

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування
Факультет землевпорядкування та туризму
Кафедра геодезії і геоінформатики

Кваліфікаційна (дипломна) робота

освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **«ПРОЕКТ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА
ОСІДАННЯМИ І ДЕФОРМАЦІЯМИ СПОРУД ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНА
СОКАЛЬСЬКОГО ЕЛЕВАТОРА ПП «ЗАХІДНИЙ БУГ»**

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Виконав: студент групи ЗВ-61

Смолярчук Юрій Володимирович

Науковий керівник: к.е.н., доцент

Рій Іван Федорович

Рецензент: _____

Львів 2024

РЕФЕРАТ

Проект інженерно-геодезичних спостережень за осіданнями і деформаціями споруд для зберігання зерна Сокальського елеватора ПП «Західний Буг». Смолярчук Ю.В. Кваліфікаційна магістерська робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. – Львівський національний університет природокористування, 2024.

73 с. текстової частини, 16 таблиць, 26 рисунків, 24 літературних джерела, презентація.

У магістерській роботі проаналізовано методи геодезичних вимірювань для оцінки придатності конструкцій промислових будівель як зернових елеваторів. Геодезичні спостереження виявляють осідання, зміщення та їх динаміку, включаючи вертикальні осідання, горизонтальні зміщення та крени, що виникають через нерівномірне осідання, вигини чи вплив температури й вітру. Повну оцінку кренів забезпечує спільний аналіз фундаменту й корпусу із застосуванням координатного та вертикального проектування, високоточного нівелювання, стереофотограмметрії тощо.

Геодезичний контроль охоплює перевірку відповідності проєктним вимогам і виконавче знімання, а моніторинг – вимірювання, обробку даних та автоматизовані прилади. На території Сокальського елеватора (с.м.т. Жвирка) значних деформацій не виявлено. Методом геометричного нівелювання зафіксовано рівномірне осідання 0,5 мм на місяць, що не виявляється методом ТПС через нижчу точність. Моніторинг рекомендовано проводити щомісяця під час будівництва для підтвердження розрахунків.

Ключові слова: ДЕФОРМАЦІЇ, ОСІДАННЯ, ЕЛЕКТРОННИЙ ТАХЕОМЕТР, ЗМІЩЕННЯ, ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ЗМІЩЕННЯМИ І ДЕФОРМАЦІЯМИ СПОРУД	7
1.1 Загальні відомості про деформації інженерних споруд	7
1.2 Методи спостереження за осіданням споруди	9
1.3 Способи визначення горизонтальні зміщення інженерних споруд	13
2 СТВОРЕННЯ ВИСОТНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ОСНОВИ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ОСІДАННЯМИ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД СОКАЛЬСЬКОГО ЕЛЕВАТОРА	25
2.1 Характеристика об'єкту	25
2.2 Характеристика висотної основи	26
2.3 Розрахунок точності висотної основи	29
2.4 Вирівнювання висотної основи	30
2.5 Стабільність реперів висотної основи їх аналіз та оцінка на території Сокальського елеватора	36
3 ОЦІНКА ТОЧНОСТІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І ВИМІРЮВАНЬ ЗА ОСІДАННЯМИ ТА ДЕФОРМАЦІЯМИ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД	42
3.1 Методика розрахунку точності спостережень	42
3.2 Розрахунок інтервалів між спостереженнями та їх точність	47
3.3 Математичне опрацювання результатів	51
4 ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ	66
ВИСНОВКИ	70
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	71

ВСТУП

У сучасних умовах відновлення України особливу важливість має забезпечення елеваторів і зерноховищ, що вимагає від проєктувальників інноваційних інженерних рішень. Інженери використовують сучасні ресурсоощадні методи для проєктування несучих та огорожувальних конструкцій, зокрема під час реконструкції будівель. Однак часто бракує технічних умов і технологічних карт для створення нових конструкцій, що підкреслює значущість проведених досліджень. Під час виконання вимірювань деформацій та осідань інженерних споруд активно застосовують геодезичний супровід, який дозволяє виконувати дистанційне знімання відліків. Тому дослідження й розробка підходів до геодезичних вимірювань інженерних споруд залишаються актуальними.

Метою магістерської роботи є аналіз методів геодезичних вимірювань конструкцій промислових будівель із визначенням можливості їх використання як елеваторів для зберігання зерна. Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання: • проаналізувати методи геодезичних спостережень за деформаціями й зміщеннями споруд; • оцінити можливість експлуатації промислових будівель; • систематизувати та оформити результати досліджень.

Об'єктом дослідження є можливість використання елеватора для зберігання зерна, а предметом – методи геодезичних вимірювань інженерних споруд.

Для виконання завдань застосовано комплексні методи теоретичних і експериментальних досліджень: системний і порівняльний аналізи, прямий структурний аналіз, моделювання, а також методи математичної статистики для обробки даних.

Практична значущість роботи полягає у підтвердженні можливості експлуатації інженерних споруд для зберігання зерна на основі геодезичних спостережень, зокрема для Сокальського елеватора.

Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і бібліографічного списку.

1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ЗМІЩЕННЯМИ І ДЕФОРМАЦІЯМИ СПОРУД

1.1 Загальні відомості про деформації інженерних споруд

Через конструктивні особливості, природні умови та вплив людської діяльності споруди і їхні елементи зазнають різних деформацій. Деформація означає зміну форми об'єкта, а в геодезії — зміну його положення відносно початкового стану. Спостереження за осіданнями, зсувами та деформаціями важливі для оцінки стійкості споруд, запобігання їх руйнуванню та виявлення аварійних ситуацій. Ці спостереження проводять із початку будівництва, застосовуючи точні геодезичні вимірювання. Осідання споруди викликане стисканням ґрунту під її вагою й припиняється з часом.

Мета геодезичного моніторингу — визначити кількісні геометричні параметри (вертикальні та горизонтальні переміщення, швидкість, напрямок) і прогнозувати розвиток деформацій. Нерівномірне осідання ґрунту може викликати крени, прогини, перекоси, скручування або навіть руйнування споруд. Просторові зміни положення будівель поділяють на горизонтальні зсуви та вертикальні осідання. Геодезичні спостереження визначають зміщення, їх динаміку в часі та аналізують причини деформацій. Для складних об'єктів моніторинг починають на стадії проектування, враховуючи природні фактори та встановлюючи опорні знаки для контролю стійкості. Особливу увагу приділяють аналізу зсувів, переміщень, тріщин і деформацій інженерних споруд.

Практичне значення таких спостережень полягає в:

- визначенні ліній максимальних зміщень для запобігання деформаціям;
- мікрорайонуванні територій для планування;
- уточненні зон подальшого розвитку деформацій;
- аналізі співвідношень між повільними та швидкими зміщеннями;
- прогнозуванні періодів активізації деформацій.

Контроль стану споруд розпочинається з початком будівництва, триває під час зведення й за потреби продовжується в період експлуатації. Тривалість моніторингу залежить від типу споруди й умов: його завершують після стабілізації стану або ведуть протягом усього використання споруди.

Для спостережень використовують вимірювальну мережу з геодезичних знаків:

- **Репер** — стабільний пункт нівелірної мережі, що зберігає висоту;
- **Марка** — закріплений на споруді знак, чутливий до змін висоти й положення через деформації;
- **Опорний знак** — нерухомий у горизонтальній площині, застосовується для фіксації зсувів і кренів.

Репери бувають глибинними (у щільних шарах ґрунту) і ґрунтовими (нижче рівня промерзання). Геодезичні знаки, розміщені на споруді та навколо неї, формують оглядову й опорну мережі, що об'єднуються через геодезичні вимірювання.

Геодезичний моніторинг включає:

1. Вибір методів і періодичності вимірювань;
2. Розроблення схеми використання мереж;
3. Проектування та закладання знаків;
4. Проведення вимірювань для створення опорної мережі (тріангуляція, нівелювання тощо);
5. Визначення переміщень, нахилів і параметрів тріщин.

Крім геодезичних робіт, досліджують фізико-механічні властивості ґрунтів, режими ґрунтових вод, напругу під фундаментом і температурні зміни. Періодичні спостереження виконують за календарним планом (систематичні), а при різкій зміні умов (наприклад, землетрус чи зміна навантаження) — термінові. Для виявлення причин деформацій організовується додатковий моніторинг стану ґрунтів, підземних вод, температури споруди, метеоумов і змін навантаження.

1.2 Методи спостереження за осіданням споруди

Для спостереження за деформаціями здебільшого застосовують традиційні геодезичні методи. Однак визначення характеристик деформацій такими методами у міських умовах є складним завданням. Зазвичай моніторинг здійснюється з використанням кількох підходів. Відповідно до ДБН [8], для аналізу динаміки виконуються такі заходи:

- спостереження за переміщенням робочих знаків на поверхні з подальшим розрахунком векторів і швидкостей зміщення;
- вимірювання зміщень ґрунту на різних глибинах;
- фіксація тріщин і контроль їх розвитку;
- аналіз деформацій інженерних споруд.

Геодезичні спостереження проводяться в певних точках, частина з яких розташована на прилеглих стабільних ділянках. Точки закріплюються за допомогою спеціальних знаків, які поділяються на нерухомі (репери) та рухомі (деформаційні марки й зсувні точки). Опорні нерухомі репери слугують для встановлення приладів, інші виконують роль орієнтирів. Геодезичні методи спостереження класифікують залежно від характеру, інтенсивності деформацій, а також напрямку й швидкості переміщень на чотири групи (рис. 1.1):

- осьові (одновимірні): визначення положення точок відносно заданої лінії чи осі;
- планові (двовимірні): визначення координат точок у горизонтальній площині;
- висотні: фіксація вертикальних переміщень;
- просторові (тривимірні): визначення повного зсуву точок у просторі за трьома координатами.

Осьові методи застосовують, коли напрямок руху відомий. Вони включають:

- метод відстаней (вимірювання відстаней між знаками уздовж напрямку руху);
- метод створів (обладнаних перпендикулярно до напрямку руху);

- променевий метод (визначення зміщень за зміною напрямку візирного променя між опорним і робочим знаками).



Рис. 1.1 Геодезичні методи спостереження

Планові методи охоплюють прямі, зворотні, лінійні засічки, полігонометрію та комбіновані методи, що об'єднують вимірювання напрямків, кутів, відстаней і відхилень.

Висотні переміщення визначають переважно методами геометричного та тригонометричного нівелювання. Просторові переміщення встановлюють за допомогою фототеодолітного знімання, наземного лазерного сканування, електронної тахеометрії та GPS-методів, які нині є найактуальнішими.

Під час вимірювань визначають вертикальні переміщення (осідання, просідання, підйоми) та горизонтальні переміщення (зміщення). Для вертикальних переміщень застосовують фотограмметричний, гідростатичний, мікронівелювання, геометричний і тригонометричний методи нівелювання. Найуніверсальнішим є періодичне високоточне геометричне нівелювання геодезичних марок (рис. 1.2).

Осадочні марки та репери встановлюють у конструкцію споруди, починаючи з фундаменту. Марки з напівсферичною головкою розміщують уздовж осей фундаментів для визначення прогинів і перекосів у різних напрямках.

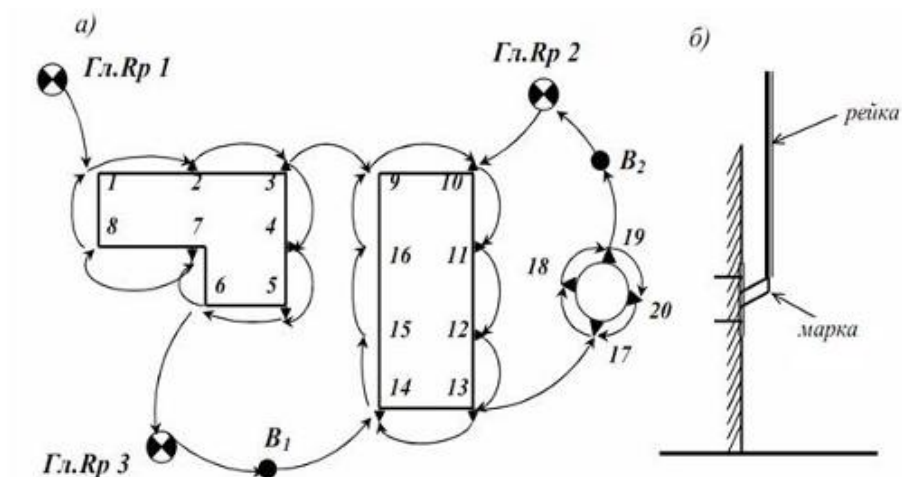


Рис. 1.2 Схема нівелірних ходів (а), конструкція марки в стіні будівлі (б).

Геометричне нівелювання використовується для визначення різниць висот між точками на відстані 5–10 м із точністю 0,05–0,1 мм, а на кількاسот метрів — до 0,5 мм. Залежно від необхідної точності осідань, застосовуються різні класи нівелювання. Для бетонних гребель гідровузлів використовують нівелювання II та I класів із похибкою перевищення на одну станцію 0,3 і 0,4 мм відповідно. У промисловому та цивільному будівництві переважно застосовуються II та III класи, де похибки становлять 0,4 і 0,9 мм відповідно.

Висотні позначки деформаційних точок у вимірювальному циклі визначають відносно вихідного репера, позначку якого зазвичай умовно приймають, наприклад, як 100,000 м. Ця позначка залишається сталою протягом усього періоду спостережень. Для передавання позначок на деформаційні реperi створюється спеціальна схема (рис. 1.2).

Вимірювання виконуються відповідно до класу нівелювання, з використанням відповідних методик і приладів. У високоточному нівелюванні застосовуються нівеліри типу Н-05, інварні рейки або спеціальні малогабаритні моделі. Нівелір встановлюють між точками, а відліки виконують за основною та додатковою шкалами рейок. Вимірювання проводяться при двох положеннях горизонту приладу, у прямому та зворотному напрямках. Довжина візирного променя не повинна перевищувати 25 м, а його висота над поверхнею має бути не меншою за 0,5 м.

Роботи виконуються за сприятливих умов видимості з чітким зображенням штрихів рейок, із дотриманням запобіжних заходів для забезпечення точності. На основі отриманих даних визначають позначки марок, абсолютне осідання S_i (мм), швидкість осідання v (мм/рік) і будують графіки осідань (рис. 1.3).

$$S_i = N_i + N_{i-1}$$

де S_i – абсолютне осідання споруди, мм;

N_i , N_{i-1} – позначки марки в наступному і попередньому циклах, м.

$$v = \frac{S_i}{T},$$

де v , швидкість осідання споруди, мм/рік;

$S_{сер}$ – середнє осідання споруди за період спостереження Θ .

Якщо значення знаходиться в межах 1-2 мм / рік, вважають що положення споруди стабільне.

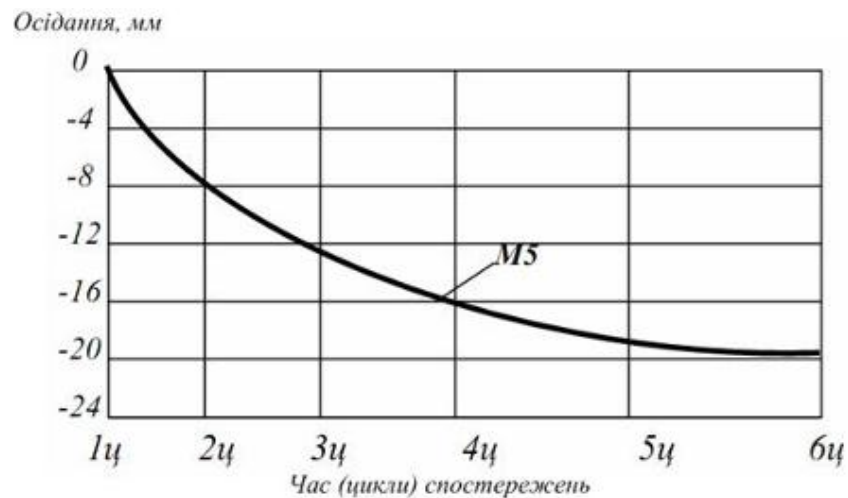


Рис. 1.3 Стінна марка М5 та її осідання за період спостережень

Метод тригонометричного нівелювання дозволяє визначати осідання точок, розташованих на кардинально різних висотах, що знаходяться у важкодоступних місцях. Його застосовують для спостережень за високими будівлями, вежами, греблями та вимірювань через перешкоди. Найвища точність — до 0,1 мм — досягається на коротких відстанях (до 100 м) за допомогою високоточних теодолітів типу ЗТ2 і спеціальної методики, яка забезпечує вимірювання зенітних відстаней із похибкою 5". Цей метод вимагає однотипного встановлення

тахеометра в усіх циклах, дотримання вертикального положення рейок, оптимального часу й умов спостережень для мінімізації впливу вертикальної рефракції та інших заходів для зменшення похибок. Відстані до точок вимірюють із похибкою 3-5 мм.

Метод мікронівелювання застосовується здебільшого для контролю взаємного висотного положення близько розташованих точок на відстанях 1–1,5 м, наприклад, під час вивчення осідань і нахилів конструкцій (фундаментів, балок, ферм, обладнання). Вимірювання здійснюють за допомогою мікронівеліра.

Забезпечує точність, подібну до геометричного нівелювання, спосіб гідронівелювання та дозволяє створювати автоматизовані стаціонарні системи з зніманням даних дистанційно. Системи для гідростатичного нівелювання різняться залежно від умов робіт, потрібної точності та способу вимірювання рівня рідини. Найпростіші системи, які застосовуються на гідротехнічних спорудах, складаються з металевих труб, з'єднаних шлангами, та марок із втулками для переносного вимірювального інструмента. Контакт із рідиною визначається за допомогою мікрометра, а при прив'язуванні до нівелірної мережі використовують нівелірну рейку. Автоматизовані системи можуть визначати зміни рівня рідини в посудинах за допомогою електричних чи оптико-електронних датчиків.

Фотограмметричний метод передбачає використання фототахеометра для зйомки об'єкта. Визначення деформацій, включно з осіданнями, проводять шляхом порівняння координат точок споруди, зафіксованих на фотознімках початкового й наступного циклів. Деформації визначають у вертикальній площині, паралельній площині знімка. Зйомку виконують із однієї точки зі сталим положенням фотокамери. Для обчислення деформацій, окрім координат або паралаксу, потрібно знати відстань до об'єкта та фокусну відстань об'єктива.

1.3 Способи визначення горизонтальні зміщення інженерних споруд

Спостереження виконуються в наступній послідовності:

1. Розроблення програми вимірювань (проекту).

2. Вибір місця розташування для конструкції та встановлення вихідних геодезичних знаків планово-висотної мережі.

3. Виконання висотної, планової прив'язки визначених вихідних (початкових) геодезичних знаків.

4. Установлення робочих знаків.

5. Приладове визначення величини вертикальних і горизонтальних переміщень.

6. Опрацювання та аналіз результатів геодезичних спостережень.

Початкове положення знаків слід визначати за середнім арифметичним значенням із двох серій спостережень, які проводяться до початку робіт. Розрив між двома серіями спостережень не повинен перевищувати трьох днів. Подальші спостереження мають проводитися з інтервалом, встановленим залежно від прогнозованої швидкості зміщень. В процесі вимірювань контролюється стабільність знаків планово-висотної мережі в кожному циклі спостережень. Вимірювання переміщень виконуються протягом всього періоду будівництва і в період експлуатації до досягнення умов стабілізації.

Геодезичні роботи для визначення горизонтальних зміщень виконуються за такою послідовністю:

1. Розробка програми спостереження, визначення методів та необхідного обладнання.

2. Розміщення геодезичних опорних та контрольних пунктів спостереження. Опорні пункти закладаються та закріплюються поза межами потенційних зон зміщення ґрунтів. Перед кожним циклом спостережень їх ретельно перевіряють.

3. Організація геодезичних спостережень і опрацювання результатів. Для вимірювання горизонтального зміщення споруд застосовують такі методи:

- створні спостереження,
- триангуляційний метод,
- фотограмметричний метод.

Створний метод. Створний метод (четвертні створи, рухлива марка, малі кути, послідовні та часті створи, повний створ, напівствори) застосовуються для аналізу деформацій споруд (прямолінійної форми), коли достатньо знати зміщення в одному напрямку. Систему координат повертають так, щоб вісь ординат відповідала напрямку зміщень, а вісь абсцис — створу. Зміщення визначають як різницю ординат, обчислених у двох циклах.

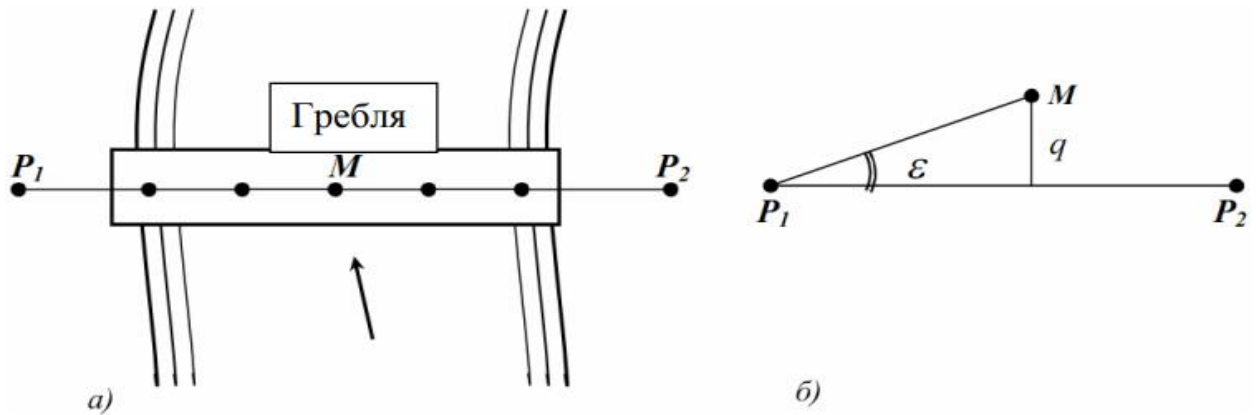


Рис. 1.4 Створний методом: а) спосіб рухливої марки; б) спосіб малих кутів

Основний принцип способу рухливої марки полягає у напрямленні візирної осі інструмента до створа P_1 - M - P_2 . Зсув марки зі створом визначається зміною створних кутів високоточних теодолітів або за допомогою відлікового приладдя на марці. При вимірюванні малого кута (рис. 1.4, б), горизонтальне зміщення q розраховується за формулою.

$$q = d \frac{\varepsilon''}{\rho''},$$

де d – відстань від геодезичного пункта до марки, м;

ε'' - вимірний з точністю до $\pm 1''$ створний кут. В способі послідовних створів (рис. 1.5, а) необхідне визначення нестворностей $\Delta_1 = q_1$ точки Т1 від створа P_1P_2 , Δ_2 точки Т2 від створа $1P_2$, Δ_3 точки Т3 від створа $2P_2$ і т. д. Тоді нестворність q_2 будь-якої i -ї точки відносно загального створа та відомої відстані S буде визначатись за формулою:

$$q_i = q_{i-1} \frac{S_{i-P_2}}{S_{(i-1)-P_2}} + \Delta_i,$$

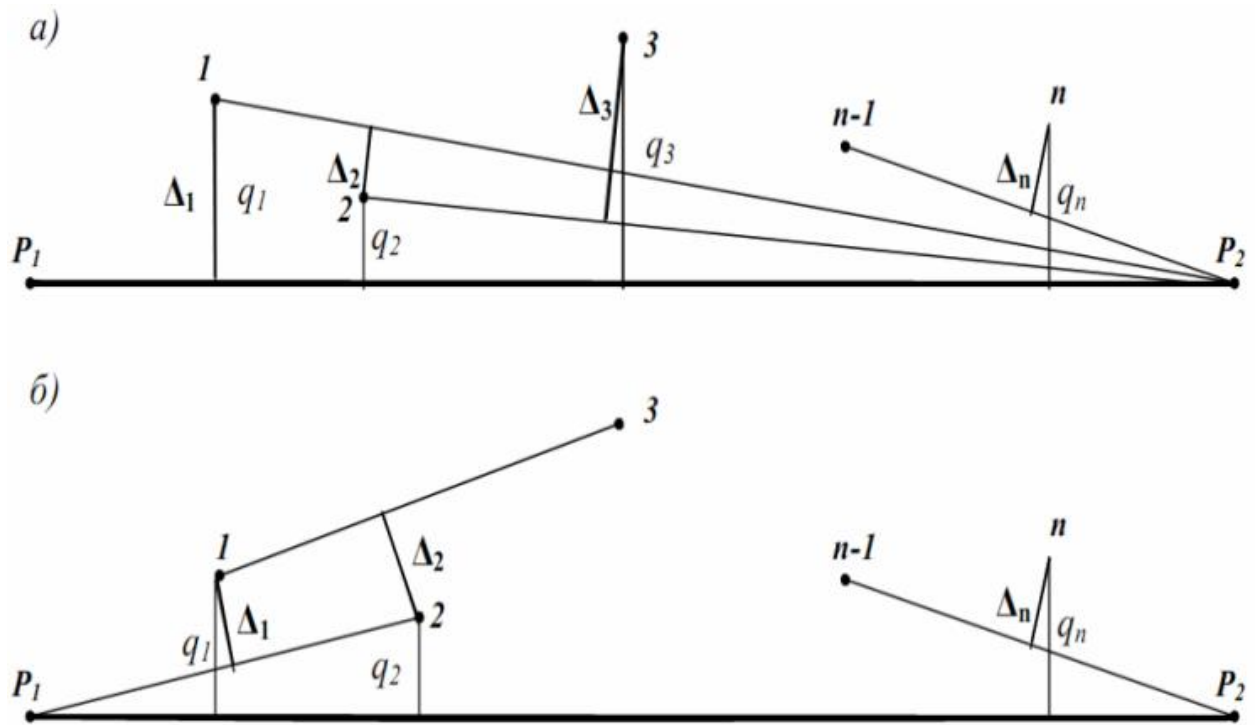


Рис. 1.5 Зміщення споруд: а) визначення за методом послідовних; б) окремих створів.

В способі окремих створів (рис. 1.5, б) нестворність Δ_1 точки Т1 визначається від створа 1-2, точки Т2 від створа 1-3, точки Т3 від створа 2-4 і т. д. В цьому випадку нестворність q_i будь-якої i -ї точки відносно загального створа може бути визначена за формулою:

$$q_i = q_{i-1} \frac{S_{i-(i+1)}}{S_{(i-1)-(i+1)}} + q_{i-1} \frac{S_{(i-1)-i}}{S_{(i-1)-(i+1)}} + \Delta_i,$$

Метод триангуляції використовують, коли неможливо створити прямолінійні створи (рис. 1.6). Суть методу полягає у визначенні координат пунктів 1, 2, 3 на споруді через засічки з тригонометричних пунктів А, В, С. Порівнюючи координати, обчислюють лінійні зміщення точок споруди. Горизонтальні кути вимірюють із точністю $\pm 0,5-0,7''$. Горизонтальні зміщення визначають як різницю координат між i -м та початковим циклами. Цей метод складний і потребує значних обчислень. Для деформацій великих гідротехнічних споруд застосовують комбінований спосіб спостережень: зміщення точок фіксують створами, а стійкість опорних точок контролюють тригонометричним способом із пунктів мережі.

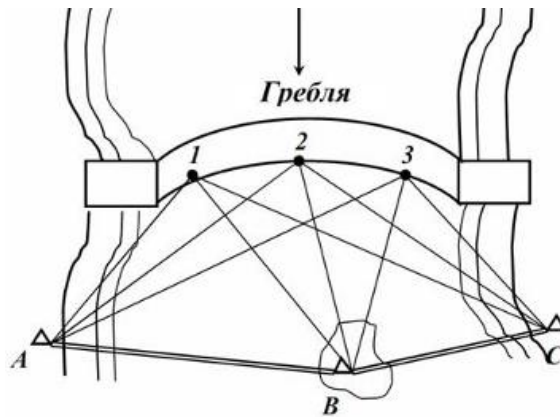


Рис.1.6 Горизонтальне зміщення споруди визначене методом тріангуляції А, В, С опорні пункти ; 1, 2, 3 геодезичні марки.

Крени належать до типових деформацій, властивих спорудам баштового типу. Вони можуть виникати через нерівномірне осідання конструкції, а також через вигини чи нахили верхньої частини, спричинені однобічним температурним нагріванням або вітровим тиском. Для отримання детальної інформації про крени й вигини необхідно здійснювати комплексний моніторинг фундаменту та корпусу споруди. Вимірювання кренів і осідань виконуються згідно з технічним завданням, яке розробляє проєктна організація. У цьому завданні визначаються необхідна точність, схема розташування візирних і осадкових марок, періодичність спостережень і вимоги до геодезичної мережі. На основі технічного завдання геодезична служба складає проєкт виконавчих робіт, що включає розрахунок точності вимірювань, вибір методів і приладів, план геодезичної мережі, перелік необхідного обладнання, календарний план робіт і кошторис.

Для визначення кренів використовуються різні методи, серед яких координатний метод, вимірювання горизонтальних кутів, малих кутів, вертикальне проєктування, зенітні відстані або високоточне нівелювання. На практиці перевагу зазвичай надають першим чотирьом методам завдяки їхній точності, надійності та доступності. Координатний метод вважається найбільш універсальним, оскільки передбачає визначення координат пунктів спостереження у заданій системі. Ці координати визначають шляхом інтеграції пунктів спостереження в геодезичну мережу, створену навколо споруди. Розташування пунктів повинно забезпечувати

їхню стабільність, можливість спостереження за спорудою не менше ніж на $\frac{3}{4}$ її висоти та оптимальну геометрію засічки.

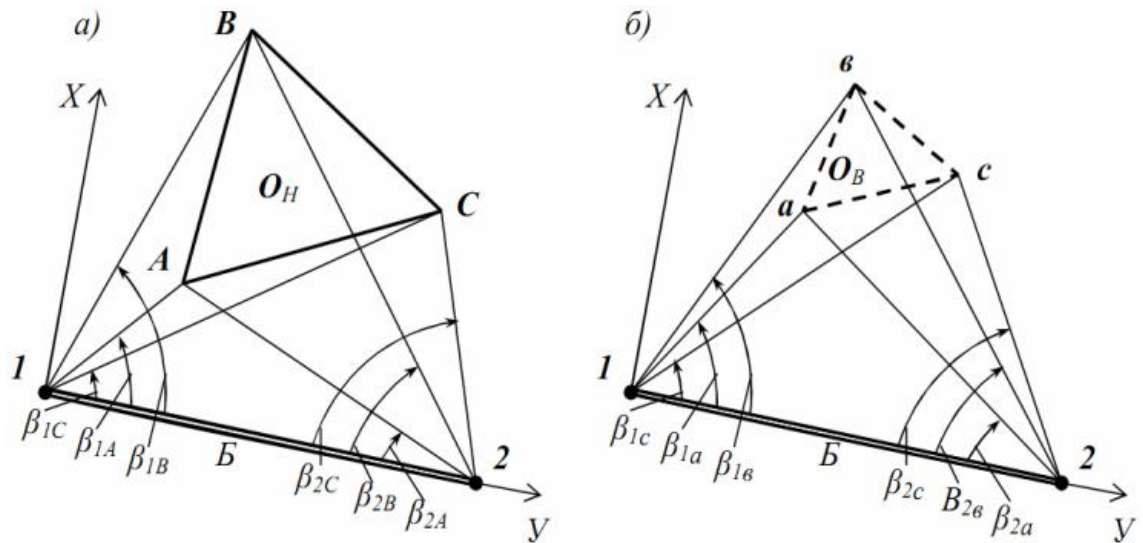


Рис.1.7 Схеми до визначення координат а) нижніх та б) верхніх точок споруди трикутної форми

Частота виконання спостережень залежить від інженерно-геологічних умов, стану споруди та темпів стабілізації осідання основи. Зазвичай протягом року проводять щонайменше три цикли спостережень. У рамках координатного методу під час кожного циклу визначають координати верхнього перерізу споруди, а на початку – і нижнього, використовуючи метод прямокутних засічок з трьох-чотирьох пунктів спостереження. Для споруди з основою у вигляді трикутника визначають координати вершин верхнього і нижнього трикутників, а також їх ортоцентрів, що дозволяє отримати необхідні дані для аналізу крену.

Теодолітні станції 1 і 2 розташовують довільно, але на відстані не менш ніж у півтори-два рази більшу за висоту споруди, забезпечуючи видимість нижніх точок ABC та верхніх авс, а також кути в межах $30\text{--}120^\circ$. З цих точок за допомогою тахеометра вимірюють горизонтальні кути β_{1C} , β_{1A} , β_{1B} та β_{2C} , β_{2A} , β_{2B} для нижніх точок ABC, а також β_{1c} , β_{1a} , β_{1b} і β_{2c} , β_{2a} , β_{2b} для верхніх точок авс. Розрахунки здійснюють в умовно обраній системі координат: вісь X є перпендикулярною до базису 1–2, вісь Y збігається з його напрямком, початок координат знаходиться в точці 1 з координатами (0; 0), а точка 2 має координати

(0; Б). У цій системі координат положення вершин споруди з трикутною основою визначають за відповідними формулами.

$$X_A = \frac{B \sin \beta_{2A} \sin \beta_{1A}}{\sin(\beta_{1A} + \beta_{2A})}, X_B = \frac{B \sin \beta_{2B} \sin \beta_{1B}}{\sin(\beta_{1B} + \beta_{2B})}, X_C = \frac{B \sin \beta_{2C} \sin \beta_{1C}}{\sin(\beta_{1C} + \beta_{2C})}$$

$$Y_A = \frac{B \sin \beta_{2A} \cos \beta_{1A}}{\sin(\beta_{1A} + \beta_{2A})}, Y_B = \frac{B \sin \beta_{2B} \cos \beta_{1B}}{\sin(\beta_{1B} + \beta_{2B})}, Y_C = \frac{B \sin \beta_{2C} \cos \beta_{1C}}{\sin(\beta_{1C} + \beta_{2C})}$$

$$X_a = \frac{B \sin \beta_{2a} \sin \beta_{1a}}{\sin(\beta_{1a} + \beta_{2a})}, X_{\epsilon} = \frac{B \sin \beta_{2\epsilon} \sin \beta_{1\epsilon}}{\sin(\beta_{1\epsilon} + \beta_{2\epsilon})}, X_c = \frac{B \sin \beta_{2c} \sin \beta_{1c}}{\sin(\beta_{1c} + \beta_{2c})},$$

$$Y_a = \frac{B \sin \beta_{2a} \cos \beta_{1a}}{\sin(\beta_{1a} + \beta_{2a})}, Y_{\epsilon} = \frac{B \sin \beta_{2\epsilon} \cos \beta_{1\epsilon}}{\sin(\beta_{1\epsilon} + \beta_{2\epsilon})}, Y_c = \frac{B \sin \beta_{2c} \cos \beta_{1c}}{\sin(\beta_{1c} + \beta_{2c})}.$$

В рівносторонніх трикутниках ABC та abc координати ортоцентрів O_H , O_B знаходять за формулами:

$$X_{O_H} = \frac{X_A + X_B + X_C}{3}, \quad Y_{O_H} = \frac{Y_A + Y_B + Y_C}{3},$$

$$X_{O_B} = \frac{X_a + X_{\epsilon} + X_c}{3}, \quad Y_{O_B} = \frac{Y_a + Y_{\epsilon} + Y_c}{3}.$$

За координатами ортоцентрів O_H , O_B та вершин ABC , abc шляхом розв'язання обернених геодезичних задач знаходять значення крену K та його напрям $tg\alpha$.

$$tg\alpha = (Y_{O_B} - Y_{O_H}) / (X_{O_B} - X_{O_H}),$$

$$K = \sqrt{(X_{O_B} - X_{O_H})^2 + (Y_{O_B} - Y_{O_H})^2}.$$

Метод горизонтальних кутів включає визначення складових абсолютного крену та його величини на першому етапі, а також обчислення змін крену на наступних етапах. Це здійснюється на основі вимірювань горизонтальних напрямків до центрів верхнього та нижнього середніх перерізів на першому етапі і до центру верхнього середнього перерізу на наступних етапах, де напрямки утворюють пряму кутову засічку. Метод передбачає спостереження за верхньою точкою В споруди з двох закріплених на місцевості геодезичних пунктів 1 і 2 у двох взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 1.8).

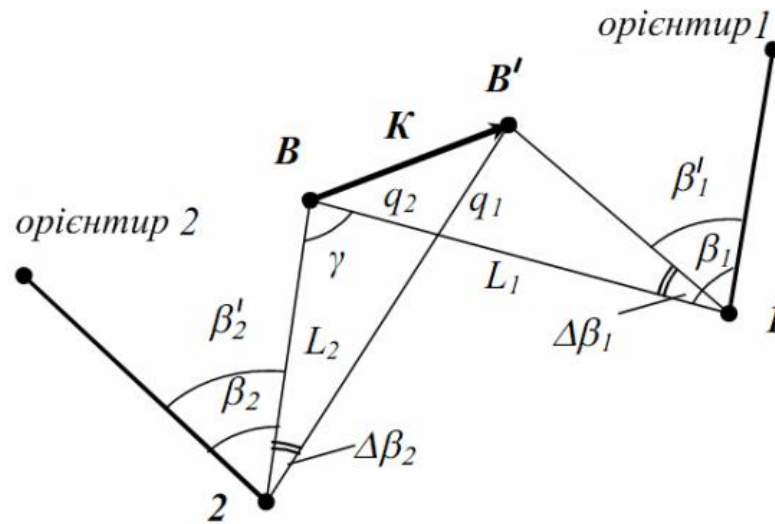


Рис.1.8 Схема до визначення кренів способом горизонтальних кутів

У першому циклі виконують вимірювання горизонтальних кутів β_1 та β_2 на точку В, а в другому циклі повторюють ці вимірювання, визначають різниці, обчислюють прирости крену та його загальну величину К за відповідними формулами.

$$q_1 = \frac{\Delta\beta_1'' L_1}{\rho''}, \quad q_2 = \frac{\Delta\beta_2'' L_2}{\rho''}, \quad K = \sqrt{q_1^2 + q_2^2},$$

L_1 і L_2 – це горизонтальні відстані від опорних точок до точки спостереження В, які можна визначити графічно за планом, виміряти безпосередньо на місцевості, встановити за допомогою прямої кутової засічки з опорних пунктів або розрахувати розв'язанням прямої геодезичної задачі (в метрах). Якщо кут засічки відрізняється від 90° , значення крену слід обчислювати за формулою:

$$K = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{q_1^2 + q_2^2 - 2q_1 q_2 \cos \gamma}.$$

Метод малих кутів базується на вимірюванні невеликих горизонтальних кутів між напрямками на центр найнижчого пояса та центр верхнього пояса з кожного з 3–4 пунктів спостереження. Розглянемо цей метод на прикладі башти трикутної форми (рис. 1.9).

З точок Т1, Т2, Т3, що знаходяться на відстанях S_1, S_2, S_3 від башти, виміряно невеликі горизонтальні кути $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, які описують лінійні зсуви q_1, q_2, q_3 верхніх точок відносно осей споруди. Ці зсуви можна обчислити за формулою:

Величину повного крену знаходять за формулою

$$K = \sqrt{q_1^2 + q_2^2},$$

де, q_1, q_2 – вектори крену з пунктів Т1 та Т2, які визначені за формулою:

$$q = q' \left(1 + \frac{l}{L} \right)$$

де q' – відлік по рейці, мм,

L – відстань від тахеометра до рейки, м,

l – відстань від рейок до точок візування (рис. 1.11), м.

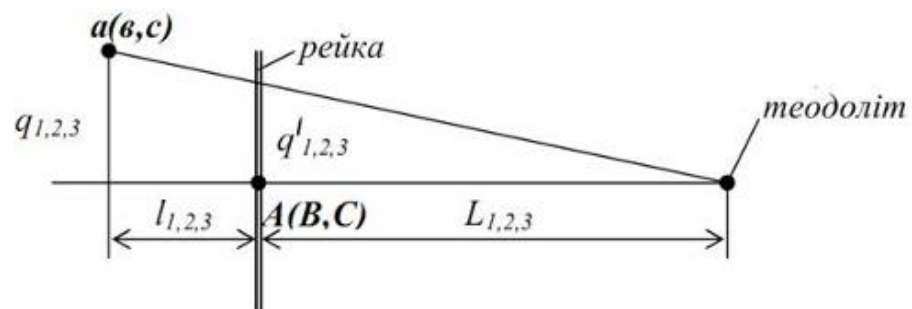


Рис. 1.11 Спосіб вертикального проектування

У методі зенітних відстаней для визначення крену труби на продовженні двох взаємно перпендикулярних діаметрів обраного цокольного діаметра встановлюють чотири кронштейни з пристроями примусового центрування. Осі обертання теодолітів повинні розташовуватися на однаковій відстані від поверхні споруди. Для квадратних і прямокутних споруд маркування та встановлення кронштейнів виконують на діагоналях і в центрах сторін верхнього та цокольного перерізу. З кожного кронштейна визначають малу зенітну відстань до марки.

Метод високоточного нівелювання базується на геометричному або гідростатичному нівелюванні марок осідання. Принцип розташування марок аналогічний методу зенітних відстаней. У кожному циклі проводять високоточне нівелювання, використовуючи не менше трьох реперів, закладених поза зоною осідання. Цей метод дозволяє визначати лише приріст або зміщення крену між спостереженнями, але не його абсолютну величину, тому він використовується для контролю.

Метод напрямку з одного пункту дозволяє визначати складові крену за осями умовної системи координат. Центр системи збігається з центром цокольного перерізу, а ордината спрямована на лінію “пункт спостереження – центр цоколя” (рис. 1.12). Використовуючи електронні тахеометри, що відображають просторові координати, у точці 1 визначають координати X і Y_4 точки 4, обчислюють різницю координат, визначаючи крен і його напрямок.

Метод фотограмметрії передбачає визначення різниці координат точок споруди, отриманих з фотознімків нульового циклу та наступних спостережень. Для цього встановлюють марки, виконують фотографування з незмінним положенням і орієнтацією камери, щоб забезпечити сталість розташування знімків у просторі.

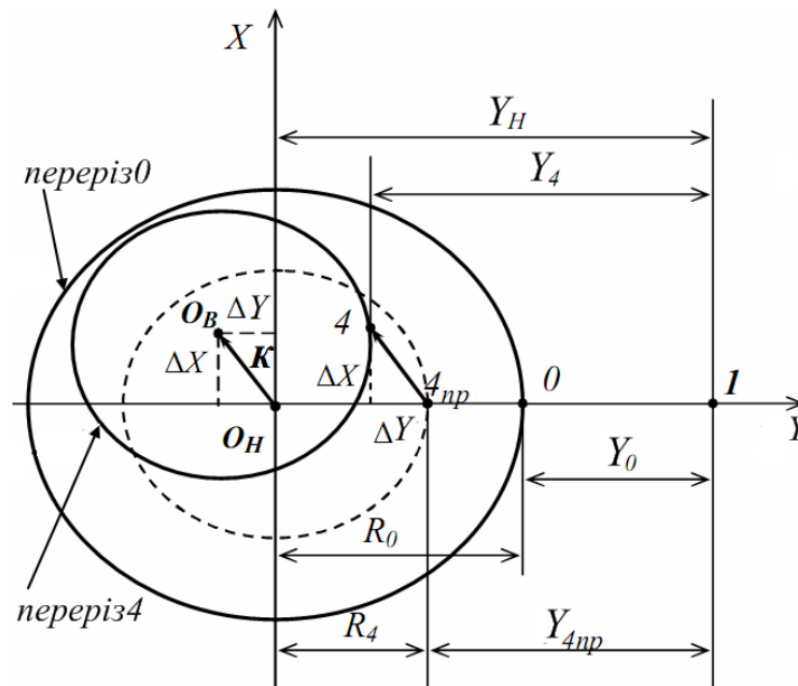


Рис. 1.12 Спосіб напрямку з одного пункту

Визначення стану об'єкта залежить від внутрішніх і зовнішніх елементів орієнтування. Внутрішніми елементами є, зокрема, фокусна відстань f фотокамери та координати x_0 і z_0 головної точки O на знімку, які визначають положення задньої вузлової точки об'єктива відносно знімка. Зовнішні елементи включають лінійні (координати X_s , Y_s , Z_s – центр об'єктива в системі координат XYZ) та кутові (кут повороту знімка навколо осей X , Y , Z) параметри, що визначають просторове положення знімка. Для топографічної зйомки використовують фототеодоліти,

стереофотограмметричні та вимірювальні камери. Фототеодоліт — це комбінований пристрій, що об'єднує тахеометр і фотокамеру, забезпечуючи точне розташування оптичної осі камери в просторі й належне встановлення площини знімка під час зйомки. Фототеодоліти класифікуються за форматом кадру (6×9 , 10×15 , 13×18 , 18×24 тощо), фокусною відстанню, кутом поля зору та іншими характеристиками. Існують фотограмметричний і стереофотограмметричний методи для оцінки деформацій. Перший застосовують для визначення деформацій в одній площині, а другий – у будь-якому напрямку. У стереофотограмметричному методі об'єкт знімають із двох точок (базис В), створюючи пару зміщених знімків.

2 СТВОРЕННЯ ВИСОТНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ОСНОВИ ДЛЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ОСІДАННЯМИ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД СОКАЛЬСЬКОГО ЕЛЕВАТОРА

2.1 Характеристика об'єкту

Елеватор ПП «Західний Буг» є підрозділом аграрної компанії, що займається вирощуванням, зберіганням та реалізацією зернових, технічних і кормових культур. Розташований у смт. Жвирка, Львівська область. Потужність зберігання — 48 тис. тонн. Тип зберігання: металеві силоси (20 тис. т) і навалом (28 тис. т). Є обладнання для сушіння, очищення, зважування, транспортування та завантаження/відвантаження зерна. Продукція: кукурудза, горох, соя, ріпак.

Досягнення:

- Відкриття агрохімічної лабораторії (2011), насінневого заводу (2013), складів силосного зберігання (2015, 2017).
- Перехід на ресурсозберігаючу технологію безвідвального обробітку ґрунту (2016).
- Впровадження сучасного програмного забезпечення.

Компанія заснована у 2003 році. Обробляє 32 тис. га землі, працює близько 400 працівників. Основні напрямки: агровиробництво, зберігання та торгівля зерном, виробництво кормів, аграрні послуги.

Група компаній «Західний Буг» спеціалізується на вирощуванні, зберіганні та реалізації зернових і технічних культур, продажі й обслуговуванні сільгосптехніки. Підприємство обробляє 65 тис. га землі у Львівській, Чернівецькій, Тернопільській та Волинській областях.

Основні напрями діяльності:

- Землеробство: вирощування пшениці, ячменю, кукурудзи, ріпаку, сої та цукрових буряків.
- Тваринництво: молочне стадо близько 1 тис. голів.
- Насінництво: насінневий завод у Бродах із потужністю 160–180 т/добу.

- Елеватори: 5 комплексів загальною потужністю зберігання 135 тис. тонн.
- Ремонт техніки: обслуговування сільгосптехніки в західних областях України.

- Агрономічні послуги: лабораторія для аналізу ґрунтів і насіння.

«Сокальський елеватор» модернізовано в 2021 році. У 2023 році відкрито новий елеватор у Тернопільській області. Планується запуск млина та макаронної фабрики в Збаражі. Група інвестувала понад 100 млн грн у реконструкцію елеваторів.

2.2 Характеристика висотної основи

Для контролю осідань інженерних споруд створюють мережу опорних реперів. Основна вимога до знаків вихідної висотної основи — збереження та стабільність їхнього висотного положення протягом усього періоду спостережень [15].

Репери поділяються на глибинні, стінні та ґрунтові, фундаментальні, пальові, залежно від призначення і точності спостережень. Вихідні репери (глибинні, фундаментальні) мають залишатися незмінними, а робочі (польові, стінні, ґрунтові) повинні бути стабільними лише під час спостережень. Їх розміщують зручним для доступу способом, подалі від динамічних впливів, а ґрунтові репери закладають на глибину понад 1,85 м і нижче рівня промерзання. Стінні репери встановлюють у капітальних будівлях, а пальові — використовують для програм нівелювання II та I класів.

На території елеватора створено мережу з 18 глибинних реперів. Реперна труба, виготовлена з труб діаметром 89 – 168 мм, з'єднаних муфтами, заповнюється цементом або бітумом для довговічності. Верхній кінець труби захищено колодязем і сферичною металевією головкою, стійкою до окислення. Для запобігання корозії й пошкодження реперну трубу покривають бітумом, а діафрагми захищають від прогинів. Колодязь заповнюють тирсою з бітумом або сухим шлаком для додаткового захисту.

Розташування реперів визначають залежно від геології, топографії та організації виробництва. Глибинні репери закладають за межами зони тиску від споруди, на глибину нижче межі стискання ґрунту, часто групами для взаємного контролю.

Локальна висотна основа на території Сокальського елеватора включає 18 глибинних реперів, зокрема три куці: №1 (Гр 01, Гр 03), №2 (Гр 08, Гр 09, Гр 10), №3 (Гр 13, Гр 14, Гр 15). Вони разом із іншими реперами формують висотну мережу з чотирьох полігонів, яка рівномірно охоплює майданчик комбінату. Схема мережі подана на рис. 2.1 із позначенням полігонів, реперів, довжин ходів (l_i) і перевищень (h_i).

В табл. 2.1 наведені довжини нівелірних ходів між глибинними реперами.

Таблиця 2.1.

Віддаль між глибинними реперами вихідної висотної основи

Хід	L ходу, км	Хід	L ходу, км	Хід	L ходу, км
l_1	0,031	l_8	0,633	l_{15}	0,838
l_3	0,647	l_{10}	0,032	l_{17}	0,047
l_2	0,631	l_9	0,749	l_{16}	0,039
l_5	0,321	l_{12}	1,189	l_{19}	0,465
l_4	0,618	l_{11}	0,036	l_{18}	0,498
l_7	0,616	l_{14}	1,024	l_{21}	0,591
l_6	0,821	l_{13}	0,587	l_{20}	1,641

У таблиці 2.2 наведені відстані між вузловими реперами, які будуть використані для виконання попереднього розрахунку точності висотної основи.

Таблиця 2.2.

Віддаль між вузловими реперами вихідної висотної основи

Хід	L ходу, км	Хід	L ходу, км
L_{13-16}	0,6	L_{16-08}	0,9
L_{12-08}	1,1	L_{05-08}	1,7
L_{13-15}	2,2	L_{16-05}	0,8
L_{13-12}	2,7	L_{12-16}	1,0

2.3 Розрахунок точності висотної основи

Клас висотної основи, створений на промислових територіях, забезпечує точні висотні позначення марок і реперів, необхідні для важливих робіт, таких як прокладання самотоків каналізаційних колекторів, розмічування висотних точок для прецизійних споруд і спостереження за осіданнями будівель. Вихідна висотна основа на території Сокальського елеватора створювалася нівелюванням другого класу. Для попереднього розрахунку точності вільних нівелірних мереж часто використовують метод послідовних наближень. У цій нівелірній мережі необхідно оцінити точність визначення висот вузлових точок, таких як Гр 03, Гр 12, Гр 16, Гр 05 і Гр 08. Для цього, у першому наближенні, знайдемо очікувані середні квадратичні помилки для всіх ходів від вихідних точок з індексом "і" до кожної вузлової точки з індексом "к". Помилки m_{ik} обчислюються за формулою.

$$m_{ik}^2 = \eta^2 L_{ik} + \sigma^2 L_{ik}^2, \quad (2.1)$$

Коефіцієнт впливу випадкових помилок η для II-го класу нівелювання дорівнює 2 мм на 1 км ходу, а коефіцієнт впливу систематичних помилок σ для II-го класу нівелювання дорівнює 0,4 мм на 1 км ходу. Довжина ходу L_{ik} визначає ваги при визначенні положення певної вузлової точки k по кожному ходу.

$$P_{ik} = \frac{c}{m_{ik}^2}, \quad (2.2)$$

Знайдемо суму ваг для точки k в першому наближенні $(P_k)_{I \text{ набл}}$, а потім СКП визначення її положення за формулою, де c коефіцієнт, який дорівнює 1, 10, 100, 1000.

$$(m_k^2)_{I \text{ набл}} = \frac{c}{(P_k)_{I \text{ набл}}}. \quad (2.3)$$

На кожному наступному кроці під час руху від вузлових точок k враховуються помилки m_k цих точок, отримані в попередньому наближенні. Загальна помилка M_{ik} на кроці i_k визначається як сума цих помилок.

$$M_{ik}^2 = m_{ik}^2 + m_k^2. \quad (2.4)$$

Розрахунок триває до тих пір, поки значення помилок для однієї й тієї ж вузлової точки у двох останніх наближеннях не стануть практично однаковими. Використання методу послідовних наближень для оцінки точності нівелірної мережі дозволяє визначити середню квадратичну помилку висот кожної вузлової точки щодо суміжних вузлів, а не вихідних пунктів. Це важливо для забезпечення необхідної точності висотного розміщення під час будівництва на промислових майданчиках і спостережень за осіданнями інженерних об'єктів. Попередній розрахунок точності методом послідовних наближень для вихідного висотного обґрунтування представлений у таблиці 2.3.

Остаточні результати для кожного з п'яти вузлових реперів попереднього розрахунку точності наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4.

Результати вихідної нівелірної мережі II класу попереднього розрахунку точності

№ вузлового репера	СКП висоти очікувані, мм
Гр 03	1,61
Гр 12	1,61
Гр 16	1,22
Гр 05	1,63
Гр 08	1,54

Таблиця 2.4 показує, що точність визначення висотного положення вузлових реперів повинна бути високою. Аналіз та оцінка стабільності реперів вихідної висотної основи, створеної на території елеватора, повинні бути виконані якісно, ретельно і з максимальною точністю.

2.4. Вирівнювання висотної основи

Після кожного циклу спостережень виконувалось вирівнювання нівелірної мережі способом полігонів [4], запропонованим Поповим В.В. Цей спосіб простий і водночас строгий. Для вирівнювання нормальні рівняння отримують безпосередньо з схеми мережі, не складаючи умовних рівнянь. Спочатку складають схему мережі та визначають кількість умовних рівнянь.

Таблиця 2.3.

Нівелірна мережа II класу. Попередній розрахунок точності визначений методом вузлів

№ вузлової точки	№ вихідної точки	L, км	P_{i_k}	$m_{i_k}^2$	I набл		II набл		III набл		IV набл	
					$M_{i_k}^2$	P_{i_k}	$M_{i_k}^2$	P_{i_k}	$M_{i_k}^2$	P_{i_k}	$M_{i_k}^2$	P_{i_k}
03	05	2.21	10.43	9.58	11.42	8.74	12.09	8.29	12.03	8.33	12.06	8.29
	16	0.61	40.66	2.47	3.28	30.47	3.73	26.83	3.88	25.93	3.89	25.73
	12	2.71	8.36	11.98	13.84	7.26	14.29	7.01	14.44	6.94	14.49	6.92
				59.43	1.69	2.17	46.53	2.39	42.13	2.41	41.16	2.44
12	03	2.71	8.36	11.98	13.66	7.34	14.13	7.09	14.36	6.98	14.41	6.95
	16	1.01	24.05	4.15	4.97	20.09	5.44	18.41	5.57	17.99	5.60	17.88
	08	1.12	21.78	4.58	6.18	16.17	6.66	15.05	6.81	14.65	6.87	14.59
				54.19	1.86	2.31	43.58	2.48	40.55	2.51	39.62	2.55
16	03	0.61	40.66	2.47	4.15	24.16	4.62	21.68	4.82	20.71	4.90	20.46
	05	0.82	30.30	3.31	5.14	19.50	5.81	17.25	5.72	17.46	5.80	17.28
	08	0.92	26.81	3.71	5.36	18.77	5.77	17.28	5.97	16.77	6.01	16.68
	12	1.01	24.05	4.16	6.02	16.65	6.45	15.49	6.64	15.09	6.69	14.96
				12.19	0.83	1.28	79.05	1.41	71.69	1.44	70.02	1.43
05	03	2.21	10.41	9.58	11.26	8.88	11.73	8.54	11.95	8.39	12.01	8.34
	16	0.82	30.32	3.33	4.13	24.28	4.58	21.89	4.71	21.29	4.74	21.15
	08	1.73	13.78	7.28	8.87	11.28	9.33	10.74	9.48	10.55	9.55	10.48
				54.52	1.86	2.51	44.44	2.45	41.15	2.47	40.21	2.51
08	16	0.91	26.84	3.74	4.56	21.97	5.01	20.01	5.12	19.50	5.17	19.39
	05	1.73	13.78	7.27	9.08	11.01	9.77	10.26	9.70	10.33	9.76	10.27
	12	1.12	21.78	4.58	6.45	15.54	6.88	14.54	7.07	14.17	7.12	14.05
				62.38	1.61	2.07	48.52	2.24	44.78	2.28	43.98	2.30

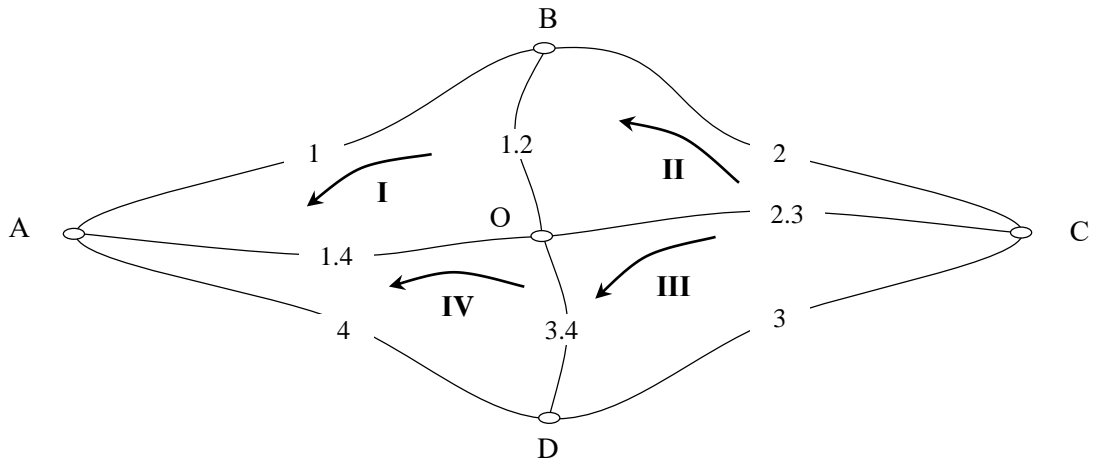


Рис. 2.4. Для прикладу вирівнювання вільної нівелірної мережі

Розглянемо вільну мережу з 4 полігонів (рис. 2.4). Для кожного полігону складаються нормальні рівняння згідно з напрямками ходів, і обчислюються нев'язки: f_1, f_2, f_3 і f_4 для полігонів I, II, III і IV відповідно. Довжини ланок $AB = S_1, BC = S_2, CD = S_3, AD = S_4; AO = S_{1.4}, BO = S_{1.2}, CO = S_{2.3}, DO = S_{3.4}$. Відповідно до цього, V_1, V_2, V_3 і V_4 – поправки на 1 км ходу в полігонах I, II, III і IV. Тоді для даної мережі отримаємо такі рівняння

$$\left. \begin{aligned} (S_1 + S_{1.2} + S_{1.4})V_1 + f_1 &= 0; \\ (S_2 + S_{1.2} + S_{2.3})V_2 + f_2 &= 0; \\ (S_3 + S_{2.3} + S_{3.4})V_3 + f_3 &= 0; \\ (S_4 + S_{3.4} + S_{1.4})V_4 + f_4 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.8)$$

Оскільки полігони суміжні, то в кожному полігоні поправку на весь периметр слід зменшити на величини поправок, які припадають на відповідні суміжні ланки: в I-му полігоні на величину $S_{1.2}V_2$ і $S_{1.4}V_4$, в II-му - $S_{1.2}V_1$ і $S_{2.3}V_3$, в III-му - $S_{2.3}V_2$ і $S_{3.4}V_4$ і в IV-му - $S_{1.4}V_1$ і $S_{3.4}V_3$. Ці поправки для суміжних полігонів на загальну ланку мають протилежні знаки відповідно до напрямку ходу. Якщо ввести ці поправки у відповідні рівняння системи (2.8), то одержимо рівняння в такому вигляді

$$\left. \begin{aligned} (S_1 + S_{1.2} + S_{1.4})V_1 - S_{1.2}V_2 - S_{1.4}V_4 + f_1 &= 0; \\ (S_2 + S_{1.2} + S_{2.3})V_2 - S_{1.2}V_1 - S_{2.3}V_3 + f_2 &= 0; \\ (S_3 + S_{2.3} + S_{3.4})V_3 - S_{2.3}V_2 - S_{3.4}V_4 + f_3 &= 0; \\ (S_4 + S_{3.4} + S_{1.4})V_4 - S_{1.4}V_1 - S_{3.4}V_3 + f_4 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.9)$$

які перепишемо таким чином

$$\left. \begin{aligned} N_1 V_1 - S_{1,2} V_2 - S_{1,4} V_4 + f_1 &= 0; \\ -S_{1,2} V_1 + N_2 V_2 - S_{2,3} V_3 + f_2 &= 0; \\ -S_{2,3} V_2 - S_{3,4} V_4 + N_3 V_3 + f_3 &= 0; \\ -S_{1,4} V_1 - S_{3,4} V_3 + N_4 V_4 + f_4 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.10)$$

Нехай $N1=S1+S1.2+S1.4$, $N2=S2+S1.2+S2.3$, $N3=S3+S2.3+S3.4$, $N4=S4+S3.4+S1.4$

Розв'язавши рівняння (2.10), знайдемо поправки $V1, V2, V3, V4$ на 1 км зовнішнього ходу для кожного полігону. Для пояснення отримання поправок на суміжні ланки ходу розкриємо дужки рівнянь (2.11) та згрупуємо члени з однаковими позначеннями.

$$\left. \begin{aligned} S_1 V_1 + S_{1,2} (V_1 - V_2) + S_{1,4} (V_1 - V_4) + f_1 &= 0; \\ S_2 V_2 + S_{2,3} (V_2 - V_3) + S_{1,2} (V_2 - V_1) + f_2 &= 0; \\ S_3 V_3 + S_{3,4} (V_3 - V_4) + S_{2,3} (V_3 - V_2) + f_3 &= 0; \\ S_4 V_4 + S_{1,4} (V_4 - V_1) + S_{3,4} (V_4 - V_3) + f_4 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

Значення поправок, вказаних у дужках, є поправками на 1 км ходу відповідних ланок полігонів. Отримуємо поправки для кожної ланки:

$$VAB = S1V1, VBC = S2V2, VCD = S3V3, VAD = S4V4, VAO = S14 (V4 - V1), \\ VBO = S12 (V1 - V2), VCO = S23 (V2 - V3), VDO = S34 (V3 - V4).$$

Згідно з цим, для складання нормальних рівнянь довжину периметра кожного полігону потрібно помножити на відповідний поправочний коефіцієнт та відняти добуток поправочних коефіцієнтів суміжних полігонів на довжини ланок. Це правило діє, лише коли суміжні ланки в сусідніх полігонах мають протилежні напрями. Якщо напрями однакові, неквадратичні коефіцієнти в нормальних рівняннях будуть мати знак плюс.

Методом, описаним вище, виконано вирівнювання мережі на території елеватора після кожного циклу нівелювання. Таблиця 2.6 містить значення вирівняних перевищень між глибинними реперами, а таблиця 2.7 – висоти всіх 18 глибинних реперів в 10-ти циклах спостережень. Також в таблиці вписані значення вертикальних зміщень реперів за період між суміжними циклами та по зростаючій між нульовим циклом і кожним наступним циклом.

Таблиця 2.6.

Значення зрівноважених перевищень між реперами мережі

п/п	Цикл №	Перевищення h, мм																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1	-43	241	-14	436	-422	113	-348	335	1731	-14	-874	1283	1375	-2062	744	1	-99	47	-720	-116	-16
2	2	-50	240	-19	449	-422	102	-344	340	1735	-20	-868	1293	1398	-2078	750	0	-94	28	-711	-126	-11
3	3	-43	244	-16	437	-424	107	-342	338	1735	-18	-871	1290	1397	-2081	746	1	-94	37	-714	-122	-12
4	4	-41	250	-16	441	-422	115	-346	347	1738	-24	-867	1286	1370	-2066	740	1	-93	54	-720	-127	-13
5	5	-45	241	-9	438	-426	113	-343	341	1736	-21	-863	1284	1398	-2081	748	1	-92	32	-726	-125	-5
6	6	-39	245	-9	435	-423	110	-345	342	1737	-24	-865	1300	1391	-2082	749	1	-91	38	-719	-122	-13
7	7	-43	246	-14	440	-423	110	-348	345	1737	-23	-867	1283	1392	-2076	745	0	-91	34	-717	-123	-11
8	8	-42	248	-10	432	-421	109	-352	334	1729	-19	-875	1307	1367	-2074	746	1	-93	59	-712	-122	-16
9	9	-47	246	-16	443	-421	103	-349	347	1738	-23	-866	1303	1357	-2066	750	1	-92	59	-720	-119	-8
10	10	-41	244	-18	429	-423	118	-344	344	1734	-20	-871	1281	1399	-2075	751	1	-101	31	-722	-129	-13

Таблиця 2.7.

Значення висот реперів вихідної висотної основи та їх вертикальних зміщень

№Гр	Висота (м)	Висота (м)	Висота (м)	Висота (м)	Висота (м)	Висота (м)	Висота (м)	Висота (м)	Висота (м)	Висота (м)
	Нульовий цикл	Цикл 1	Цикл 2	Цикл 3	Цикл 4	Цикл 5	Цикл 6	Цикл 7	Цикл 8	Цикл 9
Гр 01	220.441	220.447	220.433	220.440	220.444	220.440	220.450	220.432	220.438	220.442
Гр 03	220.483	220.491	220.484	220.486	220.484	220.484	220.492	220.480	220.481	220.486
Гр 04	220.726	220.734	220.733	220.726	220.733	220.729	220.741	220.725	220.728	220.726
Гр 17	220.707	220.717	220.703	220.708	220.711	220.709	220.724	220.708	220.717	220.711
Гр 24	221.135	221.153	221.151	221.145	221.145	221.148	221.148	221.150	221.148	221.146
Гр 05	220.711	220.728	220.728	220.718	220.721	220.724	220.725	220.728	220.726	220.733
Гр 16	220.828	220.834	220.829	220.830	220.830	220.833	220.839	220.830	220.834	220.835
Гр 5	220.784	220.784	220.772	220.780	220.785	220.784	220.777	220.778	220.771	220.776
Гр 15	222.517	222.518	222.506	222.515	222.511	222.620	222.514	222.490	222.499	222.506
Гр 14	222.496	222.499	222.485	222.493	222.486	222.496	222.489	222.490	222.479	222.491
Гр 13	221.624	221.627	221.616	221.629	221.620	221.628	221.621	221.595	221.603	221.616
Гр 22	222.904	222.916	222.908	222.912	222.913	222.910	222.906	222.897	222.909	222.898
Гр 11	221.506	221.520	221.511	221.515	221.533	221.519	221.537	221.541	221.543	221.524
Гр 10	221.476	221.484	221.484	221.484	221.486	221.486	221.484	221.483	221.485	221.478
Гр 08	221.578	221.579	221.579	221.577	221.578	221.578	221.578	221.578	221.579	221.578
Гр 09	221.578	221.579	221.578	221.577	221.578	221.577	221.578	221.578	221.579	221.578
Гр 07	221.564	221.566	221.567	231.571	221.566	221.564	221.569	221.562	221.561	221.564
Гр 06	221.434	221.443	221.440	221.445	221.442	221.446	221.449	221.439	221.444	221.441

Продовження табл. 2.7

№Гр	Цикл 1-0, мм	Цикл 2-0, мм	Цикл 3-0, мм	Цикл 4-0, мм	Цикл 5-0, мм	Цикл 6-0, мм	Цикл 7-0, мм	Цикл 8-0, мм	Цикл 9-0, мм
Гр 01	6	-8	-1	3	-1	9	-9	-3	1
Гр 03	8	1	3	1	1	9	-3	-2	3
Гр 04	8	7	0	7	3	15	-1	2	0
Гр 17	10	-4	1	4	2	17	1	10	4
Гр 24	18	16	10	10	13	13	15	13	11
Гр 05	17	17	7	10	13	14	17	15	22
Гр 16	6	1	2	2	5	11	2	6	7
Гр 5	0	-12	-4	1	0	-7	-6	-13	-8
Гр 15	1	-11	-2	-6	3	-3	-27	-18	-11
Гр 14	3	-11	-3	-10	0	-7	-6	-17	-5
Гр 13	3	-8	5	-4	4	-3	-29	-21	-8
Гр 22	12	4	8	9	6	2	-7	5	-6
Гр 11	14	5	9	27	13	31	35	37	18
Гр 10	8	8	8	10	10	8	7	9	2
Гр 08	1	1	-1	0	0	0	0	1	0
Гр 09	1	0	-1	0	-1	0	0	1	0
Гр 07	2	3	7	2	0	5	-2	-3	0
Гр 06	9	6	11	8	12	15	5	10	7

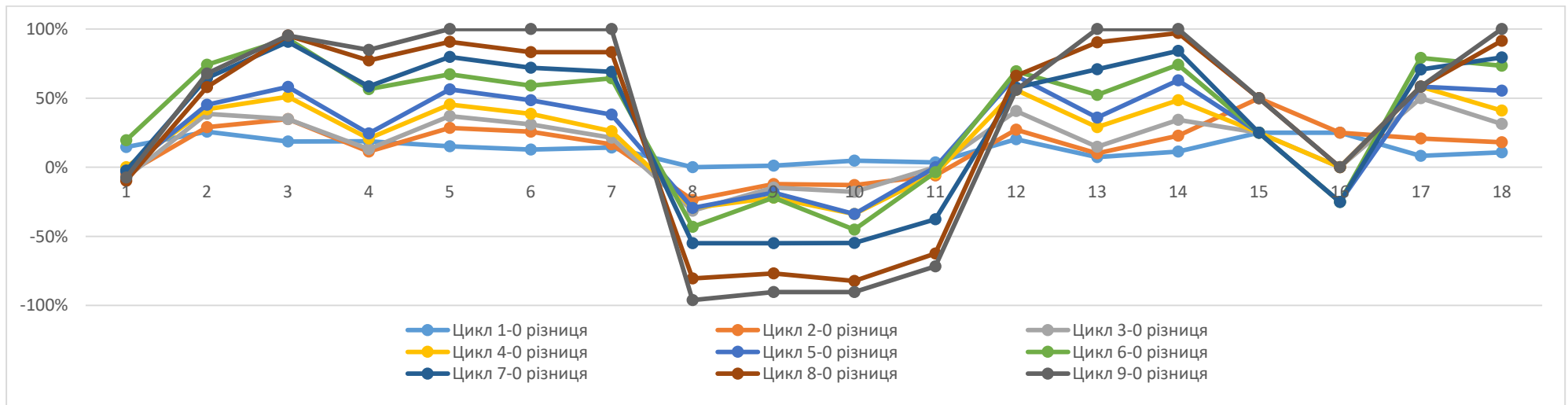


Рис. 2.5 Діаграма різниці між нульовим та вимірними циклами

2.5 Стабільність реперів висотної основи їх аналіз та оцінка на території Сокальського елеватора

Локальну висотну основу створюють для контролю вертикальних зміщень на будівельному майданчику. Пункти мережі розташовують для забезпечення стійкості та точності визначення осідань протягом спостережень. Попередню оцінку точності виконують залежно від очікуваних зміщень згідно з ГОСТ 24846-81. Клас нівелювання обирають за допустимими похибками: I клас — 1 мм, II — 2 мм, III — 5 мм, IV — 10 мм.

Без даних про розрахункові зміщення точність визначають за умовами: унікальні споруди — I клас, стискувані ґрунти — II, насипні та просадкові — III, земляні споруди — IV. Граничні деформації фундаментів мають відповідати нормам. Через порушення стійкості реперів їх періодично нівелюють. Аналіз базової площини та стабільності реперів проводять під час повторного нівелювання. Стабільність оцінюють за зміщеннями, що перевищують похибки. Методи оцінки стабільності поділяють на якісні, мінімізації відхилень, кореляційні та середньої висоти реперів. Кореляційний аналіз перевищень, запропонований В.А. Карпенком, виявив ефективність: стійкі репери демонструють некорельовані перевищення.

Дисперсійний аналіз перевіряє стабільність за середніми перевищеннями в різні періоди. Метод А. Костехеля фіксує висоту найстійкішого репера: після врівноваження мережі перевищення між циклами визначають осідання. Найстійкіший репер має мінімальне значення *VV*. Для стабільності обчислюють зміну висоти відносно початкового циклу та граничну похибку. Нестабільні репери виключають, і мережу аналізують повторно.

Метод В.Ф. Чернігова базується на принципі постійності середньої позначки реперів. У кожному циклі мережу врівноважують як вільну, обчислюючи поправку для висоти репера. Висоти визначають середнім значенням із врівноважених перевищень. Метод оцінює стан висотної основи, виключаючи репери з похибками, що перевищують допустимі межі [22].

Метод В.Н. Ганьшина й А.Ф. Стороженка використовує вузлові пункти для врівноваження мережі. Середня висотна позначка реперів залишається незмінною, а висоти обчислюють відносно першого репера. Модифікований метод В.Ф. Чернігова Ю.Є. Федосєєвим дозволяє підвищити надійність, аналізуючи перевищення між суміжними циклами та використовуючи середню площину для відліку. Відхилення кожного репера від цієї площини обчислюються за формулою.

$$V_{ij} = H_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^n H_{ij}}{n}, \quad (2.12)$$

Якщо між циклами спостережень всі репери залишаються стабільними, а їх відхилення відносно середньої площини не змінюються в межах похибок вимірювань. У разі зміни висоти будь якого з реперів до наступного ($j + 1$) циклу: n – кількість аналізованих реперів, H_j – позначка репера в j -му циклі.

$$H_{k,j+1} = H_{k,j} + \Delta_k.$$

Відхилення відносно середньої площини кожного репера з урахуванням його висоти матиме такий вигляд.

$$\left. \begin{aligned} V_{1,j+1} &= V_{1,j} - \Delta_{k/h}; \\ V_{2,j+1} &= V_{2,j} - \Delta_{k/h}; \\ &\dots\dots\dots \\ V_{k,j+1} &= V_{k,j} + \Delta_k - \Delta_{k/h}. \end{aligned} \right\} \quad (2.13)$$

При зміні висоти одного репера інші зміщуються відносно площини середньої на величину $\Delta k/n$, яку автор називає реакцією системи. Висота зміненого репера змінюється на $\Delta k - \Delta k/n$. Якщо стійкість втрачають два репери (k і r), реакція системи становить $-(\Delta k + \Delta r)/n$, а їх висоти змінюються на $+\Delta k - (\Delta k + \Delta r)/n$ і $+\Delta r - (\Delta k + \Delta r)/n$. Зміна висот дозволяє оцінити стійкість реперів. Нестійкі репери на графіку відхилень видно як стрибки, тоді як реакція системи має протилежний знак і в $(n-1)/n$ разів менша. Для тривалих спостережень краще використовувати графіки різниць відхилень однойменних реперів, щоб уникнути ускладнень через розбіжності.

$$\delta_{V_i} = V_{i,j} - V_{i,j+1}. \quad (2.14)$$

Задача щодо виявлення стабільних і нестабільних реперів ще ускладнюється і тим, що всі ці величини спотворені через помилки їх визначення. Тому необхідно обчислювати середні квадратичні помилки величин, що аналізуються, і на основі них будувати довірчі інтервали. Висоти відхилень реперів, які менші за їх подвійну середню помилку, можна вважати помилками вимірювань.

Для аналізу можна використовувати два підходи:

- спочатку визначають найбільш стійкий репер, а потім аналізують зміщення всіх інших реперів щодо нього;
- спершу обчислюють положення фіксованого початку відліку відносно одного з реперів (наприклад першого), після чого вивчають зміщення всіх реперів стосовно цього початку.

У подальшому враховуються як зміщення інших реперів, так і власні рухи кожного з них. Завдяки таким корекціям можливо визначити координати будь-якого репера у відносно "нерухомій" системі висот.

Серед усіх існуючих методів аналізу стійкості реперів жоден не надає чіткої відповіді щодо найстійкішого репера. У дипломному проєкті було виконано оцінку стабільності реперів однієї висотної основи на території Сокальського елеватора з використанням двох методів: розробленого А. Костехелем та запропонованого В.А. Карпенком, з метою отримання максимально достовірних результатів.

Для практичного використання методу кореляційного аналізу перевищень бажано мати якомога більше циклів нівелювання реперів висотної основи, хоча б не менше восьми [22]. Опишемо детальніше теорію методу на прикладі трьох перевищень. Для кожного перевищення h_i обчислюють відхилення Δ_i від середнього значення $h_{\text{сер}}$, а також квадратичні суми $[\Delta_i^2]$ та змішані суми $[\Delta_i \Delta_j]$ за якими визначають: стандартні (середні квадратичні) відхилення

$$\sigma_{h_i} = \sqrt{\frac{[\Delta_i^2]}{n-1}}, \quad (2.15)$$

де n – кількість циклів спостережень, та коефіцієнти кореляції:

$$\text{а) парні між перевищеннями } r_{h_i h_j} = \frac{[\Delta_i \Delta_j]}{h} \cdot \frac{1}{\sigma_{h_i} \cdot \sigma_{h_j}}, \quad (2.16)$$

$$\text{б) часткові} \quad r_{h_i, h_j, h_k} = \frac{r_{h_i, h_j} - r_{h_i, h_k} - r_{h_j, h_k}}{\sqrt{(1 - r_{h_i, h_k}^2)(1 - r_{h_j, h_k}^2)}}, \quad (2.17)$$

$$\text{в) множинні} \quad R_{h_i, h_j, h_k} = \sqrt{\frac{r_{h_i, h_j}^2 - 2r_{h_i, h_j} \cdot r_{h_j, h_k} \cdot r_{h_i, h_k} + r_{h_i, h_k}^2}{1 - r_{h_j, h_k}^2}}, \quad (2.18)$$

Часткові коефіцієнти кореляції визначають зв'язок між двома змінними з урахуванням впливу третьої. У аналізі трьох змінних передбачається їх лінійна кореляція, яку оцінюють за допомогою множинних коефіцієнтів. Парні та часткові коефіцієнти варіюються від +1 до -1, а множинні — від 0 до +1. Значущість коефіцієнтів перевіряють за t-критерієм Стьюдента.

$$t = \frac{|r_h|}{\sigma_r}, \quad (2.19)$$

в якій середні квадратичні відхилення σ_r знаходять як

$$\sigma_r = \frac{1 - r_h^2}{\sqrt{n - 1}}, \quad (2.20)$$

Значущість парних та часткових коефіцієнтів кореляції визначається за критерієм Романовського, $|r_h| > 3\sigma_r$, тобто якщо умова виконується, то кореляційна залежність між випадковими величинами вважається суттєвою. Значущість множинного коефіцієнта кореляції перевіряється за F-критерієм (Фішера). Розрахункове значення F-критерію обчислюється за формулою.

$$F = \frac{R_h^2 (n - m - 1)}{(1 - R_h^2) \cdot m}, \quad (2.21)$$

Значення F розраховують і порівнюють із теоретичним F_m , визначеним за таблицями Фішера для заданого рівня значущості й ступенів свободи. Стійкість реперів висотної основи аналізують з урахуванням значущості коефіцієнтів кореляції, використовуючи критерії Стьюдента й Романовського для парних і часткових коефіцієнтів, а критерій Фішера — для множинних [22].

Метод А. Костехеля базується на принципі незмінної висоти найстійкішого репера. Коливання значень перевищень у різних циклах нівелювання пояснюються похибками вимірювань та осіданням реперів між циклами. За цим методом, зміна перевищень після врівноваження мережі залежить лише від впливу осідань.

А. Костехель пропонує оцінювати стійкість реперів за різницею врівноважених перевищень між циклами ($V = h_{-i} - h_{-I}$), що відображає сумарний вплив осідань. Найстійкіший репер визначають за мінімальним значенням $[VV]$, а його висота з першого циклу використовується для перерахунку висот усіх реперів у наступних циклах.

$$V_{12} = h_{12}'' - h_{12}';$$

$$\text{для ланки 1-3 } V_{13} = h_{13}'' - h_{13}' = (h_{17}'' + h_{23}'') - (h_{12}' + h_{23}') = \\ = (h_{12}'' - h_{12}') + (h_{23}'' - h_{23}') = V_{12} + (h_{23}'' - h_{23}');$$

$$\text{для ланки 1-4 } V_{14} = V_{13} + (h_{34}'' - h_{34}') \text{ і т.д.}$$

Послідовно обираючи за вихідні репери №2, №3, №4, ..., №n мережі, аналогічно розраховують V різниці перевищень та їхні VV добутки для всіх ланок. Репер, для якого $[V*V] = \min [V*V] = \min$ у більшості циклів спостережень, визначають як базовий для оптимального обчислення висот інших реперів. Для оцінки стану висотної основи А. Костехель запропонував ввести показник відносної стійкості / нестійкості реперів мережі.

Нехай H_{j_1} і H_{j_i} - висоти репера j відповідно в першому та i -му циклах нівелювання. Тоді різниця Δi і визначає осідання j -го репера за час від першого до i -го циклу. Якщо осідання Δ_i репера j не перевищує граничної похибки $\Delta_{\text{гран}}$ визначення цього осідання, тобто $\Delta_i \leq \Delta_{\text{гран}}$, то репер вважається стійким; інакше - нестійким. Похибки нівелювання в ходах від початкового репера до репера, який досліджують, в першому та i -му циклах дорівнюють кожна $m_h \sqrt{\pi}$, де m_h - СКП перевищення; π - обернена вага еквівалентного ходу, що відповідає числу штативів.

СКП m_s визначення осідання репера дорівнює:

$$m_s = m_h \sqrt{2\pi} = 0,32 \sqrt{2\pi} = 0,45 \sqrt{\pi}, \quad (2.22)$$

де $m_h = 0,32$ мм.

Гранична похибка визначення осідання, дорівнює:

$$\Delta_{\text{гран}} = 0,91 \text{ мм} \sqrt{\pi} = k \sqrt{\pi}, \quad (2.23)$$

$k = 0,91$ мм.

За наступною формулою визначається межа відносної стійкості реперів:

$$N = \left| \frac{\Delta_{гран}}{\Delta_i} \right| \geq 1, \quad (2.24)$$

а відносної нестійкості –

$$M = \left| \frac{\Delta_{гран}}{\Delta_i} \right| < 1. \quad (2.25)$$

Репери, що змінили своє положення, виключають із опорної мережі. Метод А. Костехеля оптимізує висоти реперів через:

1. Вирівнювання нівелірної мережі як вільної.
2. Визначення найстабільнішого репера у поточному циклі.
3. Розрахунок висот на основі стабільного репера та вирівняних перевищень.
4. Обчислення стійкості NN і нестійкості MM.
5. Виключення нестабільних реперів для покращення мережі [22].

Метод характеризується простотою та точністю, хоча іноді дає необ'єктивні результати. Його застосовано для аналізу стійкості реперів висотної мережі Сокальського елеватора. Дані перевищень і висот, отримані за 10 циклів, наведені у таблицях 2.6 і 2.7.

Результати обчислень: I полігон: стійкі – Гр16, Гр17, можливо, Гр04; найбільше осідання – Гр03. II полігон: стійкі – Гр16, Гр01; нестабільні – Гр03, Гр5, Гр13. III полігон: стійкі – Гр16, Гр08, Гр09; невеликі осідання – Гр10, значні – Гр11. IV полігон: стійкі – Гр16, Гр08, Гр09; нестабільний – Гр05.

Найстійкіші репери – Гр17 і Гр04. Метод Костехеля підтверджує достовірність отриманих даних. Використання геологічної та гідрологічної інформації сприятиме точнішій оцінці стабільності ґрунтів у місцях закладання реперів.

3. ОЦІНКА ТОЧНОСТІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І ВИМІРЮВАНЬ ЗА ОСІДАННЯМИ ТА ДЕФОРМАЦІЯМИ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

3.1 Методика розрахунку точності спостережень

Польові геодезичні спостереження, що є ключовою частиною комплексного аналізу режиму експлуатації споруд, спрямовані на вивчення розвитку та прогнозування деформацій. З цієї причини визначення необхідної точності таких спостережень повинно базуватися на принципі отримання максимально достовірної та повної інформації.

У геодезії, а саме інженерно-геодезичних роботах критеріями оптимальності спостережень є точність вимірювань, мінімізація часу й витрат на спостереження, а також виявлення деформацій у більшості випадків. Для забезпечення безпечної експлуатації об'єктів особливо важливо своєчасно реагувати на виникнення мікропереміщень. Це сприяє стабільному розвитку, терміновому прогресу та зваженому підходу до проектування і навчання.

Можливість визначення початкової стадії зсувних процесів і прогнозування їхнього розвитку забезпечується шляхом виявлення направлених мікрозсувів, мікропереміщень. Для цього потрібно використовувати натурні геодезичні спостереження, доповнені цифровими автоматичними та напівавтоматичними сигнальними системами.

У процесі вивчення деформаційних процесів важливо, щоб точність спостережень була безпосередньо пов'язана з основними завданнями та цілями всього дослідницького комплексу. Рівень точності вимірювань необхідно визначати з урахуванням різноманітних швидкостей деформацій, адже з позиції механіки деформаційні процеси характеризуються нерівномірністю руху, який відбувається з певною швидкістю.

Водночас особливу увагу слід приділяти тому, щоб результати вимірювань відповідали заданим параметрам дослідження. Урахування специфіки деформацій,

які відбуваються із змінною інтенсивністю, є ключовим фактором для досягнення високої достовірності отриманих даних.

$$v = \frac{dS}{dt} \quad (3.1)$$

Остаточо аналізуючи прирости, можна визначити середню швидкість руху точки за певний проміжок часу. Якщо розглянути прирости в кінцевому вигляді, ми отримаємо значення середньої швидкості точки, яке визначається для заданого часового інтервалу Δt :

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (3.2)$$

Застосовуючи загальновідомі методи теорії похибок у вимірюваннях, середньоквадратичну похибку швидкості зсувів можливо виразити у наступній формі. За допомогою цих прийомів, стає можливим більш точно оцінити похибку вимірювань швидкості, що дозволяє підвищити точність обробки отриманих даних.

$$m_v = \frac{1}{\Delta t} \sqrt{m_{\Delta s}^2 + V^2 m_{\Delta t}^2} \quad (3.3)$$

де $m_{\Delta t}$ - СКП часу між спостереженнями у циклах; $m_{\Delta s}$ - СКП деформації.

Виходячи з формули (3.3) відносна похибка визначення швидкості деформації буде складати:

$$\frac{m_v}{V} = \sqrt{\frac{m_{\Delta s}^2}{\Delta S} + \frac{m_{\Delta t}^2}{\Delta t}} \quad (3.4)$$

Отже, при проєктуванні спостережень виникають завдання визначення необхідної точності спостережень $m_{\Delta s}$, періоду спостережень Δt і оцінки точності його $m_{\Delta t}$ по заданих значеннях m_v , або $\frac{m_v}{V}$. На основі виразів (3.3) і (3.4) можна зробити висновок, що кількість рівнянь, які пов'язують між собою задані величини та шукані параметри, є недостатньою для їх однозначного визначення. Іншими словами, виникає потреба в додатковому припущенні щодо моделі деформацій, яке передбачає побудову гіпотетичної залежності та знаходження відповідних

параметрів цієї моделі. Такий підхід дозволяє усунути невизначеність і сформулювати повну математичну основу для розв'язання задачі.

Якщо, наприклад, встановити певні значення $m_{\Delta s}$ і $m_{\Delta t}$, відносна похибка визначення швидкості залежатиме від самої швидкості або параметрів, за якими її визначають. Очевидно, що зі збільшенням швидкості відносна похибка її визначення зменшується. Крім того, важливо врахувати, що швидкість не є єдиним фактором, що впливає на похибку визначення; це також можуть бути інші параметри, які пов'язані з цією швидкістю.

Оцінка відносної похибки швидкості повинна відповідати заданій умові:

$$\frac{m_V}{V} \leq \frac{1}{K} \quad (3.5)$$

тоді з урахуванням виразу (3.4) можна написати:

$$\frac{m_{\Delta s}^2}{\Delta s} + \frac{m_{\Delta t}^2}{\Delta t} \leq \frac{1}{K^2} \quad (3.6)$$

Скориставшись принципом рівного впливу похибок, для визначення вказаних вище параметрів отримаємо наступні вирази:

$$\Delta_t \leq Km_{\Delta t} \sqrt{2} \quad (3.7)$$

$$m_{\Delta t} \leq \frac{\Delta t}{K\sqrt{2}} \quad (3.8)$$

$$m_{\Delta s} \leq \frac{V\Delta t}{K\sqrt{2}} \quad (3.9)$$

$$\Delta_t \leq Km_{\Delta t} \sqrt{2} \quad (3.10)$$

Таким чином, задаючись деяким прийнятним для конкретних умов спостережень СКП $m_{\Delta t}$ по формулі (3.7) можна отримати необхідний період спостережень. Якщо ж є хоча б наближене уявлення про хід деформацій в часі, то визначають період часу Δ_t протягом якого деформації змінюються в деякій мірі рівномірно. В цьому випадку необхідну точність визначення (призначення) періоду спостережень отримують з виразу (3.8). Для визначення СКП $m_{\Delta s}$ як видно з виразу (3.9), необхідно мати уявлення про швидкість.

Спостереження часто проводять з періодичністю, що більше залежить від виробничих можливостей, ніж від характеру деформацій. Водночас частота спостережень повинна визначатися швидкістю змін і точністю вимірювань. Якщо повільно відбуваються деформації, а спостереження неточні, часті вимірювання недоцільні. Проте при швидких змінах навіть грубі спостереження можуть дати прийнятну картину процесу.

Частота спостережень має змінюватися залежно від швидкості деформацій: збільшуватися під час активізації та зменшуватися в періоди стабілізації. У фазах високої активності вимірювання слід проводити частіше, інколи навіть кожні кілька днів. У таких випадках робота стає безперервною, оскільки перерви між спостереженнями майже відсутні.

Під час активних періодів здійснюють послідовні вимірювання з усіх опорних точок у горизонтальному й вертикальному напрямках, повторюючи цикли безперервно. Контрольні вимірювання та прецизійне нівелювання зазвичай виконують кожні три місяці: наприкінці зими, на початку літа, в кінці літа й на початку зими. Іноді кількість вимірювань скорочують до двох разів на рік — наприкінці зими та літа.

Для оцінки точності спостережень пропонується керуватися принципом визначення необхідних мінімально та/або максимально допустимих переміщень ΔS_{\max}^{\min} , встановлюючи допуски на деформації за аналогією з будівельною метрологією, як це роблять під час розрахунків точності монтажних чи розміткових вимірювань.

Існує два основні сценарії, які можуть виникнути в цій ситуації: 1) в тривимірному просторі задається допуск ΔS_{\max}^{\min} для визначення деформацій; 2) задаються роздільно допуски ΔH_{\max}^{\min} і ΔL_{\max}^{\min} для визначення вертикальних і планових деформацій. Перший випадок у тривимірному просторі визначення СКП позначимо $m_{\Delta S}$. Щоб правильно оцінити точність геодинамічних спостережень, слід почати з визначення базових умов:

$$\Delta S_{\max}^{\min} \geq z_q \times m_{\Delta S} \quad (3.11)$$

Змінюючи коефіцієнт z_q , можна врахувати різні рівні довірчої вірогідності p (або рівень значущості $q = 1 - p$). Це значення залежить від обраної вірогідності або рівня значущості. Тобто, з різним z_q можна визначити значення ймовірності p або значущості q для конкретної довірчої межі:

Таблиця 3.1

Значення коефіцієнтів

q	0.10	0.05	0.01	0.0027	0.0001	0.0001
Z_q	1.64	1.96	2.58	3.00	3.29	3.89

Позначимо m_x , m_y , m_z СКП визначення деформацій по осях X, Y і Z відповідно. Тоді умова (9) прийме вигляд:

$$\Delta S_{\max}^{\min} \geq z_q \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2} \quad (3.12)$$

Якщо скористатися принципом рівного впливу, тобто $m_x = m_y = m_z$ то з умови (3.12) отримаємо:

$$m_1 = \frac{\Delta S_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{3}} \quad (3.13)$$

Іноді встановлюють співвідношення між СКП:

$$m_2 = \frac{\Delta S_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{2+k}} \quad (3.14)$$

Другий випадок. СКП визначення вертикальних і планових деформацій позначимо m_x , m_y , m_H . Очевидно, що для визначення СКП m_H достатньо у формулу (3.11) підставити замість $\Delta S_{\max}^{\min} - \Delta H_{\max}^{\min}$ - тоді:

$$m_H = \frac{\Delta H_{\max}^{\min}}{z_q} \quad (3.15)$$

Для визначення точності планових деформацій, діючи аналогічно першому випадку, отримаємо формулу:

$$m_L = \frac{\Delta L_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{2}} \quad (3.16)$$

де $m_L = m_X = m_Y$

Що стосується часу спостережень, то спочатку варто встановити часовий інтервал (Δt проміжок часу між циклами спостережень), виходячи з загальних припущень щодо динаміки деформацій у часі. Надалі, під час самого процесу спостережень, цей інтервал можна коригувати відповідно до нових даних та результатів, які будуть отримані. Це дозволить досягти більш точних і надійних результатів спостереження.

3.2 Розрахунок інтервалів між спостереженнями та їх точність

З огляду на рекомендації роботи [5], які передбачають підхід до розрахунку, що визначає максимально допустиме переміщення як ΔS_{\max}^{\min} в умовах з щільною висотною забудовою [3]. Прийmemo $\Delta S_{\max}^{\min} = 45 \text{ мм}$, ми отримаємо середню квадратичну похибку, яка дозволить детально визначити деформації у тривимірному просторі. Це можливо лише за умови, що $m_X = m_Y = m_Z = m_1$. Такий підхід забезпечить глибоке і точне вимірювання деформацій, що дозволить краще зрозуміти вплив різних факторів на об'єкт у тривимірному контексті. Завдяки цьому показнику ми зможемо більш точно оцінити і врахувати вплив на деформації, що забезпечить ширший і глибший аналіз даного процесу.

$$m_1 = \frac{\Delta S_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{3}} = \frac{45 \text{ мм}}{2,5 \sqrt{3}} = 10 \text{ мм}$$

Завдяки СКП можна визначити зміни у просторовому положенні об'єктів, що є важливим процесом для моніторингу будівельних і інфраструктурних споруд. Оцінка зміни вертикальних і планових деформацій за допомогою СКП дозволяє виявити, наскільки змінилися показники у певних точках. Використання СКП у цьому процесі дозволяє точно оцінювати та відслідковувати будь-які зміни в конструкціях, що є важливим для забезпечення безпеки та стабільності об'єктів:

$$m_H = \frac{\Delta H_{\max}^{\min}}{z_q} = \frac{30 \text{ мм}}{2,5} = 12 \text{ мм}$$

$$m_L = \frac{\Delta L_{\max}^{\min}}{z_q \sqrt{2}} = \frac{30 \text{ мм}}{2,5 \sqrt{2}} = 8,5 \text{ мм}$$

Отримані значення СКП визначення координат свідчать, що цей метод розрахунку є придатним лише для швидкоплинних деформацій. Таким чином, застосування цього підходу до розрахунку точності спостережень можливе лише у виняткових випадках. Ще одним недоліком методу є відсутність прямого зв'язку між точністю спостережень і тривалістю інтервалів спостережень.

У нашому випадку точність спостережень буде розраховано таким чином: згідно з [4], величина переміщення ΔS_{\max}^{\min} пов'язана з точністю його визначення за такою формулою:

$$m_{\Delta S} = 0.2 S_{\max}^{\min} = 0.2 \dots 30 \text{ мм} = 6 \text{ мм}$$

Якщо передбачено проводити спостереження щомісячно з самого початку періоду, то $\Delta t = 30$ днів. Згідно розрахунків коливання інтервалу на основі цих спостережень будуть:

$$m_{\Delta t} = 0.2 \Delta t = 0.2 \dots 30 \text{ днів} = 6 \text{ днів}$$

Значення швидкості деформацій, що можна впевнено визначити, дорівнює $V = 1$ мм на день. СКП визначення швидкості складе:

$$m_v = \frac{1}{\Delta t} \sqrt{m_{\Delta S}^2 + V^2 m_{\Delta t}^2} = \frac{1}{30} \sqrt{36 + 36 + 1} = 0,3 \text{ мм / день}$$

Оскільки ми визначили значення $m_{\Delta S}$ і $m_{\Delta t}$, відносна похибка визначення швидкості деформацій залежатиме як від самої швидкості, так і від параметрів, які використовуються для її обчислення. Нехай значення відносної похибки швидкості задовольняє встановленим критеріям:

Зважаючи на те, що ми встановили значення $m_{\Delta S}$ і $m_{\Delta t}$, точність визначення швидкості деформацій залежатиме від самої швидкості та параметрів, які використовуються для її визначення. Нехай відносна похибка швидкості задовольняє заданій умові:

$$\frac{m_v}{V} \leq \frac{1}{K} = \frac{1}{3.33} \approx \frac{1}{4}$$

Застосування принципу рівномірного впливу похибок для визначення параметрів дозволяє отримати такі результати:

$$\Delta t \geq Km_{\Delta t} \sqrt{2} = 4 \cdot 6 \sqrt{2} = 34 \text{ днів}$$

$$m_{\Delta t} \leq \frac{\Delta t}{K \sqrt{2}} = \frac{34}{4 \sqrt{2}} = 5 \text{ днів}$$

$$m_{\Delta S} \leq \frac{V \Delta t}{K \sqrt{2}} = \frac{1 \cdot 34}{4 \sqrt{2}} = 5,3 \text{ мм}$$

Таким чином, задаючись деяким прийнятним для конкретних умов спостережень СКП $m_{\Delta t}$ отримаємо необхідний період спостережень за деформаціями рівний 34 дням. Необхідна точність визначення періоду спостережень дорівнює 5 дням. СКП $m_{\Delta S}$ спостереження за просторовими переміщеннями дорівнює 5,3 мм. Точність визначення кожної складової просторового зміщення визначимо за виразом:

$$\frac{m_{\Delta S}}{\sqrt{3}} = m_x = m_y = m_z = 3,1 \text{ мм}$$

Для зміщення в плані матимемо:

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = 4,3 \text{ мм}$$

Для забезпечення необхідної точності потрібно підібрати з певними параметрами геодезичні прилади що зможуть забезпечити необхідну точності та запроєктувати відповідно геодезичну мережу з заданою точністю.

Для визначення горизонтальних зміщень рекомендується використовувати координатний метод, та використовувати електронний тахеометр, що має функцію роботи у безвідбивачевому режимі.

Оцінка точності способу проводиться за допомогою спеціально розроблених формул, які використовуються для розрахунку точності:

При розрахунку середня квадратична похибка вимірювання кутів прийнята $m_\beta = m_\nu = 5''$, середня квадратична похибка вимірювання відстаней $m_s = 2$ мм. Результати розрахунку представлено в таблиці 3.2.

$$m_{X_p}^2 = m_{S_p}^2 \sin^2 \beta + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S_{AP}^2 \cos^2 \beta; \quad m_{Y_p}^2 = m_{S_p}^2 \cos^2 \beta + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S_{AP}^2 \sin^2 \beta \quad (3.17)$$

де S_{AP} - горизонтальне прокладання лінії AP ; S_{AP} – нахилена віддаль.

Таблиця 3.2

Залежність похибок в координатах від вимірюваного кута β і відстані S

$B, \text{град}$	$S, \text{м}$	$m_x, \text{мм}$	$m_y, \text{мм}$
30	100	2,2	3,4
90	100	4,0	1,0
30	150	2,6	3,6
90	150	4,0	2,0

Аналізуючи дані таблиці, чим менші величини кутів β і ν , а також віддаль S до точки, що визначається, тим визначення координат (Y , X , H) буде точніше. Найточніше можна визначити координати точки, якщо кути близькі до прямого.

Висоти точок визначають методом тригонометричного нівелювання, який дозволяє встановлювати на різних висотах осідання точок навіть в умовах складного гірського рельєфу. Найвища точність (до 0.5мм) досягається при нівелюванні короткими (плечами) променями (до 25м). На відміну від геометричного нівелювання, цей метод дозволяє вимірювати значні перевищення з однієї станції без потреби у рейках чи деформаційних марках.

Точність вимірювання осідань становить 1, 2, 5 або 10 мм залежно від типу ґрунту, величин осідань що розраховані, строку експлуатації об'єктів та їх унікальності. Використання електронних тахеометрів у геодезичних роботах автоматизує процес і забезпечує необхідну точність. Похибки більшості тахеометрів у безвідбивачевому режимі складають $m_z = 1-5''$ та $m_s = 1-5\text{мм}$.

При вимірюванні зенітних відстаней з високою точністю обов'язково проводять вимірювання двома прийомами, враховуючи метеорологічні поправки. Щоб досягти точності 1–2 мм, потрібно точно вимірювати висоту приладу. В умовах значних змін коефіцієнта n , рефракції вертикальної (в межах 0,14-0,20) і до 40м нерівності плечей, похибка не перевищуватиме 0,06мм.

За дотримання цих умов можна отримати високу точність визначення перевищень з однієї станції між пунктами.

$$m_{hy} = \sqrt{2m_s^2 \times \cos^2 z + 2 \times (S \cdot \rho \sin z)^2 \times m_z^2} \quad (3.18)$$

Електронний тахеометр TCR403power+ R400 використано на об'єкті Сокальський зерновий елеватор для геодезичних вимірювань та моніторингу за деформаціями. Характеристики приладу кутова похибка $m_z = 5''$, лінійна $m_s = 2$ мм. отримуємо точність визначення перевищення:

$$m_{hy} = \sqrt{2 \times 4 \cos^2 80^\circ + 2 \times (50000 / \rho \times \sin 80^\circ)^2} 5^2 = 1.8 \text{ мм}$$

Отже точність визначення висотної складової задовольняє вимогам Інструкції з нівелювання.

3.3. Математичне опрацювання результатів

У результаті систематичних спостережень за знаками визначаються величина, напрямок і швидкість горизонтальних та вертикальних деформацій, а також інші кількісні показники їх поведінки. Основою для таких обчислень слугують топографічні плани з позначеними опорними й робочими знаками та звітні дані з координатами x , y , z кожного знака, отриманими у різні періоди спостережень.

До основних кількісних характеристик, що розраховуються між двома циклами вимірювань, належать [6]:

1. Прирости горизонтальних зміщень робочого знаку у напрямі кожної з осей прийнятої системи координат:

$$\begin{aligned} \Delta x &= x - x_1 \\ \Delta y &= y - y_1 \end{aligned} \quad (3.19)$$

де x_{1i} , y_{1i} - значення координат робочого знаку в першому і i -ому циклах вимірювань;

2. Повна величина горизонтального зміщення робочого знаку:

$$\Delta x, y = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (3.20)$$

3. Повна величина вертикального зміщення (осідання або підйому)

$$\Delta z = z_i - z_1 \quad (3.21)$$

$Z_{t,1}$ — умовні або абсолютні відмітки робочого знаку в першому та i -ому циклах вимірювань.

4. Повна величина зміщення знаку в просторі

$$\Delta = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (3.22)$$

5. Дирекційний кут або азимут вектора горизонтального зміщення знаходять

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (3.23)$$

6. Кут нахилу траєкторії зміщення робочого знаку до горизонту знаходять

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta z}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}} \quad (3.24)$$

7. Середня швидкість зміщення робочого знаку в горизонтальному напрямку

$$V_{xy} = \frac{\Delta_{xy}}{t} \quad (3.25)$$

у вертикальному напрямку

$$V_z = \frac{\Delta z}{t} \quad (3.26)$$

у просторі

$$V = \frac{\Delta}{t} \quad (3.27)$$

В цих формулах t - період часу, в днях, місяцях або роках, між першим і наступним циклами вимірювань.

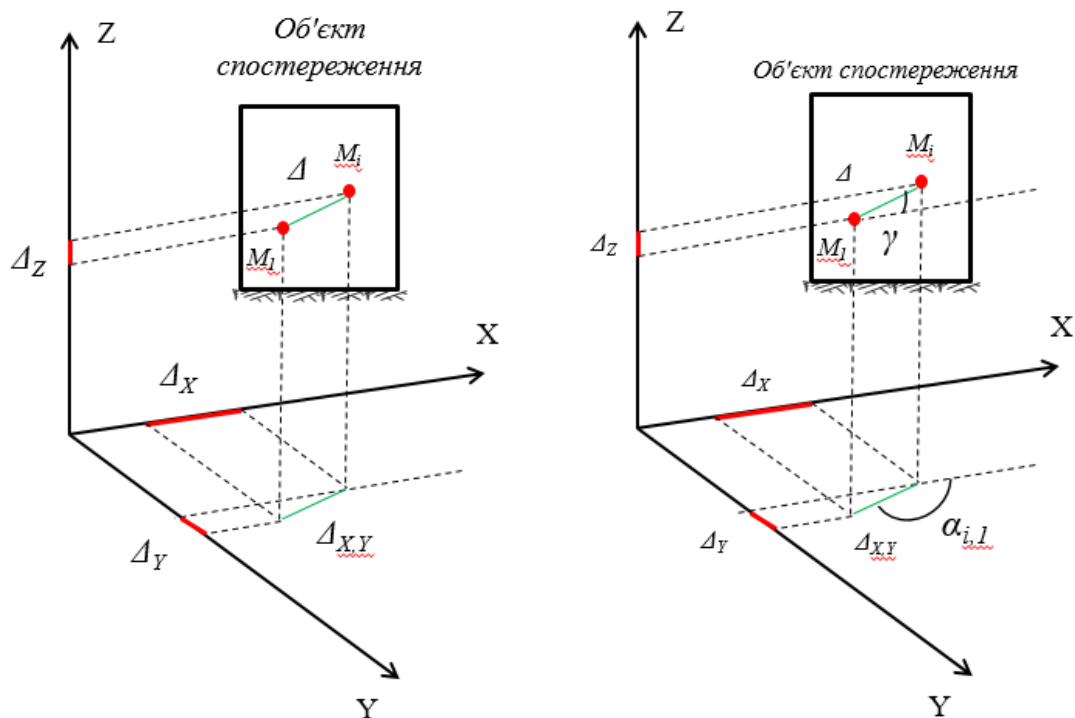


Рис. 3.1. Зміщення в горизонтальній та вертикальній площині робочого знаку

Зміна дирекційного кута або азимута лінії, що з'єднує два робочих знаки А і В:

$$\Delta\alpha = \alpha_t - \alpha_1 \quad (3.28)$$

де $\alpha_{1,t}$ — дирекційні кути лінії А-В в першому і подальшому (i -ому) циклах вимірювань, обчислювані з формул:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha_1 &= \frac{x_{A1} - x_{B1}}{y_{B1} - y_{A1}} \\ \operatorname{tg} \alpha_t &= \frac{x_{At} - x_{Bt}}{y_{Bt} - y_{At}} \end{aligned} \quad (3.29)$$

Зміна середнього нахилу ділянки між двома робочими знаками А і В:

$$\Delta\gamma = \gamma_t - \gamma_1$$

де $\gamma_{1,t}$ — середні кути нахилу лінії А—В в першому і подальшому циклах вимірювань, обчислювані з формул:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \gamma_1 &= \frac{z_{A1} - z_{B1}}{\sqrt{(x_{A1} - x_{B1})^2 + (y_{A1} - y_{B1})^2}} \\ \operatorname{tg} \gamma_t &= \frac{z_{At} - z_{Bt}}{\sqrt{(x_{At} - x_{Bt})^2 + (y_{At} - y_{Bt})^2}} \end{aligned} \quad (3.30)$$

8. Абсолютне збільшення або скорочення дійсної відстані між двома робочими знаками А і В:

$$\Delta S = S_t - S_1$$

де $S_{1,t}$ — виміряні похилі відстані між знаками А і В у першому і подальшому циклах вимірювань, обчислені за формулами:

$$\left. \begin{aligned} S_t &= \sqrt{(x_{A1} - x_{B1})^2 + (y_{A1} - y_{B1})^2 + (z_{A1} - z_{B1})^2} \\ S_1 &= \sqrt{(x_{At} - x_{Bt})^2 + (y_{At} - y_{Bt})^2 + (z_{At} - z_{Bt})^2} \end{aligned} \right\} \quad (3.31)$$

Залежно від знаку отримана величина ΔS вказує на наявність розтягування або стиснення на поверхні, що особливо важливо знати, якщо на ньому розташовуються споруди. Відносне збільшення або скорочення виміряної похилої відстані між двома знаками А і В:

$$\Delta S = \frac{S_t - S_1}{S_1} \quad (3.32)$$

Апріорну оцінку точності в просторовому методі (ТПС): прив'язка до вихідної основи – 1 мм; вимір віддалей та кутів електронним тахеометром 1 – 2 мм; вплив зовнішніх умов (температура, тиск, рефракція різний кут відбиття сигналу від марки) – 1 мм. Сумарно для всіх факторів 3 – 4 мм. Висотний метод: метод геометричного нівелювання

$$3 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{\text{км}}} = 3 \text{ мм} \cdot \sqrt{0,3} = 1,6 \text{ мм}$$

Закладка геодезичної основи, робочих реперів та марок. Закладку геодезичних реперів та марок виконано згідно інструкції з топографічного знімання, Державних будівельних норм [1, 2] та користуючись методикою описаною нище для забезпечення перпендикулярності променя падіння.

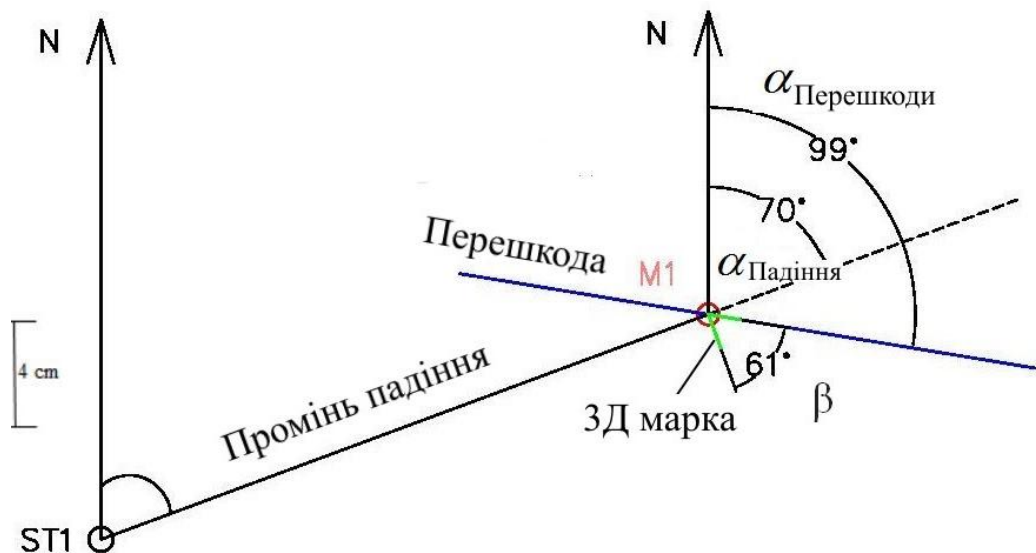


Рис. 3.2. Методика визначення оптимальних кутів розвороту 3Д-марок

Для визначення кута β між гранями 3Д марки, та кута нахилу марки – v використовуємо наступні формули. Вихідними даними для їхніх обчислень є координати, отримані з рекогностування.

$$\beta^0 = \alpha_{\text{Падіння}} + 180^0 - \alpha_{\text{Перешкоди}} - 90^0 \quad (3.33)$$

$$v^0 = \arctan \frac{h}{d}, \quad (3.34)$$

α – дирекційний кут; d – віддаль, яку визначають за приростами координат із оберненої геодезичної задачі, перевищення h визначають за різницями висот точок.

Визначення координат геодезичної основи. Просторовий метод (ТПС). На схемі мережа пунктів визначена методом лінійно-кутових побудов на рівні 2 класу полігонометрії у державній СК МСК-46. Для мінімізації спотворення проєкції та простішого відображення деформацій виконано перетворення до умовної системи координат. Зафіксовано станцію S1 як контрольна з координатами ($x = 10000,000$ м, $y = 10000,00$ м) та зафіксовано дирекційний кут на станцію S2 із значенням ($0^{\circ}00'00''$), також зафіксовано відмітку станції S1 із значенням ($200,000$ м) . Вимірювання віддалі та кутів між станціями S1 та S2 виконувалось на спеціальну марку для підвищення точності центрування та редукування. Із станцій S1 та S2 виконано виміри на вихідні та робочі марки. Марки T01 та T05 спостерігались з двох станцій. Похибки їхніх координат отримані із врівноваження мережі (табл. 3.3).

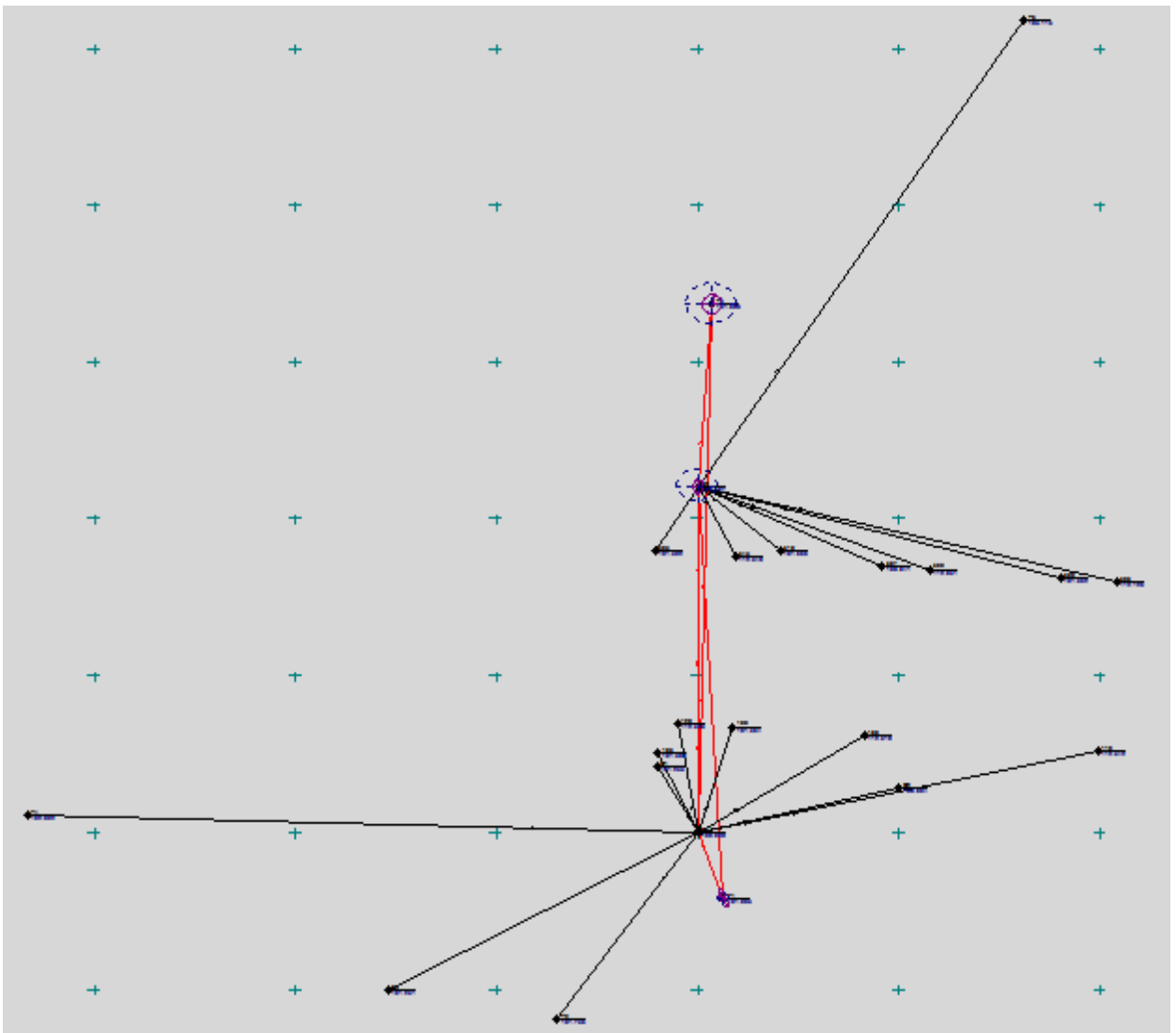


Рис. 3.3. Схема мережі, програма Credo DAT

Таблиця 3.3

Характеристики лінійно-кутових побудов

M min	Пункт	M max	Пункт	M середня
0.001	S2	0.002	T5	0.001

Пункт	M	Mx	My	a	b	α	Mh
1	2	3	4	5	6	7	8
S2	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0°00'00.00"	0.002
T1	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	163°05'17.27"	0.001
T5	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	4°58'53.24"	0.003

Оскільки спостереження виконувались за однаковою методикою та в однакових умовах то можна вважати, що похибки інших чотирьох вихідних марок не більші як середні похибки марки T01 та T05. У таблиці 5 подано координати вихідних марок.

Таблиця 3.4

Координати вихідних марок

Назва	y (умовна), м	x (умовна), м	H (умовна), м	M(x y), мм	M(z), мм
T01	12502.540	13991.584	291.906	1.2	1.1
T02	12485.994	13976.096	291.735	1.6	2,1
T03	12469.174	13979.814	291.250	1.5	2,2
T04	12433.338	14002.202	292.002	1.6	2,1
T05	12501.406	14067.383	291.989	2.2	3,2
T06	12532.440	14103.539	293.113	1.6	2,4

Визначення координат деформаційних марок виконували полярним методом електронної тахеометрії. Виміряли віддалі та кути на кожен марку трьома прийомами у різні епохи часу (цикли). Всього п'ять циклів TPS. Визначення висот виконувалось геометричним нівелюванням.



Рис. 3.4 Електронний тахеометр Leica TCR1205R100

Технічні характеристики С.К.П. виміру віддалі: $\pm (2\text{м} + 2\text{ppm})$; С.К.П. виміру кута: $\pm 5''$; С.К.П. визначення перевищення на 1 км подвійного ходу: $\pm 0,3\text{ мм}$ [23].

Деформації кожного циклу відносно першого виявлені просторовим методом ТПС. Результати проведення геодезичних замірів та обробка їх результатів наведена у наступних таблицях та побудовані відповідні графіки.

Значення координат робочих марок на першу епоху спостережень. Цикл 28.08.2024 р Бочка 1

Стійка	Н, м										dH, мм									За весь період
	Цикл-I*	Цикл-II	Цикл-III	Цикл-IV	Цикл-V	Цикл-VI	Цикл-VII	Цикл-VIII	Цикл-IX	Цикл-X	II-I	III-II	IV-III	V-IV	VI-V	VII-VI	VIII-VII	IX-VIII	X-IX	
Дата	-	24.09.23	03.11.23	09.05.24	21.05.24	02.06.24	21.07.24	16.08.24	19.08.24	28.08.24										
1	196.045	196.043	196.036	196.042	196.020	196.018	196.019	196.031	196.024	196.022	-2	-7	6	-22	-2	1	12	-7	-2	-23
2	196.042	196.037	196.033	196.037	196.019	196.013	196.017	196.027	196.022	196.021	-5	-4	4	-18	-6	4	10	-5	-1	-21
3	196.040	196.037	196.030	196.037	196.026	196.011	196.012	196.024	196.021	196.018	-2	-7	7	-11	-15	1	12	-3	-3	-21
4	196.037	196.033	196.026	196.035	196.025	196.006	196.007	196.020	196.016	196.015	-4	-7	9	-10	-18	1	13	-4	-1	-22
5	196.042	196.037	-	196.034	196.025	196.007	196.004	196.021	-	196.017	-5	-	-	-9	-18	-3	17	-	-4	-25
6	196.033	196.032	196.023	196.031	196.018	196.001	196.007	196.017	-	196.015	-1	-9	8	-12	-18	7	10	-	-2	-18
7	196.035	196.033	196.024	196.032	196.020	196.003	196.009	196.018	196.013	196.015	-2	-9	8	-12	-18	6	9	-5	2	-20
8	196.037	196.035	196.030	196.035	196.022	196.006	196.008	196.022	196.019	196.020	-2	-5	5	-13	-16	2	14	-3	1	-17
9	196.038	196.036	196.029	196.034	196.021	196.006	196.005	196.022	196.019	196.019	-2	-7	5	-14	-14	-1	17	-3	0	-19
10	196.038	196.035	196.023	196.034	196.018	196.004	196.005	196.019	196.015	196.015	-3	-12	11	-16	-14	1	14	-4	0	-23
11	196.039	196.034	196.023	196.032	196.016	196.003	196.004	196.015	196.013	196.013	-5	-11	9	-16	-14	1	11	-2	0	-26
12	196.036	196.033	196.019	196.029	196.012	196.001	196.001	196.013	196.011	196.009	-3	-14	10	-18	-10	0	12	-3	-1	-27
13	196.038	196.031	196.023	196.031	196.012	196.002	196.000	196.014	196.010	196.007	-7	-8	7	-18	-10	-2	14	-4	-2	-31
14	196.040	196.033	196.025	196.033	196.013	196.003	196.000	196.014	196.010	196.007	-7	-8	7	-19	-10	-3	14	-4	-3	-33
15	196.045	196.033	196.026	196.034	196.013	196.003	195.999	196.014	196.009	196.007	-12	-7	8	-21	-10	-4	15	-5	-1	-38
16	196.046	196.036	196.028	196.037	196.015	196.006	196.002	196.008	196.012	196.010	-10	-8	9	-22	-10	-4	6	4	-2	-36
17	196.046	196.035	196.030	196.037	196.016	196.007	196.007	196.020	196.018	196.012	-11	-5	7	-21	-9	0	13	-2	-5	-34
18											-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	196.050	196.040	196.033	196.039	196.012	196.015	196.019	196.033	196.023	196.032	-10	-7	6	-27	3	4	14	-10	9	-18
20	196.051	196.042	196.036	196.043	196.015	196.017	196.019	196.034	196.025	196.025	-9	-6	7	-28	2	2	15	-9	0	-26
21	196.053	196.046	196.041	196.044	196.020	196.022	196.023	196.037	196.026	196.029	-7	-5	3	-24	2	1	14	-11	3	-24
22	196.055	196.047	196.044	196.044	196.023	196.024	196.026	196.039	196.029	196.032	-8	-3	0	-22	1	2	13	-10	3	-23
23	196.055	196.047	196.041	196.049	196.025	196.027	196.026	196.040	196.031	196.033	-7	-6	7	-24	2	-1	14	-9	2	-22
24	196.054	196.046	196.039	196.045	196.024	196.024	196.024	196.038	196.029	196.030	-8	-7	6	-21	-1	1	14	-9	1	-24
25	196.055	196.043	196.035	196.044	196.026	196.022	196.022	196.034	196.025	196.029	-12	-8	9	-18	-4	0	12	-9	4	-26
26	196.055	196.044	196.035	196.042	196.023	196.019	196.020	196.030	196.027	196.023	-11	-9	7	-19	-5	1	10	-3	-4	-32

Вихідний пункт A2 (h=194,945)

Значення координат робочих марок на першу епоху спостережень. Цикл 28.08.2024 р Бочка 2

Стійка	Н, м										dH, мм									За весь період
	Цикл-I*	Цикл-II	Цикл-III	Цикл-IV	Цикл-V	Цикл-VI	Цикл-VII	Цикл-VIII	Цикл-IX	Цикл-X	II-I	III-II	IV-III	V-IV	VI-V	VII-VI	VIII-VII	IX-VIII	X-IX	
Дата	-	24.09.23	03.11.23	09.05.24	21.05.24	02.06.24	21.07.24	16.08.24	19.08.24	28.08.24										
1	196.0495	196.041	196.045	196.0462	196.0248	196.0143	196.011	196.025	196.0236	196.018	17	4	1	-21	-11	-3	14	-1	-6	-31
2	196.0496	196.04	196.048	196.0469	196.0253	196.0151	196.013	196.026	196.024	196.019	15	8	-1	-22	-10	-2	13	-2	-5	-31
3	196.0516	196.042	196.052	196.0487	196.0304	196.018	196.014	196.027	196.0253	196.021	15	10	-3	-18	-12	-4	13	-2	-4	-31
4	196.0511	196.043	196.054	196.0502	196.033	196.0193	196.012	196.028	196.0242	196.02	17	11	-4	-17	-14	-7	16	-4	-4	-31
5	196.0523	196.043	196.053	196.0505	196.0339	196.0213	196.013	196.029	196.0286	196.022	16	10	-2	-17	-13	-8	16	0	-7	-30
6	196.053	196.041	196.053	196.0503	196.0346	196.0197	196.014	196.027	196.0221	196.02	13	12	-3	-16	-15	-6	13	-5	-2	-33
7	196.0531	196.04	196.05	196.0514	196.0354	196.0188	196.013	196.025	196.0228	196.019	12	10	1	-16	-17	-6	12	-2	-4	-34
8	196.0526	196.042	196.053	196.0529	196.0372	196.0226	196.014	196.025	196.0251	196.019	14	11	0	-16	-15	-9	11	0	-6	-34
9	196.0533	196.043	196.055	196.0529	196.0362	196.0239	196.014	196.027	196.0284	196.021	15	12	-2	-17	-12	-10	13	1	-7	-32
10	196.0498	196.041	196.054	196.0492	196.0336	196.0237	196.013	196.024	196.0238	196.019	16	13	-5	-16	-10	-11	11	0	-5	-31
11	196.0508	196.039	196.051	196.0463	196.0353	196.0222	196.012	196.022	196.0225	196.017	13	12	-5	-11	-13	-10	10	0	-5	-34
12	196.0494	196.039	196.052	196.0497	196.0378	196.0242	196.016	196.024	196.0236	196.018	15	13	-2	-12	-14	-8	8	0	-6	-31
13	-	196.039	196.05	196.0487	196.0379	196.0244	196.015	196.024	-	196.019	-	11	-1	-11	-13	-9	9	-	-5	-
14	196.0494	196.041	-	-	196.0206	196.02	196.018	196.031	-	196.028	17	-	-	-	-1	-2	13	-	-3	-21
15	196.0478	196.039	196.049	196.0501	196.0197	196.0194	196.019	196.031	-	196.026	16	10	1	-30	0	0	12	-	-5	-22
16	196.0513	196.042	196.051	196.0527	196.0198	196.0252	196.023	196.036	196.0271	196.03	16	9	2	-33	5	-2	13	-9	3	-21
17	196.0534	196.045	196.057	196.0557	196.0242	196.0283	196.026	196.04	196.025	196.035	17	12	-1	-32	4	-2	14	-15	10	-18
18	196.0537	196.045	196.055	196.0562	196.0262	196.0271	196.026	196.039	196.0332	196.036	16	10	1	-30	1	-1	13	-6	3	-18
19	196.0529	196.044	196.055	196.056	196.028	196.0269	196.027	196.041	196.0341	196.036	16	11	1	-28	-1	0	14	-7	2	-17
20	196.0527	196.045	196.053	196.0566	196.0276	196.0308	196.032	196.043	196.0336	196.039	17	8	4	-29	3	1	11	-9	5	-14
21	196.0527	196.045	196.055	196.0516	196.0269	196.0298	196.031	196.043	196.0336	196.038	17	10	-3	-25	3	1	12	-9	4	-15
22	196.0514	196.044	196.054	196.0499	196.0257	196.0277	196.028	196.043	196.0366	196.036	18	10	-4	-24	2	0	15	-6	-1	-15
23	196.054	196.045	196.054	196.0506	196.0253	196.0285	196.028	196.043	196.0353	196.036	16	9	-3	-25	3	0	15	-8	1	-18
24	196.0519	196.041	196.051	196.0497	196.0204	196.0234	196.024	196.039	196.0326	196.032	14	10	-1	-29	3	1	15	-6	-1	-20
25	196.0513	196.039	196.047	196.0469	196.0158	196.0187	196.019	196.035	196.0318	196.029	13	8	0	-31	3	0	16	-3	-3	-22
26	-	-	-	196.0398	196.0094	196.0141	196.016	-	196.0208	-	-	-	-	-30	5	2	-	-	-	-

Вихідний пункт A2 (h=194,945)

Таблиця 3.7

Значення координат робочих марок на першу епоху спостережень.
Цикл Бочка 3 (нова)

Стойка	Н, м	Н, м	Н, м	dH, мм	dH, мм	За весь період
	Цикл-I	Цикл-II	Цикл-III	II-I	III-II	
Дата	16.08.2024	19.08.2024	28.08.2024			
1	194.388	194.385	194.377	-4	-7	-11
2	194.380	194.382	194.372	2	-10	-8
3	194.385	194.382	194.375	-4	-6	-10
4	-	194.380	194.377	-	-3	-
5	194.387	-	194.375	-	-	-12
6	194.387	194.386	194.374	-1	-12	-13
7	194.388	194.378	194.375	-10	-3	-13
8	194.387	194.380	194.376	-7	-4	-11
9	194.388	194.387	194.376	-1	-11	-12
10	194.390	194.382	194.377	-8	-5	-13
11	194.393	194.386	194.379	-7	-7	-14
12	194.392	194.384	194.379	-8	-5	-13
13	194.392	194.385	194.378	-7	-7	-14
14	194.397	194.390	194.381	-7	-9	-16
15	194.392	194.383	194.377	-9	-6	-15
16	194.393	194.385	194.380	-8	-5	-13
17	194.398	194.389	194.386	-9	-3	-12
18	194.393	194.386	194.382	-7	-4	-11
19	194.389	194.385	194.380	-5	-5	-9
20	194.391	194.388	194.380	-4	-7	-11
21	194.390	194.384	194.381	-6	-3	-9
22	194.388	194.386	194.378	-2	-8	-10
23	-	194.386	194.380	-	-6	-
24	194.390	194.391	194.382	1	-9	-8

Вихідний пункт А1 (h=194,053)

Таблиця 3.8

Значення координат робочих марок на першу епоху спостережень.
Цикл Бочка 4 (нова)

Стойка	Н, м	Н, м	Н, м	dH, мм	dH, мм	За весь період
	Цикл-I	Цикл-II	Цикл-III	II-I	III-II	
Дата	16.08.2024	19.08.2024	28.08.2024			
1	193.851	193.855	193.845	4	-10	-6
2	193.852	193.854	193.847	2	-7	-5
3	193.850	193.856	193.840	6	-16	-10
4	193.846	193.862	193.835	16	-27	-11
5	193.847	193.860	193.835	13	-25	-12
6	193.847	193.861	193.833	14	-28	-14
7	193.849	193.855	193.839	6	-16	-10
8	193.851	193.851	193.842	0	-9	-9

Вихідний пункт А3 (h=194,798)

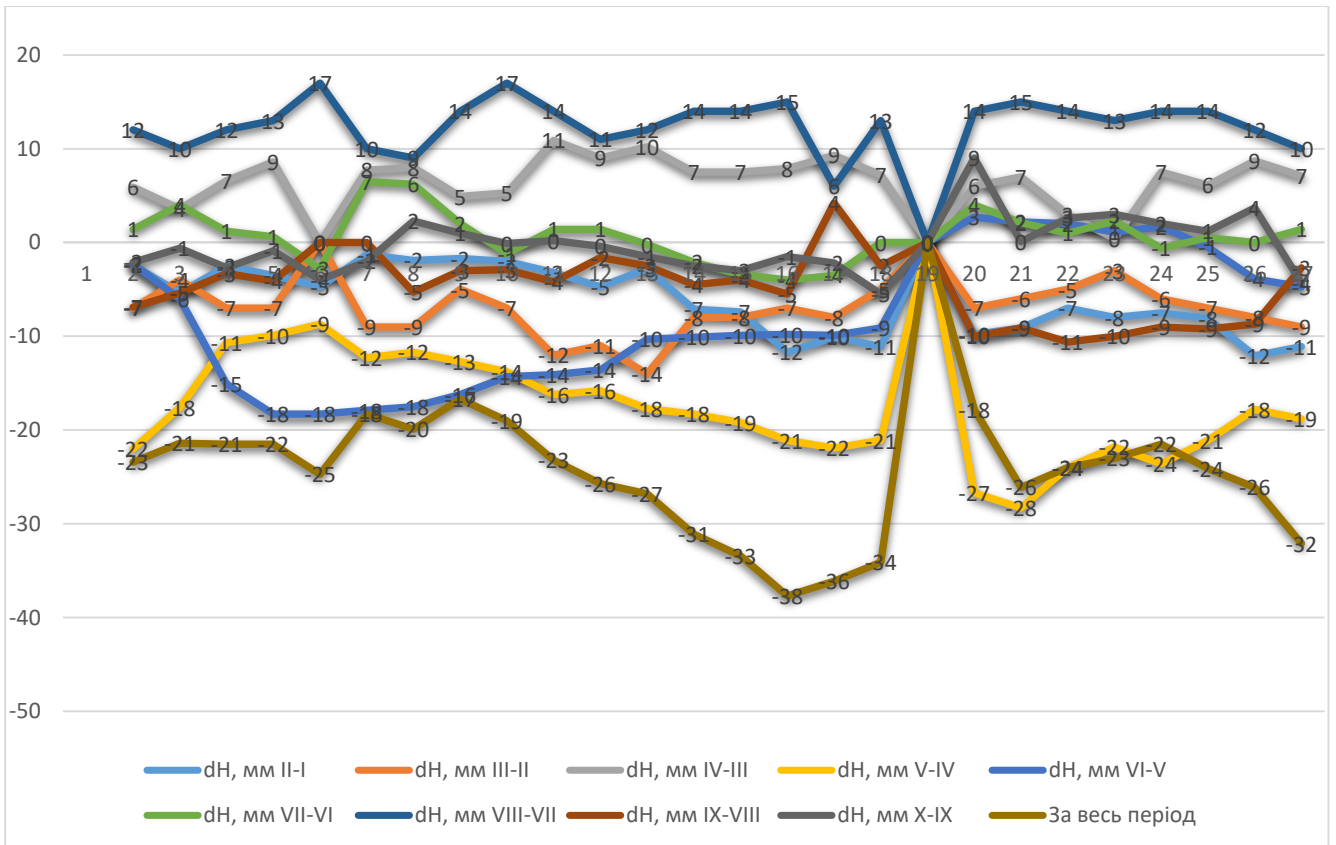


Рис. 3.5. Графік зміни координат робочих марок на першу епоху спостережень. Цикл 1 – 28.08. 2024 р Бочка 1

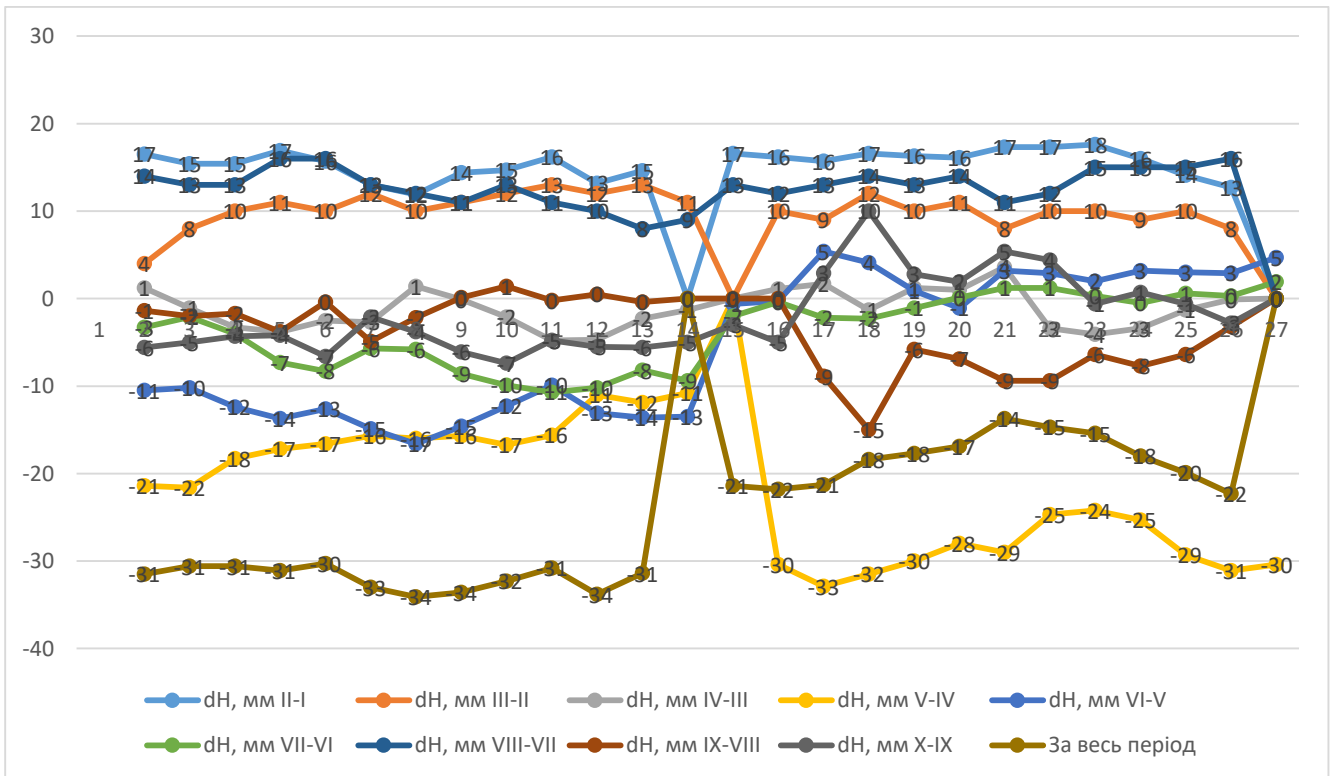


Рис. 3.6. Графік зміни координат робочих марок на першу епоху спостережень. Цикл 28.08.2024 р Бочка 2

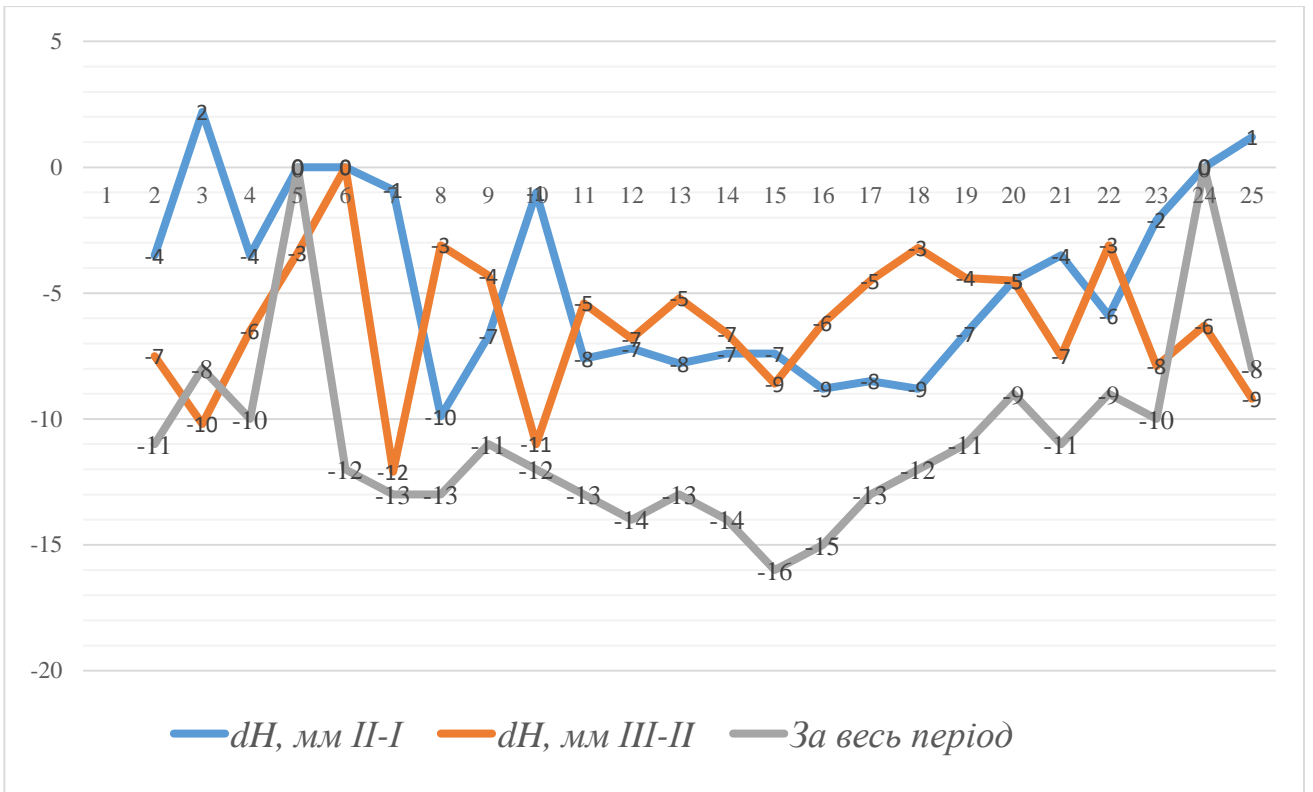


Рис. 3.7. Графік зміни координат робочих марок на першу епоху спостережень. Цикл Бочка 3 (нова)

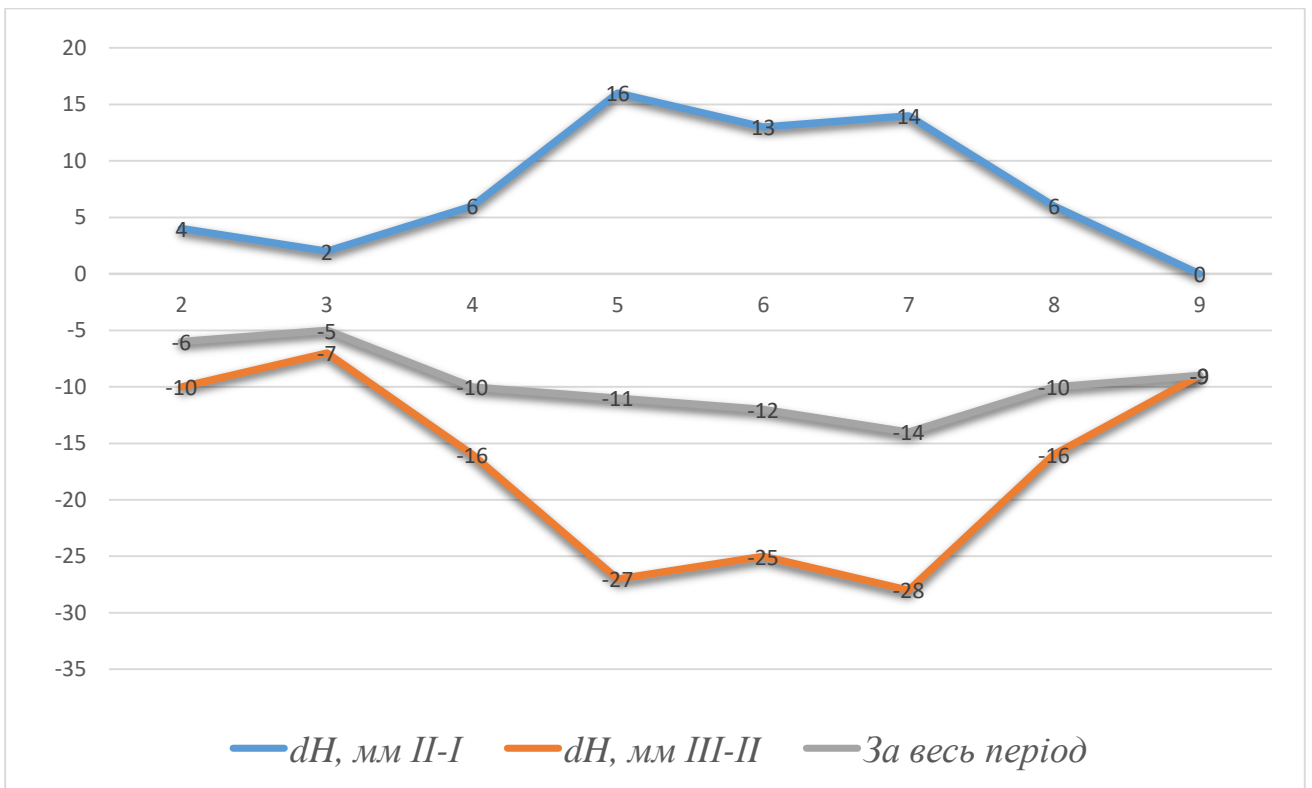


Рис. 3.8. Графік зміни координат робочих марок на першу епоху спостережень. Цикл Бочка 4 (нова).

Таблиця 3.9

Значення координат робочих марок на епоху спостережень.

Цикл	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Марка	X, м	X, м	X, м	X, м	X, м	mx, мм	mx, мм	mx, мм	mx, мм	mx, мм	dx, мм				
MN1	1009.9953	1009.9972	1009.9963	1009.9970	1009.9967	0.1	0.8	1.1	0.1	0.1	0	1.9	0.9	1.7	1.4
MN2	1013.4184	1013.4220	1013.4201	1013.4213	1013.4202	0.5	1.6	1.2	0.1	0.5	0	3.6	1.7	3.0	1.8
MV3	1012.2516	1012.2545	1012.2524	1012.2528	1012.2522	0.1	2.1	0.1	0.1	0.8	0	3.0	0.9	1.3	0.6
MV4	1010.3149	1010.3192	1010.3129	1010.3141	1010.3162	1.8	5.2	2.0	0.6	1.1	0	4.3	-2.0	-0.9	1.3
MV2	1013.8417	1013.8450	-	1013.8444	1013.8432	0.1	1.3	-	0.1	0.1	0	3.3	-	2.7	1.6
MN6	1035.7997	1035.7994	1035.7990	1035.8007	1035.8011	0.5	0.3	0.7	0.2	0.6	0	-0.3	-0.6	1.0	1.4
MV9	1031.9342	1031.9349	1031.9352	1031.9324	1031.9325	0.6	0.5	2.6	0.2	1.1	0	0.7	1.0	-1.8	-1.7
MN9	1033.9375	1033.9381	1033.9377	1033.9369	1033.9374	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0	0.6	0.1	-0.6	-0.2
MV8	1033.5427	1033.5441	1033.5435	1033.5428	1033.5428	0.4	0.4	1.1	0.3	1.1	0	1.4	0.8	0.1	0.1
MN8	1032.4615	1032.4611	1032.4628	1032.4596	1032.4594	0.6	0.5	1.7	0.1	0.8	0	-0.5	1.3	-1.9	-2.1
MN7	1035.8922	1035.8937	1035.8935	1035.8939	1035.8946	0.5	0.1	0.0	0.0	0.4	0	1.5	1.3	1.7	2.4
MV7	1035.1490	1035.1500	-	1035.1496	1035.1507	0.4	0.8	-	0.3	0.4	0	1.0	-	0.6	1.8
MN4			1005.8514	1005.8527	1005.8538			0.8	0.1	0.6					
MN5			1010.3551	1010.3560	1010.4158			2.3	0.3	0.2					
Цикл	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Марка	Y, м	Y, м	Y, м	Y, м	Y, м	my, мм	my, мм	my, мм	my, мм	my, мм	dy, мм				
MN1	496.0927	496.0897	496.0917	496.0919	496.0919	0.6	1.3	0.4	0.1	0.6	0	-2.9	-1.0	-0.7	-0.7
MN2	503.4312	503.4272	503.4280	503.4298	503.4295	0.5	1.6	0.3	0.3	0.2	0	-4.0	-3.2	-1.4	-1.7
MV3	516.5589	516.5558	516.5567	516.5572	516.5579	0.0	1.6	0.5	0.1	0.1	0	-3.1	-2.3	-1.8	-1.0
MV4	539.7727	539.7694	539.7731	539.7720	539.7723	0.6	1.7	1.1	0.4	0.4	0	-3.3	0.4	-0.7	-0.4
MV2	497.9369	497.9296	-	497.9342	497.9344	0.4	5.2	-	0.4	0.1	0	-7.2	-	-2.7	-2.5
MN6	495.7999	495.8006	495.7997	495.7992	495.7968	0.3	0.6	0.9	0.3	0.4	0	0.7	-0.2	-0.7	-3.2
MV9	541.6321	541.6340	541.6340	541.6321	541.6291	0.6	0.6	3.0	0.6	0.0	0	1.8	1.9	0.0	-3.0
MN9	518.3311	518.3315	518.3317	518.3303	518.3284	0.9	0.8	1.1	0.1	0.0	0	0.4	0.6	-0.7	-2.7
MV8	522.9852	522.9855	522.9860	522.9834	522.9811	0.3	0.8	1.8	0.1	0.3	0	0.3	0.7	-1.8	-4.1
MN8	536.0305	536.0305	536.0304	536.0286	536.0268	0.8	1.0	1.6	0.2	0.1	0	-0.1	-0.1	-2.0	-3.8
MN7	508.1835	508.1833	508.1829	508.1817	508.1801	0.8	1.0	1.5	0.1	0.2	0	-0.2	-0.6	-1.8	-3.4
MV7	503.7753	503.7758	-	503.7735	503.7718	1.0	0.3	-	0.1	0.0	0	0.5	-	-1.8	-3.5
MN4			542.1114	542.1122	542.1118			0.8	0.1	0.2					
MN5			539.6137	539.6134	539.6173			0.5	0.1	0.1					

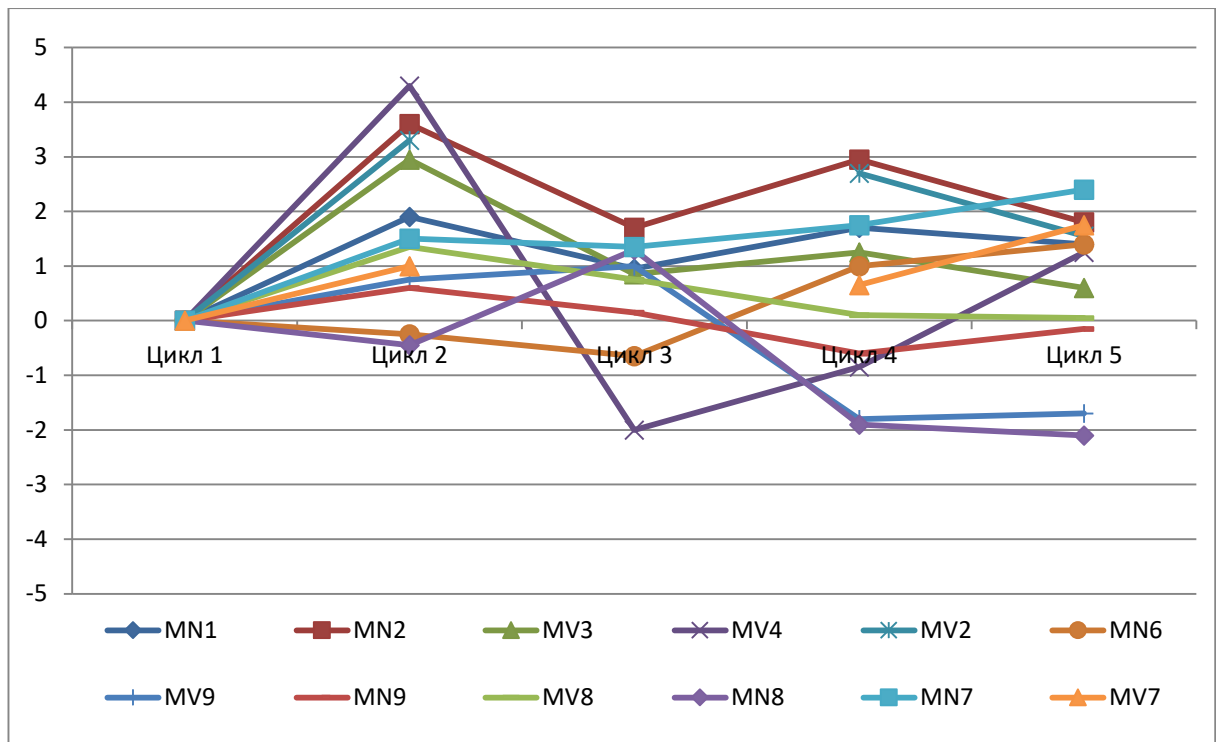


Рис. 3.9. Графік деформацій у площині $dX = X_i - X_1$ встановлений методом ТПС

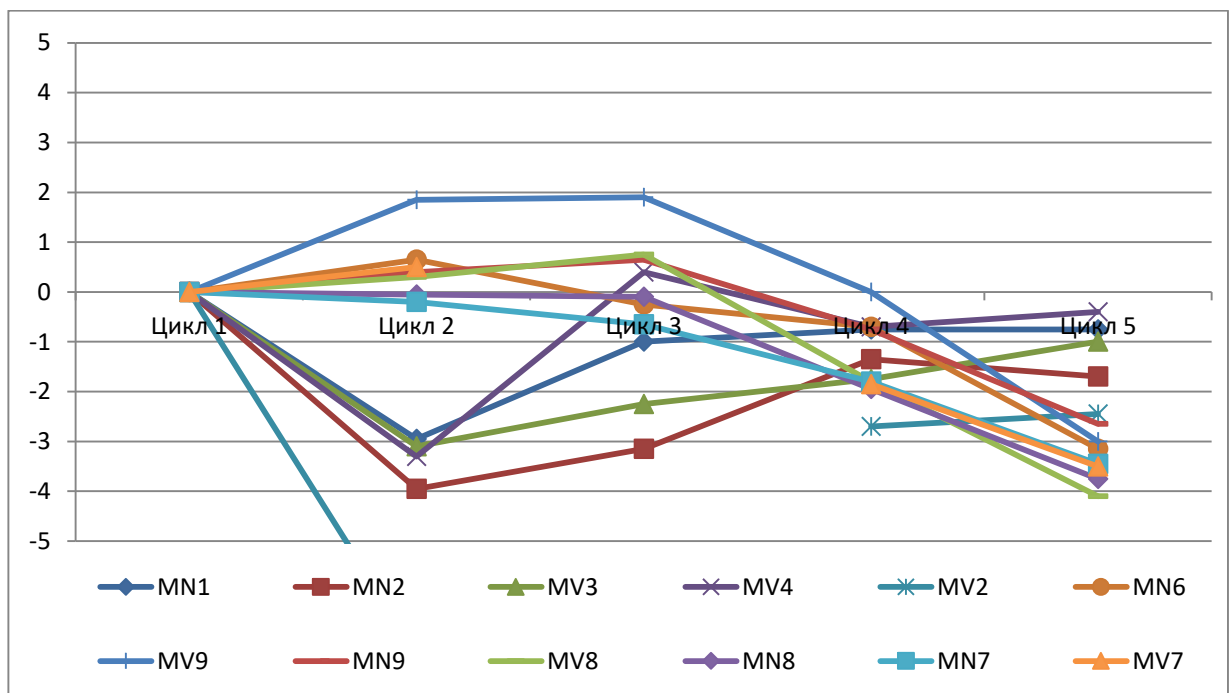


Рис. 3.10. Графік деформацій у площині $dY = Y_i - Y_1$ встановлений методом ТПС

Критичних деформацій не виявлено. Об'єктивно виявлено практично рівномірне просідання будівлі біля 0.5 мм у місяць методом геометричного нівелювання. Такі малі деформації, на жаль, не вловимі для просторового методу ТПС. У просторовому методі ТПС спостерігається кореляція середньоквадратичної

похибки за внутрішньою збіжністю та величиною виявленої деформації. Тобто значення з великими похибками треба відбракувати, як наприклад значення 7 мм другого циклу у площині У-У для марки MV2. Спостереження треба продовжити у період ведення будівельних робіт з періодичністю один раз на місяць для підтвердження теоретичних розрахунків та рівномірності деформацій при навантаженні. Знищений репер №2 було відновлено, також додано дві марки ТПС – MN4 та MN5.

4 ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Сучасний етап інформаційного розвитку суспільства характеризується глобалізацією та активним використанням інформатики й обчислювальної техніки для вирішення економічних і екологічних проблем з метою сталого природокористування.

Прийняття збалансованих управлінських рішень щодо стану довкілля та його змін, обумовлених природними, соціальними й економічними чинниками, потребує достовірної й своєчасної інформації.

Ефективним напрямом вирішення цих проблем є створення інформаційних систем на основі геоінформаційних технологій та використання даних аерокосмічних і наземних спостережень.

Порушення структурної організації в агрогеосистемах спричиняє зміни показників стійкості та надійності. Розміщення компонентів агрогеосистем відносно центрів переробки, споживання, транспортних шляхів, трудових ресурсів і енергетичних баз є важливим для їх функціонування.

Територіальні фактори визначають ефективність сільськогосподарського виробництва та економічну стійкість агрогеосистем. Прив'язка компонентів агрогеосистем до природних типів земель є основою для ефективного використання земельних ресурсів.

Кожен елемент агрогеосистеми має різний час самовідновлення, який зазвичай триває довше в природних комплексах. Для усунення негативних наслідків таких впливів потрібен значний час.

Зміни агрогеосистем проявляються у часі та просторі: у вертикальному зростанні (інтенсифікація сільського господарства) та горизонтальному розвитку (екстенсивний шлях).

Для екологічного моніторингу необхідно розглядати природу і економіку як єдину систему. Важливим є створення напряму економіко-екологічного картографування, що підвищує значення тематичних карт як інструменту

контролю, зокрема комплексних економіко-екологічних карт та серій тематичних форматів.

Доцільно акцентувати увагу на створенні спеціальних карт, які забезпечують інформативність і доступність для спеціалістів. Тематичні карти мають відображати ключові показники економіко-екологічних зв'язків: територіальні об'єкти, забруднювачі, заповідні зони, об'єкти контролю довкілля. Особливу увагу слід приділяти сільськогосподарським землям, рекреаційним зонам, територіям з гідроекологічними проблемами та зонам забруднення.

Результати таких робіт дозволяють визначити критерії еколого-економічної оцінки для запобігання негативним тенденціям. Важливо враховувати зони радіаційної небезпеки, які виникають через атомні електростанції, полігони чи відкриті кар'єри.

Поряд з цим, картографічно відображаються медико-географічні умови території з урахуванням впливу техногенних факторів на здоров'я. Усі регіональні еколого-економічні карти мають бути оперативно-господарськими, тому важлива система їх оновлення з використанням автоматизованих систем картографування.

Наголошується на важливості космічної інформації для економіко-екологічного картографування та оцінки території. Картографування еколого-економічних процесів із використанням космічної інформації є частиною тематичного картографування. Перший етап включає створення інвентаризаційних карт природно-економічних умов і стану ресурсів території. Результати цього етапу є основою для методики створення карт і моніторингу динаміки еколого-економічних процесів [18].

Космічна інформація — цінний ресурс для відстеження змін у середовищі, прогнозування їх розвитку, наукового обґрунтування господарської діяльності й раціонального використання ресурсів.

Роль космічної фотоінформації визначальна при картографуванні природних ресурсів і явищ, таких як заболочування, засолення, зсуви, ерозія тощо.

Застосування космічних знімків для дослідження агрогеосистем охоплює п'ять категорій, зокрема використання знімків для картографування стану агрогеосистеми та визначення меж об'єктів.

За визначенням Науково-технічного підкомітету Комітету ООН з космосу, дистанційне зондування - це спостереження та вимірювання характеристик власного й відбитого випромінювання суші, океану та атмосфери Землі в різних діапазонах, що допомагає описувати розташування, характер і змінність природних параметрів, явищ, ресурсів Землі, навколишнього середовища та антропогенних об'єктів [1].

Топографо-геодезичне забезпечення еколого-економічної оцінки агрогеосистем має базуватись на сучасних технологіях збору й обробки геопросторової інформації, що охоплює значні території, регулярно оновлюється й забезпечує точність відображення просторового положення всіх елементів агрогеосистем.

Наразі іконічна інформація, отримана через дистанційне зондування, використовується для вирішення понад 300 наукових, господарських і екологічних задач, однак бракує загальних класифікацій космічних систем дистанційного зондування за їх характеристиками.

У той же час, для забезпечення топографо-геодезичної бази еколого-економічної оцінки агрогеосистем можна виділити тематичні завдання, які слугують основою для класифікації космічних апаратів дистанційного зондування за їх призначенням:

- інвентаризація сільськогосподарських угідь, ідентифікація видів культур, прогноз врожаю, аналіз потенціалу;
- моніторинг глобальних атмосферних змін;
- вимірювання температури поверхні, оцінка її стану, визначення складу атмосфери, спостереження за хмарами і покривом, дослідження "парникового ефекту";
- пошук корисних копалин і енергоресурсів (нафти, газу, вугілля);

- топографічне картографування, створення й оновлення карт, моніторинг росту населених пунктів, контроль стану ґрунтів і пасовищ;
- спостереження прибережних зон і океанів, моніторинг водних джерел, оцінка океанських ресурсів, вимірювання товщини льоду, визначення снігового покриву та його водного еквівалента, виявлення джерел забруднення акваторій.

Основні етапи топографо-геодезичного забезпечення еколого-економічної оцінки територіальних агрогеосистем включають:

- Впровадження програмно-технологічних засобів для візуалізації, обробки та аналізу геопросторових даних із використанням ГІС-технологій;
- Формування геоінформаційної бази топографо-геодезичних даних і тематичної картографічної інформації різних масштабів у растровому та векторному форматах;
- Розвиток програмно-технічних комплексів прийому й обробки аерокосмічних знімків;
- Формування бази дистанційного зондування землі з відповідною обробкою;
- Впровадження комплексу дистанційного дослідження ґрунтів у поєднанні із традиційними наземними методами та створення бази даних якості ґрунтів, урожайності культур, ступеня деградації земель тощо.

Застосування топографо-геодезичного забезпечення для еколого-економічної оцінки територіальних агрогеосистем дає змогу отримувати оперативну та достовірну інформацію про їхній стан як на регіональному рівні, так і в цілому по державі, зокрема завдяки:

- комплексному використанню даних дистанційного зондування земної поверхні та ґрунтових обстежень для оцінки стану агроландшафтів;
- застосуванню різночастотних і різносезонних даних дистанційного зондування Землі для аналізу динаміки показників якості ґрунтів (вміст гумусу, вологозапас, забруднення, деградаційні процеси тощо).

ВИСНОВКИ

Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає в аналізі методів геодезичних вимірювань конструкцій промислових будівель для оцінки можливості їх використання як елеваторів для зберігання зерна.

Геодезичні спостереження за деформаціями будівель і споруд забезпечують дані про абсолютні величини осідань і зміщень, а також динаміку їх змін у часі. Основними об'єктами дослідження є вертикальні осідання, горизонтальні зміщення та крени. Крени, притаманні спорудам баштового типу, виникають через нерівномірне осідання, вигин або нахил верхньої частини під впливом температури чи вітру. Повна інформація про крени доступна лише за результатами спільного спостереження за положенням фундаменту та корпусу споруди. Для їх визначення застосовують різні методи: координатний, горизонтальних і малих кутів, вертикального проектування, зенітних відстаней, високоточного нівелювання, стереофотограмметрії тощо. Геодезичний контроль геометричних параметрів споруд полягає у перевірці відповідності конструкцій проектним вимогам або у виконавчому зніманні їх планового і висотного положення після монтажу. Геодезичний моніторинг включає систему вимірювань, реєстрацію результатів і їх аналітичну обробку із використанням приладів і автоматизованих комплексів відповідно до технічного завдання.

На території Сокальського елеватора (с.м.т. Жвирка) під час геодезичного моніторингу значних деформацій не виявлено. Встановлено рівномірне просідання будівлі близько 0,5 мм на місяць методом геометричного нівелювання, що неможливо зафіксувати просторовим методом ТПС через його нижчу чутливість. У ТПС спостерігається кореляція між похибками та деформаціями: значення з великими похибками, наприклад 7 мм другого циклу для марки MV2 у площині У-У, слід відхиляти. Спостереження необхідно продовжувати під час будівельних робіт із періодичністю раз на місяць для підтвердження теоретичних розрахунків. Знищений репер №2 відновлено, додано дві марки ТПС – MN4 та MN5.

Бібліографічний список

1. Баран П.. Інженерна геодезія / П.І. Баран – К.: ПАТ «ВІПОЛ», 2012. –
2. Войтенко С. П. Геодезичні роботи в будівництві : навчальний посібник / Войтенко С. П. – К. : ІСДО, 1993. – 144 с.
3. Войтенко С.П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів. – К.: «КНУБА», 2003. – 216с.
4. Гасенко А.В., Коробка А.О. Алгоритм математичної обробки результатів геодезичного супроводу випробувань будівельних конструкцій // Тези 75-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету. Том 1. (Полтава, 02 травня – 25 травня 2023 р.) – Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка, 2023. – С. 72– 73.
5. Гасенко А.В., Коробка А.О. Застосування високоточних оптичних приладів для геодезичного супроводу випробувань будівельних конструкцій // International scientific and practical conference «Planning and use of territories within the context of inclusive development» (Харків, Державний біотехнічний університет, 17-18 травня 2023 р.).
6. Гнат Г. О. Формування міського фонду доступного і соціального житла в Україні. Проблемы теории и истории архитектуры Украины. ОДАБА. 2016. №16. С. 58–65.
7. Гнесь І. П. Актуальні проблеми і задачі житлової політики у великому місті. Архітектурний вісник КНУБА. Київ, 2016. Вип. 10. С. 325– 334.
8. Григоровський П.Є., Дейнека Ю.В., Косолап Л.О. Деякі особливості вибору методів виконання геодезичного забезпечення при будівництві НСК «Олімпійський». Нові технології в будівництві : наук-техн. зб. Київ : Вид-во «Ліра-К». 2010. Вип. 19. С. 9–15.
9. Григоровський П.Є., Дейнека Ю.В., Косолап Л.О. Нормативна база геодезичного забезпечення будівельних робіт в Україні. Нові технології в будівництві. №2 (22). 2011. С. 12–20.

10. Григоровський П.Є., Крошка Ю.В. Аналіз та вдосконалення нормативної бази з геодезичного забезпечення будівництва (перегляд ДБН В.1.3-2:2010 Геодезичні роботи у будівництві). Будівельне виробництво : наук-техн. зб. Київ : ЦП «Компринт». 2017. Вип. 62/3. С. 3 – 7.

11. ДБН Б В.1.3-2: 2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві.

12. ДБН В.1.3-2:2010 "Геодезичні роботи в будівництві". Київ: Мінрегіонбуд України. 2010. 70 с.

13. ДСТУ ISO/IEC 17025:2006. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій. [Чинний від 2006-12-27]. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 26 с.

14. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 "Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. виконання вимірювань, розрахунок точності геометричних параметрів. Настанова".

15. Зазуляк П.М., Гавриш В.І. та ін. Основи математичного опрацювання геодезичних вимірювань. – Львів: Видавництво «Растр-7», 2007. – 408с.

16. Кравчуновська Т. С., Броневицький С. П., Ковальов В .В., Данилова Т. В., Ткач Т. В. Планування розміщення і організація будівництва та реконструкції об'єктів доступного житла з урахуванням містоформуючих особливостей територій великих міст. Монографія. Дніпро: Літограф, 2019. 228 с.

17. Крошка Ю.В., Мурасьова О.В., Фурсов Ю.В. Вибір раціональних методів геодезичних робіт з урахуванням їх впливу на будівельно-монтажні роботи. Science and Education a New Dimension : Natural and Technical Sciences. 2019. № VII(26), Issue: 215 С. 20-23.

18. Методичні рекомендації з виконання геодезичних робіт у будівництві / Григоровський П., Дейнека Ю., Косолап Л., Войтенко С., Шульц Р. Київ : ДП НДІБВ. 2011. 117 с.

19. Могильний С. Г. Геодезія / С. Г. Могильний, С. П. Войтенко. – Чернігів : КП Видавництво «Чернігівські обереги», 2002. – 408 с.

20. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд : ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. [Чинний з 2017 – 04 – 01] / Бабік К., Калюх Ю., Мар'єнков М., Немчинов Ю., Слюсаренко Ю., Тарасюк В., Фаренюк Г., Галінський О., Григоровський П., Крошка Ю. та ін. Київ : ДП «УкрНДНЦ». 2017. 38 с.

21. Пічугін С.Ф. Математична обробка геодезичних вимірів. – Полтава: Видавництво «АСМІ», 2006. – 167с.

22. Ратушняк Г. С. Геодезичні роботи в будівництві / Г. С. Ратушняк, О. Г. Лялюк. – Вінниця : ВНТУ, 2008. – 182 с.

23. Рій І.Ф., Бочко О. І., Біда О.Ю. Електронні геодезичні прилади: навч. пос. І.Ф. Рій, О. І. Бочко, О.Ю. Біда – Львів: «ГАЛИЧ-ПРЕС», 2021. – 336с.: іл.

24. Семко О. В., Воскобійник О. П., Гасенко А. В. Утворення сталезалізобетонних конструкцій під час підсилення обетонуванням сталевих стиснутих елементів громадських будівель. Зб. наук. пр. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. Полтава: ПолтНТУ, 2012. Вип. 3 (33). С. 217–221.