

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Гірничий факультет

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра геотехнічної інженерії

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В. о. завідувача кафедри

В. І. Альохін

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«_____» _____ 2023_р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: Вибір та обґрунтування методів спостережень за деформаціями споруд в умовах ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське»

Виконала: студентка 2 курсу, групи ГКЗм-22

напряму підготовки (спеціальності) 193 «Геодезія та землеустрій»

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Сазоненко О.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доц. каф. ГТІ, к.т.н. Кодунов Б.О.

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

Зав. кафедри гірничої справи ТОВ "ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА"

канд. техн. наук, доцент Кам'янець В.І.

(посада, наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.*

Студентка Сазоненко О.О. _____

(підпис)

Покровськ – Луцьк – 2023

ДВНЗ «Донецький Національний Технічний Університет»

Факультет ГірничийКафедра Геотехнічної інженеріїОсвітньо-кваліфікаційний рівень (освітній ступінь) магістрНапрямок підготовки (спеціальність) 193 «Геодезія та землеустрій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____/В. І. Альохін/

“ ____ ” _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУСазоненко Олені Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вибір та обґрунтування методів спостережень за деформаціями споруд в умовах ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське»керівник роботи Кодунов Борис Олексійович, к.т.н, доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом №479 від “22” 09 2023 року2. Строк подання студентом роботи 22 грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи):

- матеріали переддипломної практики;
- опрацьовані дані з літературних джерел;
- результати математичних розрахунків;
- фактичні дані з підприємства у напрямку досліджень.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

1. Загальні відомості про підприємство.

2. Характеристика методів виконання спостережень за деформаціями будівель та споруд.

3. Вибір та обґрунтування методів виконання спостережень за деформаціями будівель та споруд в умовах ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

4. Заходи з техніки безпеки при виконанні геодезичних робіт.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Кодунов Б.О., доц., к.т.н.		
Нормоконтроль	Альохін В.І., доц., д.г.н.		

7. Дата видачі завдання 22.09.23 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	При мітка
1	Ознайомлення з темою випускної роботи	22.09.2023-01.10.2023	
2	Мета і завдання досліджень	02.10.2023-09.10.2023	
3	Загальні відомості про підприємство	10.10.2023-22.10.2023	
4	Характеристика методів виконання спостережень за деформаціями будівель та споруд	23.10.2023-03.11.2023	
5	Вибір та обґрунтування методів виконання спостережень за деформаціями будівель та споруд в умовах ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське»	04.11.2023-02.12.2023	
6	Заходи з техніки безпеки при виконанні геодезичних робіт	03.12.2022-10.12.2023	
7	Оформлення роботи	11.12.2023-16.12.2023	

Студент

_____ **Сазоненко О. О.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Кодунов Б. О.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Сазоненко О. О. Вибір та обґрунтування методів спостережень за деформаціями споруд в умовах ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

До складу ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське» входить система промислових майданчиків та інших об'єктів, які потребують постійного геодезичного обслуговування, у тому числі – спостережень за деформаціями будівель та споруд.

Результати спостережень за деформаціями будівель та споруд показують, якою мірою проектні рішення забезпечують надійність та експлуатаційну придатність споруд, а також дають можливість будівельникам та експлуатаційникам своєчасно приймати необхідні заходи щодо боротьби з деформаціями, що виникають, або усунення наслідків таких деформацій.

У даній роботі виконано порівняння методів виконання робіт при спостереженнях за вертикальними переміщеннями, горизонтальними переміщеннями та кренами будівель та споруд.

В результаті проведеного аналізу точності результатів спостережень за зрушеннями і деформаціями будівель та споруд обрано відповідні методи виконання спостережень. Також проведено дослідження можливості застосування електронних тахеометрів для виконання комплексу вимірювань зрушень земної поверхні на спостережних станціях та виконано обґрунтування умов проведення вимірювань для досягнення необхідної точності.

Ключові слова: шахта, будівлі та споруди, зрушення та деформації, середня квадратична похибка, електронний тахеометр, зрушення земної поверхні.

ABSTRACT

Sazonenko O. O. Selection and substantiation of methods of observation of deformations of structures in the conditions of PJSC "Mining Management "Pokrovske" / Graduation qualification work for obtaining the educational degree "master" in specialty 193 "Geodesy and land management". – DVNZ DonNTU, Lutsk, 2023.

The structure of PJSC "Mining Management "Pokrovske" includes a system of industrial sites and other objects that require constant geodetic maintenance, including observations of deformations of buildings and structures.

The results of observations of deformations of buildings and structures show the extent to which design solutions ensure the reliability and operational suitability of structures, and also enable builders and operators to take the necessary measures in a timely manner to combat the deformations that arise or the consequences of eliminating such deformations.

In this work, a comparison of the methods of performing work during the observation of vertical movements, horizontal movements, and tilting of buildings and structures is performed.

As a result of the analysis of the accuracy of the results of observations of displacements and deformations of buildings and structures, appropriate methods of observation were chosen. A study of the possibility of using electronic total stations to perform complex measurements of displacements of the earth's surface at observation stations was also carried out, and the justification of the conditions for carrying out measurements to achieve the required accuracy was carried out.

Keywords: mine, buildings and structures, displacements and deformations, root mean square error, electronic total station, displacement of the Earth's surface.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО	10
1.1 Загальна характеристика ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське»	10
2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ВИКОНАННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД...	19
2.1 Основні характеристики деформацій споруд та методів їх спостережень.....	19
2.2 Організація та проведення спостережень за деформаціями будівель та споруд.....	28
3 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ПРОВЕДЕННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ ОБ'ЄКТІВ.....	35
3.1 Обґрунтування необхідної точності виконання спостережень за деформаціями.....	35
3.2 Вибір методів та точності приладів для визначення вертикальних переміщень.....	37
3.2.1 Геометричне нівелювання.....	38
3.2.2 Вимірювання осідань геометричним нівелюванням III класу...	40
3.2.3 Тригонометричне нівелювання.....	45
3.2.4 Гідростатичне нівелювання.....	52
3.3 Вибір методів та точності приладів для визначення горизонтальних переміщень.....	57
3.3.1 Дослідження точності визначення горизонтальних зміщень способом малих кутів.....	60
3.4 Вимірювання кренів споруд.....	63
3.5 Конструкція вихідних реперів та спостережних марок.....	67
3.6 Визначення деформацій із застосуванням сучасних технологій	70

3.7	Спеціальні методи визначення деформацій споруд в умовах гірничого підприємства.....	74
3.7.1	Визначення співвісності валів вентиляторів головного провітрювання центробіжного типу.....	74
3.7.2	Спостереження за деформаціями об'єктів при їх підробці гірничими роботами.....	76
4	ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ З ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД.....	84
4.1	Охорона праці під час проведення польових робіт.....	84
	ВИСНОВКИ.....	87
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	88

ВСТУП

Результати спостережень за деформаціями будівель та споруд показують, якою мірою проектні рішення забезпечують надійність та експлуатаційну придатність споруд, а також дають можливість будівельникам та експлуатаційникам своєчасно приймати необхідні заходи щодо боротьби з деформаціями, що виникають, або усунення наслідків таких деформацій.

Геодезичні спостереження виконуються безпосередньо на місцевості та полягають у вимірі положення контрольних точок (деформаційних марок) щодо вихідних пунктів, розташованих за межами зони деформації.

Незважаючи на велику різноманітність будівель та споруд, основні геодезичні роботи при вимірі деформацій будівель та споруд зводяться до наступних:

- 1) вимірювання осідань;
- 2) визначення зсуву контурів будівель та споруд;
- 3) вимір крену.

Для оцінки значущості виявлених деформацій отримане значення деформаційної характеристики порівнюють із граничною похибкою її визначення. Якщо абсолютне значення деформаційної характеристики не перевищує граничну похибку її визначення, вважається, що контрольована точка не змінила свого становища (деформації відсутні).

Спостереження за деформаціями будівель та споруд виконують різними методами та інструментами, вибір яких залежить від необхідної точності результату спостережень.

Клас точності спостережень обирається відповідно до виду об'єкту та поставленої мети. Нормативними документами встановлено чотири класи точності виконання спостережень з діапазоном точності 1 – 10 мм.

Метою роботи є обґрунтування методів спостережень за деформаціями будівель та споруд для використання їх в умовах ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

Основні завдання дослідження полягають у наступному:

1. Виконати порівняльний аналіз методів виконання робіт при спостереженнях за вертикальними переміщеннями, горизонтальними переміщеннями та кренами будівель та споруд.
2. Виконати аналіз точності результатів спостережень за зрушеннями і деформаціями будівель та споруд.
3. На основі виконаного аналізу обрати відповідний метод для спостереження за зрушеннями та деформаціями.

Об'єктом дослідження є методи спостережень за зрушеннями та деформаціями будівель та споруд.

Предметом дослідження є точність методів спостережень за зрушеннями та деформаціями будівель та споруд і можливість їх застосування в конкретних умовах.

При дослідженні використовувались наступні методи:

- аналіз технічної літератури;
- вивчення та узагальнення вітчизняної і закордонної практики;
- порівняння;
- класифікація.

Практичне значення роботи полягає в удосконаленні методик виконання спостережень за зрушеннями та деформаціями будівель та споруд в умовах ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське».

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, викладена на 89 сторінках.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПІДПРИЄМСТВО

1.1 Загальна характеристика ПрАТ «Шахтоуправління «Покровське»

Будівництво ПрАТ «Шахтоуправління «Покровське» (шахта «Красноармійська – Західна №1») розпочато у 1974 р. за проектом інституту «Дондіпрошахт». Рік введення до експлуатації – 1990.

Будівництво здійснювалось промисловим об'єднанням «Донецькшахтобуд». Функції генерального підрядника на будівництві виконував трест «Красноармійськшахтобуд».

Ділянка шахтного поля знаходиться у 13 км від м. Покровськ, який є районним центром та крупною залізничною станцією, займаючи вигідне географо-економічне положення,

Через ділянку шахтного поля з заходу на схід проходить залізнична магістраль Ростов – Київ і одноколійна залізнична дорога Покровськ – Павлоград – Дніпропетровськ.

Підприємство розташоване на рівнинній місцевості. Рельєф ділянки простий із загальним невеликим нахилом у бік річки Солона, яка знаходиться у південно-західному напрямку від ділянки розташування підприємства.

Річка Солона протікає в південно-західній частині описуваної ділянки. Довжина річки на даній площі складає 3,0 км. Загальна довжина ріки від джерел до устя складає 70 км. Свій початок вона бере біля с. Михайлівка і впадає в ріку Вовчу. Напрямок протікання річки – із сходу на захід, тобто майже широтний.

Як і для всього Покровського вугленосного району, клімат району розташування ПрАТ «Шахтоуправління «Покровське» помірно-континентальний, що характеризується різкими коливаннями температури і невеликою кількістю опадів. Найвищі температури повітря спостерігаються в липні (+38°), а найбільш низькі – в січні (-28°). Зими звичайно короткі,

малосніжні, особливістю яких є часті відлиги з дощами та снігом. У січні-лютому спостерігається найбільша товщина сніжного покриву 0,2 м. Найбільша глибина промерзання ґрунту становить 1,0 м.

Поле шахти складено породами нижнього карбону юрського ярусу, представленого свитами C_1^4 і C_2^0 , повсюдно покритими більш молодими утвореннями третинного (неогенового) і четвертинного віків.

Четвертинні відкладення поширені суцільним покривом і представлені суглинками і глинами з вапняними стягненнями і сланцями залізнення. Потужність четвертинних відкладень змінюється від 0 до 59 м, переважно 20 - 30 м. Четвертинні відкладення повсюдно перекриті ґрунтовим пластом 0,30 - 0,70 м.

Відкладення неогенового віку на більшій частині площі представлені тонкозернистими пісками від 0 до 38 м., переважно 15 - 25 м. У нижній частині піски обводнені і здатні до опливання. Вище пісків подібно сланцям залягають сарматські суглинки і глини, що іноді переходять у супіски. Потужність сарматських відкладень 4 - 11 м.

Відкладення нижнього карбону свити C_1^4 представлені від вапняку D_4 (Петропавлівського) до вапняку E_1 і складені пластами піщаників, що переміщаються, сланців піщаних і сланців глинистих, що уміщають вугільні пласти; переважають сланці піщані і піщаники. Вапнякових пластів у ґрунті міститься до 21, вугільних прошарків - до 27.

У тектонічному відношенні поле шахти розташоване в центральній частині геолого - промислового району між Котлинським насувом на сході і Криворізько-Павловським скидом на заході. Площа ділянки являє собою дуже пологої антиклінальну складку, витягнуту вздовж Криворізько-Павловського скиду майже в меридіанному напрямку.

Промислове значення на полі шахти має пласт d_4 , і на окремих незначних ділянках пласт d_6^1 .

Пласт d_4 характеризується простою і складною будовою, загальна потужність пласту коливається від 0,90 до 2,15 м, корисна від 0,75 до 1,90 м,

рідко до 2,00 м.

Вугілля пласту d_4 коксівне, марки К. На всій площі шахтного поля вугілля містить сірку, в середньому 0,8%. Зольність пласту мінлива і постійно збільшується від центру до периферії.

Як і зольність, збагачуваність вугілля на площі шахтного поля неоднакова. За даними досліджень, вугілля має важку і дуже важку збагачуваність. У центральній частині поля, де вугілля пласту однорідне і зольність його не перевищує 8 %, збагачуваність вугілля легка. Вугілля шахти є кошовною сировиною для коксування.

Основна покрівля пласта d_4 представлена дрібнозернистим пісковиком потужністю до 20 м, найбільш характерної 5-10 м.

Породи безпосереднього ґрунту слабкі. Це сланці глинисті чи піщані загальною потужністю до 2 м з межею міцності на стиск до 200 кг/см². Нижче сланців залягає пісковик потужністю до 20 м.

Метаноносність пласта d_4 змінюється від 10 до 25 м³/т с.б.м.

Вугільний пласт d_4 нижче ізогіпси мінус 521,2 м є небезпечним по раптовим викидам вугілля й газу, вище відноситься до загрожуваних.

Пісковики нижче глибини 600 м мають низький ступінь викиднебезпечності.

Пласт d_4 небезпечний по вибуховості вугільного пилу.

Шахта є надкатегорної за газом, небезпечною за раптовими викидами вугілля, породи й газу.

Межами шахтного поля є:

- за підняттям – Криворізьсько-Павлівський скид;
- за простяганням – на півночі зкид № 8 та умовна лінія, що продовжує його за лінією виклинювання пласта; на півдні – умовна лінія, що проходить напівднь від свердловин № 2287 та № 2807 на відстані 300 та 400 метрів відповідно, далі – за лінією виклинювання, до ізогіпси «мінус» 1400 м;
- за падінням – ізогіпса «мінус» 1400 м, лінія виклинювання пласта.

Розміри шахтного поля: за простяганням - 19 км; за падінням - 13 км.

Балансові запаси вугілля по шахті складають: категорія А – 51006 млн.т., категорія В – 75485 млн.т., категорія С₁ – 146595 млн.т., разом – 273 086 млн.тон.

Річний видобуток вугілля ПРАТ «Шахтоуправління» Покровське» становить більше 5 млн. тон.

Шахтне поле розкрито вертикальними стволами на горизонтах 593 м, 708 м, 815 м.

У даний час на шахтному полі пройдено 8 вертикальних стволів і вентиляційна свердловина.

Скіповий (головний) ствол пройдено до горизонту 708 м. Він служить для видачі вугілля та породи, вихідного струменю повітря з шахти.

Клітьовий (допоміжний) ствол служить для спуску – підйому людей, матеріалів й обладнання, подачі свіжого струменя повітря у шахту. Ствол пройденого до горизонту 708 м.

Повітряподаючий ствол №1 пройдено до горизонту 593 м. Служить для опуску – підйому людей, матеріалів, видачі гірничої маси й подачі свіжого струменя повітря у шахту.

Вентиляційна свердловина призначена для видачі вихідного струменю повітря, пройдена до горизонту 593 м.

Вентиляційний ствол №1 призначений для аварійного підйому людей й видачі вихідного струменю повітря, пройдений до горизонту 708 м.

Повітряподаючий ствол №2 служить для опуску – підйому людей, матеріалів, обладнання, подачі свіжого струменя повітря у шахту. Цей ствол пройдений до горизонту 815 м.

Скіповий вентиляційний ствол №2 гор. 815 м служить для видачі вугілля та породи, вихідного струменю повітря з шахти.

Повітряподаючий ствол №3 служить для опуску – підйому людей, матеріалів, обладнання, подачі свіжого струменя повітря у шахту. Пройдений до відмітки "мінус" 701,35 м.

Вентиляційний ствол №3 призначений для аварійного підйому людей й

видачі вихідного струменю повітря. Пройдений до відмітки "мінус" 774,4 м.

Шахтне поле поділене на блоки. У блоках прийнято в основному панельний спосіб підготовки.

На шахті прийнята стовпова система розробки. Спосіб управління покрівлею – повне обвалення.

До складу комплексу об'єктів поверхні шахтоуправління входить 6 промислових майданчиків, а також під'їзна залізна дорога, автомобільні дороги, естакади, наземні конвеєрні лінії, трубопроводи, породний відвал, ставок-накопичувач шахтних вод.

У північно-східній частині шахтного поля розташовано основний промисловий майданчик (рис. 1.1), до складу якого входять головний і допоміжний стволи. Підйомні комплекси стволів розташовані у копрах баштового типу. Стволи об'єднані в єдиний блок будівель та споруд головного й допоміжного стволів.

На основному промисловому майданчику розташована шахтна залізнична станція для відправки вугілля споживачам.



Рисунок 1.1 – Основний промисловий майданчик

Повітряподаючий ствол №1. Промисловий майданчик (рис. 1.2) розташований на північному заході шахтного поля. На ньому розміщений повітряподаючий ствол №1, який має металевий копер тентового типу. Основне призначення ствола – подача свіжого повітря в шахту. Крім того, ствол використовується для спуску або підйому людей, обладнання та матеріалів, а також для видачі породи.

Ствол оснащений 2 підйомними посудинами – кліттю і баддею. Остання використовується для видачі на поверхню породи.

На промисловому майданчику є вентиляційна свердловина, призначена для випуску відробленого струменя повітря.

Котельня використовується для нагрівання повітря, що подається в шахту через повітряподаючий ствол №1.

Відпрацьований потік повітря відводиться через вентиляційну свердловину за допомогою головного витяжного вентилятора.

На промисловому майданчику також розташовані адміністративні та побутові будівлі.



Рисунок 1.2 – Промисловий майданчик повітряподаючого ствола №1

Вентиляційний ствол № 1 та його промисловий майданчик (рис. 1.3) розташований в центральній частині шахтного поля.

Він має найменшу площу з усіх майданчиків.

Вентиляційний ствол №1 призначений для випуску з шахти відробленого струменя повітря, для спуску і підйому шахт, людей, обладнання, матеріалів, а також для видачі гірських порід.

На промисловому майданчику також знаходиться ряд об'єктів, необхідних для виконання технологічного процесу: будівля вентиляційної установки головного провітрювання, будівля адміністративно-побутового комбінату та ін.



Рисунок 1.3 – Промисловий майданчик вентиляційного ствола №1

У зв'язку з розвитком гірничих робіт та відробітком підготовлених запасів вугілля виникла необхідність у підготовці нових блоків, проходці нових стволів і будівництві нових промислових майданчиків.

На промисловому майданчику повітряподаючого ствола №2 (рис. 1.4) крім повітряподаючого розташований скіповий вентиляційний ствол №2.

Повітряподаючий ствол №2 виконує функції спуску та підйому людей, матеріалів, видачі породи, подачі свіжого струменя повітря в шахту.

Скіповий вентиляційний ствол №2 використовується для видачі вугілля та вихідного струменя повітря.

Об'єкти промислового майданчика виконують всі технологічні процеси окремої шахти з повним виробничим циклом і транспортуванням вугілля на поверхню. Основне призначення промислового майданчика – відробка запасів блока №10.



Рисунок 1.4 – Промисловий майданчик повітряподаючого ствола №2,
(Блок №10)

Вугілля, що надходить у скіпах на поверхню, попередньо обробляється в дробильно-сортувальному комплексі скіпового ствола №2 і транспортується на "Свято-Варваринську" збагачувальну фабрику наземним конвеєром.

Крім промислових майданчиків з будівлями та спорудами, на території гірничого відводу підприємства є об'єкти, які виконують допоміжні функції. Один з таких об'єктів – це ставок-накопичувач шахтних вод, який призначений для акумулювання агресивних шахтних вод.



Рисунок 1.6 – Ставок-накопичувач шахтних вод

Вищевказані об'єкти наземного комплексу ПРАТ "Шахтоуправління" Покровське " вже побудовані і знаходяться в експлуатації. Але компанія продовжує розвиватися.

В даний час ведеться будівництво промислового майданчика в блоці №11 і починається будівництво промислового майданчика в блоці №12.

Промисловий майданчик блоку №11 має повітряподавальний № 3 і вентиляційний ствол № 3.

На промисловому майданчику блоку №12 планується розмістити повітряподавальний ствол №4 та скіповий вентиляційний ствол №4. Даний майданчик буде повністю автономним та виконувати функції окремої шахти, включаючи відвантаження видобутого вугілля у вагони.

2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ ВИКОНАННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

2.1 Основні характеристики деформацій споруд та методів їх спостережень

Деформації основ споруд відбуваються за рахунок переміщення частинок ґрунту, їхньої стисливості. Основні фактори, що впливають на стисливість ґрунту:

- 1) Величина товщі, що стискається та її пористість;
- 2) Розмір, форма, вага фундаменту;
- 3) Розподіл тиску по підшві фундаментів, конструктивна жорсткість;
- 4) Матеріал, тип надфундаментних конструкцій;
- 5) Природні фактори (просідання, пучення, зміна вологості порід, ґрунтових вод) та ін.

Класифікація причин виникнення деформацій споруд показана на рисунку 2.1.

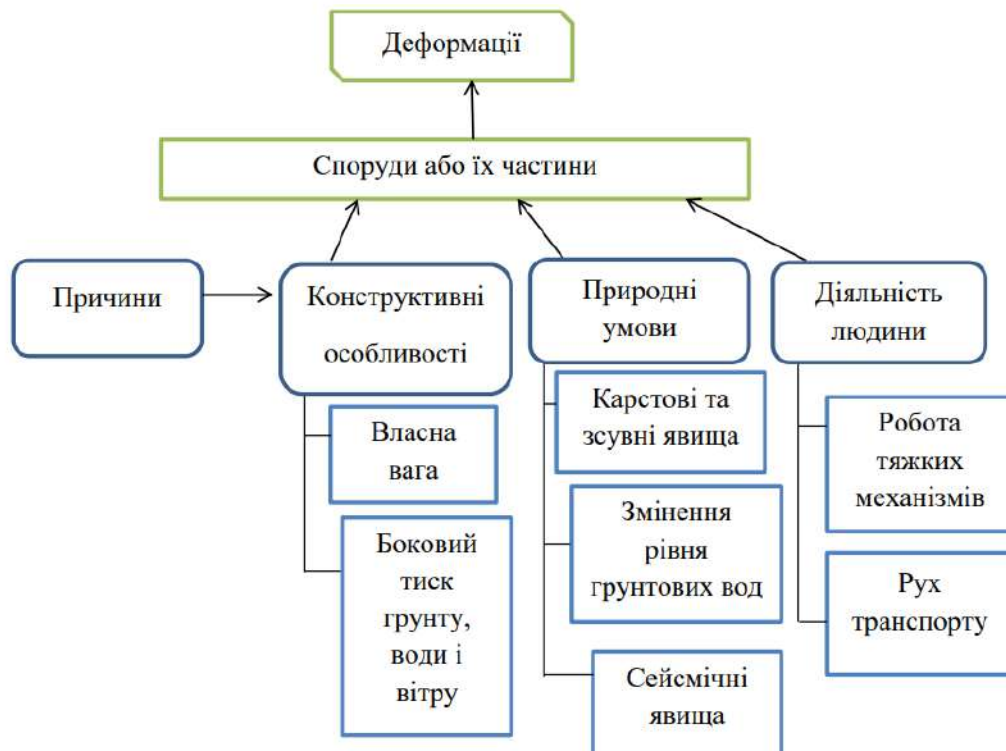


Рисунок 2.1 – Причини виникнення деформацій споруд

Причини виникнення деформацій будівель та споруд можна розділити на три групи – деформації, зумовлені природними факторами, конструктивними особливостями спорудження та діяльністю людини.

До основних природних факторів, що викликають деформації споруд, можна віднести: здатність гірських порід до просідання по всій площі основи; пучення при замерзанні водонасичених ґрунтів та опади при їх відтаванні; зміна гідротермічних умов (сезонні та багаторічні коливання температури), вологості порід та рівнів ґрунтових вод.

До основних техногенних факторів належать: вплив навантаження від споруд на неоднорідні за складом ґрунти зон вивітрювання; зміна надійності ґрунтів при появі підземних вод типу верховодки, підйому рівнів ґрунтових вод на ділянках, що освоюються під забудову; помилки проектувальників та будівельників; переміщення об'єктів будівництва з різних причин без відповідної оцінки умов; вплив господарської діяльності людини (земляні роботи, прокладання та постійний ремонт комунікацій, меліорація земель); будівництво нових інженерних споруд, що передають значне навантаження на ґрунти основ; вирубування лісових масивів та культурних посадок.

Неправильне планування, не виявлені при пошуках слабкі прошарки в основі, не вчасно засипані пазухи, низькоякісні роботи з улаштування основ, фундаментів та вимощення, аварійне замочування ґрунтів основи під час експлуатації будівель або споруд, неправильне застосування методів штучної підготовки слабких основ без урахування та особливостей інженерно-геологічних умов кожного будівельного майданчика – ось основні причини, що зумовлюють деформацію будівель та споруд.

Не менш важливим є проведення робіт із зворотного засипання траншей та котлованів. Зазвичай засипання ґрунту проводиться навалом, а не пошарово, без достатнього контролю. Це призводить до доущільнення ґрунтів при замочуванні, що дозволяє потрапляти атмосферним осадам та виробничим водам під фундаменти споруд.

Деформації будівель часто зумовлюються неправильною експлуатацією: перезволоженням ґрунтів основи внаслідок застою поверхневих вод, неправильністю мереж водопроводу, каналізації та теплопостачання, підвищенням рівня підземних вод, неправильним розміщенням поливання квітників, посадок тощо.

Параметри оцінки деформацій споруд показані на рисунку 2.2.

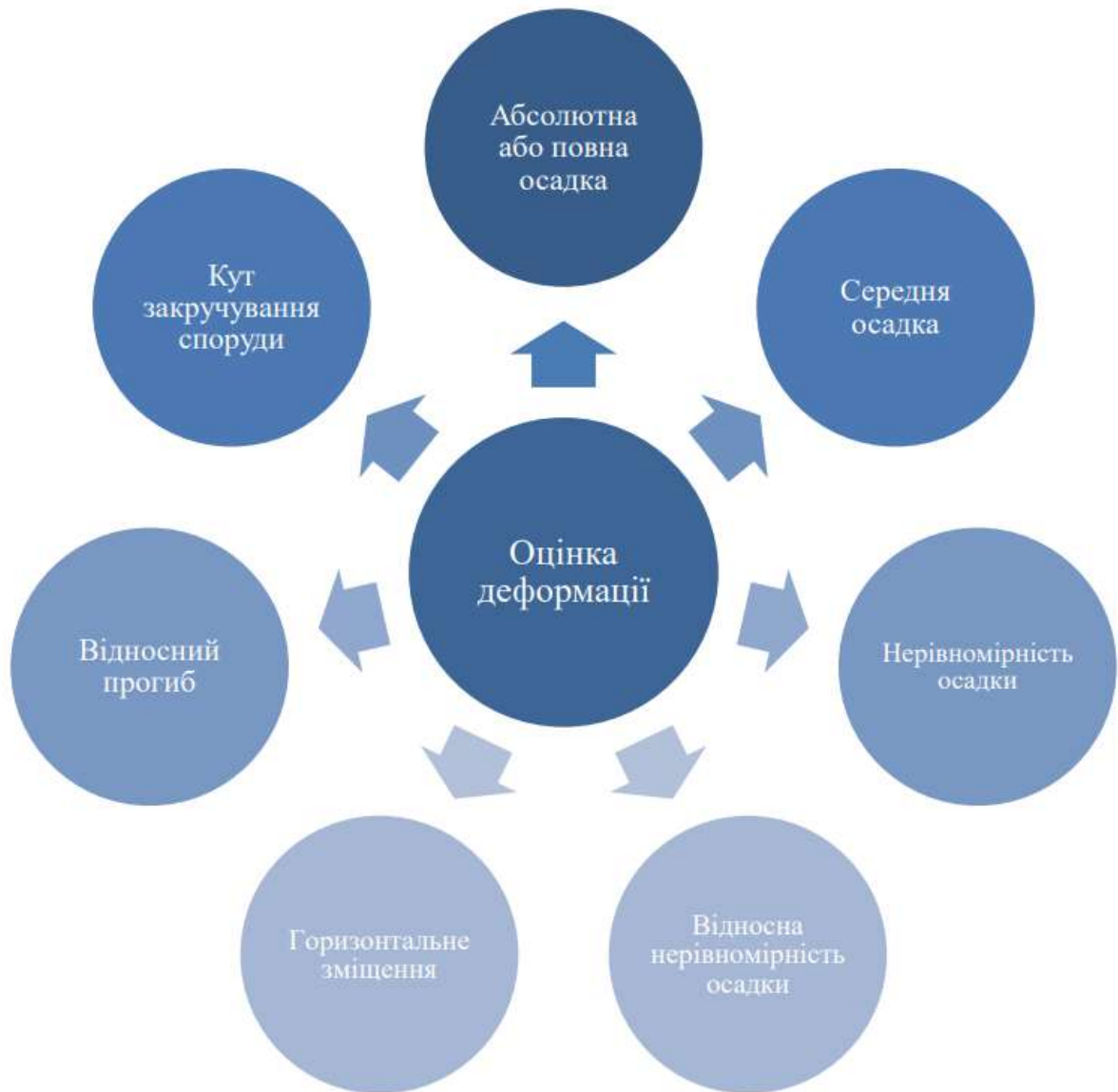


Рисунок 2.2 – Оцінка деформацій споруд

Виділяють такі види деформацій: просідання, набухання та усадка, осідання, підйом (або здимання), переміщення убік.

Вертикальні деформації основ будівель та споруд діляться на просідання та осідання.

Просідання - це складний процес, що описує сильну зміну структури ґрунту, його зрушення.

Осідання - повільна, порівняно невелика деформація, яка відбувається внаслідок ущільнення ґрунту під дією сили тяжіння будівлі чи споруди. Математична характеристика осідання виражається величинами перпендикулярів, які опущені з початкової горизонтальної площини (утвореної підшовою фундаменту) до перетину з деформованою поверхнею.

Якщо відрізки цих перпендикулярів рівні – осідання рівномірні, а якщо не рівні – осідання нерівномірні.

Рівномірні осідання відбуваються у тих випадках, коли тиск ваги споруди та стисливість ґрунтів у всіх випадках основи під фундаментом однакові. Нерівномірні осідання відбуваються в результаті різного тиску частин споруди та неоднаковості стисливості ґрунтів під фундаментом, що, у свою чергу, викликає різного роду переміщення та деформації у надфундаментальних конструкціях. Насправді рівномірних осідань майже немає, так як геологічна будова основи у вертикальному, й у горизонтальному напрямках навіть у незначних площах неоднорідна.

Рівномірні осідання не знижують міцності та стійкості споруд, але великі за величиною рівномірні осідання можуть викликати при експлуатації споруди ускладнення, сприяти появі нових небажаних деформацій. Нерівномірні осідання є найбільш небезпечними для споруд. Наприклад, навіть незначний нахил високої споруди може спричинити порушення під час експлуатації ліфта, призвести до перенапруг у несучих конструкціях. Небезпека більша, чим значніша різниця осідань частин споруд та більш чутливі до осідань конструкції елементів. У разі, коли стисливість ґрунтів під фундаментом неоднакова або навантаження, яке припадає на ґрунт – різне, виникають деформації – зміщення, кручення, які зовні можуть виявлятися у вигляді тріщин, розломів.

Характеристика деформацій фундаменту:

1) Повне осідання (S) окремих точок фундаменту, що визначається вимірами:

$$S = H_0 - H_i, \quad (2.1)$$

де H_0 – позначка початкового циклу вимірювань; H_i – позначка поточного циклу вимірювань (позначки визначені щодо позначки вихідної точки, яка приймається за нерухому).

2) Середнє осідання споруди S_{cp} , яке визначається обчисленнями за даними фактичних осідань не менше, ніж 3х окремих фундаментів, які розташовані в межах будівлі (споруди):

$$S_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n S}{n}, \quad (2.2)$$

де n – кількість точок.

Для повноти загальної характеристики разом із середнім осіданням вказують S_{max} і S_{min} – найбільше та найменше осідання точок будівлі (споруди).

3) Різниці осідань ΔS двох точок i та j або двох (m -го та n -го) циклів спостережень обчислюються відповідно за формулами

$$\Delta S_{ij} = S_i - S_j \quad (2.3)$$

$$\Delta S_{mn} = S_n - S_m \quad (2.4)$$

4) Пошарова деформація Z ґрунтів основ товщі під будівлею потужністю z визначається за формулою

$$\Delta S_Z = S_{кр} - S_{nid}, \quad (2.5)$$

де $S_{кр}$, S_{nid} – осідання точок, які закріплені в покрівлі та підшві шару ґрунту будівлі.

5) Перекіс конструкції (тільки для відносно жорстких будівель та споруд), що вимірюється максимальною різницею нерівномірних осідань двох сусідніх опор, віднесених до відстані між ними.

6) Крен (тільки для абсолютно жорстких будівель (споруд) – це нахил/поворот основних площин всієї споруди в результаті нерівномірних осідань без порушення її цілісності та геометричних форм.

У будівельній практиці розрізняють:

– крен будівлі (споруди), що характеризується відхиленням його вертикальної осі від прямовисної лінії, що виражається в кутовий, лінійній, відносній мірі;

– крен фундаменту, який є відхиленням площини підшви від горизонту. Виражається в лінійній (або відносній) мірі.

Для оцінки стійкості споруд наочнішою є характеристика крену, яка віднесена до відстані L між точками i та j . Відносний крен K (завал та перекіс відповідно)

$$K = \frac{S_j - S_i}{L}, \quad (2.6)$$

7) Відносний прогин (перегин) фундаменту. Симетричний відносний прогин f окремих частин споруди обчислюється за формулою

$$f = \frac{2S_K - (S_j - S_i)}{2L}, \quad (2.7)$$

де S_i та S_j – осідання точок i та j , які фіксовані на краях прямолінійної ділянки споруди довжиною L ;

S_K – осідання точки K , розташованої в середині між точками i та j .

8) Кручення будівлі, яка є складною деформацією – поворот паралельних перерізів будівлі (споруди) навколо поздовжньої осі в різні боки і на різні кути.

9) Горизонтальне зміщення Q окремої точки споруди, що характеризується різницею координат X_n, Y_n, X_m, Y_m відповідно у n -му та m -му циклах спостережень.

Обчислюють зміщення у загальному випадку:

$$Q_x = X_n - X_m \quad (2.8)$$

$$Q_y = Y_n - Y_m \quad (2.9)$$

10) Тріщини, які являють собою розриви в окремих конструкціях будівлі (споруди) і які виникають внаслідок нерівномірних осідань та додаткових напруг.

Методи визначення деформацій будівель та споруд класифікують за декількома ознаками (рис. 2.3).

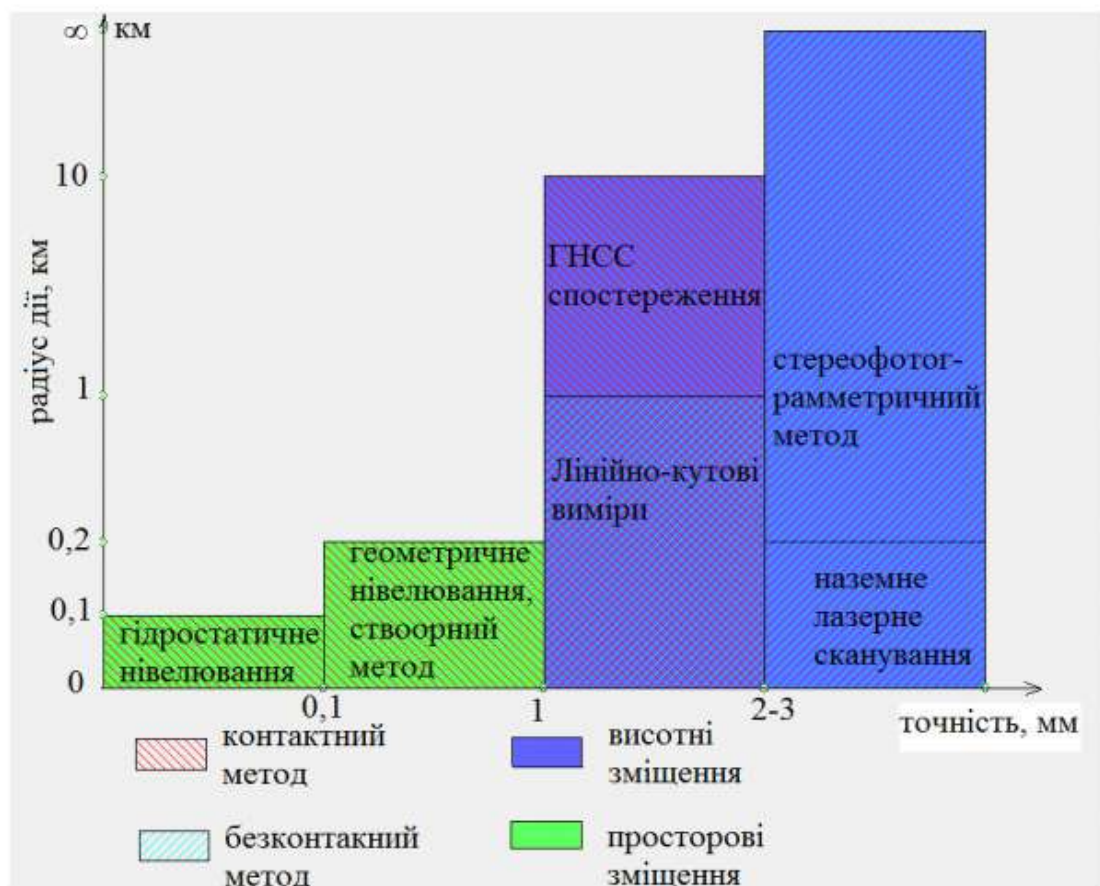


Рисунок 2.3 – Класифікація методів визначення деформацій споруд

В залежності від точності методи спостережень поділяють на чотири класи. Точність вимірів для відповідного класу складає:

- I клас – 1 мм;
- II клас – 2 мм;
- III клас – 5 мм;
- IV клас – 10 мм.

Спостереження I-го класу точності виконують, в основному методами гідростатичного та геометричного нівелювання, II-го – за допомогою лінійно-кутових вимірів та супутникового позиціонування (ГНСС спостереження), точність III-го та IV-го класів досягається використанням лазерного сканування та фотограмметричного способу.

В залежності від радіусу дії методи спостережень можуть виконуватись на коротких дистанціях (від декількох сантиметрів до декількох метрів), на середніх дистанціях (десятки та сотні метрів) та на довгих (від декількох до сотень кілометрів). На коротких дистанціях виконують гідростатичне та геометричне нівелювання, на середніх – лінійно-кутові виміри, на довгих – застосовують фотограмметричний метод та ГНСС спостереження.

За типом зміщень методи спостережень поділяють на методи визначення висотних зміщень (нівелювання) та просторових зміщень – всі інші методи.

Спостереження можуть виконуватись контактним (нівелювання, лінійно-кутові виміри, ГНСС спостереження) та безконтактним методами (лазерне сканування, фотограмметричний спосіб).

Спостереження за осіданнями споруд виконують наступними методами (рис. 2.4):

1. Гідростатичне нівелювання (I – IV класи точності вимірювань).
2. Геометричне нівелювання (I – IV класи точності вимірювань).
3. Тригонометричне нівелювання (II – IV класи точності вимірювань).
4. Фотограмметричний метод (II – IV класи точності вимірювань).
5. Лазерне сканування (II – IV класи точності вимірювань).



Рисунок 2.4 – Методи спостережень за осіданнями споруд

Спостереження за горизонтальними зміщеннями виконують наступними методами (рис. 2.5):

1. Метод кутових побудов (об'єднує триангуляцію, трилатерацію та полігонометрію, забезпечує точність II – IV класу).
2. Метод окремих напрямків (I – III класи точності вимірювань).
3. Метод створних спостережень (дослідження деформацій споруд прямолінійної форми, забезпечує точність I – III класу).
4. Фотограмметричний метод (I – IV класи точності вимірювань).



Рисунок 2.5 – Методи спостережень за горизонтальними зміщеннями споруд

2.2 Організація та проведення спостережень за деформаціями будівель та споруд

Будівлі та споруди або їх окремі частини, за деформаціями яких повинні бути організовані спостереження, обираються та призначаються проектною організацією за погодженням з організаціями, що здійснюють будівництво та експлуатацію.

Результати спостережень показують, якою мірою проектні рішення забезпечують надійність та експлуатаційну придатність споруд, а також дають можливість будівельникам та експлуатаційникам своєчасно приймати

необхідні заходи щодо боротьби з деформаціями, що виникають, або усунення наслідків таких деформацій.

Спостереження за деформаціями основ і фундаментів будівель, що будуються і споруд повинні проводитися з початку їх будівництва та в перші роки експлуатації до досягнення стабілізації деформацій.

Спостереження за деформаціями основ та фундаментів будівель та споруд, що знаходяться в експлуатації, проводять у разі появи тріщин, розкриттів швів, а також різкої зміни умов роботи споруд.

В натурі вимірюються наступні деформації будівель та споруд: вертикальні переміщення, горизонтальні переміщення та крени.

Вертикальні переміщення поділяються на:

- осідання у результаті дії навантажень від фундаментів;

- просідання, що відбуваються в результаті ущільнення:

- а) просадного ґрунту при замочуванні;

- б) пухких піщаних ґрунтів при струсах;

- в) мерзлих ґрунтів при відтаванні;

- г) усадки ґрунту при зменшенні вологості;

- підйоми, що відбуваються в результаті:

- а) набухання деяких видів ґрунтів при зміні вологості чи впливу ряду хімічних речовин;

- б) промерзання та пучення ґрунтів.

Вертикальні переміщення в натурі можуть визначатися одним з наступних методів або у разі потреби їх комбінаціями:

- геометричного нівелювання;

- тригонометричного нівелювання;

- гідростатичного нівелювання;

- сканування.

Розрізняють наступні типи вертикальних і горизонтальних переміщень.

Вертикальні переміщення, виміряні від нерухомих реперів, – абсолютні вертикальні переміщення (осідання, підйоми).

Вертикальні переміщення, виміряні щодо будь-якої точки споруди, – відносні вертикальні переміщення (осідання, підйоми).

Горизонтальні переміщення (зрушення) фундаменту чи споруди загалом, що відбуваються під дією горизонтальних сил або при вичерпанні несучої здатності основи та інших факторів.

Горизонтальні переміщення в натурі можуть визначатися одним із наступних методів або за необхідності їх комбінаціями:

- створних спостережень;
- окремих напрямків, засічок;
- триангуляції, трилатерації;
- сканування.

Горизонтальні переміщення, визначені від опорних знаків поза спорудою, є абсолютними горизонтальними переміщеннями. Горизонтальні переміщення, визначені щодо точки споруди – це відносні горизонтальні переміщення.

Нахил фундаменту – деформація, що відбулася в результаті нерівномірного осідання, просадки, підйому та ін. У натурі цей вид деформації вимірюється одним з наступних методів, а при необхідності їх комбінаціями:

- візування (із застосуванням теодолітів);
- координування;
- виміром кутів або напрямків;
- фотограмметрії;
- механічними способами із застосуванням клинометрів та висків;
- методами нівелювання.

На виконання робіт зі спостереження деформацій будівель та споруд проектною організацією спільно з організацією, яка проводить роботу, розробляється робоча програма.

Алгоритм складання робочої програми спостережень показано на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Алгоритм складання робочої програми спостережень

Перед складанням робочої програми виконується розвідка на місці. Ціль рекогносцировки – оглянути котлован та зафіксувати його стан. За наявності фундаменту зробити візуальний його огляд та фотографування. Крім того, вибрати остаточно місця розташування геодезичних знаків (марок та реперів), встановити циклічність проведення робіт з виміру деформацій, погодивши її з графіком виконання будівельних робіт. Намітити приблизну схему вимірювальної мережі.

Для споруд, що знаходяться в експлуатації, потрібно:

- зібрати відомості про стан конструкцій, наявності та характері тріщин; намітити розташування та конструкцію маяків;
- з'ясувати наскільки можна причини появи деформацій, зібрати відомості про раніше проведені роботи з виміру деформацій.

У результаті рекогносцирування мають бути складені такі документи:

1. Коротка характеристика майданчика.
2. Опис стану котловану та фундаментів спорудження з фотографіями.

3. Графік виконання основних етапів будівельних робіт.
4. Опис місць закладання геодезичних символів, обґрунтування їх вибору.
5. Приблизна схема вимірювальної мережі (нівелювання, тріангуляція створу тощо).
6. Наявність тріщин і місця закладання маяків в спорудах, що експлуатуються.
7. Дані про раніше проведені роботи зі спостереження за деформованістю основ фундаментів споруди з відмітками знаків та планом їх розташування.

Робоча програма складається з короткої пояснювальної записки, до якої прикладаються календарний план робіт, кошторис створення робіт, особливі умови.

У пояснювальній записці вказуються:

- цілі та завдання спостережень;
- інженерно-геологічні умови майданчика;
- відомості про наявність пунктів державної геодезичної мережі, а також знаків, встановлених для будівельних цілей;
- кількість проєктованих символів для виміру деформацій за їх видами;
- відомості про раніше виконані роботи з вимірювання деформацій та зв'язок їх з наступними роботами;
- інструменти та методи вимірювань;
- порядок обробки результатів вимірів;
- складання звіту за результатами вимірів.

У робочій програмі визначається відповідальність проєктної організації за проєкт розміщення апаратури; будівельної організації за встановлення, безпеку та доступність апаратури, що закладається у споруди; служби геодезії за безпосередні виміри та первинну обробку результатів вимірів; науково-дослідної та проєктної організацій за складання науково-технічних звітів

Календарний план, що додається до робочої програми, повинен відображати періодичність проведення циклів вимірів.

Перший цикл вимірювань осідань проводиться відразу після зведення фундаментів.

Перший цикл вимірювань зсувів проводиться до застосування горизонтального навантаження споруди (до засипання пазах котловану ґрунтом, до заповнення водосховища тощо).

Терміни проведення наступних циклів вимірювань встановлюються проектною чи науково-дослідною організацією залежно від інженерно-геологічних умов, величини очікуваних деформацій, ступеня стабілізації тощо.

Кількість циклів вимірювань осад фундаментів за період досягнення повної навантаження від будівлі або споруди на основу має бути не менше чотирьох (при 25, 50, 75, 100% всього тиску). В експлуатаційний період проводиться не менше трьох циклів вимірів. Терміни циклів вимірювання опадів в експлуатаційний період призначаються в залежності від стану споруди, швидкості протікання осадів та інженерно-геологічних умов. Вимірювання осідань фундаментів рекомендується продовжувати після закінчення будівництва протягом 5 - 10 років для глинистих ґрунтів основи, що не володіють особливими властивостями (просідання, набухання і т. д.), і 2 – 3 років для піщаних ґрунтів; щорічна кількість циклів залежить від швидкості осідань.

При проведенні спостережень за загальною деформацією будівель та споруд (осіданнями, підйомом, креном та зрушенням) цикли вимірювань кожного виду деформацій в експлуатаційний період повинні збігатися за часом або проходити безперервно один за одним.

Спостереження за опадами та деформаціями фундаментів припиняють, якщо протягом трьох циклів вимірів величина їх коливається у межах заданої точності вимірів.

Вимірювання поновлюються у разі появи тріщин у несучих конструкціях. споруд, а також у разі різкої зміни умов роботи (збільшення навантажень, значний приплив води тощо.). Циклічність вимірів призначається проектною організацією за погодженням з організацією, яка виконує роботи, що враховує стан конструкції споруди, її значимість, причини виникнення деформацій тощо.

3 ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ПРОВЕДЕННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ ОБ'ЄКТІВ

3.1 Обґрунтування необхідної точності виконання спостережень за деформаціями.

Методи виконання робіт і вимоги до точності геодезичних вимірювань деформацій будівель (споруд) приймаються згідно з ДСТУ Б В.2.1-30_2014. Ґрунти. Методи вимірювання [1]. У цьому нормативному документі встановлені допустимі похибки вимірювань в залежності від очікуваних значень горизонтальних чи вертикальних переміщень (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Значення допустимих похибок (мм)

Очікуване значення вертикальних чи горизонтальних переміщень за вимогами проекту	Допустима похибка вимірювання для періоду			
	будівельного		експлуатаційного	
	грунти			
	піщаний	глинистий	піщаний	глинистий
до 50	1	1	1	1
від 50 до 100	2	1	1	1
від 100 до 250	5	2	1	2
від 250 до 500	10	5	2	5
більше 500	15	10	5	10

На основі даних, наведених у таблиці 3.1, встановлюється клас точності вимірювань зміщень (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Зв'язок між допустимими похибками вимірювання зміщень та класом точності вимірювання

Клас точності вимірювань	Допустимі похибки вимірювань зміщень	
	вертикальних	горизонтальних
I	1	2
II	2	5
III	5	10
IV	10	15

В разі відсутності очікуваних значень деформацій приведено перелік будівель і споруд, спостереження за якими відносяться до певного класу

точності:

I – будинки та споруди унікальні, більше 50 років експлуатації, зведені на скелястих чи напівскелястих ґрунтах;

II – будинки та споруди, зведені на піщаних, глинистих чи інших ґрунтах, що стискаються;

III – будинки та споруди, зведені на насипних, просадних, торф'яних чи інших ґрунтах, що дуже стискаються;

IV – земляні споруди.

При застосуванні методу тригонометричного нівелювання допустимі похибки вимірювання вертикальних кутів та відстаней для відповідних класів точності вимірювань наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Значення допустимих похибок при застосуванні методу тригонометричного нівелювання

Клас точності вимірювань	Допустима похибка вимірювання			
	Відстаней (мм) при значеннях вертикальних кутів		Кутів (с) при їх значеннях	
	До 10 ⁰	Від 10 ⁰ до 40 ⁰	До 10 ⁰	Від 10 ⁰ до 40 ⁰
II	7	1	2,5"	1,5"
III	15	3	5,0"	3,0"
IV	35	8	12,0"	10,0"

При вимірюванні горизонтальних переміщень методом окремих напрямків вимоги щодо точності та методики вимірювань наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Значення допустимих похибок при застосуванні методу окремих напрямків

Тип теодоліта	Необхідна кількість кругових прийомів	Допустима похибка вимірювання			
		Замикання горизонту	Коливання напрямків в окремих прийомах	Коливання подвійної колімаційної похибки у прийомі	Середня квадратична похибка напрямку
Високоточний	9	3"	3"	10"	0,5"
Точний	12	4"	4"	10"	1,0"

В залежності від висоти споруди (будинку) H граничні похибки вимірювань крену не повинні перевищувати наступних значень:

- для цивільних будинків і споруд – $0,0001H$;
- промислових будинків і споруд (димарів, доменних печей, щогл, веж тощо – $0,0005 H$;
- фундаментів під машини та агрегати – $0,00001H$.

3.2 Вибір методів та точності приладів для визначення вертикальних переміщень

Вимірювання вертикальних переміщень (осідань, просядок, підйомів) основ та фундаментів може виконуватися геометричним, тригонометричним, гідростатичним нівелюванням, методом сканування.

Геометричне нівелювання полягає у визначенні перевищення однієї точки над іншою за допомогою горизонтального променя візування та вертикально встановлених у цих точках рейок.

Тригонометричне нівелювання полягає у визначенні перевищення однієї точки над іншою шляхом вимірювання кута нахилу візирного променя та відстані від інструмента до точок візування.

Гідростатичне нівелювання полягає у визначенні перевищення однієї точки над іншою з використанням основного закону сполучених судин та рідини, що в них перебуває. Поверхня рідини у сполучених судинах утворює горизонтальну площину.

Метод сканування полягає у періодичному визначенні просторових координат за допомогою спеціального приладу – сканеру.

Вимірювання вертикальних переміщень (осідань, підйомів тощо) поділяються на три класи.

Необхідна точність визначає вибір класу вимірювання та відповідного методу проведення робіт. Точність вимірювання осідань, підйомів

характеризується середньою квадратичною похибкою, отриманої з двох циклів вимірювання:

для I класу ± 1 мм

II ± 2 мм

III ± 5 мм

Точність вимірювання вертикальних переміщень передбачається технічним завданням, проектно-дослідною або науково-дослідною організацією, що визначається, виходячи з прийнятих у проекті розрахунків величини осідань.

I класом вимірюють осідання основ та фундаментів будівель та споруд, побудованих на скельних та напівскельних ґрунтах, а також унікальних споруд.

II класом вимірюють осідання та підйоми будь-яких будівель та споруд, побудованих на стисливих ґрунтах.

III класом вимірюють осідання та просідання будь-яких будівель та споруд, побудованих на насипних, просадних, заторфованих та інших стиснутих ґрунтах.

У кожному окремому випадку клас виміру вибирається залежно від попередньо розрахованої в проекті величини очікуваного осаду за весь період існування будівлі чи споруди. Застосування того чи іншого методу виміру може коригуватися у процесі проведення перших трьох циклів вимірювання та з'ясування швидкості протікання осідання основ та фундаментів даної споруди.

3.2.1 Геометричне нівелювання

Точність геометричного нівелювання, яке є найбільш розповсюдженим способом визначення вертикальних переміщень, можна охарактеризувати середньою квадратичною похибкою вимірювання осідання на станції m_{hCT} [2]

$$m_{hCT} = \frac{m_S}{\sqrt{2n}}, \quad (3.1)$$

де m_S – середня квадратична похибка осідання марки в циклі, мм;

n – кількість станцій в ході.

Середню квадратичну похибку осідання марки в циклі m_S можна визначити за формулою [3]

$$m_S = 0,2 \cdot S, \quad (3.2)$$

де S – осідання марки в циклі, мм.

Приймаючи, що спостереження за об'єктами поверхні промислових майданчиків, відносяться до III класу вимірювань, за табл. 3.2 визначаємо, що $m_S = 5$ мм і за формулою (1) отримаємо мм.

$$m_{hCT} = \frac{5}{\sqrt{10 \cdot 2}} = 1 \text{ мм.}$$

Така точність відповідає характеристиці нівеліра Н-3, який використовують для нівелювання III – IV класів (рис. 3.1).

Технічні характеристики:

- середня квадратична похибка перевищення на 1 км подвійного ходу не більше 2,5 мм;
- збільшення зорової труби 30 крат;
- найменша відстань візування не більше 2 м;
- коефіцієнт нитяного далекоміра 100 ± 1 ;
- вага 1,5 кг.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд нівеліра Н-3

3.2.2 Вимірювання осідань геометричним нівелюванням III класу

Вимірювання осідань геометричним нівелюванням III класу виконують нівелірами НЗ. Можуть бути використані самовстановлювані нівеліри.

Нівелювання проводять одним горизонтом у прямому або у прямому та зворотному напрямках в залежності від застосовуваного інструменту та наявних типів рейок.

Перед застосуванням нівеліри повинні бути повірені.

Перелік повірок нівелірів при нівелюванні III класу наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Повірки нівелірів при нівелюванні III класу

Вимога повірки	Виконання	Виправлення
1. Вісь круглого рівня має бути паралельна осі обертання нівеліра	Діючи підйомними гвинтами, наводять бульбашку рівня в нульпункті повертають трубу на 180°. Бульбашка при цьому повинна залишитися в нульпункті	На половину дуги відхилення бульбашка повертають, діючи гвинтами рівня, а на другу - підйомними.
2. Вертикальна нитка сітки ниток повинна бути паралельна вертикальній лінії	Вісь обертання інструменту ретельно приводять у прямовисне положення. Дивлячись у трубу нівеліра, поєднують один кінець вертикальної нитки з вертикальною лінією. При цьому і вся вертикальна нитка повинна співпадати з прямовисною лінією	Злегка послабивши закріплювальні гвинти сітки ниток, встановлюють її в правильне положення
3. Вісь циліндричного рівня має бути перпендикулярна до осі обертання інструменту	Рівень ставлять у напрямку двох підйомних гвинтів і, діючи цими гвинтами, виводять бульбашку на середину. Потім повертають трубу на 180°, бульбашка при цьому повинна залишитися на середині або зійти з неї не більше, ніж на один поділ	На одну половину відхилення бульбашку повертають, діючи виправними гвинтами, а на іншу - підйомними

При вимірі осідань нівелюванням III класу застосовуються такі типи рейок:

- шашкові двосторонні довжиною 2-3 м із сантиметровими поділами. Відліки по червоній та чорній сторонах рейки повинні відрізнятися не менше ніж на 100 мм;
- штрихові рейки довжиною від 0,5 до 3 м односторонні з двома шкалами або двосторонні з найменшим поділом 0,5 см;
- може використовуватися підвісна рейка завдовжки від 0,5 до 1,2 м з такими ж поділами та шкалами, як у основних рейок. Нуль підвісної рейки повинен поєднуватися з центром отвору для штифта, на якому рейка підвішується.

До рейок висуваються наступні вимоги.

Перед початком робіт необхідно переконатися у відсутності прогинів рейок, у чіткості нанесення поділів та написів, справності рівнів.

При роботі з рейкою слід дотримуватися наступних умов:

- п'ята рейки має бути абсолютно чистою;
- рейковий має встановлювати рейку на вищу точку марки за сигналом спостерігача легко, без ударів;
- рейка за допомогою рівня стає вертикально, для її утримання застосовуються підпірки;
- не допускається переміщення рейки на точці під час відліку. Для зменшення величини помилки через неправильну установку рейки на марках рекомендується застосовувати підп'ятники, у яких центр огорожувального кільця лежить на осі рейки;
- під час роботи у темних приміщеннях на рейку надягається освітлювальна рамка;

Ставлячи рейку на марку, реєчник називає її номер, без сигналу спостерігача рейка не знімається. Під час перерв слід оберігати рейку від ударів, струсів, притуляти рубом до стіни. Після закінчення робіт зберігати рейку у сухому приміщенні у спеціальному ящику. На одному об'єкті в різні цикли вимірювань рекомендується використовувати одну й ту саму рейку.

Послідовність спостережень на станції: відрахування за трьома нитками рейки виконується по програмі Зч, Пч, Пк, Зк,

де Зч, Зк – відлік по трьох нитках чорної та червоної сторін задньої рейки; Пч, Пк – відлік по трьох нитках чорної та червоної сторін передньої рейки.

При виконанні відліків по середній нитці послідовність спостережень така:

- встановлення та приведення інструменту в робоче положення;
- відрахування за середньою ниткою виконується за програмою Зч, Пч, Пк, Зк.

Спостереження повинні виконуватися за благоприємних умов видимості з дотриманням наступних правил.

Спостереження повинні виконуватися тільки за умови цілком сприятливі умови видимості і за досить чітких і спокійних зображеннях штрихів рейок.

При виконанні робіт у зимовий період за 45 хв до початку спостережень інструмент виноситься на вулицю для прийняття потрібної температури. Передачу позначки на марки, розташовані всередині споруди, рекомендується виконувати через віконні отвори, отвори в підлогах та стінах (діаметром не менше 0,5 м). Не рекомендується встановлювати інструмент на кордоні між теплим та холодним повітрям. При переході до приміщень з великими різницями температур рекомендується встановлювати марки з двох сторін фундаментів.

Не рекомендується вести спостереження:

- у періоди, близькі до сходу та заходу сонця (починати спостереження можна приблизно через півгодини після сходу сонця і закінчувати їх приблизно за годину до заходу сонця);
- при коливаннях зображень, що ускладнюють точне наведення біссектора на штрих рейки;
- при сильному та поривчастому вітрі;
- при сильних та стрибкоподібних коливаннях температури повітря.

Під час нівелювання інструмент має бути ретельно захищений від сонячних променів: на станції за допомогою парасольки, при перенесенні з однієї станції на іншу за допомогою просторого чохла із щільної матерії.

Нівелювання починають з репера і закінчують на ньому або на іншому репері. Кількість станцій у замкнутому ході має забезпечувати необхідну точність отримання осадання. Кількість висячих станцій допускається трохи більше п'яти.

Довжина візирного променя має бути не більше 40 м. Висота візирного променя має бути не менше 0,3 м над поверхнею землі. Нерівність відстаней

від інструменту до рейок не має перевищувати 2 м, а накопичення їх у ході – 5 м.

Як перехідні точки використовуються черевики (рис. 3.2).

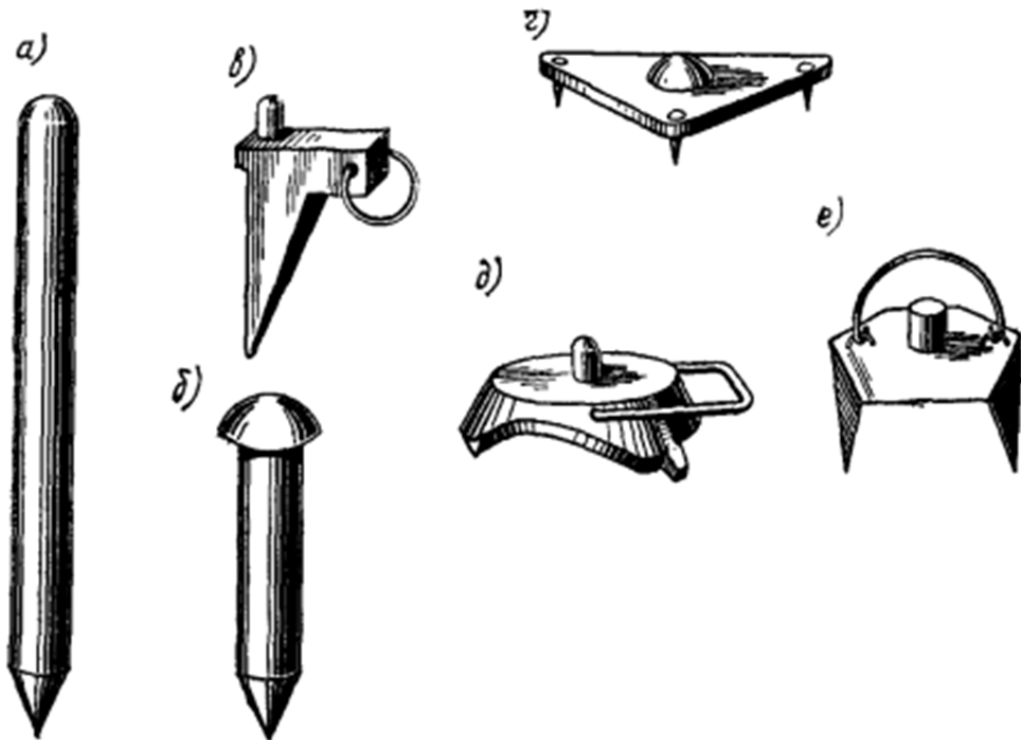


Рисунок 3.2 – Черевики для перехідних точок: а, б – постійні металеві черевики для забивання в ґрунт, довжина 0,2-0,5 м $d = 15-25$ мм;

в, е, г, д – переносні металеві черевики

Допускається використання як перехідних точок дерев'яних колів із забитим цвяхом, на який встановлюється п'ята рейки, металевих милиць, забитих у дерев'яний стовп під кутом, не менше 30° , і т. д.

На кожній станції слід виконувати контроль спостережень. Цей контроль полягає в наступному:

при підрахуванні середніх перевищень зі спостережень з червоної та чорної сторін рейок розбіжність між ними не повинна перевищувати 2 мм;

при використанні інварних штрихових рейок та нівелірів типу НІ, Н2 різниця перевищень за основною та додаткової шкали не повинна перевищувати 1,5 мм;

при відрахуванні за трьома нитками порівнюють відлік по середній нитці з напівсумою відліків за крайніми нитками. Розбіжність не має перевищувати 3 мм.

Нев'язка в замкнутому ході не повинна перевищувати допустиму f_h , що визначається за формулою

$$f_h = \pm 1,5\sqrt{n} \quad (3.3)$$

де n - число станцій у нівелірному ході.

При прокладанні прямого та зворотного ходу допустима розбіжність між перевищеннями підраховується за тією самою формулою.

3.2.3 Тригонометричне нівелювання

Для визначення перевищення методом тригонометричного нівелювання вимірюють похилу відстань до марки S , вертикальний кут δ , висоту інструмента i , висоту сигналу (візування) v .

При вимірюванні похилої відстані перевищення при тригонометричному нівелюванні визначається за формулою

$$h = S \cdot \sin \delta + i - v, \quad (3.4)$$

Середня квадратична похибка m_h визначення перевищення при тригонометричному нівелюванні дорівнюватиме

$$m_h^2 = \sin^2 \delta \cdot m_s^2 + \frac{S^2 \cdot \cos^2 \delta}{\rho^2} \cdot m_\delta^2 + m_i^2 + m_v^2 \quad (3.5)$$

де m_s – середня квадратична похибка вимірювання відстані, мм;

m_δ – середня квадратична похибка вимірювання вертикального кута,

с;

m_i – середня квадратична похибка вимірювання висоти інструмента, мм;

m_v – середня квадратична похибка вимірювання висоти сигналу, мм.

За отриманою формулою (3.5) виконано дослідження зміни середньої квадратичної похибки визначення перевищення методом тригонометричного нівелювання в залежності від значення середньої квадратичної похибки вимірювання вертикального кута при різних величинах вимірюваних відстаней та вертикальних кутів. Для цього побудовано графіки (рис. 3.3, 3.4).

Графік (рис. 3.3) побудовано при наступних вихідних даних: вертикальний кут $\delta = 20^\circ$; середня квадратична похибка вимірювання відстані $m_S = 5$ мм; відстані до об'єкта 30, 60, 90 м; середня квадратична похибка вимірювання вертикального кута змінювалась від 1" до 10". Висоти інструменту та сигналу приймалися рівними нулю і їх похибки не враховувались.

Аналізуючи наведений графік, можна зазначити, що середня квадратична похибка визначення перевищення збільшується при збільшенні середньої квадратичної похибки вимірювання вертикального кута та відстані до об'єкта. Лінії графіків для різних відстаней починаються приблизно в одній точці, а потім розходяться. При цьому, чим більша відстань до об'єкта, тим інтенсивніше зростає похибка. Для заданих умов мінімальне значення середньої квадратичної похибки визначення перевищення складає 1,7 мм, а максимальне – 4,4 мм. Даний діапазон похибок відповідає II – III класам точності вимірювань.

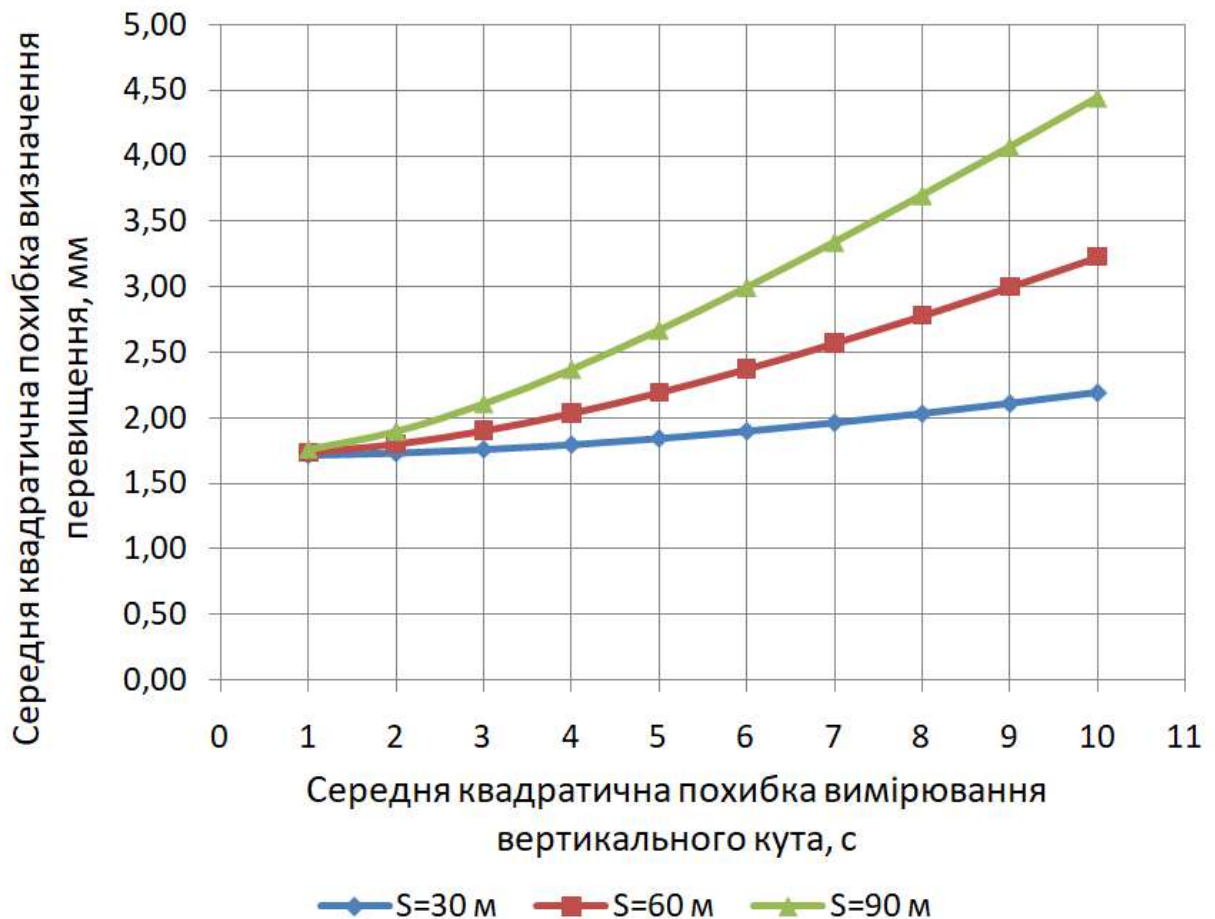


Рисунок 3.3 – Графік залежності середньої квадратичної похибки визначення перевищення методом тригонометричного нівелювання від значення середньої квадратичної похибки вимірювання вертикального кута при відстанях до об'єкта 30, 60, 90 м

При побудові графіка (рис. 3.4) прийнята постійна відстань до марки $S = 60$ м, похибка $m_S = 5$ мм; вертикальні кути $\delta = 10^\circ, 30^\circ, 40^\circ$; середня квадратична похибка вимірювання вертикального кута змінювалась від $1''$ до $10''$. Висоти інструменту та сигналу приймалися рівними нулю і їх похибки не враховувались.

Аналіз наведеного графіка показує, що значення вертикальних кутів суттєво впливає на середню квадратичну похибку визначення перевищення, яка збільшується при збільшенні вертикального кута та його середньої квадратичної похибки. Лінії графіків для різних значень кутів починаються приблизно в різних точках на значній відстані одна від одної, а потім

поступово зближуються. Лінія, що відповідає куту 10° , підіймається більш інтенсивно, ніж лінії 30° та 40° . Для лінії 10° найменше значення похибки визначення перевищення складає 0,9 мм, а найбільше – 3 мм; для лінії 30° – 2,5 і 3,6 мм; для лінії 40° – 3,2 і 3,9 мм. Даний діапазон похибок відповідає II – III класам точності вимірювань.

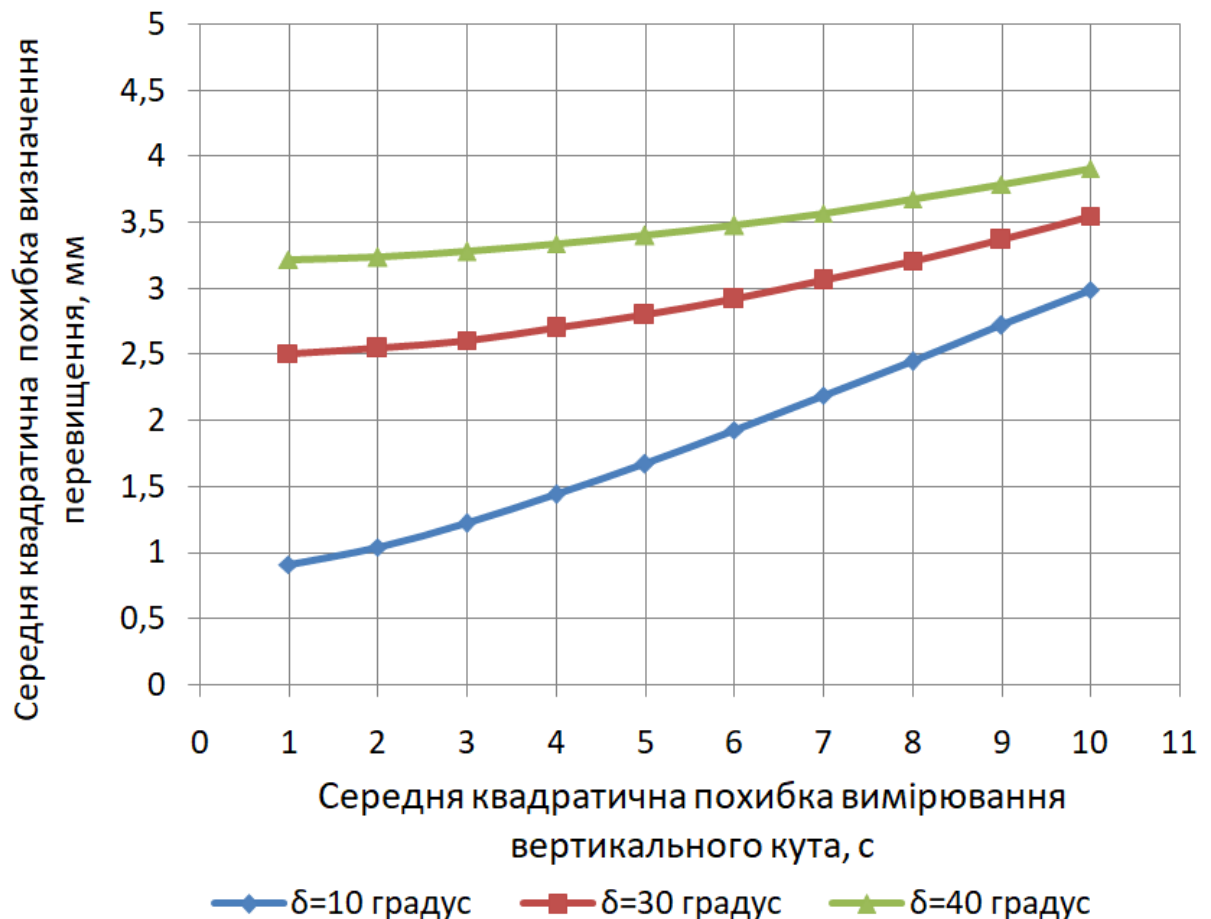


Рисунок 3.4 – Графік залежності середньої квадратичної похибки визначення перевищення методом тригонометричного нівелювання від значення середньої квадратичної похибки вимірювання вертикального кута при вертикальних кутах 10° , 30° , 40°

Проведений аналіз показує, що для визначення вертикальних переміщень марок при спостереженнях за станом об'єктів може бути застосований метод тригонометричного нівелювання, який при похибках

вимірювання відстані 5 мм та вертикального кута 5" дозволяє отримати точність визначення перевищення 2 – 4 мм, що відповідає II – III класам точності вимірювань.

Для виконання тригонометричного нівелювання можна застосувати електронний тахеометр відповідного класу точності, наприклад SOKKIA.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд електронного тахеометра
SOKKIA SET550RX

Технічні можливості тахеометрів даної серії показано на рис. 3.6.

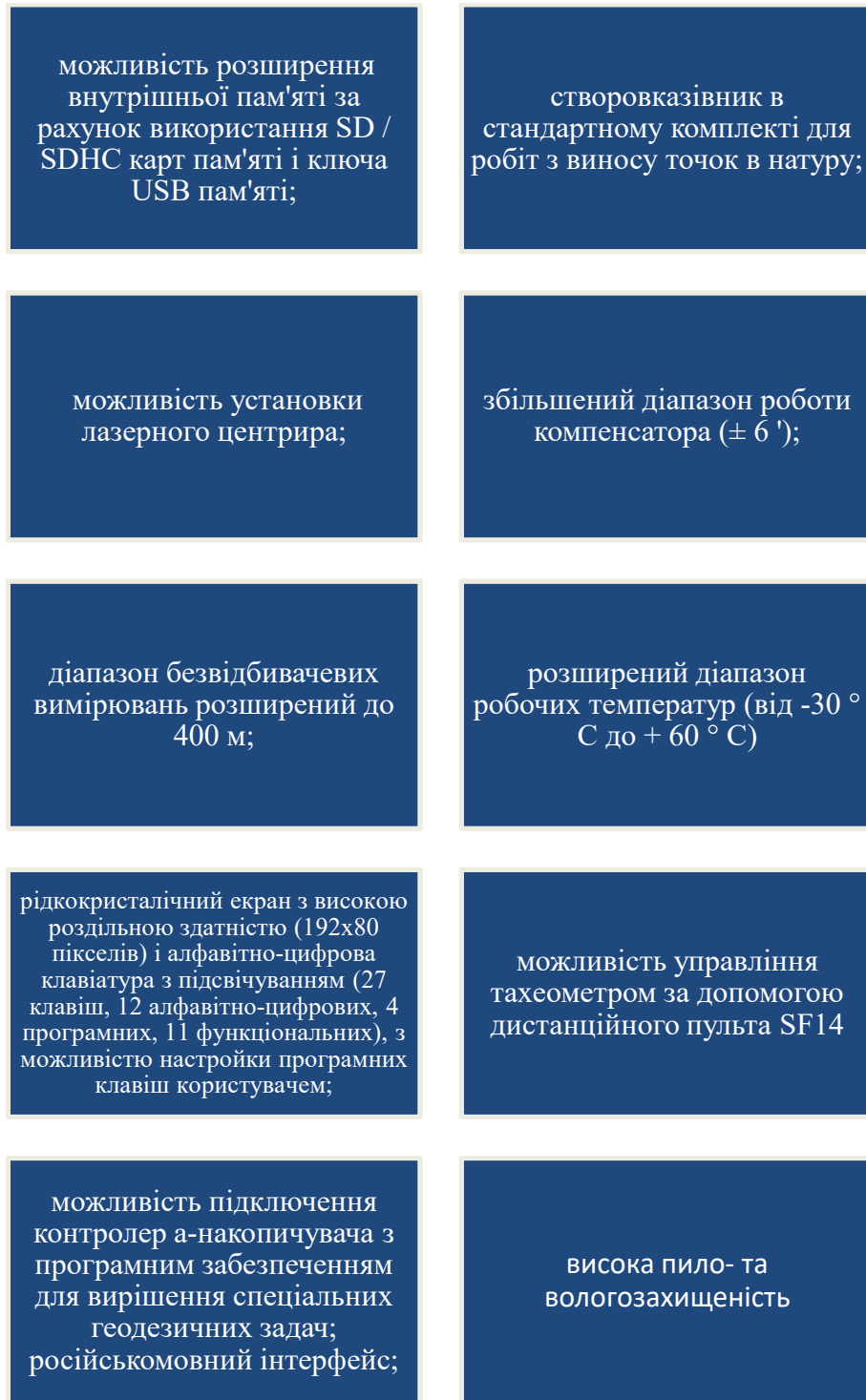


Рисунок 3.6 – Технічні можливості тахеометрів SOKKIA

Технічні характеристики тахеометрів SOKKIA показано на рис. 3.7.

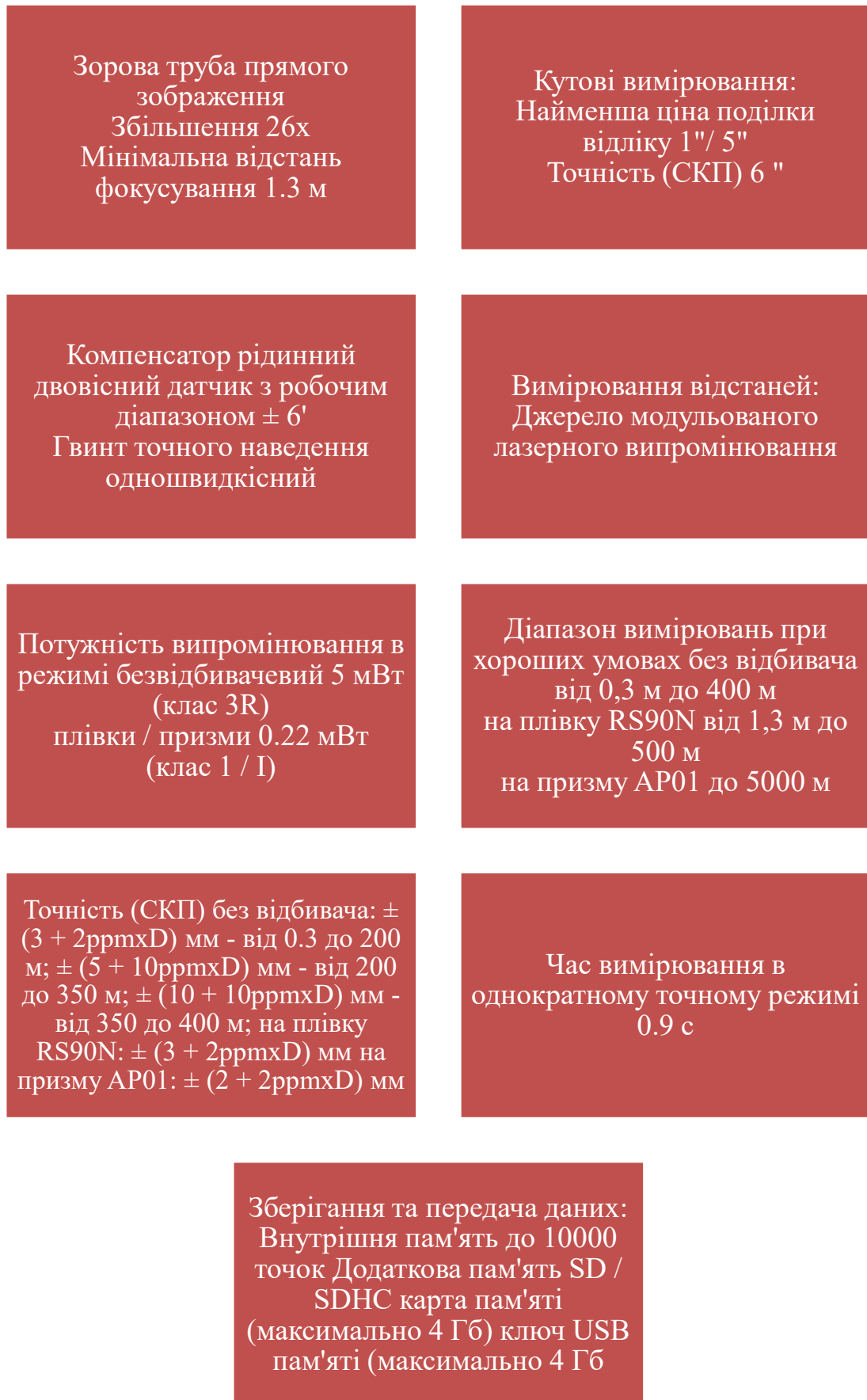


Рисунок 3.7 – Технічні характеристики тахеометрів SOKKIA

3.2.4 Гідростатичне нівелювання

Гідростатичне нівелювання для визначення осідань фундаментів споруд може бути ефективно використано в обмежених умовах підвальних приміщень, де не можуть бути забезпечені умови хорошої видимості точок, що спостерігаються, відсутня зручне місце для встановлення приладу та роботи спостерігача, утруднена робота громіздкістю рейок, штативів і т.д.

Гідростатичне нівелювання може бути з успіхом застосовано при вимірюванні осідань фундаментів турбокомпресорів, вентиляторів головного провітрювання, підйомних машин і т.д.

У ряді випадків гідростатичне нівелювання може виявитися єдиним технічним засобом спостереження за осіданнями.

Гідростатичне нівелювання полягає у визначенні різниці висот точок інженерної споруди шляхом використання основного закону гідростатики - у сполучених судинах вільна поверхня рідини завжди знаходиться на однаковому рівні, незалежно від поперечного перерізу судини та маси рідини. По різниці висот стовпів рідини в сполучених судинах знаходять різницю висот точок, на яких встановлені судини.

Вимірювання осідань фундаментів методом гідростатичного нівелювання можуть бути виконані двома видами гідростатичних приладів:

- переносним шланговим нівеліром;
- стаціонарною гідростатичною системою.

Переносні шлангові нівеліри бувають двох основних типів:

а) з фіксацією положення поверхні рідини з поплавця. Похибка відліку $\pm 0,1$ мм. До таких нівелірів відносяться нівеліри НШТ-1, НШТ-2 та ін;

б) з фіксацією положення поверхні рідини вістрям мікрометричного гвинта, точність відліку від 0,02 мм до 2 - 3 мікронів (при використанні електричних контактів). До таких приладів відносяться нівеліри Терцаги, Мартіна, Мейсера та ін.

Переносні шлангові нівеліри в основному складаються з двох однакових водомірних склянок-п'єзометрів, з'єднаних гнучким гумовим або пластмасовим шлангом різною довжини. Водомірні склянки є скляними циліндрами довжиною від 50 до 200 мм, діаметром від 20 до 50 мм, укладені у металеві оправы. У нижній частині оправ є патрубки з кранами для приєднання до шлангу, а у верхній - отвір для заливки рідини та з'єднання порожнини циліндра з повітряним середовищем, що перекривається краном, або ручним чи автоматичним клапаном.

Найпростіший гідростатичний нівелір має вигляд двох градуйованих склянок, пов'язаних між собою гумовим шлангом. Вільна поверхня підфарбованої води, що заповнює цей нівелір, знаходиться на одному рівні в обох склянках. По різниці висот стовпів рідини в сполучених судинах знаходять різницю висот точок, на яких встановлені склянки (рис. 3.8). Середня квадратична помилка визначення різниці висот нівелірного ходу довжиною 1 км сягає ± 15 мм.

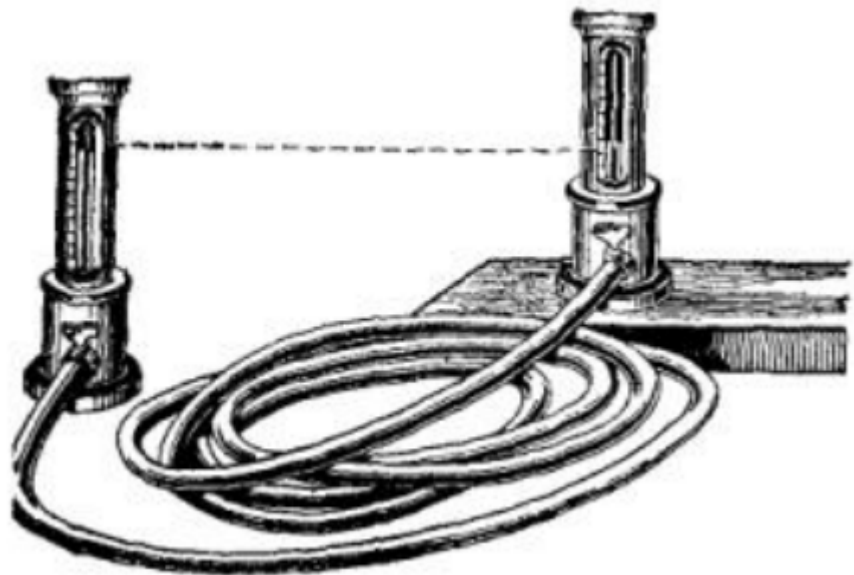


Рисунок 3.8 – Найпростіший гідростатичний нівелір

Гідростатичний нівелір із поплавком типу НШТ (рис. 3.9) відрізняється від найпростішого способом відрахування. Трубки нівеліру мають шкалу, за якою за допомогою вільно плаваючого поплавця 4 виконуються відліки.

Поплавець порожнистий, кільцевий форми, завдяки чому стійкий, пропускає бульбашки повітря та займає постійне положення щодо поверхні рідини. Точність відліку риски поплавка $\pm 0,1$ мм.

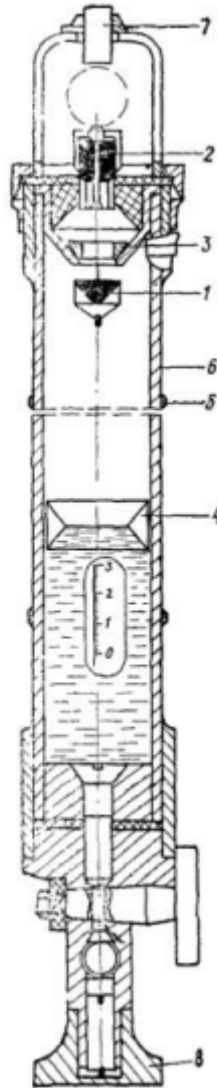


Рисунок 3.9 – Переносний гідростатичний нівелір НШТ-1: 1 – клапан-поплавець; 2 – циліндр автоматичного клапана; 3 – скляний циліндр автоматичного клапана; 4 – кільцевий порожнистий поплавець; 5 – металевий корпус; 6 – скляний циліндр водомірної склянки; 7 – верхня п'ята, укріплена в корпусі на різьбленні; 8 – нижня п'ята

Поплавок виключає рівні установки циліндрів у вертикальне положення. Для установки на марки є дві опорні п'яти. Верхня 7, укріплена в корпусі на різьбленні, двостороння. Одна площина її використовується для

застосування вимірювальної головки до певної точки, а інша для підвіски на стінні марки циліндричної форми. Нижня 8 опорна п'ята паралельно загвинчена в корпус підставки знизу і забезпечена як площиною, так і вістрям для встановлення на ґрунтові репери. Зовні нагвинчується одна знімна опорна п'ята для встановлення на нерівні поверхні.

Вимірювання осідань переносним гідростатичним нівеліром можна проводити двома способами:

- із перестановкою водомірних склянок;
- без перестановки водомірних склянок.

При способі вимірювання осідань з перестановкою водомірних склянок послідовність спостережень на станції така:

- закріплення водомірних склянок на марках;
- приведення інструмента за допомогою рівнів горизонтальне положення;
- фіксування по відліковим пристосуванням становища рівня води обох марках;
- перестановка водомірних склянок;
- приведення у горизонтальне положення;
- повторне фіксування по відліковим пристосуванням положення рівня води на обох марках.

Перевищення h між марками дорівнюватиме:

$$h = \frac{(a'_2 - a'_1) - (a_2 - a_1)}{2} \quad (3.6)$$

де a_1 і a'_1 - відліки по першій водомірній склянці, встановленій на 1-й та 2-й марках;

a_2 та a'_2 - відліки по другій водомірній склянці, встановленій на 1-й та 2-й марках.

Перед початком роботи гідростатичним нівеліром потрібно перевірити, як заповнює шланги вода. Повітряні бульбашки та пробки в системі гідростатичного нівеліру не допускаються. Вода в системі має бути

кип'яченою або дистильованою. Не допускаються перегини шлангів та провисання.

При застосуванні нівелірного ходу гідростатичним нівелюванням водомірні склянки інструментів встановлюються чи навішуються на марки чи штативи.

Нівелірні ходи (із застосуванням штативів) зручніше прокладати нівелірами з поплавками, так як ці нівеліри можуть вимірювати більші перевищення, ніж нівеліри з мікрометричним гвинтом.

При встановленні водомірних склянок на марки та проведенні високоточного гідростатичного нівелювання у конструкції споруд закладаються спеціальні заставні деталі (марки) для того чи іншого гідростатичного нівеліру відповідно до наявного пристосування для установки.

При застосуванні переносних гідростатичних нівелірів точність отримання величини осідань залежить від двох типів помилок: інструментальних та зовнішнього середовища.

Інструментальні помилки складаються здебільшого з помилок встановлення водомірних склянок на марки точок, що нівелюються; помилок ходу гвинта відлікового пристрою; помилок за температурні деформації окремих вузлів голівки гідростатичного нівеліру; помилок за рахунок капілярних сил змочування кінця штока.

Помилки довкілля складаються в основному з помилок, викликаних: тепловим розширенням рідини в судинах гідростатичного нівеліру; зміною тиску у приміщенні нівелювання; зміною щільності рідини за рахунок локального розподілу бульбашок повітря; порушенням площинності поверхні рівня рідини повітряними пухирцями; випаровуванням води в судинах приладу та помилок, викликаних забрудненням рідини в гідростатичні прилади.

Для вимірювань осідань фундаментів гідростатичним нівелюванням з великою точністю (середньою квадратичною помилкою осідань $\pm 0,1 - 0,3$ мм) необхідно:

- а) герметизувати гідростатичну систему;
- б) не допускати наявності у системі повітряних пробок;
- в) сполучні шланги повинні знаходитися приблизно (до 2 см) горизонтальну площину;
- г) враховувати за допомогою температурних датчиків зміну температури в голівках системи з метою введення поправок у положення рівня рідини.

Найбільш зручний період спостережень, коли гідростатична система або повністю охолоджена, або нагрівання її досягло рівня з незначною зміною температури в часі.

За дослідними даними, у закритих приміщеннях, де зберігається сталість температури, гідростатичне нівелювання при ретельній роботі та високому класі обробки нівелюється марки може забезпечити помилку осідань з двох циклів до 20 мкм.

3.3 Вибір методів та точності приладів для визначення горизонтальних переміщень

Для вимірювань величин горизонтальних переміщень споруди застосовують наступні методи:

- створних спостережень;
- триангуляційний;
- фотограмметричний.

Створні спостереження виконують наступними способами:

- повного створу;
- напівстворів;
- четвертних створів;

- послідовних та частих створів;
- рухливої марки;
- малих кутів.

Створні способи в основному застосовують для дослідження горизонтальних переміщень споруд прямолінійної форми, коли величину зсуву достатньо знати по одному напрямку (рис. 3.10).

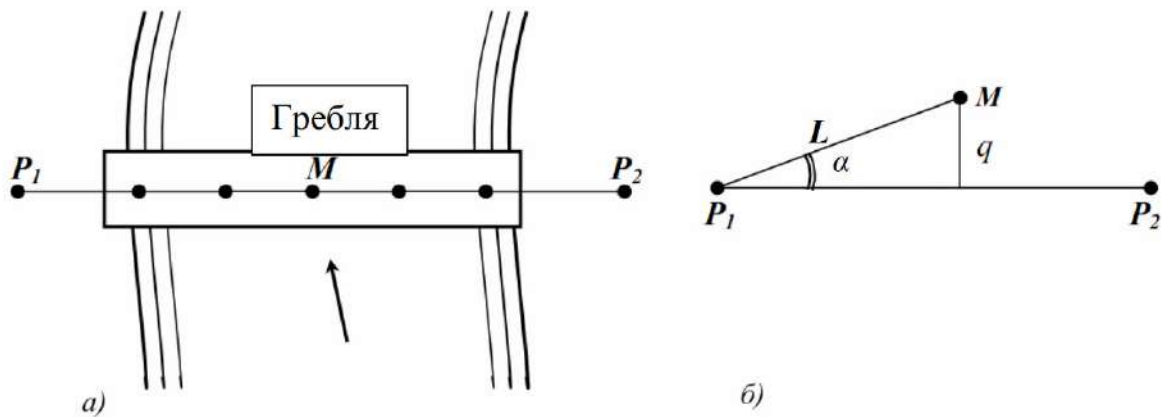


Рисунок 3.10 – Визначення горизонтального зміщення споруди створним методом: а) спосіб рухливої марки; б) спосіб малих кутів

При застосуванні способу рухливої марки (рис. 3.10, а) теодоліт встановлюють на одному з пунктів створу (P_1 або P_2) та візують у напрямку створу $P_1 - P_2$. Положення марки M визначають, заміряючи відстань від марки до напрямку створу.

При застосуванні способу вимірювання малого кута (рис. 3.10, б) горизонтальне зміщення q відносно створу визначається за формулою:

$$q = \frac{\alpha \cdot L}{\rho} \quad (3.7)$$

де L – відстань від опорного знака до марки, мм;

α - виміряний горизонтальний малий кут, с;

ρ – кількість секунд у радіані ($\rho = 206265$)

Метод триангуляції застосовується при необхідності отримати планові координати марок і визначити напрямок вектора переміщення, а також при розташуванні марок зі значними відхиленнями від прямолінійного напрямку, що не дає можливості застосування методу створів (рис. 3.11).

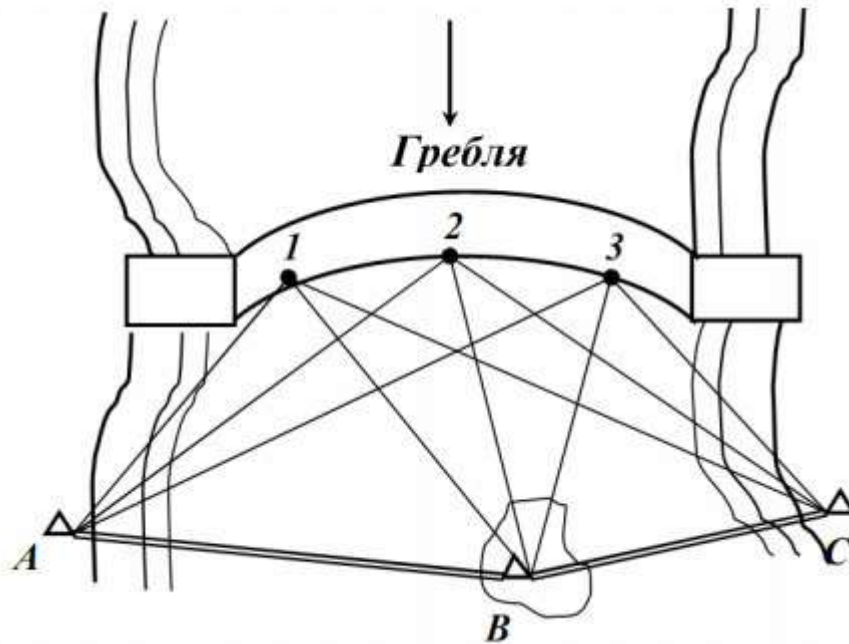


Рисунок 3.11 – Визначення горизонтального зміщення споруди методом триангуляції A, B, C – опорна мережа; 1, 2, 3 – марки

Метод триангуляції полягає у побудові спеціальної мережі триангуляції, що складається з опорних знаків та марок. У такій мережі вимірюються базис та кути в трикутниках, вирішуються трикутники та обчислюються координати марок на споруді.

Розмір і напрям горизонтального зсуву споруди визначаються зміною координат за проміжок часу між циклами спостережень.

При вимірі зрушень споруд методом триангуляції допускається умовна система координат. У цьому випадку осі координат X та Y повинні збігатися з поперечною та поздовжньою осями споруди.

При застосуванні методу триангуляції з пунктів А, В, С за допомогою кутових засічок періодично визначають координати пунктів 1, 2, 3 на споруді.

Шляхом порівняння координат, отриманих у різних циклах вимірювань визначають лінійні зміщення точок споруди. Горизонтальні кути вимірюють з точністю $0,5'' - 0,7''$.

3.3.1 Дослідження точності визначення горизонтальних зміщень способом малих кутів

Для визначення точності результатів зміщень при застосуванні способу малих кутів необхідно отримати формулу визначення середньої квадратичної похибки, яка б враховувала вплив величин, які використовувались для розрахунку та точність їх вимірювання. Для цього необхідно знайти середню квадратичну похибку як функції, використовуючи формулу (3.7). В результаті отримаємо вираз

$$m_q^2 = \frac{L^2}{\rho^2} \cdot m_\alpha^2 + \frac{\alpha^2}{\rho^2} \cdot m_L^2 \quad (3.8)$$

де L – відстань від опорного знака до марки, мм;

α - виміряний горизонтальний малий кут, с;

ρ – кількість секунд у радіані ($\rho = 206265$)

m_q – середня квадратична похибка визначення горизонтального зміщення, мм;

m_α – середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута, с;

m_L – середня квадратична похибка вимірювання відстані, мм;

За отриманою формулою (3.8) виконано дослідження зміни середньої квадратичної похибки визначення горизонтального зміщення способом

малих кутів в залежності від значення середньої квадратичної похибки вимірювання горизонтального кута при різних величинах вимірюваних відстаней, горизонтальних кутів та похибки вимірювання відстані. Для цього побудовано графіки (рис. 3.12, 3.13).

Графік (рис. 3.12) побудовано при наступних вихідних даних: горизонтальний кут $\alpha = 600''$; середня квадратична похибка вимірювання відстані $m_L = 10$ мм; відстані до марки $L = 50, 100, 200$ м; середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута змінювалась від $1''$ до $5''$.

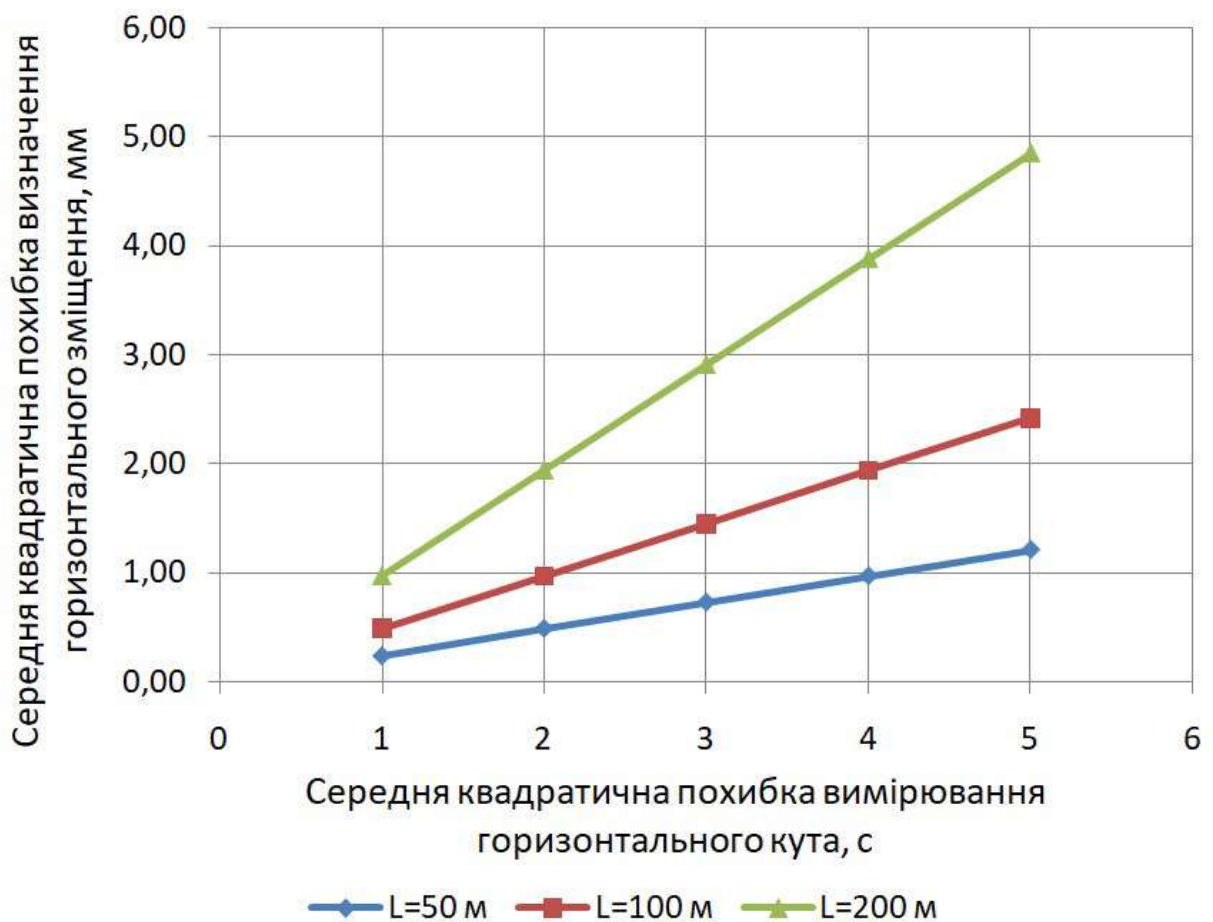


Рисунок 3.12 – Графік залежності середньої квадратичної похибки визначення горизонтального зміщення способом малих кутів від значення середньої квадратичної похибки вимірювання горизонтального кута при відстанях до марки 50, 100, 200 м

Аналізуючи наведений графік, можна зазначити, що середня квадратична похибка визначення горизонтального зміщення збільшується при збільшенні середньої квадратичної похибки вимірювання горизонтального кута та відстані до марки. Лінії графіків для різних відстаней на початку відрізняються на невелику величину, а потім ця різниця збільшується. При цьому, чим більша відстань до марки, тим інтенсивніше зростає похибка. Для заданих умов мінімальне значення середньої квадратичної похибки визначення горизонтального зміщення складає 0,24 мм, а максимальне – 4,85 мм. Аналіз показує, що для отримання похибки менше 2 мм необхідно застосовувати теодоліт з точністю вимірювання горизонтальних кутів 2".

Для визначення залежності середньої квадратичної похибки визначення горизонтального зміщення від величини горизонтального кута при різних значеннях похибки вимірювання відстані до марки побудовано графік, зображений на рисунку 3.13.

При побудові прийняті наступні вихідні дані: горизонтальний кут змінюється від 1° до 5°; середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута постійна $m_\alpha = 2''$; відстань до марки постійна – 100 м; відносна похибка вимірювання відстані складає $\frac{m_L}{L} = \frac{1}{10000}$, $\frac{m_L}{L} = \frac{1}{5000}$, $\frac{m_L}{L} = \frac{1}{2000}$.

Аналіз наведеного графіка показує, що при значенні горизонтального кута 1° точність визначення горизонтального зміщення складає для точності вимірювання відстані 1/10000 – 0,99 мм, для точності 1/5000 – 1,03 мм, для точності 1/2000 – 1,3 мм.

При збільшенні горизонтального кута середня квадратична похибка визначення горизонтального зміщення різко зростає, особливо при точності вимірювання відстані 1/2000.

Звідси можна зробити висновок, що для отримання точних результатів бажано проводити вимірювання при значеннях горизонтальних кутів не більше 1°. При більших значеннях горизонтальних кутів необхідно

вимірювати відстані до марок з точністю не менше $1/5000$.

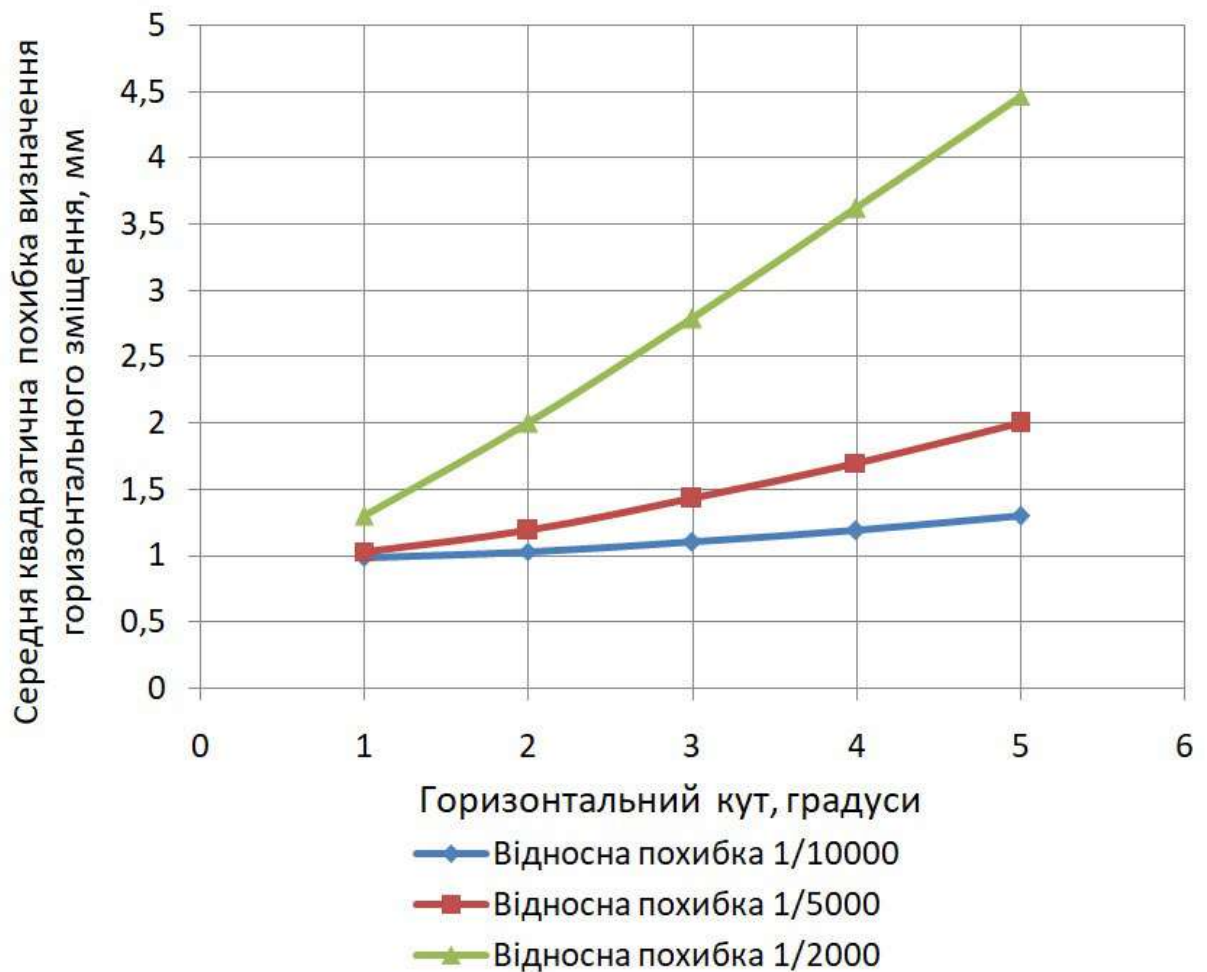


Рисунок 3.13 – Графік залежності середньої квадратичної похибки визначення горизонтального зміщення способом малих кутів від значення горизонтального кута при відносних похибках вимірювання відстаней до марки $1/10000$, $1/5000$, $1/2000$

3.4 Вимірювання кренів споруд

Крен один із найважливіших видів деформацій споруди, що визначає його стійкість та експлуатаційну надійність, особливо для високих баштових споруд.

Причиною виникнення кренів є нерівномірне осідання внаслідок

неоднорідних фізико-механічних властивостей ґрунтів основи, а також зміна цих властивостей у процесі будівництва, змінні будівельні навантаження, динамічні навантаження технологічних процесів та ін.

Причиною вигину та нахилу верхньої частини споруд баштового типу може бути бічний тиск вітру та одностороннє сонячне нагрівання.

Для повного уявлення про крен і вигин баштових споруд проводять періодичні спостереження за кренами на різних горизонтах і за осіданнями фундаменту. Всі відомі способи визначення кренів засновані на застосуванні механічних та оптичних висків або теодолітів. Вибір способу залежить від умов та необхідної точності спостережень. До механічних висків відносять ниткові прямі і зворотні поплавкові виски, в яких вертикальну лінію задає вертикально підвішений дріт. Оптичні виски представлені різними приладами вертикального проектування, в яких вертикальна лінія фіксується візирною віссю зорової труби, що приводиться в вертикальне положення за допомогою рівня або компенсатора.

Для спостережень за креном з використанням приладів вертикального проектування необхідно мати умови для візування з вихідного горизонту на спостережуваний.

Спостереження полягають у періодичному фіксуванні положення вертикальної лінії, що задається приладом та проходить через точку, закріплену на вихідному горизонті. З цією метою на спостережуваному горизонті закріплюють марка у вигляді координатної сітки, по якій беруть відліки.

За відсутності умов для застосування висків та приладів вертикального проектування використовують різні способи, засновані на геодезичних побудовах за допомогою теодоліту або нівеліру, наприклад, способи координат, вертикального проектування, горизонтальних кутів, нівелюванням основи.

Для умов ПРАТ «Шахтоуправління «Покровське» при визначенні крену баштових копрів пропонується застосувати спосіб з використанням

приладу вертикального проектування PZL-100, а також спосіб нівелювання основи (рис. 3.14).

При вертикальному проектуванні крен споруди визначається з різниці відстаней до вертикальної лінії візування приладу q_1 та q_2 .

При застосуванні способу нівелювання кут нахилу споруди приймається рівним куту між лінією початкового рівня марок та лінією марок після крену.

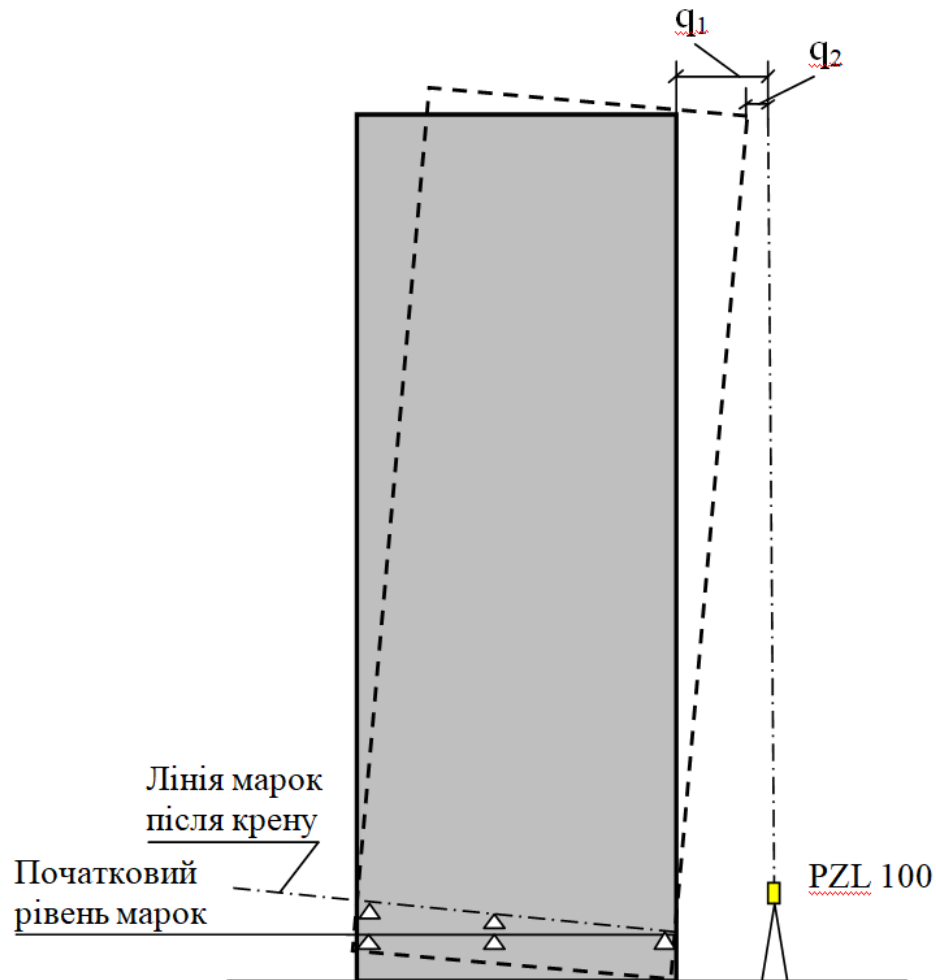


Рисунок 3.14 – Схема визначення крену баштового копра приладом вертикального проектування PZL-100 та способом нівелювання основи

Оптичний прилад вертикального проектування PZL-100 застосовується передачі планового положення точки стояння приладу в зеніт (рис. 3.15). На даний час є одним з найкращих приладів у своєму класі завдяки надійній конструкції та високій якості німецької оптики. Має надійний компенсатор із повітряним демпфером.



Рисунок 3.15 – Загальний вигляд приладу вертикального проектування
PZL-100

Технічні характеристики:

Похибка вимірів ± 1 мм на 100 м.

Збільшення зорової труби 32х.

Час встановлення компенсатора < 1 сек.

Діаметр об'єктива 40 мм.

Діапазон роботи компенсатора $\pm 10'$.

Межа фокусування оптичного центру 0,5 м.

Середня похибка встановлення компенсатора $\pm 0,15''$.

Точність центрування на висоту 1,5 м 0,5 мм.

Кут поля зору $1,3^\circ$.

Ціна поділу циліндричного рівня $30''$.

Висота інструменту 295 мм.

Габарити дерев'яного футляра 385 x 225 x 170 мм.

Вага приладу/футляра 3,7/3,3 кг.

3.5 Конструкція вихідних реперів та спостережних марок

Перед початком робіт з вимірювання осідань фундаментів встановлюються вихідні геодезичні знаки – репери:

- глибинний – фундаментальний геодезичний знак, що закладається в практично нестисливі ґрунти;
- ґрунтовий – геодезичний знак, що закладається нижче глибини промерзання ґрунту;
- стінний – геодезичний знак, закладений у стіні будівлі або споруди, осад фундаменту яких можна вважати практично закінченою.

Репери глибинні можуть бути металеві, біметалічні, біструнні (рис. 3.16) [4]. Глибина закладання глибинних реперів від 2 до 100 м і більше. Основа глибинного репера доводиться до скельного або практично нестисливого ґрунту.

Ґрунтові репери (рис. 3.17) [4] можуть бути металевими, залізобетонними. Ґрунтові репери встановлюються в котлованах, свердловинах або шляхом забиття (при використанні паль).

При вимірі осідань нівелюванням II та III класів допускається використання тільки ґрунтових реперів, а також реперів, закладених у стінах будівель та споруд.

Кількість ґрунтових реперів має бути не менше трьох, стінних – не менше чотирьох.

У кожному циклі вимірювань під час проведення робіт зі спостереження за осіданнями фундаментів споруд необхідно контролювати стійкість вихідних реперів.

Систематичні зміни перевищень між реперами від циклу до циклу спостережень, поява нев'язок ходів переважно з одним знаком свідчить про зміну висотного положення вихідних реперів.

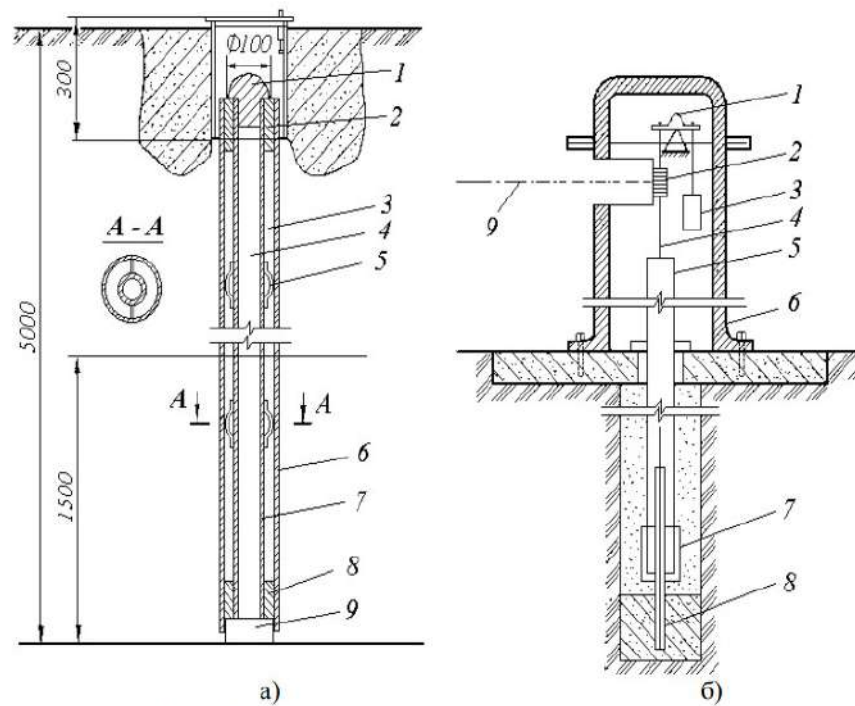


Рисунок 3.16– Глибинний репер: а) трубчастий репер, що закладається бурінням: 1 – запресована бронзова головка з хрестовиною; 2, 8 – сальники; 3 – мазут; 4 – цемент; 5 – наварний ліхтар зі сталі; 6 – труба ($\varnothing$ 150 мм); 7 – труба ($\varnothing$ 60 мм); 9 – піддон металевий; б) репер з гнучкою реперною штангою: 1 – важіль; 2 – шкалова марка; 3 – вантаж; 4 – інварний дріт; 5 – захисна труба; 6 – труба-люк; 7 – сальник; 8 – шток; 9 – горизонт приладу

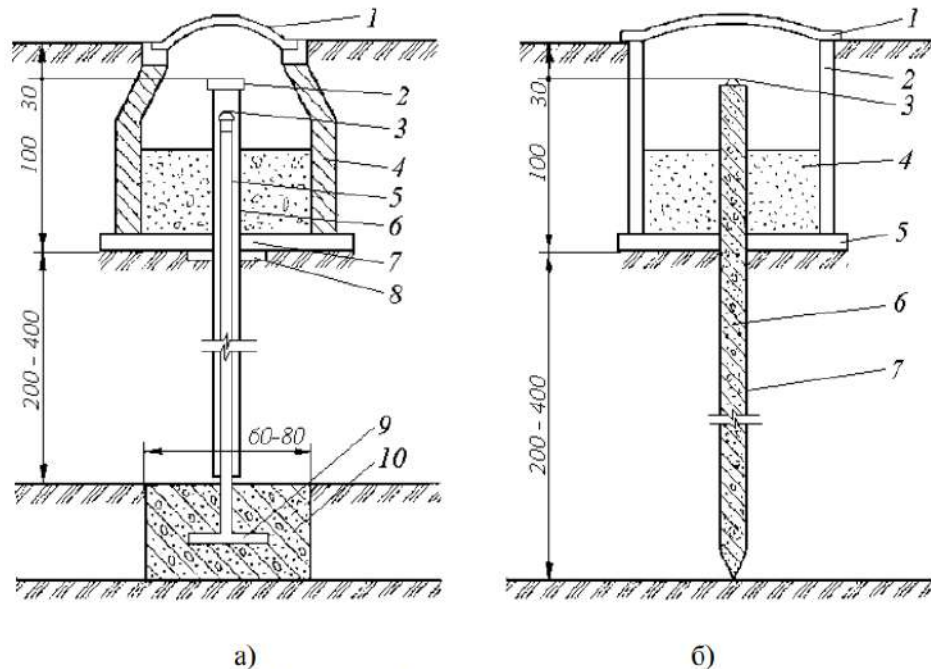


Рисунок 3.17 – Ґрунтовий репер: а) трубчастий на бетонному фундаменті: 1 – люк; 2 – кришка; 3 – реперна головка ($\varnothing$ 2–4 см); 4 – цегляний або бетонний збірний колодязь; 5 – реперна труба ($\varnothing$ 7–8 см); 6 – захисна труба ($\varnothing$ 12–15 см); 7 – бетонна підготовка; 8 – хомут для утримання захисної труби; 9 – анкерний лист; 10 – бетонна подушка; 11 – шлак; б) пальовий: 1 – люк; 2 – цегляний або бетонний збірний колодязь; 3 – реперна головка ($\varnothing$ 2–4 см); 4 – шлак; 5 – бетонна підготовка при встановленні в котлован; 6 – паля; 7 – бітум

Для спостережень за деформаціями використовують марки – знаки, жорстко укріплені на конструкції будівлі (на фундаменті, колоні, стіні), які змінюють своє положення внаслідок осідання, підйому, крену або зсуву споруди. Конструкції марок показані на рисунку 3.18.

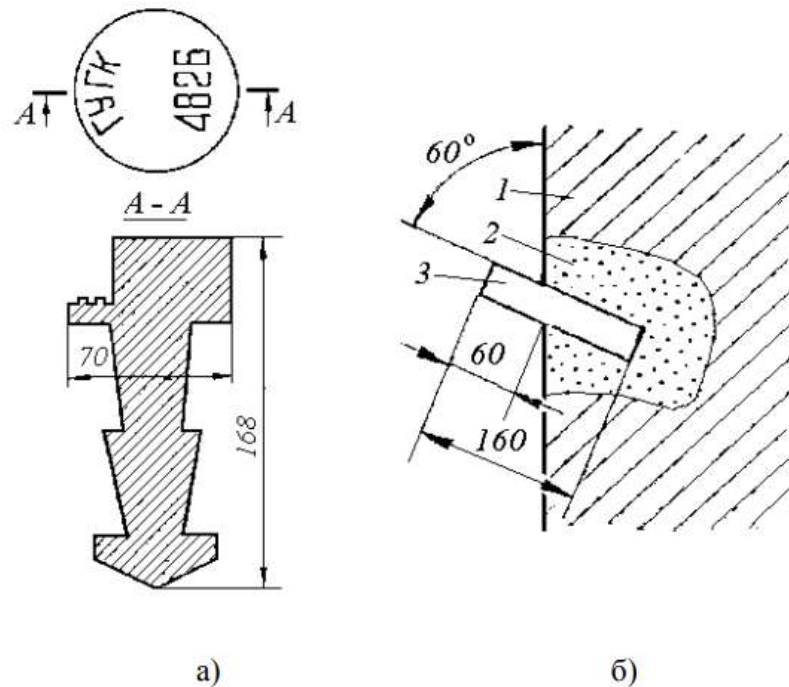


Рисунок 3.18 – Стінна марка: а) звичайна; б) спрощена, 1 – стіна; 2 – цементний розчин; 3 – сталевий кутик 30×30×5 мм

Розміщення марок на будівлі або споруді є одним із основних етапів організаційної роботи при вимірі осадів фундаментів. Від правильності розміщення марок залежать повнота та чіткість виявлення осадів фундаментів будівель або споруд.

Розміщення марок має забезпечувати найсприятливіші умови виконання нівелірних робіт.

Марки встановлюють приблизно одному рівні. Розташовують їх на кутах будівлі або споруди, біля осадового шва по обидва боки, у місцях примикання поперечних та поздовжніх стін. Відстань між марками залежить від інженерно-геологічних умов, конструкції фундаментів, очікуваної величини осадку та її нерівномірності, а також від мети, з якою проводяться вимірювання осідань.

3.6 Визначення деформацій із застосуванням сучасних технологій

Лазерне сканування

Лазерне сканування - це метод, що дозволяє створити цифрову модель навколишнього простору, представивши його набором точок із просторовими координатами. Основна відмінність від ЕТ - набагато більша швидкість вимірювань, наявність сервоприводу, що автоматично повертає вимірювальну частину приладу як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах і найголовніше - швидкість (від 5000 вимірювань в секунду) і щільність (від 5000 вимірювань в секунду) і щільність (до десятків точок на 1 см² поверхні).

Отримана після вимірювань модель об'єкта є гігантським набором точок (від сотень тисяч до кількох мільйонів), що мають координати з точністю в кілька міліметрів.

Суть технології лазерного сканування [5] полягає у визначенні просторових координат точок поверхні об'єкта.

Це реалізується у вигляді вимірювання відстані до всіх визначених точок з допомогою лазерного безвідбивного далекоміра.

Прилад, що реалізує практично наведену технологію вимірювань, називається лазерним сканером. Результатом роботи сканера є безліч точок з обчисленими тривимірними координатами. Такі набори точок прийнято називати хмарами точок або скан. Зазвичай кількість точок в одній хмарі може варіювати від кількох сотень тисяч до кількох мільйонів.

Все керування роботою приладу здійснюється за допомогою портативного комп'ютера зі спеціальним програмним забезпеченням. Отримані значення координат точок зі сканера передаються на комп'ютер і накопичуються у спеціальній базі даних.

Лазерні наземні сканери часто класифікують за принципом визначення просторових координат на імпульсні, фазові та тріангуляційні.

В імпульсних сканерах реалізовано метод визначення відстаней, заснований на точному визначенні часу проходження імпульсу до мети та

назад. Так як у цьому методі використовується світловий імпульс для безпосереднього виміру відстані, то головна перевага таких сканерів – у великій дальності вимірів (кілька сотень метрів).

Дальність дії фазових сканерів обмежена 100 м. У сканерах цього типу відстань визначається на основі вимірювання зсуву фаз випромінюваного та відбитого сигналів. Оскільки в цьому методі використовується модульований світловий сигнал для визначення відстані, на відміну від імпульсного методу, великої потужності лазера не потрібно, тому відстані можуть бути виміряні з помилкою в кілька мм.

Швидкість вимірювань фазових сканерів кілька порядків (1-2) перевищує швидкість імпульсних сканерів. Тріангуляційний метод реалізований у високоточних сканерах. Конструктивною особливістю сканерів такого типу є те, що випромінювач та приймач сигналу рознесені на відому відстань (базу). Такі сканери дозволяють досягти точності вимірювань у десятки і навіть соті частки міліметра, але на коротких дистанціях (кілька метрів) (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Класифікація наземних лазерних сканерів за принципом вимірювання відстані

Принцип виміру	Максимально вимірювана відстань, м	Точність визначення відстаней, мм	Фірми-виробники лазерних сканерів цього типу
Імпульсний метод	50-300	до 10	Callidus, Leica, Trimble, Optech, Riegl
Фазовий метод	до 100	до 10	IQSun, Leica, Vislimage, Z+F
Оптична тріангуляція	до 5	до 1	Trimble, Minolta

Послідовність виконання робіт з лазерного сканування показано на рисунку 3.19.

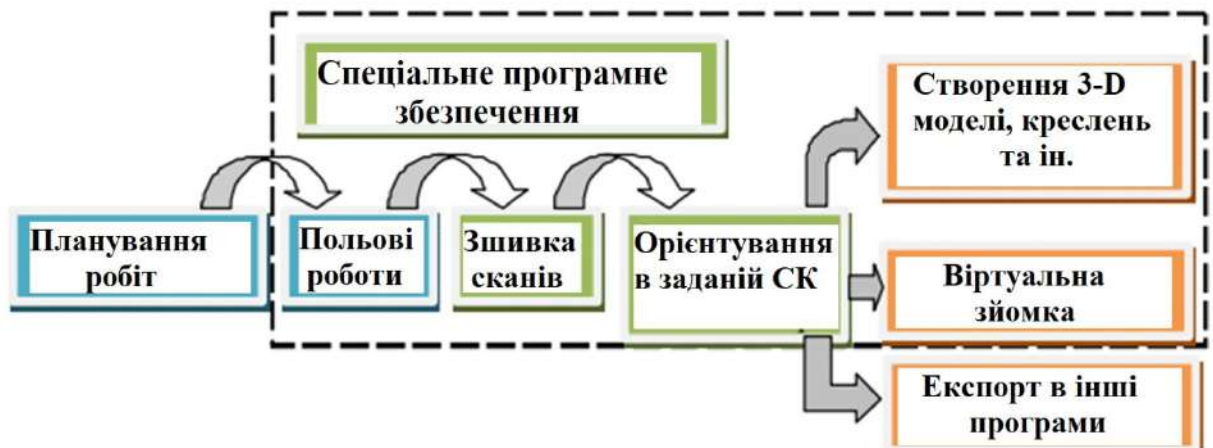


Рисунок 3.19 – Послідовність виконання робіт з лазерного сканування

Моніторинг об'єктів із застосуванням ГНСС

Глобальна навігаційна супутникова система (ГНСС) – це система, з якої можна отримати координати у будь-якій точці земної поверхні шляхом обробки супутникових сигналів. Будь-яка ГНСС складається з трьох сегментів: космічного, наземного та користувальницького.

Космічний сегмент представлений сузір'ям супутників, які передають інформацію про своє становище на орбіті; наземний сегмент складається з нерухомих станцій, що забезпечують моніторинг та контроль стану супутників, а також їх технічного стану; Користувальницький сегмент - це люди різних професій, які використовують супутникові приймачі для визначення свого розташування на земній поверхні.

Визначення координат за спостереженнями навігаційних супутників можливе такими методами:

1) абсолютним, коли координати отримують одним приймачем у системі координат штучного супутника Землі (ІСЗ) методом засічення положення приймача від КА з відомим положенням. Метод також називається «точкове позиціонування»;

2) диференціальним, коли спостереження виконуються не менш як двома приймачами, один з яких розташований на опорному пункті з відомими координатами, а другий – на визначеному. У цьому вся методі за результатами

спостережень на опорному пункті отримують поправки до параметрів спостережень визначеного пункту чи його координат, тобто. спостереження обробляються окремо. Метод забезпечує «миттєві» рішення чи рішення в реальному часі;

3) відносним, коли одночасно виконані на опорному та обумовленому пунктах спостереження обробляються спільно. У цьому методі визначають вектор, що з'єднує опорний і пункти, що визначається, або так званий «вектор базової лінії».

У кожному із зазначених методів визначення координат можливе шляхом вимірювання як по фазі коду (за кодовими псевдодальностями), так і по фазі частоти сигналу, що несе (зазвичай просто по фазі несучої). Точність кодових дальностей має метровий рівень, точність фазових вимірів становить кілька мм. Точність диференціального та відносного методів вища, ніж у абсолютного (помилки на рівні см і менше). У кожному з методів спостереження можуть бути виконані в режимах статички та кінематики. У першому випадку обидва приймачі стаціонарні, у другому – один приймач нерухомий, а інший переміщається. Статичне позиціонування дозволяє підвищити точність визначень рахунок накопичення даних. Відносне позиціонування фазових вимірів є найбільш точним методом визначення координат і використовується в геодезії найчастіше. Кінематичне позиціонування дає можливість отримувати траєкторію руху об'єкта, на якому встановлено рухомий приймач - ровер.

Моніторинг об'єктів можна розділити на дві категорії: моніторинг станів (наприклад, деформацій) та моніторинг положень [6].

Моніторинг деформацій інженерних споруд (мостів, веж, труб тощо) із застосуванням супутникових технологій стає звичайним явищем. Головна перевага моніторингу із застосуванням ДПС полягає у його безперервному характері, що можливо і в реальному масштабі часу, і з постобробкою. Це дає перевагу у порівнянні з роботами за класичними геодезичними методами, які проводяться з інтервалом на рік, півроку чи щомісяця.

3.7 Спеціальні методи визначення деформацій споруд в умовах гірничого підприємства

3.7.1 Визначення співвісності валів вентиляторів головного провітрювання центробіжного типу

Вентилятори головного провітрювання шахт є об'єктами підвищеної уваги, оскільки від надійності їхньої роботи залежить безпека людей, які працюють під землею [7].

Якість експлуатації вентиляторних установок забезпечується механічною службою шахти, відповідно до керівних документів [8]. З метою виникла необхідність додаткового контролю співвісності валів вентиляторних установок. Це завдання було поставлено перед маркшейдерською службою. У зв'язку з цим були запропоновані деякі способи розв'язання поставленої задачі [9, 10]. Один із запропонованих способів був включений до маркшейдерської інструкції, виданої в Україні 2001 року.

Відповідно до вимог діючої “Інструкції...” [11], на вугільних шахтах необхідно систематично виконувати комплекс робіт із визначення співвісності валів вентиляторів головного провітрювання шахт.

Після закінчення монтажу вентиляційної установки слід перевіряти співвісність її валів у горизонтальній та вертикальній площинах з точністю ± 1 мм.

Критерії горизонтальності валів встановлюють згідно з технічними умовами конкретної вентиляційної установки з урахуванням прогину валів.

Співвісність валів від опорного стільця, як правило, виконують координатометром з точністю відрахування не більше 0,1 мм. Горизонтальність валу визначається нівелюванням з точністю відрахування по рейці або лінійці не більше 0,1 мм.

Для контролю співвісності вентиляторної установки закріплюють у машинному приміщенні пункти опорного стула та висотні репери (рис. 3.20).

Перевірку слід проводити струнно-оптичним способом, у якому використовують струну, виски і теодоліти уніфікованої групи Т2.

Відліки на поверхні валів знімають із координатометра за допомогою теодоліту.

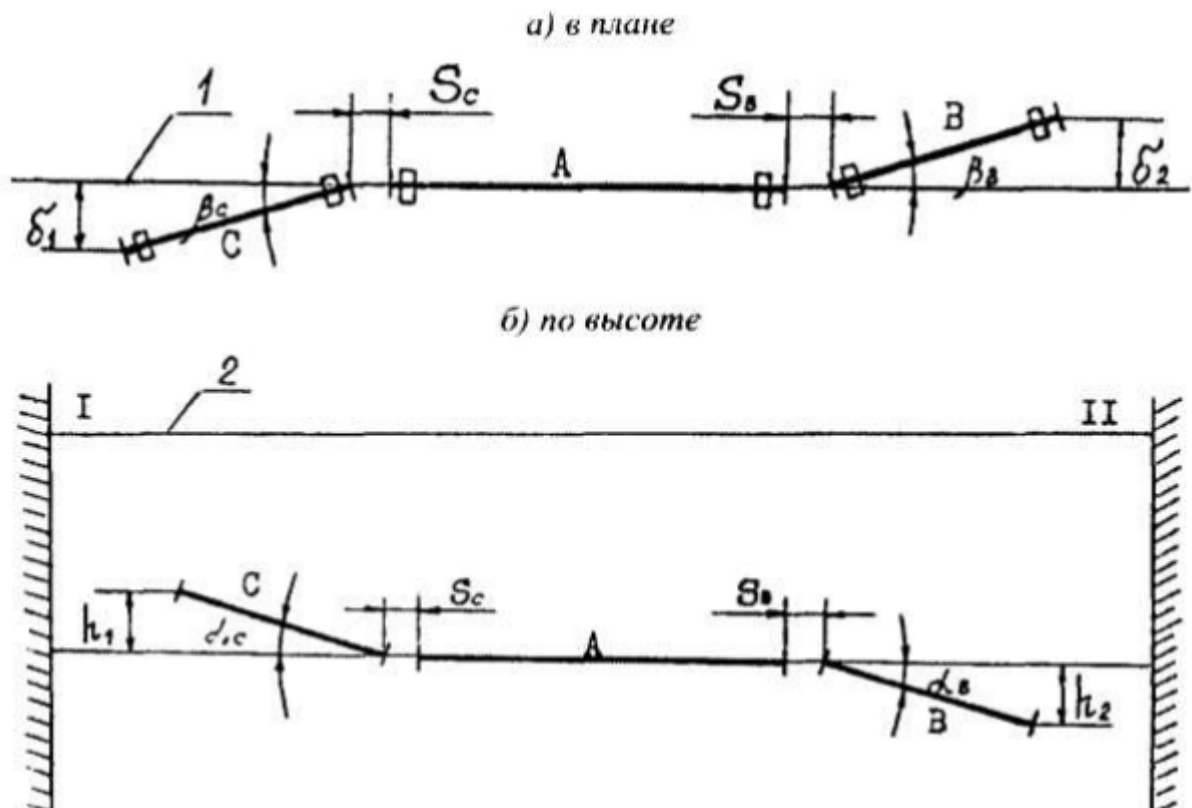


Рисунок 3.20 – Схема перевірки вентиляторної установки ВЦД - 47У:

1 – вісь обертання; 2 – референтна пряма осі обертання;

A – вал вентилятора; B, C - вал електродвигуна

Послідовність визначення нестворення:

- визначення зміщення у горизонтальній площині валу електродвигуна (електродвигунів) щодо валу вентилятора;
- нівелювання валу вентилятора та валу електродвигуна (електродвигунів);
- Опрацювання матеріалів перевірки.

Роботи з визначення горизонтального зміщення виконують у такому порядку: по опорному створу натягують струну, центрують теодоліти з точністю $\pm 0,3$ мм, потім візують на струну. На кінці валу електродвигунів встановлюють координатометри. За допомогою зорової труби теодоліту визначають положення контрольованої точки щодо орієнтованої візирної лінії.

Вимірювання нестворності виконують повним прийомом, який відповідає дворазовому введенню координатометра в створ – праворуч і ліворуч.

Зняття відліків зі шкали координатометра слід проводити теодолітом при двох положеннях зорової труби з точністю $\pm 0,1$ мм.

Нестворність δ_1 у міліметрах обчислюють за формулою:

$$\delta_1 = a_1 - MO, \quad (3.9)$$

$$\delta_1 = MO - a_1,$$

де a_1 – середній відлік за шкалою координатометра;

МО – місце нуля призмного координатометра, мм.

У разі відсутності на шахті координатометра перевірку слід виконувати за допомогою шнурових висків, опущених зі струни опорного створу біля торців валу вентилятора та валу електродвигунів. Зняття відліків виконують візуально по двох висках і центру валу з точністю до 1 мм.

3.7.2 Спостереження за деформаціями об'єктів при їх підробці гірничими роботами

При виїмці вугільних пластів відбувається зрушення гірських порід та земної поверхні (рис. 3.21).

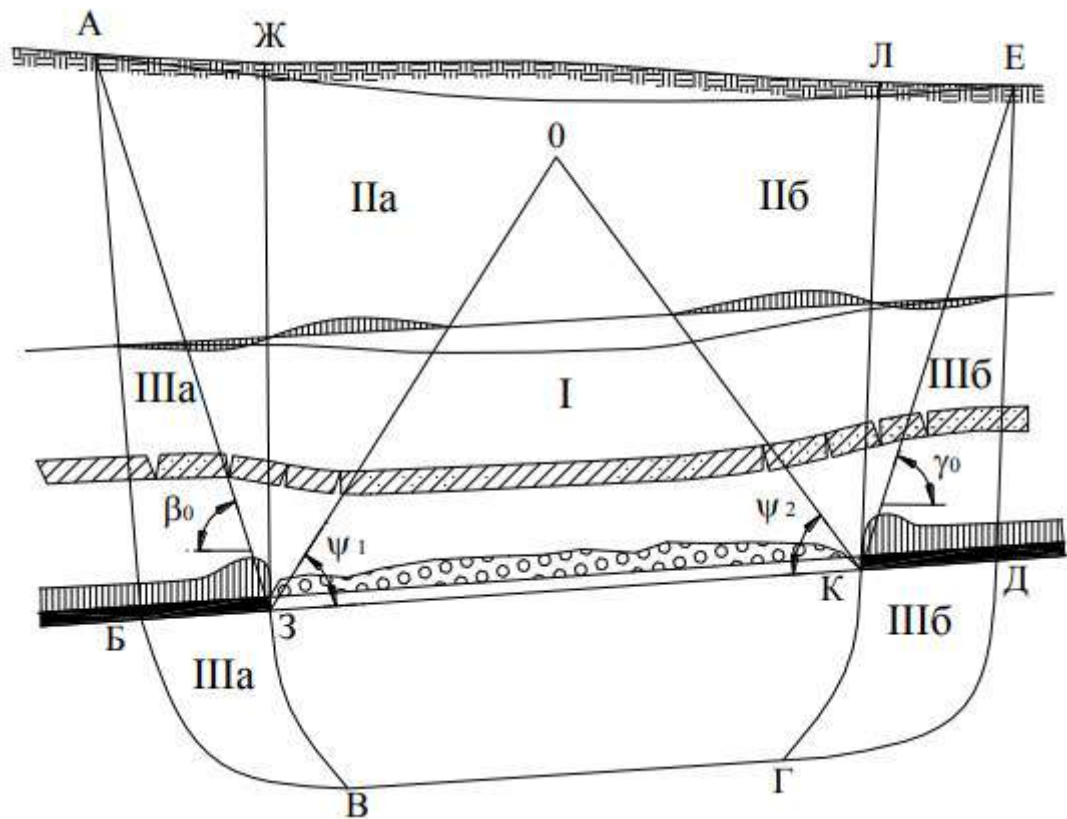


Рисунок 3.21 – Схема зрушення гірських порід і земної поверхні:

А-Е – мульда зрушення, I – зона повних зрушень; Па, Пб – зони найбільшого прогину; Ша, Шб – зони вертикального стиску

Будівлі та споруди, які попадають у мульду зрушення можуть зазнавати небезпечних впливів на конструкції.

Вимірювання зрушень земної поверхні проводять на спостережних станціях, які представляють собою систему реперів, закладених у ґрунті і спорудах (рис. 3.22).

Інструментальні спостереження на станції виконуються окремими серіями. Розрізняють первинні, періодичні (проміжні) і заключну серії спостережень.

Первинні спостереження призначені для визначення початкового (до підробки) просторового положення реперів.

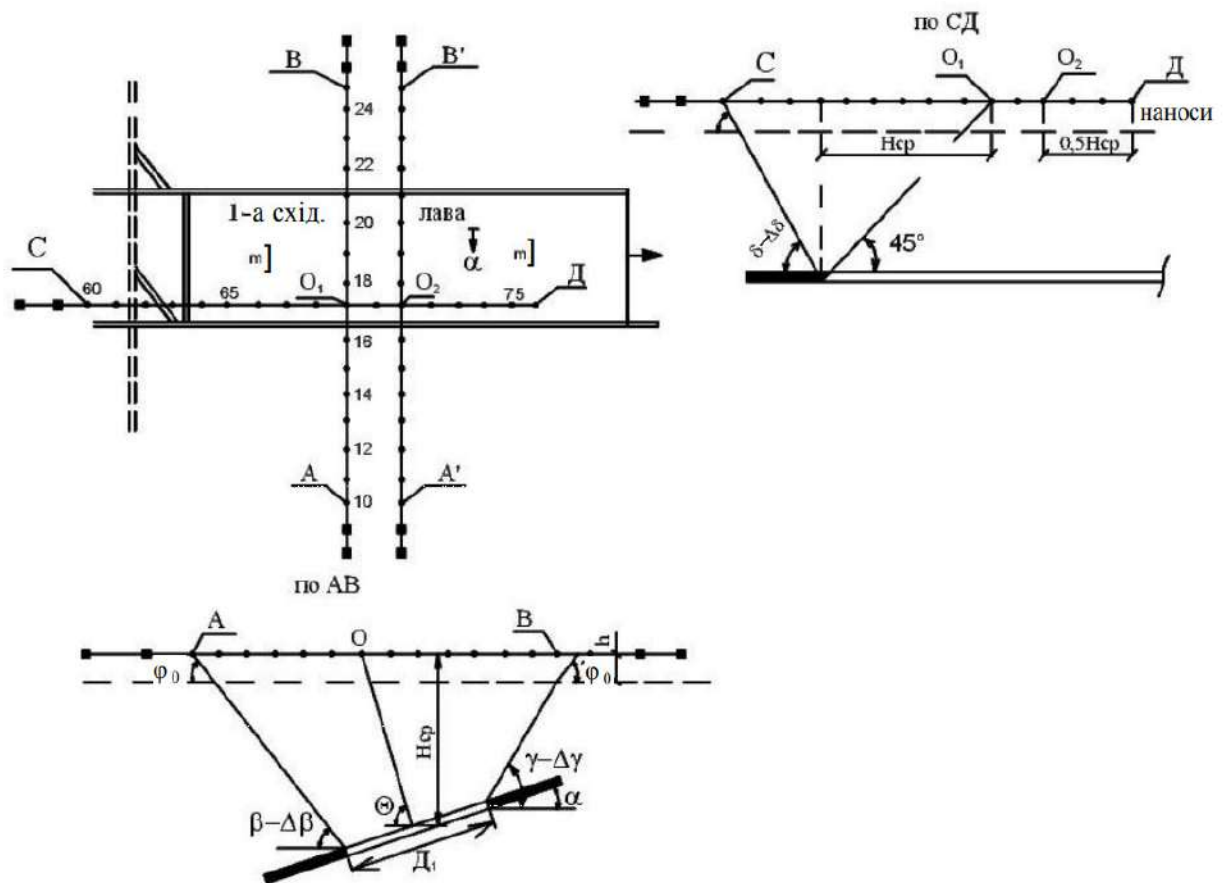


Рисунок 3.22 – Типова спостережна станція: АВ, CD – зони робочих реперів; —●— – робочі репери; ■ – опорні репери; β , γ , δ – кути зрушення; φ_0 граничний кут; Θ – кут максимальних осідань; H_{cp} , h – середня глибина лави й потужність наносів; D_1 , m – довжина лави й потужність пласта; $\Delta\beta$, $\Delta\gamma$, $\Delta\delta$ – кутові виправлення; О – точка максимального осідання.

Частота періодичних спостережень залежить від станції й інтенсивності зрушень.

Заклучна серія спостережень виконується тоді, коли сумарні осідання за останні 6 місяців не перевищують максимальні і становлять не більше 30 мм. Це вважається закінченням процесу зрушення.

Кожна серія спостережень складається з виміру довжин інтервалів між сусідніми реперами ліній і нівелювання реперів.

Обробка вимірів починається з обчислення висотних відміток реперів та горизонтальних прокладень інтервалів між реперами. У вимірюванні рулеткою відстані вводять виправлення: за температуру, компарування,

прогин, нахил.

За висотними відмітками реперів та горизонтальним положенням інтервалів обчислюють зрушення і деформації земної поверхні за формулами:

$$\eta_n = Z_{n0} - Z_{nk}; \quad i_n = \frac{\eta_{n+1} - \eta_n}{l_{n0}}; \quad \xi_n = L_{nk} - L_{n0}; \quad (3.10)$$

$$\varepsilon_n = \frac{l_{nk} - l_{n0}}{l_{n0}}; \quad K_n = \frac{i_n - i_{n-1}}{0.5 \cdot (l_{n-1} + l_{n0})}; \quad R_n = \frac{1}{K_n};$$

де η , i , K , R , ε , ξ - осідання, нахили, кривизна, радіус кривизни, горизонтальні деформації, горизонтальні зрушення;

Z - висотні відмітки реперів;

l_n - довжини інтервалів;

$L_n = \sum_{i=1}^{n+1} l_i$ - відстань від репера, що розраховується до початкового

(опорного) репера лінії;

n - порядковий номер репера або інтервалу (при нумерації вбік повстання або простягання пласту);

0 - номер попередньої або початкової серії спостережень;

k – номер оброблюваної (кінцевої) серії спостережень.

Традиційна технологія вимірювань на спостережних станціях, заснована на геометричному нівелюванні реперів профільних ліній і вимірюванні відстаней між реперами за допомогою сталевих рулеток, має високу точність, але разом з тим є досить трудомісткою. Тому для вимірювань на спостережних станціях пропонується застосувати електронні тахеометри, оскільки в цьому випадку забезпечується висока швидкість зйомки та обробки результатів вимірювань.

Для обґрунтування можливості застосування електронних тахеометрів на спостережних станціях необхідно оцінити очікувану точність виконання вимірювань.

Використовуючи електронний тахеометр можна отримати просторові координати реперів X , Y , Z , за допомогою яких обчислюються довжини інтервалів і перевищення між реперами.

Згідно інструкції [12] точність вимірювання довжин інтервалів між реперами не повинна бути меншою 1:10000, а середня квадратична похибка у визначенні перевищень між реперами не повинна бути меншою 5 мм, що відповідає III класу нівелювання.

Для вимірювання електронний тахеометр встановлюють осторонь (точка P_0), або в створі профільної лінії (точка P_1) (рис. 3.23).

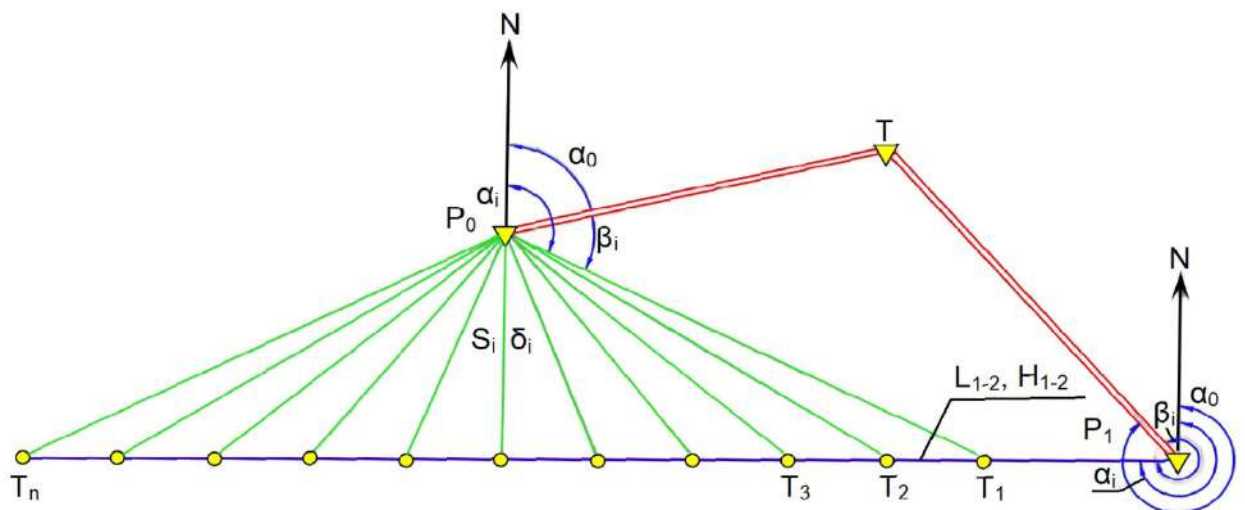


Рисунок 3.23 – Схема зйомки електронним тахеометром

Електронним тахеометром вимірюються горизонтальні кути β від початкового напрямку P_0-T , або P_1-T , вертикальні кути δ та відстані S від знімальної точки до реперів T_1 , T_2 ... T_n .

Для забезпечення необхідної точності використовують інструменти з точністю вимірювання кута 2".

Для оцінки точності вимірювань необхідно виконати аналіз похибок довжин та перевищень, що розраховуються як середні квадратичні похибки функцій загального виду.

Середні квадратичні похибки m_{xi} і m_{yi} визначення планових координат x , y кожного i -го репера обчислюються за формулами:

$$m_{xi}^2 = m_{xcm}^2 + (\cos(\alpha_0 + \beta_i) \cdot \cos \delta_i)^2 \cdot m_s^2 + (S_i \cdot \sin \delta_i \cdot \cos(\alpha_0 + \beta_i))^2 \cdot \frac{m_\delta^2}{\rho^2} + (S_i \cdot \cos \delta_i \cdot \sin(\alpha_0 + \beta_i))^2 \cdot \frac{m_\alpha^2 + m_\beta^2}{\rho^2}, \quad (3.11)$$

$$m_{yi}^2 = m_{ycm}^2 + (\sin(\alpha_0 + \beta_i) \cdot \cos \delta_i)^2 \cdot m_s^2 + (S_i \cdot \sin \delta_i \cdot \sin(\alpha_0 + \beta_i))^2 \cdot \frac{m_\delta^2}{\rho^2} + (S_i \cdot \cos \delta_i \cdot \cos(\alpha_0 + \beta_i))^2 \cdot \frac{m_\alpha^2 + m_\beta^2}{\rho^2}, \quad (3.12)$$

де α_0 – дирекційний кут вихідної сторони; β – горизонтальний кут; δ – кут нахилу; S – відстань до репера; ρ – число секунд в радіані, $\rho = 206265''$; m_{xcm} , m_{ycm} , m_α , m_β , m_δ , m_s – середні квадратичні похибки координат x , y точки стояння, дирекційного кута вихідної сторони, вимірювання горизонтального кута, вимірювання вертикального кута, вимірювання відстані до репера.

Середня квадратична похибка визначення висотної позначки репера за допомогою тригонометричного нівелювання дорівнює:

$$m_{zi}^2 = m_{zcm}^2 + \sin^2 \delta_i \cdot m_s^2 + (S_i \cdot \cos \delta_i)^2 \cdot \frac{m_\delta^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2, \quad (3.13)$$

де m_{zcm} – середня квадратична похибка висотної відмітки точки стояння електронного тахеометра; m_i , m_v – середні квадратичні похибки визначення відповідно висоти інструменту та висоти візування.

Похибки визначення довжини інтервалу m_L і перевищення m_h між сусідніми реперами розраховують за формулами:

$$m_L^2 = \left(\frac{x_1 - x_2}{L} \right) \cdot (m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2) + \left(\frac{y_1 - y_2}{L} \right) \cdot (m_{y_1}^2 + m_{y_2}^2) + \left(\frac{z_1 - z_2}{L} \right) \cdot (m_{z_1}^2 + m_{z_2}^2) \quad (3.1)$$

$$m_h^2 = m_{z_1}^2 + m_{z_2}^2 \quad (3.15)$$

де x_1, y_1, z_1 та x_2, y_2, z_2 – координати сусідніх реперів 1 та 2; L – довжина інтервалу між реперами.

З використанням отриманих формул зроблені розрахунки і побудовані графіки, що характеризують точність знімання в залежності від розташування точки стояння тахеометра.

Графіки залежність відносної похибки визначення довжини від розташування знімальної точки щодо профільної лінії показані на рисунку 3.24. Для розрахунків прийнята довжина профільної лінії 500 м, кути нахилу 0° , точка стояння на відстані 20 м по центру профільної лінії.

Графіки показують, що точність зменшується при віддаленні від центру профільної лінії до її країв.

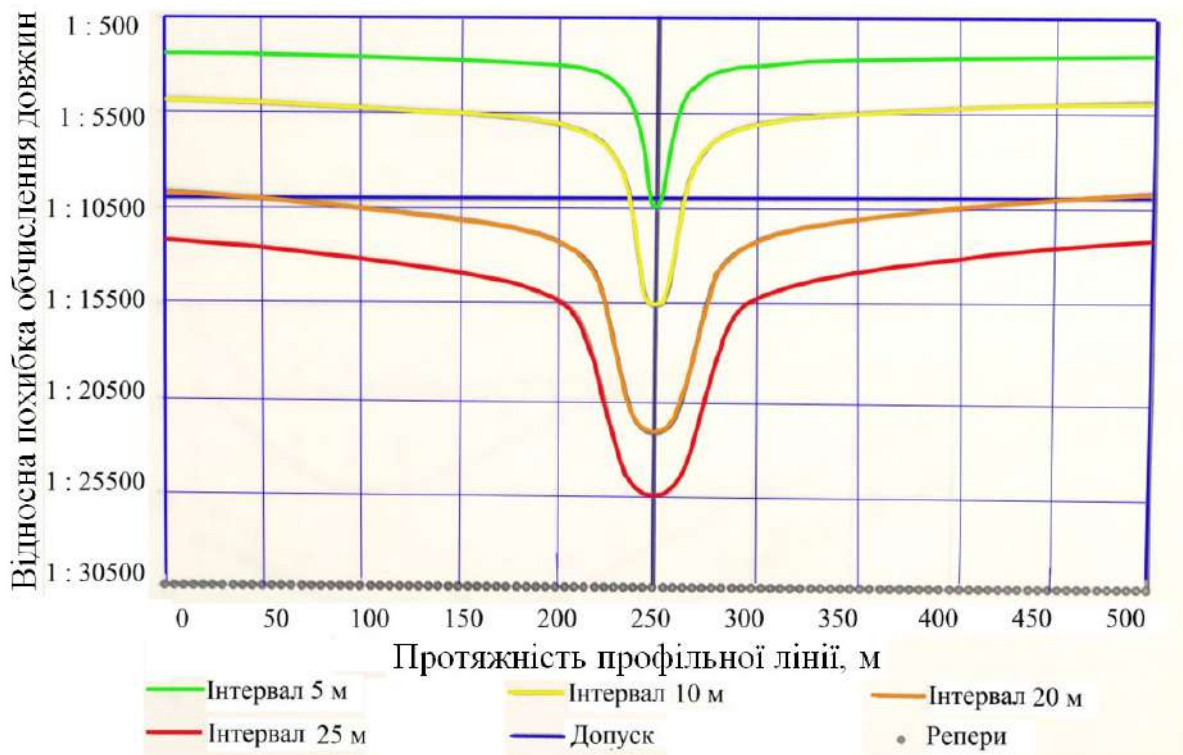


Рисунок 3.24 - Залежність відносної похибки довжини від точки стояння тахеометра

На рисунку 3.25 показана залежність середньої квадратичної похибки визначення перевищення від близькості точки стояння до профільної лінії. При збільшенні відстані від точки стояння до профільної лінії точність зменшується. Також зменшення точності відбувається у напрямках від центру до країв профільної лінії.

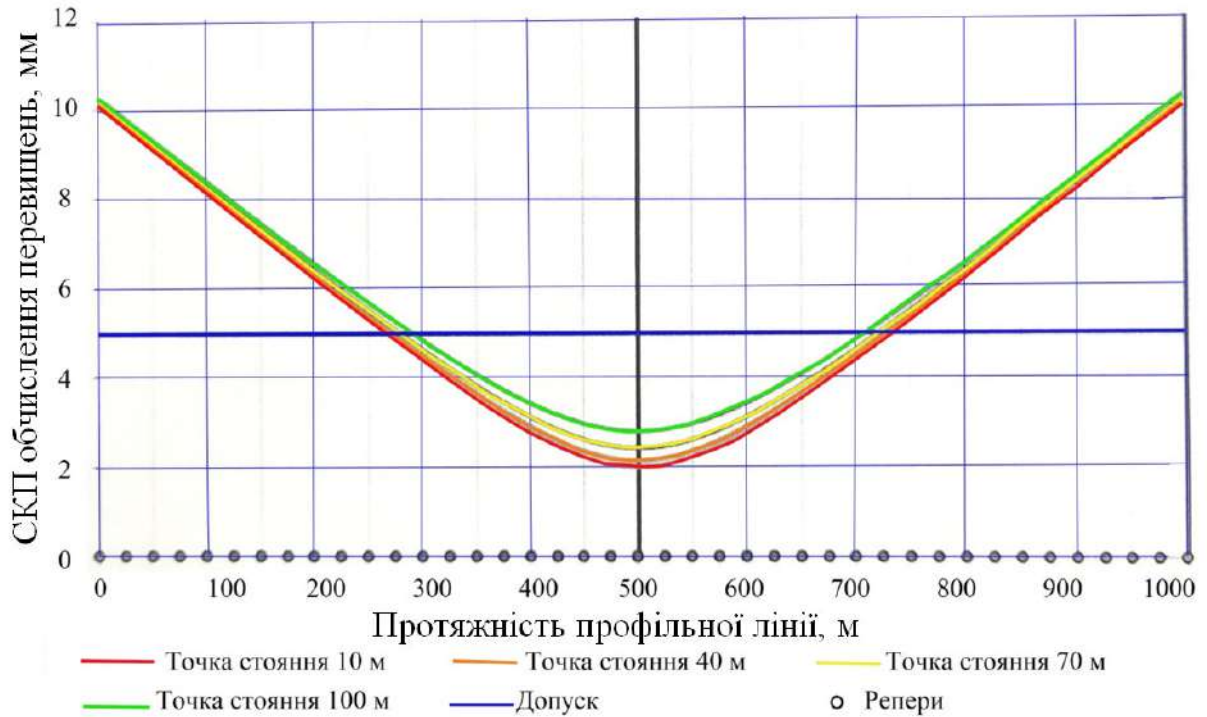


Рисунок 3.25 – Залежність СКП визначення перевищення від відстані до профільної лінії

В результаті аналізу середніх квадратичних похибок визначення перевищень встановлено, що зміна кута нахилу в межах 15° має незначний вплив на середню квадратичну похибку (зміна не більше 0,1 мм); інтервал між реперами в межах профільної лінії не має впливу на СКП; видимий вплив має зміна відстані між знімальною точкою та профільною лінією.

Виконані дослідження дозволяють надати рекомендації щодо оптимального розташування точки стояння тахеометра. Так, для типової спостережної станції з інтервалом між реперами 20 м, і відстанню від тахеометра до профільної лінії 20 м, максимальна СКП складає для осідань 4,4 мм, що відповідає умовам точності нівелювання III класу.

4 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ З ВИМІРЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

4.1 Охорона праці під час проведення польових робіт

При виконанні робіт з вимірювання деформацій будівель та споруд слід керуватися правилами техніки безпеки, викладеними в наступних документах: ДБН «Техніка безпеки у будівництві»; відомчих інструкціях, затверджених у встановленому порядку.

Нижче наведено основні пункти правил з техніки безпеки під час проведення робіт з виміру деформацій будівель та споруд.

Протягом трьох місяців з дня надходження на роботу необхідно навчити робітників безпечним методам робіт з затвердженої програми та організувати іспит з техніки безпеки з видачею посвідчень про складання іспиту.

Усі ІТП та робітники, які проводять роботи з вимірювання деформацій перед початком робіт (при оформленні на роботу), повинні пройти: вступний інструктаж з техніки безпеки; інструктаж з техніки безпеки безпосередньо на робочому місці.

Інструктаж проводиться також при кожному переході на інший вид робіт або зміну умов праці.

Щорічно, незалежно від проведення вступного інструктажу при вступі на роботу, повинна проводитись перевірка знань правил з техніки безпеки всіх інженерно-технічних працівників та робітників.

До робіт з вимірювань деформацій, що виконуються у підвальних приміщеннях та на висоті, допускаються лише особи, які пройшли медичну комісію та отримали медичний висновок про їхню придатність до роботи в даних умовах.

У проекті виконання робіт зі спостереження за деформаціями мають бути передбачені правила техніки безпеки, які враховують специфічні особливості виробничого процесу цього об'єкта. При введенні на

будівництво нових прийомів праці або нового обладнання роботи з вимірювання деформацій повинні вестись у відповідно до інструктивних вказівок, розроблених спеціально для цих випадків та затвердженими у встановленому порядку.

Виконання заходів з техніки безпеки, передбачених у проекті виконання робіт, що має забезпечуватися адміністрацією будівельно-монтажною організацією.

Перед початком робіт у підвалах та на монтажному горизонті повинні бути:

- встановлені всі огорожі, передбачені проектом виконання робіт та вимогами ДБН;

- закриті всі отвори та отвори в перекриттях;

- очищені від бруду, снігу та льоду драбини, похилі сходи та трапи;

- встановлені необхідні пристосування для підйому на висоту та спуску до підвалу людей;

- вжито заходів щодо влаштування вентиляції у підвалах, де проводяться роботи. У зв'язку з цим від виконавця санітарно-технічних робіт слід подати запит на відповідну довідку;

- убезпечені підходи до котловану. Проводити вимірювання на брівках траншей і ходити ними небезпечно, тому інструмент слід встановлювати не ближче ніж 1 м до брівки.

Забороняється виконувати роботу:

- без касок на будівельному майданчику;

- при сильному та рвучкому вітрі на монтажному рівні;

- на проїжджій частині шосейних, залізниць та на монтажних майданчиках при ожеледиці, тумані та обмеженої видимості;

- у місцях покладеного високовольтного кабелю, відзначених спеціальними знаками;

- на лісах без огороження настилу міцними поручнями заввишки щонайменше 1 м;

- у зоні монтажу будівельних конструкцій;
- внизу біля стін будівлі, що зводяться;
- у зоні роботи баштових кранів та інших будівельно-монтажних механізмів;
- поблизу працюючих екскаваторів;
- у підвальних приміщеннях, які не мають вентиляції;
- у зоні вибухових робіт.

При роботі на відкритому повітрі в зимовий час мають бути передбачені:

- перерви у роботі для обігріву;
- скорочення робочого дня за значного зниження температури.

Працюючи на проїжджій частині доріг з інтенсивним рухом транспорту інструмент встановлюють по осі дороги, якщо її ширина становить не менше 7 м (на більш вузьких дорогах проїжджий транспорт може збити інструмент і викликати нещасний випадок). При роботі на автошляхах та на будівельному майданчику з великою кількістю працюючих механізмів повинен призначатися спостерігач-робітник, звільнений від усіх обов'язків, крім спостереження за транспортом, що рухається і механізмами.

ВИСНОВКИ

При виконанні випускної кваліфікаційної роботи отримано наступні результати.

1. Проведено порівняльний аналіз методів виконання робіт при спостереженнях за вертикальними переміщеннями, горизонтальними переміщеннями та кренами будівель та споруд.

2. Виконано аналіз точності результатів спостережень за зрушеннями і деформаціями будівель та споруд, а саме:

- проведено дослідження зміни середньої квадратичної похибки визначення перевищення методом тригонометричного нівелювання в залежності від точності вимірювання вертикального кута, величин відстаней та вертикальних кутів; встановлено, що при застосуванні електронного тахеометра з похибками вимірювання відстані 5 мм та вертикального кута 5" можна отримати точність визначення перевищення 2 – 4 мм, що відповідає II – III класам точності вимірювань;

- виконано дослідження зміни середньої квадратичної похибки визначення горизонтального зміщення способом малих кутів в залежності від точності вимірювання горизонтального кута, відстані, величин вимірюваних відстаней, горизонтальних кутів; встановлено, що для отримання похибки менше 2 мм необхідно використовувати теодоліт точністю 2" і проводити вимірювання при значеннях горизонтальних кутів не більше 1°.

- для спостережень за кренами баштових копрів запропоновано використовувати прилад вертикального проектування PZL-100 та спосіб нівелювання основи;

- виконано дослідження умов застосування електронних тахеометрів для спостережень за зрушеннями земної поверхні; встановлено, що для типової спостережної станції з інтервалом між реперами 20 м оптимальною є відстань від тахеометра до профільної лінії 20 м, максимальна СКП для осідань складає 4,4 мм, що відповідає умовам точності нівелювання III класу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ Б В.2.1-30:2014 Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://dnaop.com/html/67317/doc-ДСТУ_Б_В.2.1-30_2014
2. Бачишин Б. Д. Інженерна геодезія : навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2020. 193 с.
3. Баран П. І. Інженерна геодезія: Монографія. К.: ПАТ «Віпол», 2012. 618 с.: іл.
4. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 2: навчальний посібник / [Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Бікс Ю. С., Вовк Т. Ю.] – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 99 с.
5. Наземное лазерное сканирование. Введение в технологию. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gsi.ru/catalog.php?id=1>
6. Жуков Б.Н., Карпик А.П. Геодезический контроль инженерных объектов промышленных предприятий и гражданских комплексов.- Новосибирск: СГГА, 2003. – 356 с.
7. ДНАОП 1.1.30-1.01-96. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Київ, 1996.
8. Руководство по ревизии и наладке главных вентиляторных установок шахт. – М.: Недра, 1981.
9. Е.Д. Жариков, Е.И.Рыхлюк,В.Б. Лебедев и др. Новые технологии ведения маркшейдерских работ. М.: Недра, 1992.- 302 с.
10. Беженцев В. И., Озеров И. Ф. Методика маркшейдерского контроля вентиляторных установок./ Уголь Украины,- 1998. №2, с. 51-52.
11. Маркшейдерські роботи на вугільних шахтах та розрізах. Інструкція. – Київ: Мінтопенерго України, 2001. – 264 с.
12. Інструкція зі спостережень за зміщенням гірських порід, земної поверхні і підроблюваними спорудами на вугільних і сланцевих родовищах: Затв. Мінвуглепром СРСР 30.12.87. – М.: Надра, 1989. – 96 с.

13. ДСТУ 101.00159226.001 –2003. Правила підробітку будівель, споруд та природних об'єктів при видобутку вугілля підземним способом. - Введ. 01.01.2004. – К., 2004. – 128 с.
14. ДКІНП (ГНТА) 03-010-02. Інструкція з нівелювання I, II, III та IV класів. – М., 2003. – 135 с.
15. ДКНТА-2.04-02-98. Інструкція з топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500.-К., 1998.- 152 с.
16. Грищенкова Є. Н. Обґрунтування умов використання електронних тахеометрів для інструментальних спостережень на маркшейдерських наглядних станціях / О.М. Грищенкова // Проблеми надрокористування: Збірник наукових праць. Частина I. Національний мінерально-сировинний університет "Гірничий". У СПб, 2014. – С. 157-159.
17. Грищенкова Є. Н. Оцінка точності застосування електронного тахеометра для спостережень за зсувом земної поверхні/Є.М. Грищенкова // Удосконалення технології будівництва шахт та підземних споруд. Зб. наук. праць. Вип. 20, – Донецьк: «Норд – Прес», 2014. – С. 150-152.
18. Правила з техніки безпеки на топографо-геодезичних роботах ГУГК: Довідкове посіб. - М.: Надра, 1991. - 303 с.: іл.
19. НАПБ А.01.001–2004. Правила пожежної безпеки України. – К., 2004.