеціалізоване програмне забезпечення?
2. Якими є особливості застосування спеціалізованого програмного забезпечення при геодезичному моніторингу?
3. Які програмні комплекси використовують при проведенні геодезичного моніторингу осідання будівель і споруд?
4. Які програмні комплекси використовують при проведенні геодезичного моніторингу відхилення від вертикалі будівель і споруд?
5. Які програмні комплекси використовують при проведенні геодезичного моніторингу екзогенних процесів?

ТЕМА 8 МОДЕЛЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

План

8.1 Сучасні лазерні технології для проведення геодезичного моніторингу.

8.2 Технології камерального опрацювання результатів лазерного сканування при проведенні геодезичного моніторингу.

8.3 Тривимірне моделювання об’єктів при проведенні геодезичного моніторингу.

8.1 Сучасні лазерні 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.

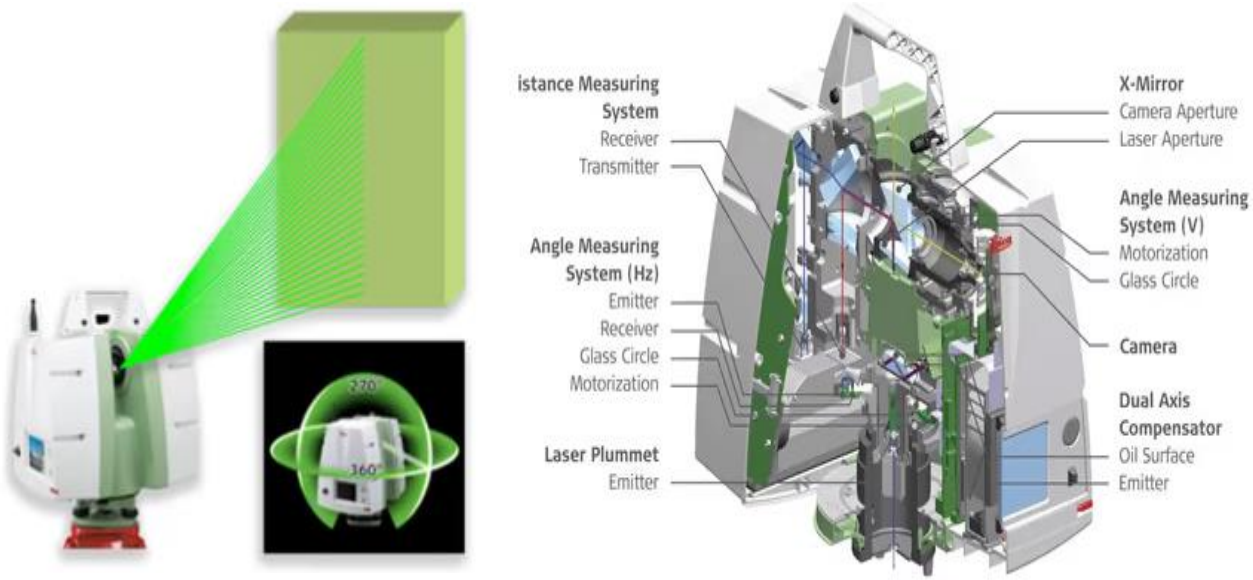
Ця технологія реалізується з допомогою спеціальних приладів – наземних лазерних сканерів, які вимірюють горизонтальні та вертикальні напрямки розповсюдження лазерного випромінювання і похилі відстані до точок об’єкту.

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. 8.1).

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.



а б

Рисунок 8.1 – 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 результати 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 більшості 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.

8.2 Технології камерального опрацювання результатів лазерного сканування при проведенні геодезичного моніторингу

Камеральне опрацювання результатів лазерного сканування під час геодезичного моніторингу — це багатоступеневий процес, який передбачає обробку, аналіз, сегментацію та візуалізацію даних, отриманих під час сканування територій або об’єктів. Цей процес розпочинається із завантаження

та попередньої обробки зібраної хмари точок. Вона містить інформацію про координати кожної точки, висоту та інтенсивність відбитого сигналу, що відображає фізичні характеристики об’єкта чи поверхні. Проте дані можуть містити шум або артефакти, спричинені перешкодами під час збору, тому першим завданням є видалення цих похибок, щоб підвищити точність аналізу.

Після очищення від шуму виконується реєстрація даних, особливо якщо сканування проводилося з різних позицій. Це дозволяє узгодити дані в єдиній системі координат і забезпечити безперервне охоплення досліджуваної території або об’єкта. Процедура реєстрації вимагає використання високоточних програм, таких як Leica Cyclone або Trimble RealWorks, які можуть зводити окремі хмари точок у цілісну 3D-модель. Реєстрація виконується автоматичними або напівавтоматичними методами, але для найточнішого зведення часто необхідне ручне коригування.

Сегментація і класифікація хмари точок є наступним етапом. Цей процес допомагає виділити різні елементи (наприклад, будівлі, дороги, природні об’єкти) на основі схожих характеристик точок. Для цього широко використовуються алгоритми машинного навчання та нейронні мережі, які здатні швидко й ефективно класифікувати об’єкти. Автоматична класифікація економить час і ресурси, особливо на великих територіях, де ручна обробка була б надто трудомісткою.

Одним із ключових етапів у камеральній обробці є порівняння хмар точок, яке дозволяє виявляти зміни у структурі об'єкта з часом. Це важливо для моніторингу деформацій або зміщень. Порівняння виконується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, що аналізує різниці в координатах між точками, зібраними в різні часові проміжки. Наприклад, для моніторингу дамб або схилів створюють карти зміщень, що дозволяють фіксувати і прогнозувати можливі руйнування.

Векторизація є ще одним важливим етапом, на якому хмара точок перетворюється на 3D-модель об’єкта або території. Це дозволяє створювати детальні цифрові моделі рельєфу (ЦМР), які використовуються для

моніторингу змін. Такі моделі відображають поверхні з високою точністю, що особливо корисно для інженерних та будівельних задач. Крім цього, векторизовані моделі можуть включати 3D-профілі, поперечні зрізи або ізолінії, що полегшують детальний аналіз стану об’єкта.

Кінцевий етап обробки включає створення звітної документації. Звіт містить карти, графіки, тривимірні моделі та таблиці, які відображають зміни у стані об’єкта. Цей процес потребує інтеграції з геоінформаційними системами (ГІС), що забезпечують доступ до даних і можливість аналізу просторових змін. Сучасне програмне забезпечення дозволяє автоматизувати частину цього процесу, надаючи можливість створювати інтерактивні звіти з візуалізацією тривимірних моделей і карт. Крім того, завдяки функціям ГІС-аналітики результати моніторингу можна інтегрувати з іншими наборами даних для глибшого аналізу.

Отже, камеральне опрацювання даних лазерного сканування охоплює багатоетапний процес, що включає обробку та очищення хмари точок, реєстрацію, сегментацію, класифікацію, аналіз змін і векторизацію. Завдяки такому підходу геодезичний моніторинг забезпечує високоточний аналіз стану об’єкта, дозволяє прогнозувати зміни і приймати обґрунтовані рішення. Це робить камеральне опрацювання незамінним у забезпеченні безпеки і стабільності різноманітних інженерних та природних об’єктів.

8.3 Моделі представлення тривимірних об’єктів при проведенні геодезичного моніторингу

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 м^2 знімальної поверхні. Приклад представлений на рисунку 8.2. 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.

Рисунок 8.2 – 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. 8.3). 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. 8.4). 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.

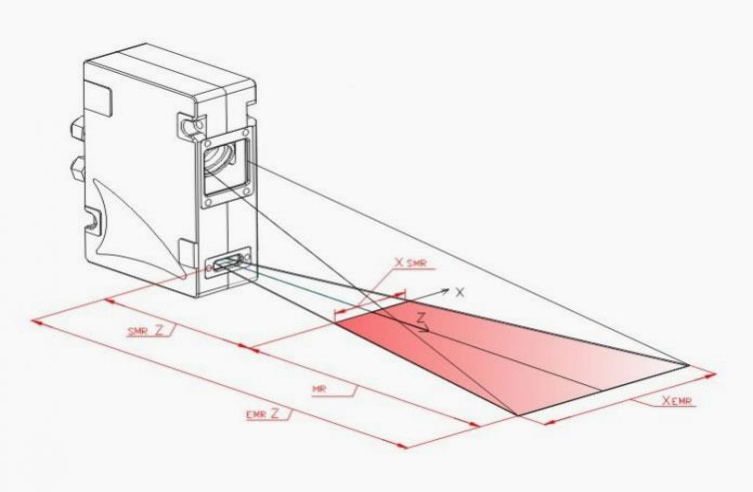


Рисунок 8.3 – Схема роботи мобільного лазерного скануючого пристрою

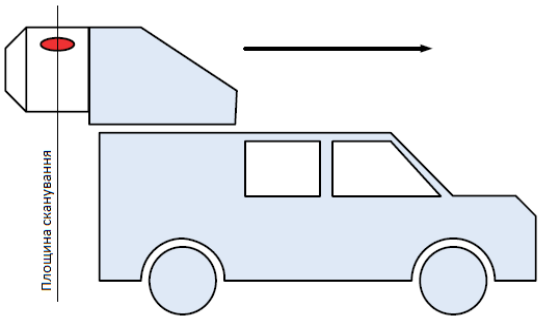


Рисунок 8.4 – Схема встановлення далекоміру на рухомій базі

Області застосування лазерного сканування

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 огороджень, інформаційних і рекламних щитів та ін. з додатком фотоматеріалів.

В дорожній галузі лазерне сканування (рис. 8.5) 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.

Рисунок 8.5 – Виконання зйомки мобільним лазерним сканувальним пристроєм

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. 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. 8.6). 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 підошви укосу та його форми.

При зйомці для проведення ремонтів покриття або виправних 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.

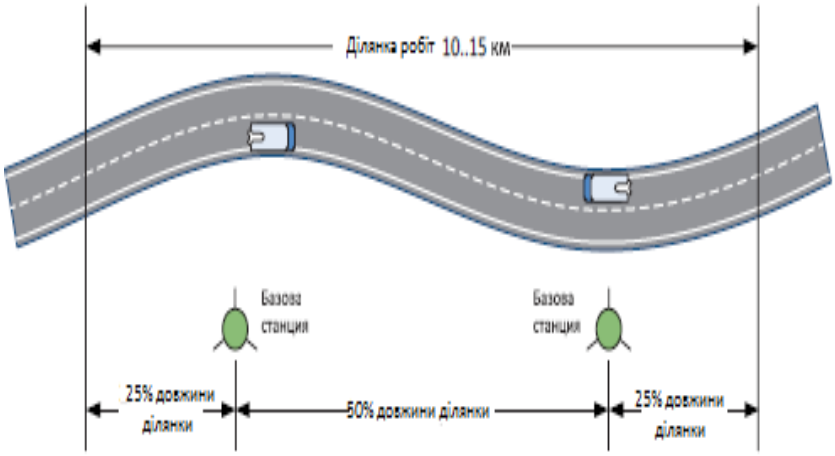


Рисунок 8.6 – Розміщення базових станцій в районі виконання сканувальних робіт

Після цього отримуємо остаточну хмару точок, яку використовуємо у потрібному програмному забезпечені 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 проєктування 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 елементам розв'язок, заїзди на майданчики та об'єкти сервісу, обгінні 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 тріангуляційної 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. 8.7) і необхідні для становлення моделі рельєфу заданої точності.

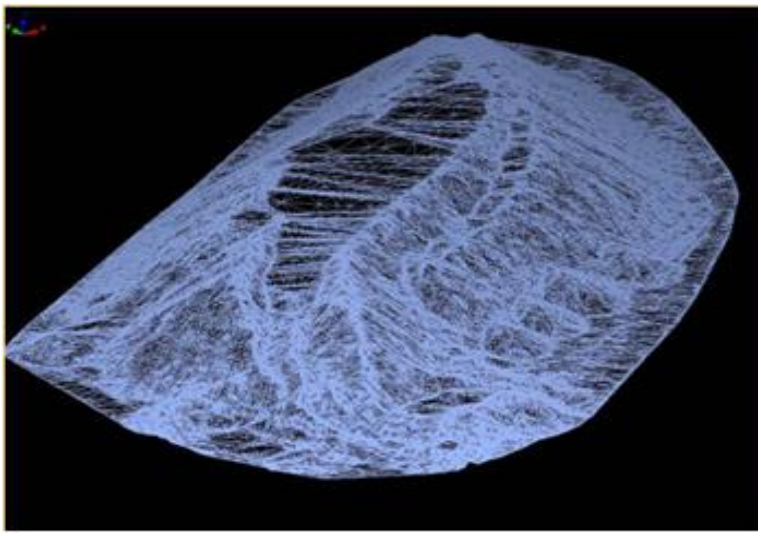


Рисунок 8.7 – Модельні точки рельєфу в загальній хмарі точок

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. 8.8). 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 створення 3D–моделі дороги. Структурні лінії дороги включають в себе осьові лінії, кромки проїжджої частини, бровки, підошви, межі укосів виїмок, насипів, контр банкетів, берм та ін.

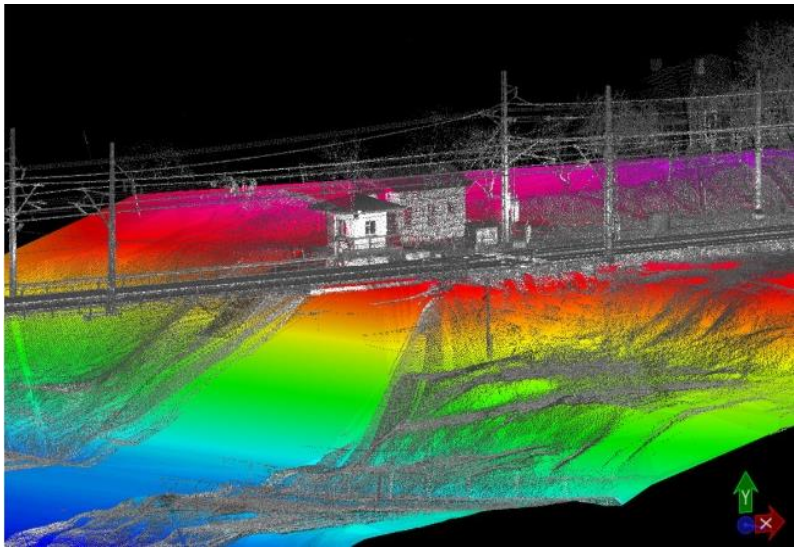


Рисунок 8.8 – Мобільні точки рельєфу в тримірному представленні

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.

Запитання для самоконтролю

1. Які лазерні технології можна використовувати при геодезичному моніторингу?
2. Які програми використовують для обробки даних геодезичного моніторингу?
3. Яким чином виконується тривимірне моделювання об’єктів за результатами проведення геодезичного моніторингу?
4. Яка точність проведення геодезичних моніторингових робіт з застосуванням лазерних технологій?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Яковенко М. О. Огляд видів геодезичного моніторингу будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах. [Електрон. ресурс] / М. О. Яковенко, С. Г. Нестеренко // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – Електрон. текст. дані. – Київ, 2020. – Вип. 55. – С. 341–350. – Режим доступу: https://doi.org/10.32347/2077-3455.2019.55.341-350, вільний (дата звернення: 31.10.2024). – Назва з екрана.

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

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

4. Електронний атлас України [Електрон. ресурс] / Інститут географії НАНУ. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: http://wdc.org.ua/atlas/default.html, вільний (дата звернення: 31.10.2024). – Назва з екрана.

5. Рудько Г. И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатих областей Украины : монография / Г. И. Рудько. – Задруга, 2006. – 624 с.

6. Закономірності розвитку поверхневих проявів карсту та селів / Е. Д. Кузьменко, О. М. Журавель, Т. Б. Чепурна, І. В. Чепурний, Л. В. Штогрин ; Національний технічний університет нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2011. – 10 с.

7. 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.

8. 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.

9. 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. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntvb_2011_2_8, вільний (дата звернення: 31.10.2024). – Назва з екрана.

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

11. 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.

12. 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.

13. Галінський О. М. Геодезичне забезпечення будівництва сьогодні. Відкриття конференції [Електрон. ресурс] / О. М. Галінський // Нові технології в будівництві. – 2011. – № 2. – С. 3. ¬ Електрон. текст. дані. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ntvb_2011_2_3, вільний (дата звернення: 31.10.2024). – Назва з екрана.

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

15. 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.

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. 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.

19. Бачишин Б. Д. Інженерна геодезія : навч. посіб. / Б. Д. Бачишин. – Рівне : НУВГП, 2020. – 196 с.

Електронне навчальне видання

НЕСТЕРЕНКО Сергій Григорович,
АФАНАСЬЄВ Олександр Валерійович

ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ, БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *О. В. Афанасьєв*

План 2024, поз. 164Л

Підп. до друку 08.11.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 5,1.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова.
вул. Чорноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.