

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ФАКУЛЬТЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

Кафедра Інженерної геодезії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

на тему:

Проект геодезичних робіт при визначенні деформацій споруд

Палковський Ігор Євгенович
(прізвище, ім'я та по батькові студента повністю)

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**ФАКУЛЬТЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ**

Кафедра Інженерної геодезії

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІГ

“ ___ ” _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Проект геодезичних робіт при визначенні деформацій споруд
(назва)

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І**

Виконав студент групи ГДм-23

Спеціальність: **193 «Геодезія та
землеустрій»**

Спеціалізація: **193.01 «Геодезія»**

Палковський Ігор Євгенович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

Керівник: Адаменко О.В.
(прізвище та ініціали)

кандидат технічних наук, доцент
(вчене звання, науковий ступінь)

Ідентичність підтверджую

Київ 2024 р.

АРХІТЕКТУРИ

Інститут, факультет Геоінформаційних систем управління територіями

Кафедра Інженерної геодезії

Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр за ОПП/ОНП»

Напрямок підготовки 193 Геодезія та землеустрій

Спеціалізація _____
(шифр і назва)
Геодезія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

_____ року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Палковський Ігор Євгенович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Проект геодезичних робіт при визначенні деформації споруди

керівник проекту (роботи): кандидат технічних наук, доцент

Адаменко Олександр Вікторович

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від " _____ " _____ року
№ _____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на виконання геодезичних робіт. Результати спостережень.

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

1) Загальний огляд плановий і висотних деформацій будівель і споруд

2) Геодезичні роботи з моніторингу деформацій споруд

3) Математична обробка результатів спостережень за деформаціями

4) Охорона праці на виробництві

5) Висновки

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

1) Загальні відомості про об'єкт досліджень

2) Визначення точності спостережень за деформаціями

3) Планова та висотна опорні геодезичні мережі

4) Розрахунок точності опорної геодезичної мережі

5) Методи спостережень за деформаціями

6) Визначення планових деформацій споруди

7) Визначення осідань споруди

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
I			
II			
III			
IV			

7. Дата видачі завдання 08.07.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	02.09.2024	
2	Розділ 1. Загальні відомості про планові і висотні деформації	23.09.2024	
3	Розділ 2. Геодезичні роботи з моніторингу деформацій споруд	21.10.2024	
4	Розділ 3. Математична обробка результатів спостережень за деформаціями	18.11.2024	
5	Розділ 4. Охорона праці на виробництві	09.12.2024	
6	Формування висновків	09.12.2024	

8. Дата видачі завдання 08.07.2024

Зав. кафедри _____ к.т.н., доц. Дем'яненко Р. А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник _____ к.т.н., доц. Адаменко О. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Студент _____ Палковський І.Є.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕЗЮМЕ (summary) до атестаційної випускної роботи студента:		<i>Палковський І.Є.</i>	
Назва ВНЗ	Київський національний університет будівництва і архітектури		
Тема	Проект геодезичних робіт при визначенні деформацій споруди		
Освітній ступень	Магістр за освітньо-професійною програмою навчання		
Факультет	Геоінформаційних систем та управління територіями		
Кафедра	Інженерної геодезії		
Спеціальність	193 Геодезія та землеустрій		
Спеціалізація	Геодезія		
Керівник	Адаменко О.В., к.т.н., доцент		
Обсяг роботи:	пояснювальна записка, стор.	розділів	креслень формату А1
	109	4	0
Розділ 1	Виконано аналіз об'єкту спостережень, проаналізовано сучасні методи інженерно-геодезичних спостережень за плановими і висотними деформаціями, а також процес організації спостережень за деформаціями будівель і споруд, виконано аналіз вимог до точності спостережень за деформаціями.		
Розділ 2	Розроблено опорну планово-висотну геодезичну мережу для забезпечення спостережень за плановими і висотними деформаціями висотної будівлі. Виконано розрахунок точності такої мережі. Досліджено дослідження методів і точності вимірювань планових та висотних деформацій.		
Розділ 3	Виконано дослідження стабільності положення опорних реперів опорної висотної мережі. Проведено аналіз стабільності конструкцій будівлі, визначено зони деформації споруди..		
Розділ 4	Виконано аналіз і обґрунтування методів охорони праці в геодезичному виробництві на будівництві.		
Висновки по роботі:	В роботі досліджено методи визначення планових та висотних деформацій будівлі та виконано аналіз проведених вимірювань. Досліджено величини та напрямки деформацій, побудовано схему поля деформацій, визначено місця з максимальною інтенсивністю деформацій. Виконано аналіз стабільності опорних реперів висотної мережі		
Осідання, зміщення, опорна геодезична мережа, вихідний репер, стабільність положення, деформаційна марка. Subsidence, displacement, geodetic control network, benchmark, stability of position, deformation mark.			

Укладач: Палковський Ігор Євгенович

Керівник: Адаменко Олександр Вікторович

“12” грудня 2024

Зміст

Вступ.....	7-9 стор.
1. Розділ 1. Загальний огляд планових і висотних деформацій будівель та споруд.....	10-34 стор.
1.1. Опис фізико-географічних умов об'єкта для моніторингу деформацій в будівельних конструкціях.....	14-15 стор.
1.2. Аналіз методів вимірювань деформацій.....	16-28 стор.
1.3. Організація спостережень за деформаціями конструкцій.....	29-30 стор.
1.4. Аналіз точності вимірювань, необхідних для моніторингу деформацій.....	31-34 стор.
2. Розділ 2. Геодезичні роботи з моніторингу деформацій споруд.....	35-63 стор.
2.1. Вивчення принципів спостережень за деформаціями будівельних об'єктів.....	35-37 стор.
2.2. Створення геодезичної опорної мережі при забезпеченні спостережень за деформаціями споруд.....	38-45 стор.
2.3. Розрахунок точності спроектованої геодезичної мережі.....	45-54 стор.
2.4. Визначення планових деформацій споруди.....	54-60 стор.
2.5. Визначення висотних деформацій висотної споруди.....	60-63 стор.
3. Розділ 3. Математична обробка результатів спостережень за деформаціями.....	64-94 стор.
3.1. Вирівнювання геодезичних вимірювань під час спостережень за деформаціями.....	64-68 стор.
3.2. Аналіз планових деформацій споруди.....	68-79 стор.
3.3. Аналіз вертикальних деформацій висотної споруди.....	80-86 стор.
3.4. Дослідження стабільності висотного положення опорних реперів висотної мережі.....	87-94 стор.
3.4.1. Метод А. Костехеля.....	87-90 стор.
3.4.2. Метод Г.К. Ботяна.....	91-94 стор.
4. Розділ 4. Охорона праці на виробництві.....	95-105 стор.
4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при роботі на будівництві.....	95-102 стор.
4.2. Заходи профілактики для забезпечення безпечних умов праці.....	103-105 стор.
Висновок.....	106 стор.
Список використаних джерел.....	107-108 стор.
Додатки.....	109 стор.

Вступ

Забезпечення безпеки та надійності сучасних будівель і споруд передбачає постійний моніторинг їхнього технічного стану. Важливим компонентом такого контролю є спостереження за деформаціями конструкцій, які можуть виникати під впливом різних зовнішніх та внутрішніх факторів, таких як зміни ґрунтових умов, температурні коливання або механічні навантаження.

У зв'язку з цим, геодезичний контроль деформацій відіграє вирішальну роль у забезпеченні стабільності та довговічності будівель. Використання сучасних геодезичних методів дозволяє з високою точністю фіксувати навіть найменші зміни в положенні конструкцій, що дає змогу своєчасно вживати заходів для запобігання аварійним ситуаціям.

Актуальність цього дослідження обумовлена необхідністю удосконалення методів геодезичних вимірювань та аналізу даних, які забезпечують точне визначення деформацій на різних етапах життєвого циклу споруд.

У цій роботі буде розглянуто основні аспекти планування та проведення геодезичних робіт, зокрема використання сучасних приладів і технологій для збору даних, а також методи їх обробки та інтерпретації з метою визначення деформацій конструкцій.

В умовах ускладнення архітектурних проектів та зростання вимог до безпеки експлуатації будівель, значення якісного геодезичного моніторингу постійно зростає. Це особливо важливо для об'єктів, розташованих у зонах підвищеної сейсмічної активності або тих, що зазнають значних динамічних навантажень. У таких випадках навіть мінімальні зміни можуть призвести до серйозних наслідків, що підкреслює необхідність своєчасного виявлення та точного аналізу деформацій.

Отже, **основною метою** цієї дипломної роботи є розробка та оптимізація геодезичних методів, які дозволять ефективно виявляти та

оцінювати деформації конструкцій, сприяючи підвищенню рівня безпеки та надійності сучасних споруд.

Об'єктом є споруда за адресою провулок Редутнецький, в м. Києві.



Рис. 1. Зображення будівництва на супутниковому знімку.

У *першому розділі* роботи будуть представлені загальні відомості про планові та висотні деформації інженерних споруд, а також описано фізико-географічні характеристики об'єкта спостережень. Особлива увага буде приділена аналізу методик вимірювання деформацій та встановленню вимог до точності цих вимірювань, необхідних для ефективного моніторингу деформацій.

Другий розділ зосереджений на дослідженні принципів спостереження за деформаціями будівельних конструкцій та створенні геодезичної мережі, яка забезпечує моніторинг змін у структурах. У цьому розділі також буде виконано розрахунок точності розробленої геодезичної мережі та визначено планові й висотні деформації об'єкта.

Третій розділ присвячений математичній обробці результатів спостережень за деформаціями. Основна увага буде приділена аналізу стабільності опорних пунктів висотної мережі та вивченню вертикальних і планових деформацій.

Четвертий розділ охоплює аналіз небезпечних і шкідливих факторів, пов'язаних з роботою в несприятливих умовах, а також розробку заходів для забезпечення безпечних умов праці.

В кінці розділу будуть сформульовані висновки щодо проведених досліджень з визначення деформацій споруд.

Питання, розглянуте в цій дипломній роботі, є надзвичайно актуальним, оскільки забезпечення надійності та безпечної експлуатації будівель і споруд має вирішальне значення в сучасній будівельній галузі.

Метою дослідження є розроблення та вдосконалення методів моніторингу деформацій, що дасть змогу своєчасно впроваджувати обґрунтовані заходи для запобігання потенційним аварійним ситуаціям. Проведений аналіз підтверджує важливість теми дослідження деформацій споруд, яка широко розглядається у сучасних наукових публікаціях і є суттєвою частиною інженерної практики.

Розділ 1. Загальний огляд планових і висотних деформацій будівель та споруд

У галузі сучасного будівництва контроль і моніторинг деформацій інженерних споруд відіграють вирішальну роль у забезпеченні їхньої надійності та довговічності. Виявлення та аналіз деформацій дозволяють не тільки своєчасно помітити потенційно небезпечні зміни в конструкціях, але й впровадити превентивні заходи для забезпечення безпеки використання будівель та інфраструктурних об'єктів. Недбале ставлення до будівельних процесів може призвести до значних просторових зсувів конструкцій, що, своєю чергою, може спричинити утворення тріщин, викривлень, нахилів, прогинів та підвищити ризик обвалення будівлі.

З цієї причини на стадії закладення фундаменту, під час будівництва та експлуатації об'єкта проводяться комплексні геодезичні спостереження. Особлива увага приділяється геодезичним вимірюванням.

Спостереження здійснюються зі спеціально встановлених на будівельному майданчику геодезичних точок, які називаються опорними. Ці точки повинні розташовуватись на стабільних ґрунтах. Допуски помилок у вимірюваннях зсувів та просідань не повинні перевищувати встановлені норми.

У геодезичних роботах окрему увагу приділяють плановим та висотним деформаціям. Планові деформації характеризують зміни у горизонтальному положенні конструкцій, тоді як висотні деформації відображають зміни у вертикальному положенні. Обидва типи деформацій можуть бути зумовлені різними факторами, від природних до техногенних, що робить їх спостереження та моніторинг надзвичайно важливими для запобігання аваріям та забезпечення довготривалої експлуатації споруд.

Таким чином, вивчення та точне вимірювання планових і висотних деформацій є основою для прийняття обґрунтованих рішень щодо управління станом інженерних споруд.

Класифікація деформацій:

1. Осідання — це переміщення, спричинене стисканням ґрунту під дією навантаження, яке не призводить до значних змін у структурі ґрунту або до зменшення вертикальних розмірів будівлі чи її частин. Цей процес ділиться на три основні категорії:

- **Абсолютне осідання будівлі:** розраховується окремо для кожного фундаменту.
- **Середнє осідання будівлі:** визначається на основі абсолютної осадки, яка базується на даних щонайменше трьох окремих фундаментів або секцій загального фундаменту.
- **Додаткове осідання основи або будівлі:** цей показник є результатом впливу всіх негативних чинників, що впливають на підвал або будівлю. Сюди входять зволоження ґрунтів під підвалом дощовою та талою водою, дефекти відмосток, наявність старих неякісно засипаних кар'єрів під фундаментом, замерзання підвалу, динамічний вплив ударного або вібраційного обладнання на фундаменти та інші фактори.

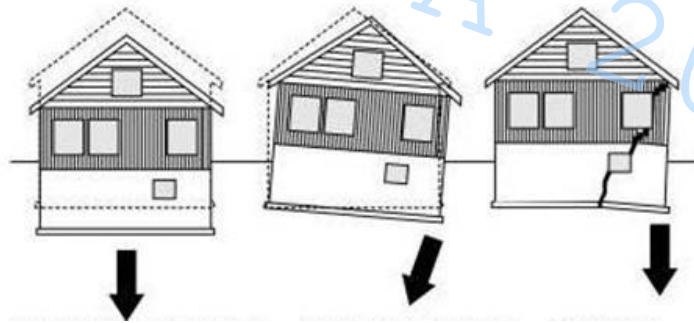


Рис. 1 – Осідання будівлі

2.Просідання — це тип деформацій, пов'язаних з осіданням, спричинених опусканням покривних або карстових порід.

3.Крен — це явище, при якому площина симетрії будівлі відхиляється від вертикальної осі, створюючи нахил. Це відхилення зазвичай притаманне жорстким конструкціям.

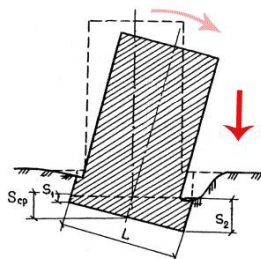


Рис. 2 – Крен будівлі

4.Перекося — це нерівномірне осідання між двома сусідніми фундаментами, яке вимірюється відносно відстані між ними. Перекося зазвичай спостерігається в будинках з каркасною конструкцією.

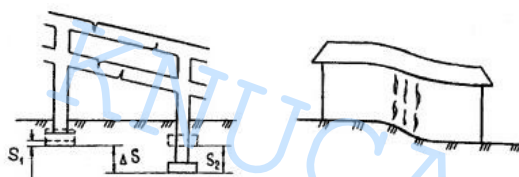


Рис. 3 – Перекося будівлі

5. Зсув (ковзання) — горизонтальне переміщення фундаменту, яке виникає під впливом сейсмічних, вібраційних або інших типів навантажень.

6. Відносний прогин (перегин) — це співвідношення висоти прогину до довжини тієї частини будівлі, яка зігнулася.

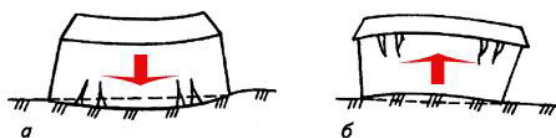


Рис. 4 – Схема прогину (а) та перегину (б) будівлі

7. Кручення — обертальний рух фундаменту будівлі навколо його осі.

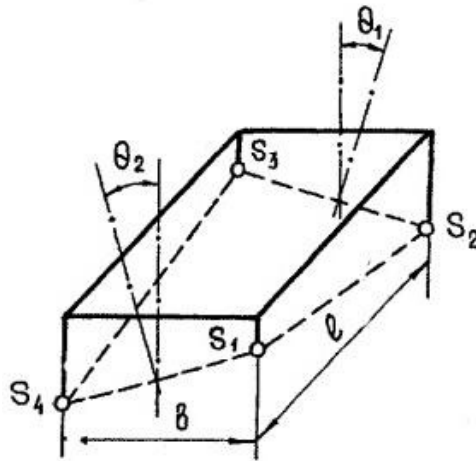


Рис. 5 – Кручення будівлі

8. Горизонтальні деформації — це зміни у горизонтальних розмірах будівлі або конструкції, викликані деформацією основи під впливом горизонтальних навантажень.

9. Кривизна земної поверхні — явище, яке характеризується зміною форми поверхні Землі через варіації її нахилів.

10. Нахил будівлі або конструкції — зміна конфігурації будівлі або конструкції під кутом, що виникає внаслідок дії поперечних напружень у її перетині.

1.1 Опис фізико-географічних умов об'єкта для моніторингу деформацій в будівельних конструкціях:

Фізико-географічна характеристика об'єкта спостережень за деформаціями будівельних конструкцій охоплює аналіз кліматичних умов, геологічної структури території, а також гідрографічних особливостей місцевості, на якій розташовані споруди. Оцінюється вплив природних чинників, таких як коливання температури, опади, рівень вологості повітря та сейсмічна активність, на стабільність і довговічність конструкцій. Важливим елементом є також дослідження типів ґрунтів, їхньої структури та властивостей, які можуть як сприяти, так і заважати процесам деформації будівель.

Замовник робіт ТОВ «КРУАЗЕТ», а генеральним підрядником виступає ТОВ «ЯГУАР».



Рис. 1.1. Розташування об'єкта на карті.

Рельєф ділянки має незначне зниження, причому абсолютні відмітки варіюються в межах від 102,11 до 103,33 метра.

Досліджувана територія — це колишня промислова зона, забудована малоповерховими будівлями та оснащена мережею підземних інженерних комунікацій.

Клімат регіону досліджень помірно континентальний, характеризується відносно м'якою зимою і спекотним літом. Період зі середньою негативною температурою триває 118 днів. Середньорічна температура повітря становить $+7,2$ °С. У найхолоднішому місяці, січні, середня температура досягає $-5,6$ °С, тоді як у найтеплішому місяці, липні, вона становить $+19,3$ °С.

Річна кількість атмосферних опадів складає 620 мм.

Максимум опадів припадає на липень, мінімум — на жовтень. З листопада по березень спостерігаються снігопади, але сніговий покрив нестійкий. Вода від атмосферних опадів відводиться в місцеву гідрографічну систему. Максимальна глибина промерзання ґрунтів сягає 1,0 метра.

Гідрогеологічні умови ділянки під час проведення досліджень (серпень 2017 р. — квітень 2018 р.) характеризуються наявністю безнапірного водоносного горизонту, розташованого в піщано-супіщаній товщі четвертинних відкладів. За результатами виконаних досліджень і прогнозного аналізу, враховуючи інженерно-геологічні особливості ділянки, зміна фізико-механічних властивостей ґрунтів при зміні інженерно-геологічних умов не очікується.

Встановлений безнапірний рівень підземних вод виявлено в усіх свердловинах на глибинах від 2,9 до 5,0 метра. Водоносний горизонт обмежений знизу мергельними глинами, які виконують роль водотривкого шару.

1.2. Аналіз методів вимірювань деформацій:

Під час та після будівництва великих і значущих інженерних споруд зазвичай здійснюється моніторинг їхньої стабільності як у плановому положенні, так і по висоті. Вага споруди та властивості основних типів ґрунтів можуть призвести до диференційного осідання та зміщення, що, своєю чергою, може викликати небажані наслідки.

На стадії проектування інженерних споруд реальні характеристики будівельних матеріалів та фактичні конструкційні схеми замінюються розрахунковими даними. Результати оцінки стійкості та міцності споруд є приблизними, а також важко з високою точністю передбачити поведінку ґрунтів під спорудою. Теоретичні дані щодо здатності споруди витримувати передбачувані навантаження завжди відрізняються від розрахункових.

Ця невідповідність може бути настільки значною, що виникає просторове зміщення споруди, що призводить до деформацій, таких як прогини, перекося, тріщини та зміщення, які потенційно можуть спричинити руйнування споруди. Тому з моменту закладення фундаменту і протягом не лише будівельного періоду, але й експлуатаційної фази, проводиться комплексне спостереження.

Важливу роль у цьому процесі відіграють геодезичні вимірювання, які здійснюються з точок спеціально створеної геодезичної мережі на будівельному майданчику. Ці точки, відомі як опорні, розташовуються на стабільних ґрунтах. Допустимі похибки у визначенні зсувів та осідань не повинні перевищувати розрахункові значення.

Беручи до уваги причини, що призводять до деформацій інженерних споруд, їхні вимірювання можна поділити на дві окремі категорії.

Перша категорія охоплює дослідження фізико-механічних властивостей ґрунтів основи, вимірювання тиску під фундаментом, визначення температури фундаменту, коливання рівня підземних вод тощо.

Усі ці процеси об'єднуються під терміном "фізико-механічний моніторинг".

Друга група охоплює безпосередні вимірювання осідань і деформацій споруд, які здійснюються як класичними геодезичними методами, так і іншими техніками. Важливо розглядати результати вимірювань обох груп разом для отримання повної картини стану споруди.

Такий підхід дозволяє комплексно оцінювати вплив різних факторів на стабільність інженерних конструкцій та своєчасно виявляти потенційні проблеми. Це сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо управління станом споруд, забезпечуючи їхню надійність та безпеку протягом усього періоду експлуатації.

У сучасній практиці для відстеження деформацій будівель і споруд застосовують широкий спектр методів спостереження. Серед найпоширеніших можна назвати лінійно-кутові вимірювання (наприклад, полярні засічки), високоточне геометричне або тригонометричне нівелювання, наземне лазерне сканування, фотограмметричні методи та інші.

Проаналізуємо ключові з них:

❖ **Лінійно-кутові вимірювання.**

Даний метод використовується для визначення горизонтальних та вертикальних деформацій будівель, споруд і схилів. Для цього на об'єкті моніторингу – хай то будівля, споруда або схил – встановлюють деформаційні маркери, які повинні залишатися нерухомими відносно самого об'єкта. Основна ідея спостережень полягає у регулярному вимірюванні просторових координат цих маркерів за допомогою електронного тахеометра, використовуючи лінійно-кутові або полярні засічки. Отримані координати порівнюють з даними попередніх циклів спостережень та початковими значеннями. У n -му циклі були визначені координати X_n , Y_n , H_n , для деформаційних марок.

Таким чином, можна визначити планові та висотні деформації шляхом порівняння координат поточного циклу з попереднім, обчислюючи різницю між ними.

$$\begin{aligned}\Delta X_{n-1} &= X_n - X_{n-1} \\ \Delta Y_{n-1} &= Y_n - Y_{n-1} \\ \Delta H_{n-1} &= H_n - H_{n-1}\end{aligned}$$

де X_{n-1} , Y_{n-1} , H_{n-1} – координати відповідних деформаційних марок, отриманих в попередньому циклі спостережень.

Також можна визначити відносні деформації, відштовхуючись від першого циклу спостережень. Аналізуючи ці дані, стає можливим визначити напрямок зміщення будівлі або споруди та оцінити швидкість розвитку деформацій. На території спостереження створюється опорна геодезична мережа, за допомогою якої визначаються координати деформаційних знаків. У цій мережі повинно бути щонайменше дві точки для забезпечення стабільності положення мережі.

Точки мережі можуть бути закріплені тимчасовими знаками, дюбелями або арматурою, або ж використовуватися плівкові чи призматичні відбивачі для деформаційних міток.

Мережі будуються традиційними методами:

- полігонометрією;
- методами ГНСС;
- комбінованими методами;
- лінійно-кутовою мережею.

Якщо точка мережі, в якій проводяться спостереження, знаходиться в зоні деформації, подібно до спостережуваного об'єкта, її координати перевизначаються для кожного циклу спостережень. Вимірювання в такому випадку проводяться у точках мережі, що знаходяться поза зоною деформації.

❖ *Високоточне геометричне нівелювання*

Високоточне геометричне нівелювання — це геодезичний метод вимірювань, який застосовується для визначення різниці висот між точками з надзвичайною точністю. Цей підхід використовується в ситуаціях, де необхідні максимально точні дані, таких як будівництво, геодезичні дослідження, а також моніторинг осідань і деформацій будівельних конструкцій. Основою цього методу є вимірювання висотних відмінностей між двома точками за допомогою нівеліра та рейок.

У контексті геодезичних проєктів, спрямованих на виявлення деформацій споруд, високоточне геометричне нівелювання виступає як основний метод. Воно дозволяє з високою точністю відстежувати зміни висотних показників точок на поверхні конструкцій, що сприяє виявленню просідань, зсувів та інших видів деформацій. Для досягнення максимальної точності та надійності результатів цей метод інтегрується зі спеціалізованим обладнанням і корекційними техніками, які враховують вплив зовнішніх факторів.

Високоточне нівелювання забезпечує точність вимірювань до 0,01 мм, що є надзвичайно важливим для виявлення навіть найдрібніших деформацій конструкцій. Така висока точність досягається завдяки використанню високоякісного обладнання, включаючи електронні нівеліри та інварні рейки, які гарантують стабільність і надійність вимірювань у різних умовах експлуатації.

Суть геометричного нівелювання полягає у визначенні різниці між точками за допомогою горизонтального візирного променя.

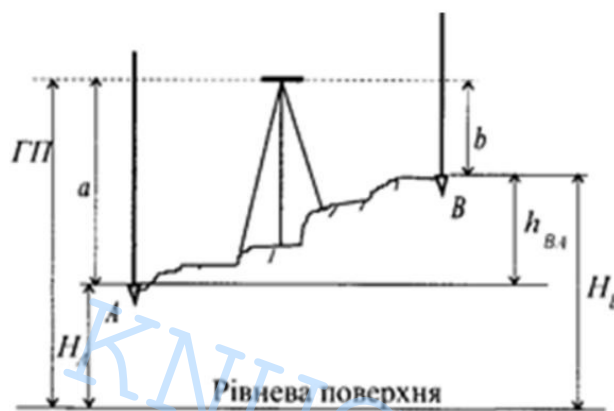


Рисунок 1.2.1. Геометричне нівелювання з середини.

ГП – горизонт приладу, a – відлік по передній рейці, b – відлік по задній рейці, H_A – позначка пункту А, H_B – позначка пункту В, h_{BA} – перевищення між пунктами В та А.

Перевищення визначають за формулою $h_{BA} = b - a$.

Для високоточного нівелювання, особливо при визначенні деформацій споруд, застосовують:

- **Електронні нівеліри.** Ці прилади автоматично виконують вимірювання перевищень і забезпечують високу точність обробки даних. Вони є невід'ємним елементом сучасних геодезичних робіт, де потрібна швидкість і надійність.
- **Інварні рейки.** Для мінімізації похибок, викликаних температурними змінами, використовують рейки з інвару, матеріалу, що має низький

коефіцієнт теплового розширення. Це особливо важливо при вимірюваннях у різних кліматичних умовах.

- **Контрольні репери.** Важливою частиною проєкт є закладка реперів, які слугуватимуть вихідними точками для вимірювань. Ці репери мають бути розташовані поза зоною можливого впливу деформацій споруд.

Нівелювання проводять закритими ходами, щоб можна було оцінити точність вимірювань. По периметру будівлі чи споруди або вздовж осі фундаменту розміщуються деформаційні знаки. Це дозволяє виявити відхилення і перекося в різних напрямках і відповідно вирівняти їх.

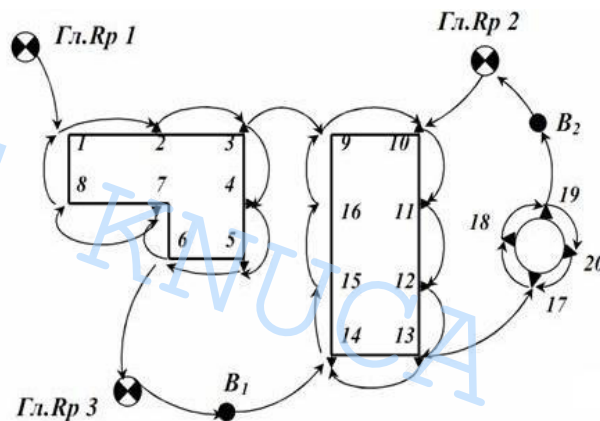


Рис. 1.2.2. Схема розміщення марок та нівелірних ходів для контролю осідань будівель за допомогою геометричного або тригонометричного нівелювання.

Осідання відносно попереднього циклу можна обчислити за допомогою різниці між позначками поточного і попереднього циклів спостережень. Припустимо, що на n -му циклі спостережень було зафіксовано позначки осадових марок $H_1^n, H_2^n, H_3^n \dots H_k^n$, де k – номер осадового пункту.

$$\Delta H_1 = H_1^n - H_1^{n-1};$$

$$\Delta H_2 = H_2^n - H_2^{n-1};$$

$$\Delta H_3 = H_3^n - H_3^{n-1} \dots \Delta H_k = H_k^n - H_k^{n-1}.$$

Розрахункова відмітка для першого циклу визначається, так само як і між окремими циклами. Порівнюючи відмітку осідання першого циклу з поточним значенням, можна отримати загальну картину змін, що відбулися за період спостереження. Це дозволяє визначити середнє осідання, викривлення і прогин конструкції, що дуже важливо при оцінці стану споруди.

Для визначення сигнатури виконують вимірювання висот щодо опорної висотної мережі, яка складається з кількох реперних точок, розташованих поза зоною деформації. Наявність множинних реперів дозволяє контролювати стабільність їхнього положення, підвищуючи достовірність вимірювань. Спостереження можуть проводитися в локальній системі висот, де одному з реперів присвоюють умовну позначку висоти (наприклад, 100 метрів), яка потім передається на інші репери та контрольні точки.

Цей метод відзначається здатністю з високою точністю вимірювати осідання, кривизну та прогини конструкцій, що робить його особливо корисним для моніторингу повільних деформацій. Завдяки своїй точності, він перевершує лінійні методи вимірювання кутів. Проте застосування високоточного нівелювання ускладнюється в гірських районах та на схилах з великими перепадами висот.

❖ *Тригонометричне нівелювання*

Тригонометричне нівелювання є одним із методів визначення висотних відміток точок на місцевості шляхом вимірювання горизонтальної відстані та вертикального кута між точками. Це один з основних геодезичних методів, який широко використовується в інженерній геодезії для визначення висот об'єктів, які знаходяться на значних відстанях або в складних умовах рельєфу.

Принцип тригонометричного нівелювання ґрунтується на вимірюванні вертикальних кутів і горизонтальних відстаней між точками, після чого за допомогою тригонометричних функцій розраховують перевищення між цими

точками. Для цього застосовується теорема синусів або функція тангенса вертикального кута.

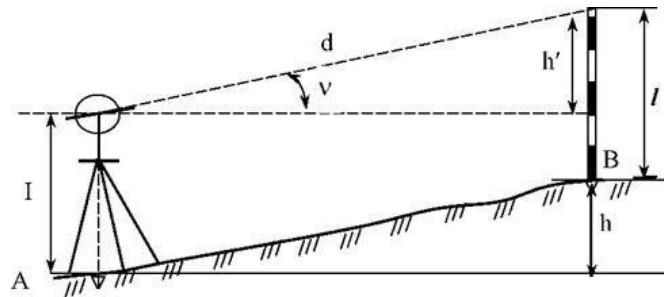


Рисунок 1.2.3. Тригонометричне нівелювання. I – висота інструменту, v – вимірний вертикальний кут, d – виміряна похила відстань, l – висота цілі.

Перевищення між пунктами А та В визначається за формулою:

$$h = d \sin v + I - l$$

Геодезичне устаткування для виконання завдань:

- **Тахеометри.** Ці прилади вимірюють як горизонтальні відстані, так і вертикальні кути з високою точністю. Використання тахеометрів дозволяє зменшити кількість необхідних вимірювань і прискорює процес обчислення.
- **Віддалеміри.** Для вимірювання відстаней між точками використовують електронні далекоміри, які забезпечують швидкі та точні дані.
- **Теодоліти.** Хоча теодоліти не вимірюють відстаней, вони використовуються для високоточних вимірювань вертикальних кутів, що є ключовим елементом тригонометричного нівелювання.

Даний метод використовують у ситуаціях, коли великі перепади висот між мітками унеможливають застосування геометричного нівелювання. Проте варто відзначити, що його точність менша в порівнянні з геометричним нівелюванням.

❖ *Лазерне сканування*

Лазерне сканування – це сучасний метод геодезичних вимірювань, який використовується для високоточного визначення геометричних параметрів об'єктів та їх деформацій. Ця технологія дозволяє отримати детальні тривимірні моделі поверхонь споруд, що надзвичайно важливо при дослідженні деформацій.

Після збору та обробки даних сканування можна використовувати різні підходи для аналізу деформацій споруд:

- ***Порівняння хмар точок*** – дозволяє зіставити результати сканувань, виконаних в різні періоди часу, для виявлення змін у геометрії об'єкта.
- ***Деформаційні карти*** – на основі результатів сканування створюються карти, які показують величину та напрямок зміщення елементів споруди.
- ***Використання контрольних точок*** – при аналізі деформацій важливо мати систему контрольних точок для калібрування даних і забезпечення високої точності вимірювань.

Точність лазерного сканування:

Точність вимірювань лазерного сканування залежить від кількох факторів:

- ***типу сканера***
- ***відстані до об'єкта***
- ***кута падіння лазера та якості поверхні.***

Сучасні сканери можуть досягати точності до 1-2 мм.

Важливо також правильно вибрати параметри сканування, такі як щільність точок і роздільна здатність, щоб забезпечити необхідний рівень деталізації без надмірного збільшення обсягів даних.

Лазерне сканування активно застосовується для моніторингу різних типів споруд:

Будівлі та інженерні споруди – для контролю осідання, нахилів, зсувів та інших змін геометрії будівель.

Греблі та мости – для контролю за деформаціями, що можуть впливати на безпеку споруд.

Промислові об'єкти – використовується для моніторингу деформацій трубопроводів, резервуарів, металоконструкцій тощо.

Геологічні процеси – сканування використовується для моніторингу зсувів ґрунту, руху скельних масивів або осідання ґрунту в зоні будівництва.

❖ **Фотограмметричний метод**

Фотограмметричний метод – це технологія, що використовується в геодезії для отримання точних даних про об'єкти шляхом аналізу фотографій. Цей метод дозволяє отримувати 3D-моделі об'єктів та проводити вимірювання за допомогою зображень, отриманих з різних ракурсів.

Даний підхід дозволяє одночасно визначати переміщення будь-якої кількості точок об'єкта в напрямках двох або трьох координатних осей. У кожному циклі спостережень здійснюється фотографування об'єкта з одних і тих самих фіксованих на землі точок, координати яких відомі. Під час аналізу фотознімків визначаються ΔX величини, що характеризують горизонтальні зсуви споруди ΔZ , а також величини, що відповідають за вертикальні зміщення (осідання). Ці параметри обчислюються за допомогою відповідних формул.

$$\Delta X_i = X_i - X_0 = \frac{Fx_i}{f} - \frac{Fx_0}{f} = \frac{F\Delta x}{f}$$

$$\Delta Z_i = Z_i - Z_0 = \frac{Fz_i}{f} - \frac{Fz_0}{f} = \frac{F\Delta z}{f}$$

де $\Delta X_i, \Delta Z_i$ – координати точки споруди в поточному циклі;

X_0, Z_0 – координати точки споруди в нульовому циклі;

x_i, z_i – координати точки споруди на фотознімку в поточному циклі;

x_0, z_0 – координати точки споруди на фотознімку в нульовому циклі;

F – відстань від фотокамери до споруди;

f – фокусна відстань фотокамери.

Загалом, коли необхідно визначити переміщення конструкцій за всіма трьома координатними осями, використовують методи, що базуються на стереофотограмметрії. Ці методи передбачають фотографування об'єкта з різних точок, відстань між якими називається базою вимірювання. Після цього, за допомогою спеціальних формул, обчислюються зміщення точок вздовж координатних осей. Точність таких вимірювань залежить від відстані між камерою та об'єктом, а також від стабільності положення базових точок знімання. При дотриманні необхідних умов можна досягти високої точності визначення деформацій, навіть на відстані 10–20 метрів з точністю 1-3 мм.

Об'єкти та методи дослідження деформацій

Назва методу	Сфера застосування
Високоточне нівелювання	Дослідження деформацій фундаменту споруд, оцінка осідання будівель на нестабільних ґрунтах
Спосіб GPS-вимірювань	Дослідження деформацій багатоповерхівок, контроль зміщень великих споруд та мостів
Лінійно-кутові вимірювання	Визначення осідань і деформацій споруд різних типів, оцінка горизонтальних і вертикальних зміщень
Наземне лазерне сканування	Визначення кренів споруд, сканування фасадів та інженерних конструкцій для виявлення деформацій
Інклінометрія	Контроль нахилу споруд, моніторинг геотехнічних зрушень у землі або на схилах
Виміри датчиками розкриття тріщин	Контроль розкриття тріщин у режимі реального часу, моніторинг прогресуючих тріщин у важкодоступних ділянках
Стереофотограмметричний	Визначення деформацій фасадів споруд, моніторинг складних об'єктів на великих площах
Аерофотозйомка	Моніторинг деформацій на великих об'єктах, оцінка змін ландшафту та споруд
Інтерферометрія (DInSAR)	Визначення осідань та деформацій великих ділянок ґрунту або об'єктів інфраструктури за допомогою супутникових даних

Усі описані методи ґрунтуються на використанні різних геодезичних приладів для збору даних. Для ефективного дослідження деформацій важливо застосовувати високоточне геодезичне обладнання.

У таблиці 1.2.2 представлені рекомендовані моделі сучасних геодезичних приладів та їхні характеристики точності.

Таблиця 1.2.2

Моделі сучасних геодезичних приладів

Прилад	Точність	
Нівелір	0,2÷0,3 мм на 1 км подвійного ходу	Sokkia (PL1, SDL1X); Leica (DNA03, NA2); Trimble (DiNi03); Nikon (AS 2/2C)
Тахеометр	0,5÷2''	Trimble (S3, S6, S8, M1, 5601 DR, 5602, 5603); Leica (Nova TS50, Nova TM50, TPS 1201/1202/1203, TM 30);
Наземний сканер	±4÷±6 мм	Leica (Scan station 2, C5, C10, P10, P20); Trimble (GX, TX8);
Інклінометр	±0,0047÷±0,05 мрад	Leica (Nivel 200/210/220); Sherborne sensors (LWS inclinometer)
GNSS	Планова: ±3 мм+0,1ppm; Висотна: ±3,5 мм+0,4 ppm	Leica (GS08 NetRover, GS09, VIVA); Topcon (Hiper+, NET-G3A); Trimble (R4, R6, R7, R8, R9, R10)

1.3 Організація спостережень за деформаціями конструкцій

Основною метою спостережень за деформаціями конструкцій є виявлення змін, що відбуваються в конструкції, для забезпечення її стійкості та своєчасного вжиття профілактичних заходів для надійної експлуатації. Такі спостереження також допомагають перевірити правильність проєктних розрахунків та прогнозувати можливий розвиток деформацій.

Деформаційні спостереження являють собою комплекс вимірювань і описових заходів, що дозволяють визначити ступінь і причини деформацій. Для складних і критично важливих конструкцій ці спостереження зазвичай починаються ще на етапі проєктування. На стадії підготовки будівництва проводять аналіз впливу природних факторів і створюють систему опорних знаків для оцінки їхньої стійкості.

Моніторинг конструкцій розпочинається з початком будівництва і продовжується протягом усього процесу будівництва. Для великих об'єктів спостереження можуть тривати та після завершення будівництва, протягом усього періоду експлуатації. Залежно від типу конструкції та природних умов, спостереження можуть завершуватися після припинення деформацій або тривати протягом всього експлуатаційного терміну.

Спостереження за деформаціями проводяться через рівні проміжки часу на всіх етапах будівництва та експлуатації об'єкта. Регулярні спостереження, які проводяться за попередньо затвердженою програмою, називаються систематичними. Аварійні спостереження виконуються у випадках, коли виникають ситуації, що суттєво змінюють характер деформацій, такі як зміна навантаження, коливання температури, рівня ґрунтових вод, землетруси та інші екстремальні фактори.

Паралельно з фіксацією деформацій проводять спеціальні дослідження для визначення їх причин, включаючи зміни ґрунтових умов, температури води, погодних умов та інші фактори. Також фіксуються зміни в будівельних навантаженнях і експлуатаційному обладнанні.

Для організації спостережень необхідно розробити спеціальний проєкт, що включає:

- Умови виконання робіт.
- Загальну характеристику споруди, природні умови і режим експлуатації.
- Розташування реперних і контрольних знаків.
- Основний план спостережень і розрахунок точності вимірювань.
- Методи та інструменти вимірювання.
- Рекомендації щодо обробки результатів та оцінки технічного стану споруди.
- Програму обстеження, склад експертів, обсяги та кошторис робіт.

1.4 Аналіз точності вимірювань, необхідних для моніторингу деформацій

Одним із найважливіших параметрів, який впливає на методи виконання геодезичних робіт під час проведення спостережень за деформаціями, є необхідна точність спостережень. Точність у всіх геодезичних роботах є найголовнішим критерієм. Точність вимірювань повинна бути такою, щоб забезпечити надійність та об'єктивність визначення деформацій споруди.

Найчастіше точність вимірювань деформацій споруд прийнято визначати залежно від очікуваної величини деформації. Так в ДСТУ Б В.2.1-30:2014 «Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд» запропоновано точність спостережень визначати згідно табл. 1.4.1

Табл. 1.4.1

Розрахункова величина вертикальних або горизонтальних переміщень, передбачених проектом, мм	Допустима похибка при вимірюванні переміщень для періоду, мм			
	будівельного		експлуатаційного	
	ґрунти			
	піщані	глинисті	піщані	глинисті
до 50	1	1	1	2
понад 50 до 100	2	1	1	2
понад 100 до 250	5	2	1	2
понад 250 до 500	10	5	2	5
понад 500	15	10	5	10

Практично точність геодезичних спостережень в такому випадку визначають з залежності 1.4.1

$$mD \leq 0,2\Delta D, \quad (1.4.1)$$

де mD – середня квадратична похибка вимірювання деформацій;

ΔD – величина деформації за проміжок часу між суміжними циклами вимірювань.

Проте, на практиці часто є неможливим визначити розрахункові величини деформацій. Відповідно, визначити за такою методикою точність виконання геодезичних спостережень стає неможливим. В такому випадку, для визначення точності геодезичних спостережень рекомендовано

використовувати класи точності вимірювань. Точність геодезичних вимірювань відповідно до призначеного класу точності визначається з табл. 1.4.2.

Табл. 1.4.2

Клас точності вимірювань	Допустима похибка при вимірюванні переміщень, мм	
	вертикальних	горизонтальних
I	1	2
II	2	5
III	5	10
IV	10	15

Клас точності геодезичних вимірювань встановлюють наступним чином: I – для будинків і споруд: унікальних; що тривалий час (більше ніж 50 років) перебувають в експлуатації; що зводяться на скельних і напівскельних ґрунтах; – II – для будинків і споруд, що зводяться на піщаних, глинистих й інших стискуваних ґрунтах; – III – для будинків і споруд, що зводяться на насипних, просадочних, заторфованих й інших сильно стискуваних ґрунтах; – IV – для земляних споруд.

При вимірюваннях методом тригонометричного нівелювання допустимі похибки вимірювань відстаней і вертикальних кутів в залежності від обраного класу точності вимірювання не повинні перевищувати величин, наведених у таблиці 1.4.3.

Табл. 1.4.3

Клас точності вимірювання	Допустимі похибки вимірювань			
	відстаней, мм, при значенні вертикальних кутів, град.		вертикальних кутів, секунди, при їх значеннях, град.	
	до 10	від 10 до 40	до 10	від 10 до 40
II	7	1	2,5	1,5
III	15	3	5,0	3,0
IV	35	8	12,0	10,0

При застосуванні методу триангуляції вимірювання горизонтальних кутів допускається виконувати з похибкою, що не перевищує наведену в таблиці 1.4.4.

Табл. 1.4.4

Клас точності вимірювання	Допустима середня квадратична похибка вимірювань кутів, секунди, для відстаней, м					
	50	100	150	200	500	1000
I	8	4	3	2	1	-
II	20	10	7	5	2	1
III	40	20	14	10	4	2
IV	60	30	20	15	6	3

Граничні похибки вимірювань крену в залежності від висоти (Н) спостережуваного будинку (споруди) не повинні перевищувати величин, мм, для: – цивільних будинків і споруд – 0,0001 Н; – промислових будинків і споруд, димарів, доменних печей, щогл, веж тощо – 0,0005 Н; – підвалин під машини та агрегати – 0,00001 Н.

Оскільки загальна висота споруди складає 56 м (15 поверхів), точність спостережень за її креном не повина перевищувати:

$$m = 0.0001 H_m = 0.0001 * 56 м = 5.6 мм \quad (1.4.2)$$

Згідно опису умов, споруда що підлягає спостереженню за деформаціями, відноситься до 2 класу точності, відповідно точність визначення планових та висотних деформацій не повинна перевищувати значень, наведених у табл. 1.4.5

Табл. 1.4.5

Тип деформації	Середня квадратична похибка
Горизонтальні зміщення	5,0 мм
Вертикальні деформації	2,0 мм

Виконаємо розрахунок необхідної точності створення опорної геодезичної мережі при забезпеченні вимірювань деформацій споруди. Згідно принципу рівного впливу, точність опорної геодезичної мережі повинно бути щонайменше тричі вищою за точність виконання вимірювань:

$$m_0 = \frac{m_z}{3}, \quad (1.4.3)$$

де m_0 - СКП створення опорної геодезичної мережі,

m_2 - СКП вимірювань деформацій.

Отримані таким чином дані щодо точності побудови опорної геодезичної мережі занесемо у табл. 1.4.6

Табл. 1.4.6

Тип деформації	Середня квадратична похибка
Горизонтальні зміщення	1,7 мм
Вертикальні деформації	0,7 мм

GISUT KNUCA 2024

РОЗДІЛ 2. Геодезичні роботи з моніторингу деформацій споруд

2.1. Вивчення принципів спостережень за деформаціями будівельних об'єктів

Основні інженерні етапи геодезичного моніторингу простої будівлі включають:

1. **Рекогностування об'єкта:** Перед підготовкою кошторисної документації здійснюється обстеження інженерних споруд для визначення даних, необхідних для складання кошторисів і контрактної документації. На основі цього формується попередній план нівелювальних та полігонометричних ходів, а також визначаються місця встановлення деформаційних маркерів і вихідних пунктів (реперів). Цей етап виконується одноразово протягом усього періоду спостережень.

2. **Розробка Програми Спостережень:** Програма спостережень складається з метою визначення та обґрунтування виду та обсягу необхідних спостережень. Визначаються методи проведення спостережень, обираються та розробляються конструкції деформаційних маркерів та інших знаків. Розраховується кількість необхідного персоналу та їх кваліфікація, а також потреба в транспорті, обладнанні, приладах та іншому оснащенні. Розробляється попередній план спостережень і готуються необхідні документи для укладення договору із замовником. Цей етап також виконується одноразово за весь період спостережень.

3. **Встановлення деформаційних маркерів та плівкових відбивачів:** Для встановлення деформаційних маркерів потрібно за допомогою перфоратора просвердлити отвір, після чого маркер закріплюється в ньому за допомогою цементу.

Марки встановлюються на кутах будівлі, поблизу осадового шва з обох сторін, в місцях примикання поперечних та поздовжніх стін.

4. **Виступаюча частина марки** повинна бути близько 5 см, що достатньо для встановлення нівелірної рейки на верхню точку на висоті 30-50 см від землі і майже на одному рівні. Відстань між марками становить 2-4 м. Плівкові відбивачі розміром 15x15 мм або 25x25 мм з клейовою зворотною стороною встановлюються так, щоб їх сторона була суміщена з кутом будівлі. Цей етап виконується одноразово на початку спостережень або в разі знищення чи пошкодження марок та відбивачів.
5. **Технічний огляд знаків нівелювання та плівкових відбивачів:** Проводиться інженерне обстеження знаків нівелювання та плівкових відбивачів для виявлення пошкоджень і їх усунення. У разі пошкодження деформаційних марок виконується їх ремонт або заміна. Плівкові відбивачі перевіряються на наявність відбивної поверхні; у разі втрати або пошкодження встановлюються нові. Цей етап виконується перед кожним циклом спостережень — двічі на місяць.
6. **Спостереження за осіданнями основи — нівелюванням II класу:** Створюється план нівелірного ходу, перевіряється прилад та компарується рейка. Нівелювання виконується відповідно до вимог нормативної документації. Місця встановлення приладів закріплюються тимчасовими знаками (дюбелями), ведеться польовий журнал. Спостереження проводяться двічі на місяць.
7. **Обробка результатів спостережень за осіданням основи будівлі:** Перевіряються та обробляються польові дані спостережень, складається відомість позначок деформаційних марок з визначенням осідань, створюються схеми та графіки. Розрахунки виконуються відповідно до нормативної документації. Виконується двічі на місяць.
8. **Спостереження за відхиленнями від вертикальності (кренами) кутів будівлі:** Обирається оптимальна схема лінійно-кутової мережі (полігонометричного ходу), перевіряється тахеометр. Вимірюються кути та лінії у полігонометричному ході згідно з вимогами нормативної документації та інструкцій до приладу. Місця встановлення приладів

закріплюються тимчасовими знаками (дюбелями), результати вимірювань записуються в блок пам'яті тахеометра. Спостереження проводяться двічі на квартал.

9. Обробка результатів спостережень за відхиленнями від вертикальності: Використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення, проводиться обробка зібраних даних. Після цього визначаються координати та висотні позначки плівкових відбивачів, а результати заносяться до відомості координат з урахуванням виявлених деформацій. Розробляються схеми та графіки, виконуються необхідні обчислення. Ця процедура проводиться двічі на квартал.

10. Аналіз отриманих даних: Проводиться детальний аналіз значень осідань та відхилень від вертикальності, а також досліджується характер розвитку деформацій будівлі з часом. Отримані дані порівнюються з допустимими значеннями згідно з нормативними документами. Визначається рівень небезпеки деформацій для безпечної експлуатації споруди. Ця робота виконується раз на квартал під час підготовки звітів.

11. Підготовка проміжних та заключного звітів з науково-дослідної роботи: Відповідно до вимог нормативної документації, готується текстова частина звіту. Докладно описується методика проведення інженерно-геодезичних спостережень, складаються таблиці та графічні додатки, здійснюється редагування звіту. Оформлення та випуск звіту здійснюється один раз на квартал.

2.2. Створення геодезичної опорної мережі при забезпеченні спостережень за деформаціями споруд

Сучасні опорні геодезичні мережі можуть бути побудовані методом полігонометрії, за допомогою ГНСС, через лінійно-кутові вимірювання або шляхом комбінування цих методів. Найбільш передовим способом визначення координат точок є використання глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС). Головна перевага цього методу полягає в тому, що координати точок визначаються незалежно одна від одної з однаковою точністю, і між ними не потрібно забезпечувати пряму видимість.

У нашому випадку опорна геодезична мережа для моніторингу деформацій була створена комбінованим методом, який поєднує ГНСС-спостереження та лінійно-кутові вимірювання. Координати пунктів S1 і S2 були визначені за допомогою ГНСС-спостережень у режимі "Статика".

Після отримання координат пунктів S1 та S2 за допомогою ГНСС, ми від цих точок розпочали побудову опорної геодезичної мережі, застосовуючи метод лінійно-кутових вимірювань. У цьому методі при створенні мережі вимірюються як кути, так і відстані між точками. Вимірювати можна всі кути та відстані або лише деякі з них, а решта параметрів визначаються розрахунково. Мережа може бути побудована у вигляді полігонометричних ходів, трикутників з вимірюванням кутів і сторін, або чотирикутників, де вимірюються кути, сторони та, за необхідності, діагоналі, як це показано на рисунку 2.2.1.

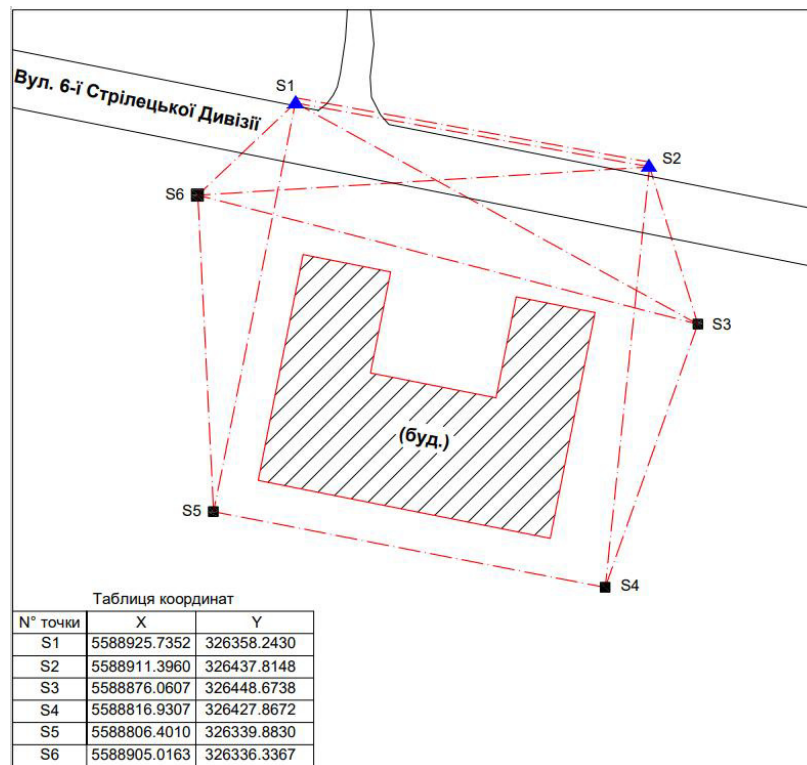


Рис. 2.2.1 Схема геодезичної опорної мережі об'єкта

З метою виконання поставлених завдань було вирішено створити планову опорну геодезичну мережу, використовуючи тахеометр SOKKIA FX-201 та призмовий відбивач, встановлений на штативі (див. рис. 2.2.2). Технічні характеристики цього приладу представлені в таблиці 2.2.1.

Кутові вимірювання здійснювалися методом кругових прийомів при трьох різних положеннях лімба тахеометра. Під час проєктування та закладання горизонтальної лінійно-кутової мережі були обрані віддалені й стабільні об'єкти, які легко розпізнаються через тахеометр і можуть слугувати орієнтирами. Мережа була спроектована таким чином, щоб одна орієнтирна точка була видима з кількох (мінімум двох) реперів горизонтальної мережі.

Всі пункти нашої мережі закріплені в місцях з відмінною видимістю, без негативних впливів на процес вимірювань та подальшу стабільність точок.

Вони розташовані подалі від технологічного обладнання, на поверхнях, стійких до вібрації, шуму та інших факторів, які можуть вплинути на точність вимірювань.



Рис. 2.2.2 Тахеометрів Sokkia FX-201 та призмий відбивач

Табл. 2.2.1

Технічні характеристики

Серія:	FX-201
Підсвітка сітки ниток:	5 рівнів яскравості
Дальність вимірювання відстаней без відбивача, м:	0.3 – 1000 v
СКП вимірювань кутів	1"
Дальність вимірювання відстаней на призму, м:	міні OR1PA: 1,3 ~ 500, AP01: 1,3 ~ 5000
Точність вимірювання відстаней без відбивача, мм:	$\pm (2,0 + 2 \times 10^{-6} \times D)$
Точність вимірювання відстаней на плівковий відбивач, мм:	$\pm (2,0 + 2 \times 10^{-6} \times D)$
Точність вимірювання відстаней на	$\pm (1,5 + 2 \times 10^{-6} \times D)$

призму, мм:	
Час вимірювань	0,9 сек.
Збільшення зорової труби:	30x
Операційна система:	Windows® Embedded Compact 7
Поле зору:	1°30'
Мінімальна відстань фокусування, м:	1,3
Лазерний візир:	Є (червоний коаксіальний)
Діапазон роботи компенсатора:	±6'
Тип компенсатора:	Рідинний двохосьовий датчик нахилу
Дисплей:	3.5 дюйма, кольоровий QVGA TFT LCD, сенсорний, кількість: 2
Навідні гвинти:	механічні
Клавіатура:	29 клавіш на панелі керування (з одного боку) та додаткова клавіша для взяття відліку на корпусі
Внутрішня пам'ять:	1 GB
Зовнішня пам'ять:	USB флеш накопичувач (до 32 ГБ)
Тип центрира:	оптичний, збільшення: 3x, зображення: пряме, лазерний (опціонально), мін. відст. фокусування: 0,5 м.
Комунікаційні порти:	Послідовний RS232C, USB 2.0 Host (Тип A USB / miniB)
Діапазон робочих температур:	-20°... +60°
Час роботи:	>20 годин
Захист від зовнішніх факторів:	IP65
Розмір:	191 x 190 x 348 мм
Вага:	5,7 кг

Висотні мережі зазвичай формують шляхом геометричного нівелювання, яке виконується у вигляді замкнених або розімкнених нівелірних маршрутів і полігонів. При цьому нівелірні ходи повинні базуватися на щонайменше двох пунктах (марках, реперах) державної висотної мережі. Зазвичай пункти планових і висотних розбивочних мереж поєднують.

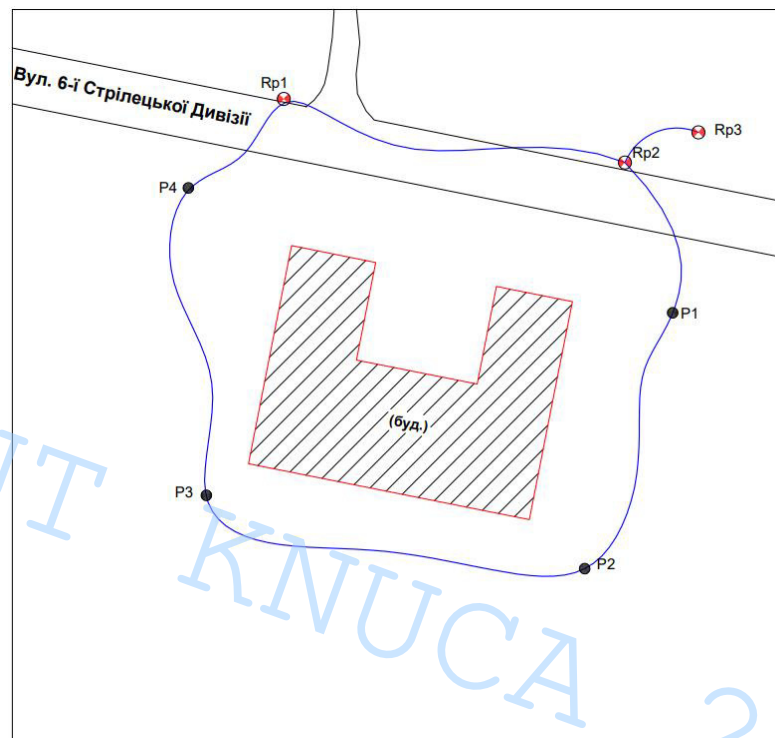


Рис 2.2.3 Схема нівелювання геодезичної висотної основи

Проводити вимірювання висотних відміток на пунктах планово-висотної основи за допомогою нівеліра SOKKIA SDL30.

Нівелір SOKKIA SDL30 — це цифровий нівелір, який ідеально підходить для проведення деформаційних робіт завдяки своїй високій точності, автоматизованим функціям і здатності швидко отримувати дані. Він використовується для вимірювання вертикальних переміщень конструкцій і споруд з метою оцінки їх деформацій і безпеки.

SOKKIA SDL30 має високу точність вимірювань — до $\pm 0,6$ мм на 1 км подвійного ходу (при використанні інварної рейки). Ця точність є критично важливою при моніторингу деформацій, де навіть незначні зміни можуть

свідчити про небезпечні процеси в конструкціях. Прилад надійним і точним інструментом для проведення деформаційних робіт. Він дозволяє виконувати точні вимірювання, автоматично зчитує дані, швидко обробляє результати і є стійким до умов навколишнього середовища. Це робить його ефективним вибором для інженерів і геодезистів, які працюють з моніторингом деформацій конструкцій і споруд



Рис 2.2.4 Нівелір SOKKIA SDL30 та рейка для цифрового нівеліра

Табл. 2.2.2

Технічні характеристики Нівелір SOKKIA SDL30

Параметри	Значення
Точність на 1 км подвійного ходу, мм	1
Збільшення зорової труби, крат	32
Компенсатор / діапазон, '	±15
Дальність вимірювання відстаней, м	1,6 - 100 м
Час вимірювання, сек	менше 3 с
Клавіатура	8 клавіш
Дисплей	ЖК графічний, 128x32 точок
Зображення	пряме
Захист від зовнішніх факторів (пилу, дощу)	IP 54
Внутрішня пам'ять	2000 точок
Робоча температура, °C	від -20 до +50
Час роботи від одного акумулятора, год	понад 8,5 годин
Час зарядки одного акумулятора, год	менше 2 годин
Вага, кг	2,4
Гарантійний термін	3 роки

Для надійного закріплення точок вирішено застосувати центри типу У15к:

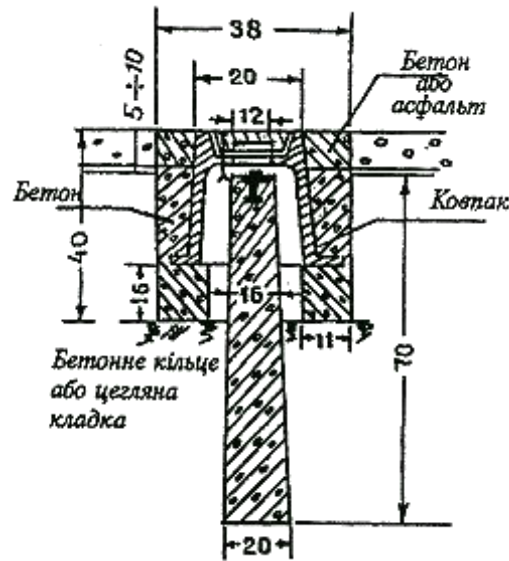


Рис. 2.2.5 Центр пункту полігонометрії, трилатерації, триангуляції 4 класу, 1 і 2 розрядів

Перш ніж розпочати геодезичний моніторинг, необхідно встановити початкові репери (пункти).

Основні критерії вибору місця для встановлення вихідних пунктів (реперів):

- **Довготривала стабільність положення:** забезпечення нерухомості пункту протягом тривалого часу.
- **Надійний контроль стабільності:** можливість постійного моніторингу стану репера.
- **Безперешкодний доступ:** легкий і безпечний доступ до пункту на всіх етапах моніторингу.
- **Розміщення поза зоною будівельного впливу:** установка в місцях, де немає тиску або впливу від будівельних робіт.
- **Віддаленість від потенційних джерел пошкоджень:** уникання близькості до доріг, підземних комунікацій та інших місць, де репер може бути пошкоджений або зміщений.
- **Розташування поза зоною осадкових явищ:** вибір місць, не схильних до впливу осідання ґрунтів чи інших геологічних процесів. [16]

Репери будь-яких типів і видів мають відповідати вимогам, визначеним у нормативних документах. Якщо використовуються ґрунтові репери, їх кількість повинна бути не меншою за два, а при застосуванні стінних реперів - щонайменше три.

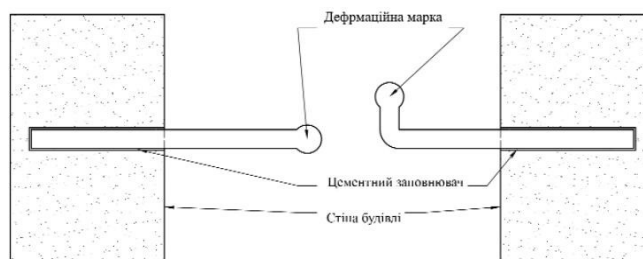


Рисунок 2.2.6 Конструкції деформаційних марок

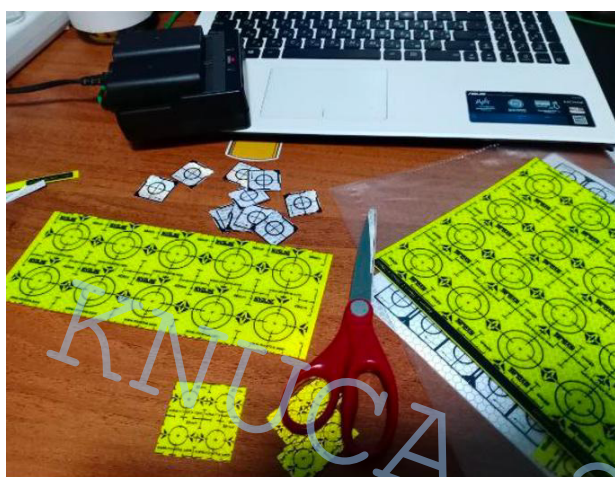


Рисунок 2.2.7 Деформаційні марки для спостереження за плановими деформаціями.

2.3 Розрахунок точності спроектованої геодезичної мережі

Враховуючи, що всі вимірювання, проведені під час створення геодезичної мережі, супроводжуються певними похибками, перед її побудовою необхідно здійснити розрахунки точності. Це дозволяє оцінити, з якою точністю можна визначити положення точки, використовуючи той чи інший метод.

Попередні розрахунки точності мережі були виконані з використанням програмного комплексу Topocad. Ця система, розроблена шведською компанією «Adtollo», є одним із найкращих програмних засобів для оброблення геодезичних вимірювань.

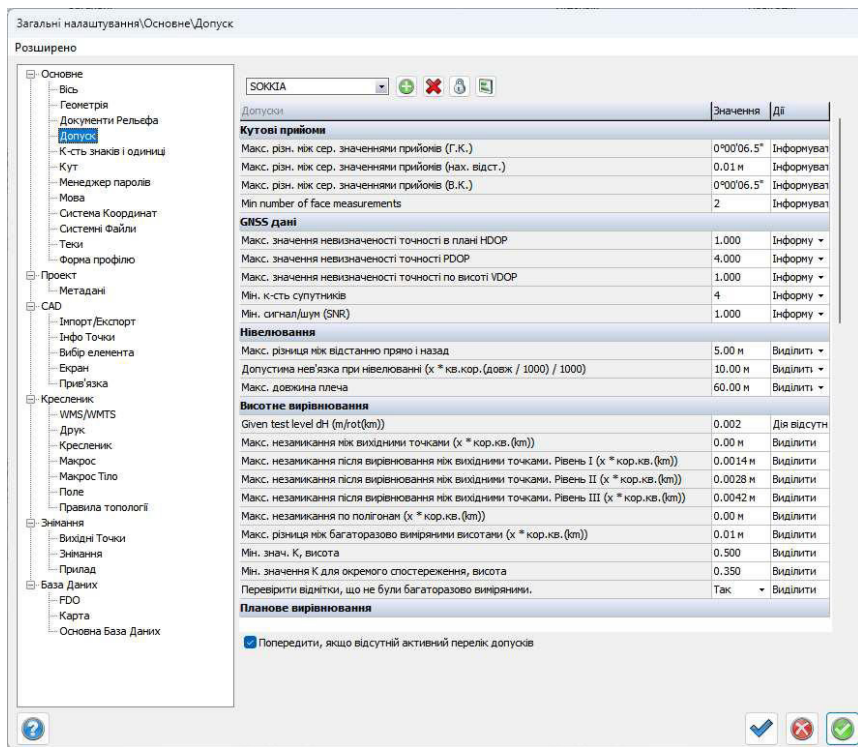


Рис. 2.3.2 Налаштування допусків ПЗ Торосад

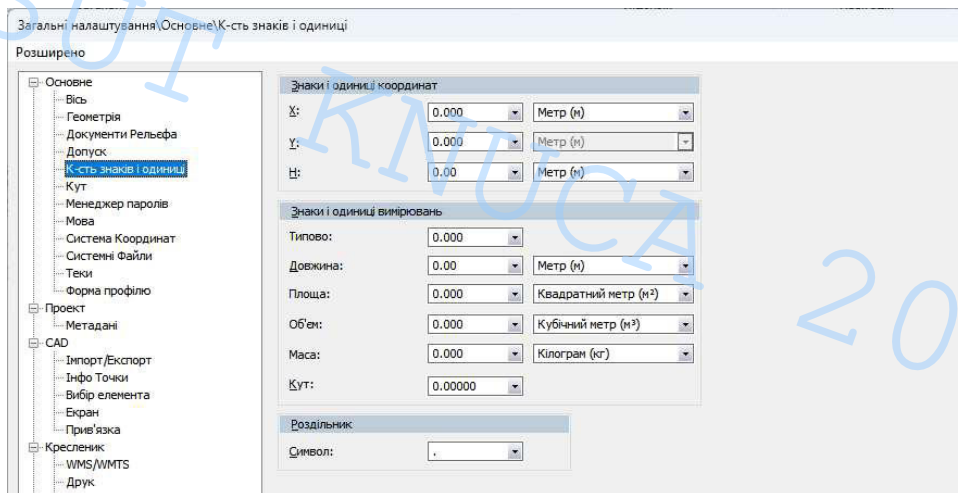


Рис. 2.3.3 Налаштування одиниць вимірювань ПЗ Торосад

Запускаємо модуль «Вирівнювання»

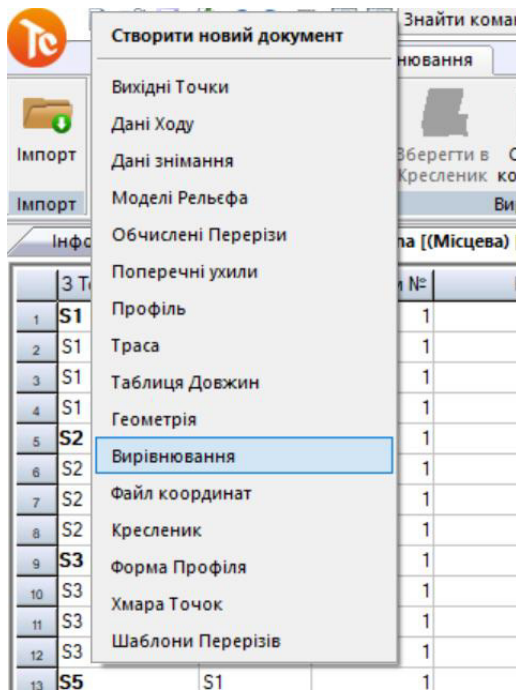


Рис 2.3.4 Вибір модуля вирівнювання

Переходимо знизу на вкладку «Схема» та вибираємо зверху команду «Нові точки»

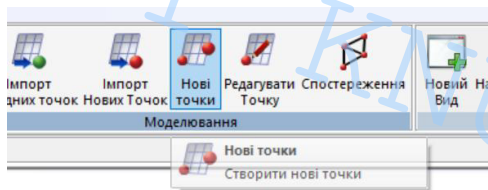


Рис. 2.3.5 Вибір режиму занесення даних

У новому діалоговому вікні заносимо наближені координати точок планової опорної геодезичної мережі.

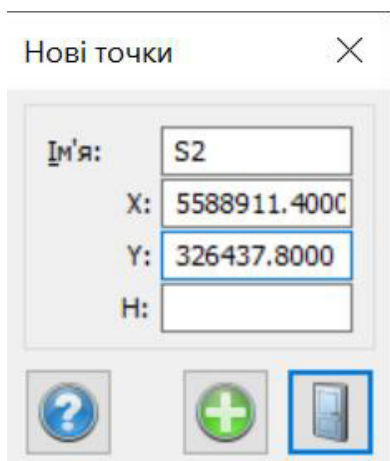


Рис. 2.3.6 Занесення наближених координат точок опорної геодезичної мережі

ПЗ Торосад дозволяє додати нову точку опорної геодезичної мережі також шляхом натиснення лівої кнопки мишки по екрану ПК.

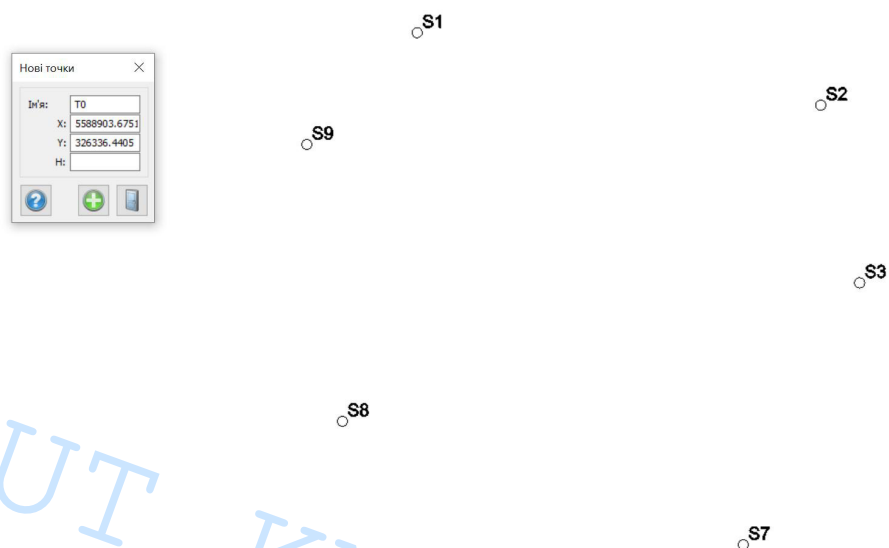


Рис. 2.3.7 Занесення пунктів опорної геодезичної мережі.

Наближені координати пунктів опорної геодезичної мережі наведено на рис 2.3.8.

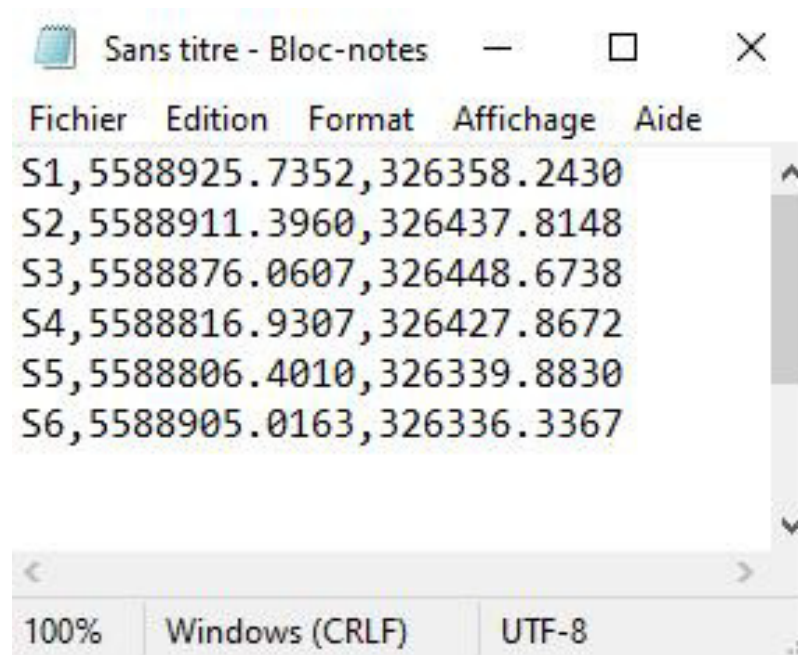


Рисунок 2.3.8 Координати пунктів запроєктованої мережі у текстовому редакторі «блокнот».

Планову опорну геодезичну мережу нами було вирішено створювати методом лінійно-кутової мережі, в якій виконувались лінійно-кутові вимірювання з кожного пункту мережі на кожний можливий пункт. Оскільки в мережі неможливо виконати вимірювання діагоналей, виникла задача підвищення жорсткості мережі. Тому нами було прийняте рішення додати два пункти по сторонам мережі, щоб утворити два трикутника – жорсткі геометричні фігури, зв’язані між собою за допомогою лінійно-кутових вимірювань. Занесення майбутніх вимірів під час розрахунку точності мережі відбувається після вибору команди «Спостереження»

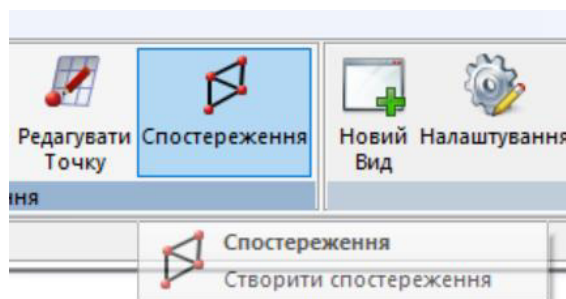


Рис. 2.3.9 Вибір режиму занесення вимірювань в ПЗ Torcad.

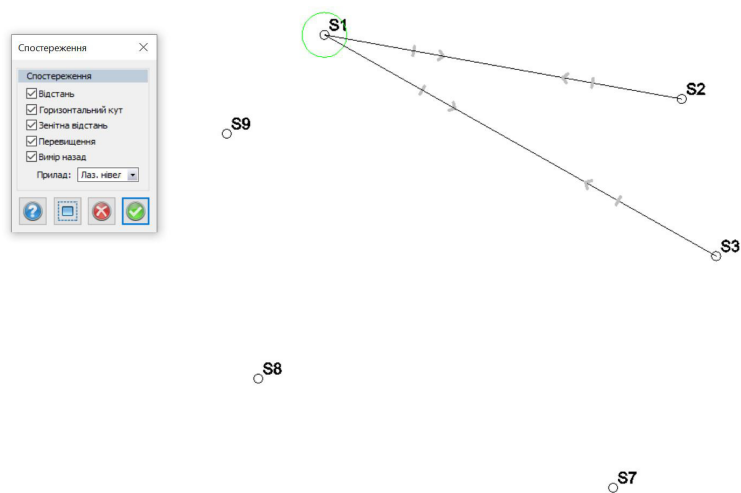


Рис. 2.3.10 Занесення вимірних елементів у ПЗ Topcon

Проектування вимірних даних виконується наступним чином. Лівою кнопкою мишки спочатку необхідно вибрати станцію стояння, потім ті пункти на які виконуються вимірювання. Після вибору всіх пунктів наведення інструмент необхідно закрити. У разі кількох станцій вимірювань, інструмент «Спостереження» необхідно визивати для кожної станції.

Внесення точності виконання вимірювань в ПЗ Topcon відбувається через занесення приладу, яким буде виконуватись вимірювання. Для цього необхідно перейти на вкладку «прилади» в нижній частині вікна ПЗ Topcon.

У вибраному переліку приладів необхідно вибрати той, який буде використовуватись у вимірюваннях та перевірити характеристики його точності.

№	Ім'я	Тип інстр.	СКП Гк	СКП ЗВ	СКП Вдст.	PPM відстаней	Перевіщ. птм/кор.кв (мм)	Пох. Центр. план	Пох. Центр. висота
1	Лаз. нивелір Topcon/Sokkia	Тахеометр Sokkia (беззвб.)	0'00'02"	0'00'02"	0.002	2.000		0.0020	0.0050
2	Тахеометр Topcon	Тахеометр Topcon	0'00'02"	0'00'02"	0.002	2.000		0.0020	0.0050
3	Тахеометр Sokkia IM102	Тахеометр Sokkia (беззвб.)	0'00'02"	0'00'02"	0.002	2.000		0.0020	0.0050

Рис 2.3.11 Перевірка характеристик точності приладу Sokkia FX-201

Для виконання розрахунку точності запроєктованої мережі натискаємо обчисливи у верхній частині екрану ПЗ Topcon.

На вкладці «Звіт» буде представлений результат розрахунку точності запроєктованої опорної геодезичної мережі.

Підсумок	
К-т надлишковості, план	0.67
Масштабний коефіцієнт, в плані	1.000000
Ітерації, план	1
Розподіл значень к-ту надлишковості, план	
Кількість 0.00 - 0.10	0
Кількість 0.10 - 0.35	0
Кількість 0.35 - 0.70	18
Кількість 0.70 - 1.00	24
Статистика	
К-сть ГК	22
К-сть прийомів	6
К-сть напрямків	0
К-сть горизонтальних прокладень	20
К-сть вихідних точок, план	2
К-сть невідомих точок, план	4
К-ть висячих точок, в плані	0
Кількість необчислених точок, в плані	0
СКП точки в плані, мін	0.0011
СКП точки в плані, макс	0.0015
СКП точки в плані, сер	0.0012

Рис. 2.3.12 Загальні результати розрахунку точності.

Крім того, у вкладці «Схема» представлена схема опорної геодезичної мережі, на якій додатково зображено еліпси похибок визначуваних пунктів. За результатами розрахунку було визначено СКП найслабшого пункту опорної геодезичної мережі не повинно перевищувати 1,5 мм, що задовільняє вимогам щодо точності планової опорної геодезичної мережі.

Ім'я точки	Координати		СКП	СКП	Еліпс	Еліпс	Еліпс
	Х, м	У, м	Х	У	А	В	кут
Вихідні пункти							
S1	5588925.7	326358.2	-	-	-	-	-
S2	5588911.4	326437.8	-	-	-	-	-
Визначувані пункти							
S3	5588876.0998	326448.7002	0.0009	0.0007	0.001	0.001	27°
S4	5588816.8995	326407.9000	0.0008	0.0012	0.001	0.001	66°
S5	5588846.3996	326339.8997	0.0009	0.0010	0.001	0.001	121°
S6	5588904.9999	326336.2997	0.0009	0.0007	0.001	0.001	2°

Рис. 2.3.13 Відомість оцінки точності розташування пунктів

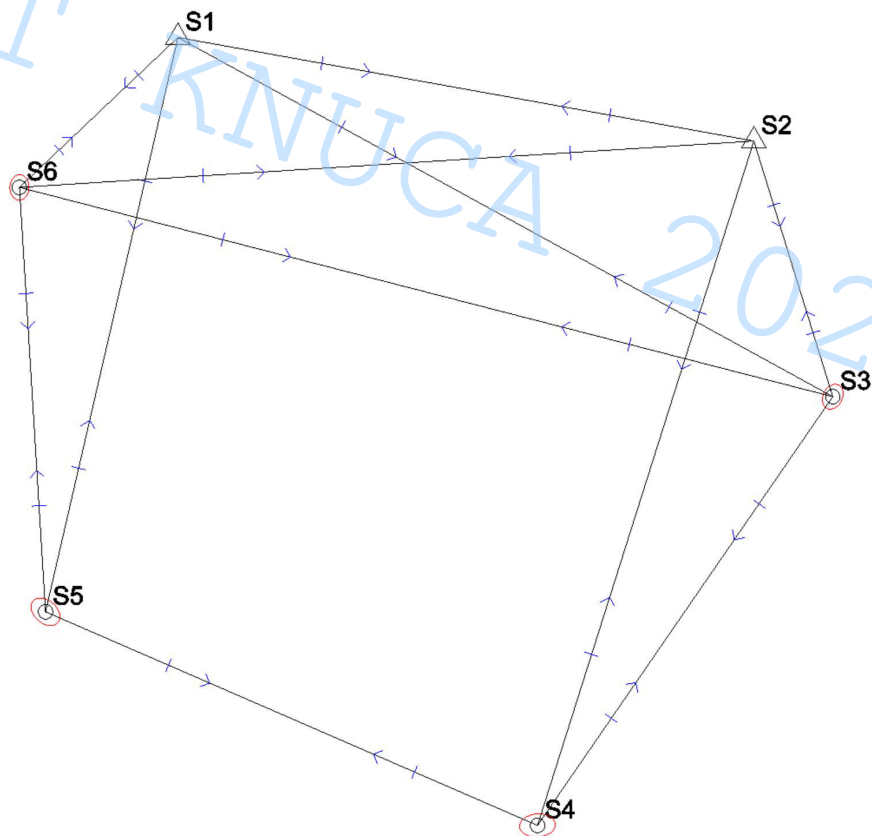


Рис. 2.3.14 Запроектована геодезична мережа

Результати розрахунку висотної опорної геодезичної мережі представлено на рис. 2.3.15.

Ім'я точки	Висота, м	СКП Н, м
Вихідні пункти		
S1	230	-
S2	228	-
Визначувані пункти		
S3	228	0,0006
S4	231	0,0007
S5	231	0,0006
S6	230	0,0007

Як видно з табл. 2.3.15 СКП визначення висот пунктів опорної геодезичної мережі при її створенні за допомогою високоточного цифрового нівеліра SDL-30 складає не ьльше 0,7 мм що задовільняє вимогам щодо розрахунку точності.

2.4 Визначення планових деформацій споруди

Для визначення горизонтальних та висотних зміщень елементів будівлі було закріплено деформаційні марки на кутах будинку.

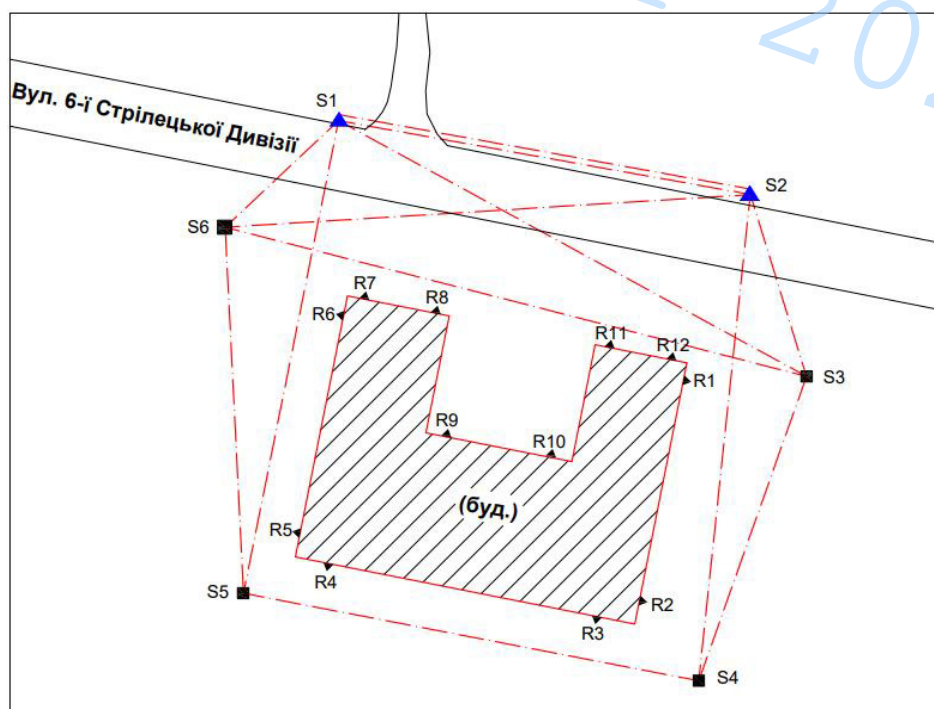


Рис 2.4.1 Схема встановлення реперів.

Крен будівлі — це відхилення її кутів від горизонтальної площини, що виникає через нерівномірні осідання фундаментів без порушення цілісності споруди та зі збереженням її геометричної форми. Існує багато методів для визначення величини крену.

Завдання фахівця — обрати метод, який забезпечить необхідну точність і підходить для умов щільної міської забудови. Розглянемо приклад застосування координатного методу. Він передбачає визначення координат точок у верхній та нижній частинах споруди за допомогою лінійно-кутової засічки з місця встановлення тахеометра.

Точки постійно закріплюються на кутах будівлі за допомогою плівкових відбивачів розміром 15×15 мм або 25×25 мм, встановлених так, щоб край відбивача збігався з кутом споруди. Величина та напрямок крену за певний період визначаються шляхом порівняння координат між початковими та наступними циклами спостережень.

Під час визначення планових деформацій вимірюванню підлягали горизонтальні зміщення споруди та її крени. Визначення горизонтальних зміщень споруди відбувалось шляхом періодичного вимірювання координат деформаційних марок, розміщених на цоколі споруди. При цьому зміщення в i -тому циклі вимірювань визначалось як різниця координат цих марок між i -тим і першим циклом вимірювань. Координати марок під час визначення горизонтальних зміщень споруди визначались методом лінійно-кутової засічки.

Визначення крену споруди визначалось через різницю координат марок, закріплених на фасадах споруди вертикально одна над одною. Зміна крену споруди визначалось як різниця вимірюваного крену в i -тому циклі і в 1 циклі. Визначення координат марок під час вимірювання крену споруди виконувалось полярним методом.

Виконаємо розрахунок точності вимірювань координат деформаційних марок під час визначення планових зміщень споруди.

Спосіб полярних координат. При визначенні координат марок вихідною віссю полярної системи координат є сторона геодезичної розмічувальної основи AB (рис. 2.4.2).

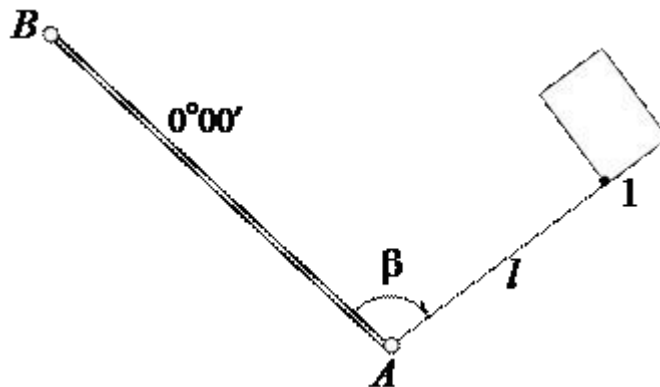


Рис. 2.4.1 Схема способу полярних координат

За радіус-вектор беруть проектну відстань d_1 між вихідним пунктом геодезичної основи A і проектною точкою M . Розмічування виконують у такій послідовності:

- 1) у точці A установлюють теодоліт, приводять у робочий стан і за ходом годинникової стрілки відкладають величину проектного кута β' ;
- 2) вздовж отриманого напрямку відкладають проектну відстань d_1 і отримують проектне положення шуканої точки споруди S .

Проектні величини β і d вибирають з розмічувальних креслень. Якщо задані проектні координати точки $C(x_c, y_c)$, то можна обчислити:

- а) дирекційний кут радіуса-вектора:

$$\alpha_{AC} = \arctg \frac{y_c - y_A}{x_c - x_A}; \quad (2.4.1)$$

- б) довжину радіуса-вектора:

$$d = \sqrt{(x_c - x_A)^2 + (y_c - y_A)^2}, \quad (2.4.2)$$

або

$$d = \frac{y_c - y_A}{\sin \alpha_{AC}}; \quad d = \frac{x_c - x_A}{\cos \alpha_{AC}}; \quad (2.4.3)$$

- с) полярний кут:

$$\beta = \alpha_{AC} - \alpha_{AB}, \quad (2.4.4)$$

де α_{AB} - дирекційний кут сторони геодезичної основи.

Проектні кути β вимірюють при двох положеннях вертикального круга (КП і КЛ) і беруть середнє положення радіуса-вектора d . Відстань d вимірюють віддалеміром електронного тахеометра.

При виконанні робіт електронним тахеометром за програмним забезпеченням на електронному табло тахеометра отримують фактичні значення координат точки С. Можна визначати положення точки через існуючі перешкоди та на великих відстанях.

СКП визначення координат точки С можна знайти за наступною формулою::

$$m = \sqrt{m_l^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 d^2 + m_{цр}^2 + m_B^2 + m_\phi^2}, \quad (2.4.5)$$

m_l - похибка відкладення проектної відстані;

$m_\beta L/\rho$ - лінійна величина побудови проектного кута;

$m_{цр}$ - похибка за центрування та редуцію;

m_ϕ - похибка за фіксацію точки.

При $m_B = 0,42$ мм; $m_l = 2,01$ мм; $m_\beta = 3''$; $m_\phi = 1$ мм; $m_{цр} = 1$ м; $d = 24,613$ м отримаємо $m_C = 2,35$ мм.

Метод лінійно-кутової засічки. Як було вказано вище, це метод застосовується при визначенні горизонтальних зміщень споруди. Схема методу показан на рис. 2.4.3.

За цим методом виконують вимірювання горизонтальних, вертикальних кутів і відстаней щонайменше від двох пунктів опорної геодезичної мережі на деформаційну марку. Так само як і полярному способі, вимірювання виконують при двох положеннях вертикального круга.

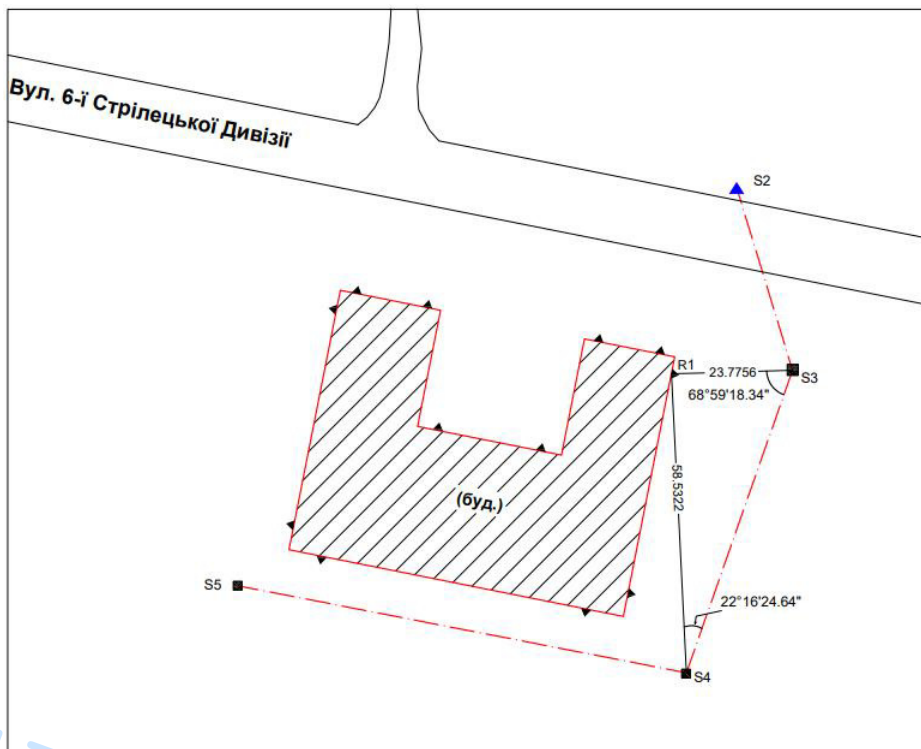


Рис. 2.4.3 Схема лінійно-кутової засічки

На точність лінійно-кутової засічки впливають такі похибки:

m_B – похибка вихідних даних;

m_l – похибка вимірювання відстані;

$m_{\beta}L/\rho$ – лінійна величина вимірювання кута;

$m_{ц.р}$ – похибка за центрування та редуцію;

m_{ϕ} – похибка за фіксацію точки.

$$m = \sqrt{m_l^2 + \left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2 d^2 + m_{ц.р}^2 + m_B^2 + m_{\phi}^2}, \quad (2.4.6)$$

При $m_B = 0,42$ мм; $m_l = 2,01$ мм; $m_{\beta} = 3''$; $m_{\phi} = 1$ мм; $m_{ц.р} = 0,5$ м;

$d = 24,611$ м отримаємо $m_c = 2,49$ мм.

Отже, точність визначення планових координат в допуску.

Оцінка точності тригонометричного нівелювання.

Середня квадратична помилка m_h перевищення з опорного на визначуваний пункт рівна

$$m_h = \sqrt{(m_s \operatorname{ctg} z)^2 + \frac{m_z s^2}{\rho \sin^2 z} + \frac{m_k s^2}{2R \sin^2 z} + m_i^2 + m_l^2}, \quad (2.4.7)$$

де m_s , m_z , m_k , m_i , m_l - середні квадратичні помилки визначення відповідно довжини s лінії, зенітної відстані z , коефіцієнта рефракції k , висоти теодоліта i і візирної цілі l .

При цьому слід зауважити що, на коротких віддальх можна знехтувати похибкою за визначення коефіцієнта рефракції.

Тоді формула набуває вигляду:

$$m_h = \sqrt{(m_s \operatorname{ctg} z)^2 + \frac{m_z s^2}{\rho \sin^2 z}}; \quad (2.4.7)$$

$$m_s = 2 + 2 \cdot 0,004611 = 2,01 \text{ мм};$$

При $m_B = 0,048$ мм; $m_S = 2,01$ мм; $m_Z = 3''$; $m_{\text{цр}} = 0,5$ м; $S = 4,611$ м; $z = 90^\circ$ отримаємо $m_h = 2,51$ мм.

Лінійну величину крену Q обчислюють за формулою:

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

- дирекційний кут крену α :

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

- та кутову величину крену v :

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

- де x_B , y_B , z_B — координати точки у верхній частині споруди;

x_H , y_H , z_H — координати точки у нижній частині споруди.

Визначають відносний крен Q' :

$$Q' = Q_n - Q_0,$$

де Q_n — значення крену у n -ному циклі спостережень,

Q_0 — значення крену у нульовому циклі спостережень.

Середню квадратичну похибку визначення крену вираховують по формулі:

$$m_q = \frac{m_\beta}{\rho \sin \gamma} \sqrt{2(S_1^2 + S_2^2)}$$

Виконано попередній розрахунок точності та отримано точність засічки $m_\zeta = 32$ мм.

Оцінка точности положення марки R1, похибка вихідних даних приймемо $m_a = 1$ мм, редукцію приймемо $m_\delta = 1$ мм :

$$m_c = \sqrt{m_a^2 + m_\zeta^2 + m_\delta^2} = \sqrt{1^2 + 32^2 + 1^2} = 32 \text{ мм.}$$

2.5 Визначення висотних деформацій висотної споруди

Для вимірювання осідань будівлі застосовувався метод високоточного геометричного нівелювання.

Як згадувалося раніше, визначення висотних деформацій (осідань) здійснювалося геометричним нівелюванням II класу з дотриманням таких умов: нівелювання робочих реперів відносно вихідних виконувалося за допомогою нівеліра типу SDL-30 і комплекту з двох інварних нівелірних рейок довжиною 1,8 м згідно з програмою нівелювання II класу. Нівелювання осадкових марок під час нівелювання робочих реперів не проводилося. Для уникнення похибки взяття відліку відліки по рейці були визначені електронним зчитуванням, контроль проводився по зворотній міліметровій стороні рейки оптичним способом по середній нитці

Під час спостережень за осіданнями була створена опорна висотна мережа, яка включала три репери: Rp1, Rp2 та Rp3, розташовані навпроти будівлі по вулиці 6-ї Стрілецької Дивізії.

Схема розміщення марок на будівлі представлена на рисунку 2.5.1.

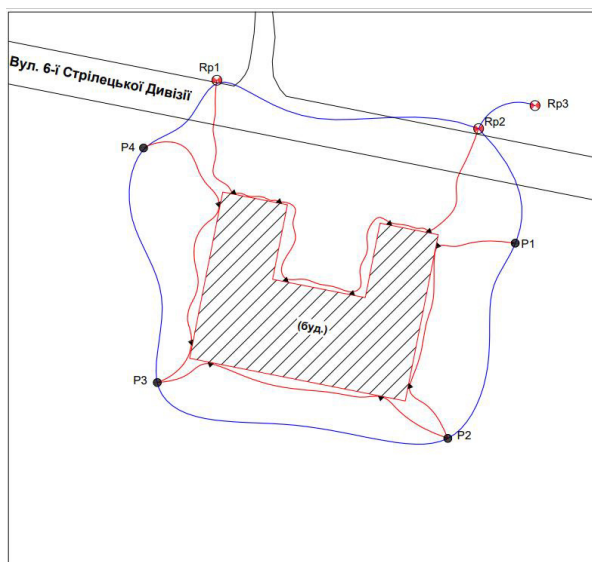


Рисунок 2.5.1 Схема нівелювання геодезичної висотної основи

Нівелювання виконувалося на одній і тій же горизонтальній лінії як в прямому, так і у зворотному напрямку з використанням незмінних рейок. На кожній станції повинні проводитися контрольовані спостереження, що включають наступні перевірки. [9]

Гранична нев'язка в замкнутому полігоні підраховується за формулою

$$f_{\text{неліній}} = 0,5\sqrt{n}$$

де n — кількість станцій у полігоні або ході.

Обробка результатів вимірювань передбачає перевірку польових записів, вирівнювання за методом найменших квадратів, розрахунок осідань, оцінку точності виконаних польових робіт, зведення даних для кожного циклу вимірювань, графічне представлення даних та підготовку звіту.

$$\Delta H_i = H_i - H_1$$

де H_i та H_1 — відповідно позначки марки поточного та початкового циклів спостережень.

Осадка фундаментів будівель на кожній висоті визначається як різниця висотних відміток між поточним циклом спостережень і першим циклом спостережень:

- оцінки для цього та першого циклу спостережень відповідно.

Результати спостережень представлені у вигляді таблиці, в якій вказані відмітки та значення осідань для кожного класу. На основі цих даних визначаються відносні значення середнього осідання, прогину (вигину) та крену. Середнє осідання розраховується за наступною формулою:

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

де $[H]$ — сума перевищення між вихідним репером та найвіддаленішою від нього деформаційною маркою вимірюють з точністю:

Припустимо, що різниця між початковим репером і найвіддаленішою від нього деформаційною міткою вимірюється точно

- стандартне відхилення визначення перевищення між початковим показником і найвіддаленішою від нього відміткою деформації,
- середньоквадратичне відхилення визначення перевищення на нівелірній станції, кількість станцій нівелювання. Для визначення величини осідання необхідно виконати два цикли нівелювання.

$$m_{h_{Rp-dm}}^2 = n \cdot m_h^2$$

де $m_{h_{Rp-dm}}$ — СКП визначення перевищення між вихідним репером та деформаційною маркою, яка найвіддаленіша від нього,

m_h — СКП визначення перевищення на одній станції нівелювання ($m_h = 0,3$ мм.),

n — кількість станцій нівелювання. Щоб визначити осідання необхідно виконати 2 цикли нівелювання.

Таким чином, точність визначення осідання найвіддаленішого від початкового репера знака деформації становить:

Кількість станцій знаходиться за наступним рівнянням:

$$n = \frac{m_d^2}{2m_h^2}$$

N — кількість марок.

Після обробки польових даних результати були проаналізовані. Характеристики нівелювання кожного циклу вимірювань представлені в таблиці 2.5.1.

Таблиця 2.5.1

Характеристика мережі нівелювання

№№ циклу	Назва ходу	Дата вимірів	Кількість Станцій	Нев'язка в мм	
				Отримана	Допустима
1	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	19.09.2019	15	-0,2	±1,9
2	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	24.10.2019	15	-0,3	±1,9
3	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	21.11.2019	15	-0,4	±1,9
4	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	18.12.2019	20	-0,6	±2,2
5	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	14.01.2020	20	+0,5	±2,2
6	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	12.02.2020	20	+0,3	±2,2
7	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	30.03.2020	20	-0,9	±2,2
8	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	27.04.2020	20	-0,7	±2,2
9	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	27.05.2020	20	-0,5	±2,2
10	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	25.06.2020	20	-0,6	±2,2
11	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	24.07.2020	20	+0,4	±2,2
12	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	28.08.2020	20	-0,3	±2,2
13	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	30.09.2020	20	+0,6	±2,2
14	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	28.10.2020	20	-0,9	±2,2
15	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	17.11.2020	20	+1,0	±2,2
16	Rp1-Rp2Rp3-Rp1	11.12.2020	20	+0,2	±2,2

Розділ 3. Математична обробка результатів спостережень за деформаціями

3.1 Вирівнювання геодезичних вимірювань під час спостережень за деформаціями.

Поява похибок у результатах вимірювань супроводжується різними факторами: несприятливими зовнішніми умовами недосконалістю приладів вимірювання, неточністю методів вимірювання недостатньою кваліфікацією спостерігачів що проводять вимірювання тощо. Процес зменшення впливу похибок на результати вимірювань називають вирівнювань. В процесі вирівнювання знаходять усереднене значення вимірних величин, відповідно необхідною умовою вирівнювання є наявність надлишкових вимірів.

Найпоширенішим способом зрівнювання геодезичних мереж є параметричний спосіб [25, 26]. При зрівнюванні геодезичних мереж даним способом спочатку вибираються так звані параметри, через які виражається кожна величина, що вимірюється за допомогою рівнянь зв'язку. Тому величинами, які зрівнюються безпосередньо є параметри, а потім вже по зрівняним значенням параметрів обчислюються зрівняні значення безпосередньо вимірних величин.

Нехай при побудові геодезичної мережі було виміряно n величин $M_1, M_2, M_3 \dots M_n$, з яких r величин є надлишково вимірними. Далі вибирається ряд незалежних параметрів $T_1, T_2, T_3 \dots T_n$, через які можуть бути виражені значення вимірних величин M_i . Число m таких параметрів повинно дорівнювати числу r надлишкових вимірів. Завдяки кожній надлишково вимірній величині в геодезичній мережі виникає одне рівняння зв'язку вимірних величин з параметрами. Дані рівняння мають загальний вигляд:

$$M_i = F_i(T_1, T_2, T_3 \dots T_n), (i = 1, 2, 3 \dots n) \quad (3.1.1)$$

де $M_i, (i = 1, 2, 3 \dots n)$ – істинні значення вимірних величин,

$T_j, (j = 1, 2, 3 \dots m)$ – істинні значення параметрів.

Метою зрівнювальних обчислень є визначення таких поправок v_i у виміряні величини M'_i , при яких повинні задовольнятися усі існуючі залежності між елементами мережі, причому не тільки тими, що вимірюються, але й тими, які обчислюються. Це означає, що якщо в лівій частині рівнянь зв'язку підставити зрівняні значення виміряних величин, то повинно змінитися значення і правої частини рівнянь, а саме повинні змінитися значення параметрів T . Тобто в правій частині повинні стояти зрівняні значення параметрів.

Позначимо через $M_i^{\text{зрівн.}} = M'_i + v_i$ зрівняні значення виміряних величин, а через $T_j^{\text{зрівн.}} = T_j^{\circ} + \delta T_j$, де T_j° – наближені значення невідомих параметрів, а δT_j – поправки до наближених параметрів. Тоді рівняння зв'язку матимуть наступний вигляд:

$$M'_i + v_i = F_i(T^{\circ}_1 + \delta T_1, T^{\circ}_2 + \delta T_2, T^{\circ}_3 + \delta T_3 \dots T^{\circ}_m + \delta T_m) \quad (3.1.2)$$

Параметричний спосіб зрівнювання мереж має наступний алгоритм:

- 1) аналіз сукупності вимірювань, визначення кількості необхідних вимірювань;
- 2) вибір незалежних параметрів, кількість яких дорівнює кількості необхідних вимірювань;
- 3) складання параметричних рівнянь зв'язку, зрівняні значення всіх виміряних величин виражаються у вигляді функції вибраних параметрів;
- 4) знаходження наближених значень параметрів;
- 5) приведення параметричних рівнянь зв'язку до лінійного вигляду, обчислення коефіцієнтів і вільних членів параметричних рівнянь поправок;
- 6) складання функції параметрів для оцінки її точності;
- 7) складання нормальних рівнянь, визначення їх коефіцієнтів та вільних членів;
- 8) розв'язання нормальних рівнянь, обчислення поправок до наближених значень параметрів, їх контроль;

- 9) визначення поправок до вимірних величин;
- 10) обчислення параметрів, зрівняних вимірних величин, контроль зрівнювання;
- 11) оцінка точності результатів вимірювання;
- 12) визначення СКП зрівняних величин.

Як і попередній розрахунок точності мережі, математичне оброблення результатів вимірювань виконувалось в програмному комплексі Topocad.

Результати вирівнювання 15 циклу вимірювань представлено у табл.

3.1.

Табл. 3.1.1

Ім'я точки	Координати		СКП	СКП	Еліпс	Еліпс	Еліпс
	X, м	Y, м	X	Y	A	B	кут
Вихідні пункти							
S1	5588925.7352	326358.2430	-	-	-	-	-
S2	5588911.3960	326437.8148	-	-	-	-	-
Визначувані пункти							
S3	5588876.0607	326448.6738	0.0012	0.0012	0.001	0.001	84°
S4	5588816.9307	326407.8672	0.0006	0.0014	0.000	0.002	44°
S5	5588846.4010	326339.8830	0.0008	0.0012	0.001	0.001	93°
S6	5588905.0163	326336.3367	0.0011	0.0006	0.001	0.000	22°

У випадку спостереження за горизонтальними деформаціями, положення координат деформаційних марок встановлювалось за допомогою лінійно-кутової засічки, яку можна розглядати як поєднання двох полярних засічок, проведених з різних пунктів.

При визначенні висотних змін проводилось нівелювання по марках від одного вихідного пункту до іншого.

Це дозволяло визначити похибку та створити передумови для вирівнювання даних. Похибка, яка виникала при геометричному нівелюванні між двома вихідними реперами, складала:

$$f_h = \sum h_i - (H_{Rp_{кін.}} - H_{Rp_{поч.}})$$

де $\sum h_i$ – сума вимірних перевищень у ході;

$H_{Rp_{поч.}}$ – позначка репера, з якого починають нівелювання;

$H_{Rp_{кін.}}$ – позначка репера, на якому закінчують нівелювання.

Після оброблення журналу нівелювання та визначення вимірних перевищень, отримані дані вводилися в програмний комплекс Topocad. Також вводилися довжини нівелірних ходів між пунктами та вибирався клас нівелювання (у нашому випадку — II клас). На завершення виконувалося вирівнювання параметричним методом. [11].

Табл. 3.1.2

Зведена відомість горизонтальних координат деформаційних марок

Назва марки	Горизонтальні координати в метрах		СКО визначення координат в мм		
	x	y	x	y	xу
3 поверх вежа №1					
11	5588891.0652	326363.1515	1.6	1.4	3
12	5588888.3126	326377.0226	1.2	2.4	3.6
4 поверх вежа №2					
13	5588864.3077	326379.0639	2.4	1.5	3.9
14	5588860.2932	326399.2963	1.7	1.4	3.1
11 поверх вежа №1					
21	5588881.6576	326410.5590	3.1	1.5	4.6
22	5588879.2679	326422.6017	1.5	1.2	2.7
11 поверх вежа №2					
23	5588875.3894	326424.9178	1.4	0.8	2.2
24	5588832.4217	326416.3908	1.1	1.6	2.7
15 поверх вежа №1					
31	5588829.4125	326408.1721	1.8	1.2	3
32	5588839.7258	326356.2032	1.2	2.4	3.6
14 поверх вежа №2					
33	5588845.6972	326350.84730	1.7	1.8	3.5
34	5588887.8207	326359.20290	2.4	1.3	3.7
19 поверх вежа №2					
44	5588876.5236	326368.2357	1.3	1.7	3
43	5588882.8675	326372.6815	1.4	2.1	3.5

За результатами вирівнювання були отримані планові та висотні координати деформаційних марок. Планові координати марок, що використовувались для визначення горизонтальних зміщень та крену споруди представлено у табл. 3.1.2.

Висоти деформаційних марок, що використовувались для визначення осідань споруди представлені у табл. 3.1.3.

Табл. 3.1.йЗ

Зведена відомість перевищень та висот осадкових марок

Назва марки	Перевищення в метрах	Висота опорного репера в метрах	Висота марки в метрах
1	0.8596	181.3695	182.2291
2	0.8547	181.3695	182.2242
3	0.8632	181.3695	182.2327
4	0.7894	181.3695	182.1589
5	1.2586	181.3695	182.6281
6	1.1455	180.7415	181.887
7	0.9568	180.7415	181.6983
8	1.5874	181.7823	183.3697
9	0.8369	181.7823	182.6192
10	0.8745	181.7823	182.6568
11	0.8923	180.8654	181.7577
12	0.8745	180.8654	181.7399
13	0.9856	180.8654	181.851
14	0.7856	180.8654	181.651

3.2 Аналіз планових деформацій споруди

Після урівнювання лінійно-кутових вимірювань були отримані остаточні координати деформаційних марок для поточного циклу. Також здійснено порівняння значень координат цих марок між різними циклами спостережень.

У 2019 році було проведено чотири цикли спостережень, включаючи початковий, на марках під номерами 11, 12, 13 та 14. Перший цикл відбувся

19 вересня 2019 року, а останній — 18 грудня 2019 року. За цей період максимальне горизонтальне зміщення становило 2 мм і було зафіксовано на марці 14. Зміщення інших марок варіювалися в межах 0–1 мм, при цьому напрямок зміщень був переважно спрямований до центру будівлі.

У 2020 році здійснено 12 циклів спостережень. Перший цикл відбувся 14 січня 2020 року, останній — 11 грудня 2020 року. Протягом цього часу максимальне горизонтальне зміщення склало 7 мм і було зафіксовано на марці 31 у південно-західному напрямку. Зміщення інших марок коливалися в межах 1–6 мм, і їхній напрямок був здебільшого спрямований до центру будівлі, за винятком марок 23 та 13, які змістилися у північно-східному напрямку.

Схема горизонтальних зміщень деформаційних марок відносно початкового положення за період з 19.09.2019 по 11.12.2020 представлена на відповідному рисунку.

Крім того, 30 березня 2020 року було встановлено 10 нових деформаційних марок (номери 21, 22, 23, 24, 31, 32, 33, 34, 43, 44) та проведено для них початковий цикл спостережень.

Аналіз результатів спостережень за період з 19.09.2019 по 11.12.2020 показав наступне:

- Величини похибок при визначенні деформаційних процесів вертикальних переміщень фундаментів та горизонтальних зміщень (кренів) залишалися в межах точності вимірювань.
- За весь період максимальне горизонтальне зміщення склало 7 мм і було зафіксовано на марці 31.
- Детальні результати горизонтальних зміщень наведені в таблиці 3.2.1.

Таблиця 3.2.1.

**Відомість переміщень деформаційних марок на пілонах та плитах перекриття будівлі
з 19.09.2019 по 11.12.2020**

жа	Поверх	Назва марки	19.09.2019 (початковий)		04.11.2019		21.11.2019				18.12.2019			
			Переміщення, мм		Переміщення, мм		Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм		Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм	
			ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$	ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$
1	3	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1
		11a	0	0	0	0	0	1	0	1	0	-1	0	0
		12	0	0	0	0	0	1	0	1	1	-2	1	-1
2	4	13	0	0	-1	0	1	0	0	0	-1	1	-1	1
		14a	0	0	0	-1	0	-1	0	-2	-1	0	-1	-2
		14	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2
жа	Поверх	Назва марки	14.01.2020				11.02.2020							
			Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм		Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм					
			ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$	ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$				
1	3	11	1	0	1	-1	0	2	1	1				
		11a	0	0	0	0	2	1	2	1				
		12	1	1	2	0	0	0	2	0				
2	4	13	2	0	1	1	-1	1	0	2				
		14a	1	0	0	-2	1	-1	1	-3				
		14	0	-1	2	1	0	1	2	2				
жа	Поверх	Назва марки	30.03.2020				27.04.2020				27.05.2020			
			Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм		Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм		Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм	
			ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$	ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$	ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$
1	3	11	-1	2	0	3	1	0	1	3	1	1	2	4
		11a	-1	1	1	2	-2	-2	-1	0	-1	1	-2	1
		12	-1	0	1	0	-2	-1	-1	-1	0	0	-1	-1
	11	21(нова)	0	0	0	0	1	1	1	1	2	4	2	3
		22(нова)	0	0	0	0	-3	-2	-3	1	-1	-1	-3	-1
2	4	13	-1	-1	-1	1	-1	-1	-2	0	0	1	-2	1
		14a	0	1	1	-2	знищена				знищена			
	14	-1	0	1	2	-2	1	-1	3	1	1	0	4	
	11	23(нова)	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	2	0	1
24(нова)		0	0	0	0	-2	0	-2	0	1	3	-1	3	

втій напрям осі X спрямовано по зростанню буквених осей
втій напрям осі Y спрямовано по зростанню цифрових осей

Продовження таблиці 3.2.1.

Вежа	Поверх	Назва марки	25.06.2020				24.07.2020				28.08.2020			
			Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм		Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм		Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм	
			ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$	ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$	ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$
1	3	11	-2	1	0	5	2	-3	2	2	0	1	2	3
		11a	0	0	-2	1	знищена							
		12	-2	2	-3	1	3	-3	0	-2	1	0	1	-2
	11	21(нова)	-3	-1	-1	2	-1	-3	-2	-1	0	1	-2	0
		22(нова)	1	0	-2	-1	4	-3	2	-4	0	1	2	-3
	15	31(нова)	-				встановлені				0	4	0	4
	32(нова)									0	-1	0	-1	
2	4	13	-1	0	-3	1	0	0	-3	1	0	0	-3	1
		14a	знищена				знищена				знищена			
		14	1	0	1	4	-1	-2	0	2	0	1	0	3
	11	23(нова)	0	3	0	4	-2	-2	-2	2	1	0	-1	2
		24(нова)	2	0	1	3	-3	0	-2	3	-2	0	-4	3
	14	33(нова)	-				встановлені				-3	2	-3	2
		34(нова)									-1	3	-1	3

Вежа	Поверх	Назва марки	30.09.2020			
			Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм	
			ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$
1	3	11	-1	1	1	4
		11a	,			
		12	0	1	1	-1
	11	21(нова)	-1	3	-3	3
		22(нова)	0	-1	2	-4
15	31(нова)	0	-1	0	3	
	32(нова)	1	-2	1	-3	
2	4	13	0	0	-3	1
		14a	знищена			
		14	-2	-1	-2	2
	11	23(нова)	1	1	0	3
		24(нова)	0	-1	-4	2
14	33(нова)	2	-3	-1	-1	
	34(нова)	2	-1	1	2	

Продовження таблиці 3.2.1.

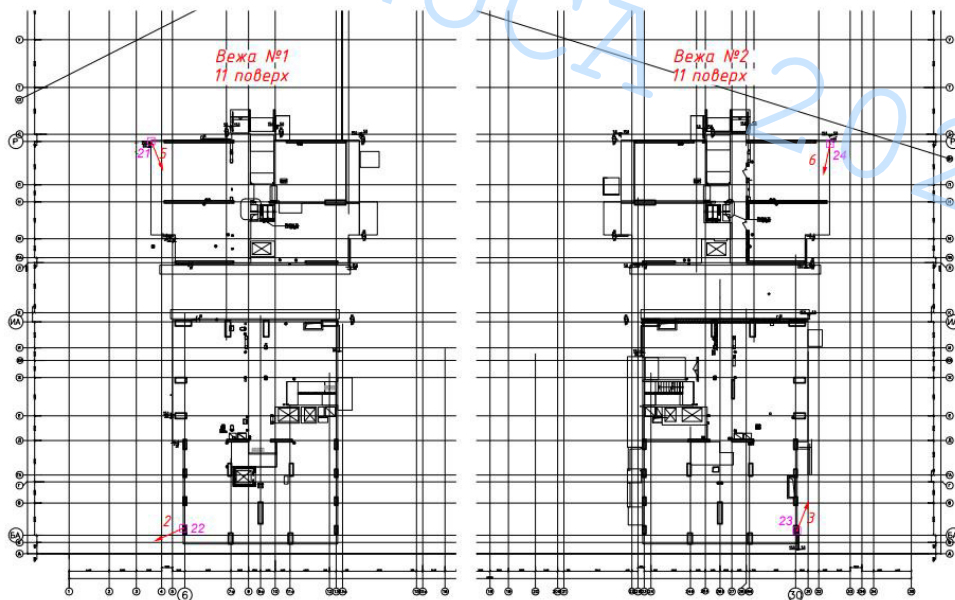
Вежа	Поверх	Назва марки	28.10.2020				17.11.2020				11.12.2020			
			Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм		Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм		Переміщення, мм		Сум. переміщення, мм	
			ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$	ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$	ΔX	ΔY	$\Sigma \Delta X$	$\Sigma \Delta Y$
1	3	11	0	0	1	4	-2	1	-1	5	-2	-1	-3	4
		11a	знищена				знищена				знищена			
		12	0	-1	1	-2	2	1	3	-1	-2	1	1	0
	11	21	1	-2	-2	1	-2	-1	-4	0	-1	2	-5	2
		22	0	-1	2	-5	0	0	2	-5	-3	3	-1	-2
	15	31	-4	0	-4	3	-1	1	-5	4	-1	1	-6	5
32		0	3	1	0	0	-1	1	-1	-1	2	0	1	
2	4	13	1	-1	-2	0	1	-1	-1	-1	2	2	1	1
		14a	знищена				знищена				знищена			
		14	-2	-2	-4	0	2	-1	-2	-1	-2	0	-4	-1
	11	23	0	-3	0	0	0	3	0	0	3	1	3	1
		24	-1	-2	-5	0	-3	-1	-4	-3	-2	1	-6	-2
	14	33	3	0	2	-1	0	0	3	0	-1	0	2	0
		34	-3	-3	-2	-1	1	2	-2	-1	0	-1	-2	-2
	19	43(нова)	встановлена				3	-1	3	-1	3	0	6	-1
44(нова)		встановлена				0	-1	0	-1	-1	0	-1	-1	

Додатній напрям осі X спрямовано по зростанню буквених осей
Додатній напрям осі Y спрямовано по зростанню цифрових осей



Умовні позначення
 □ 11 деформаційна марка
 → 2 сумарне горизонтальне переміщення, мм

Рисунок 3.2.1 Схема сумарних горизонтальних переміщень деформаційних марок, розташованих на марках 11-12-13-14 у період з 19.09.2019 по 11.12.2020



Умовні позначення
 □ 21 деформаційна марка
 → 2 сумарне горизонтальне переміщення, мм

Рисунок 3.2.2 Схема сумарних горизонтальних переміщень деформаційних марок, розташованих на марках 21-22-23-24 у період з 19.09.2019 по 11.12.2020

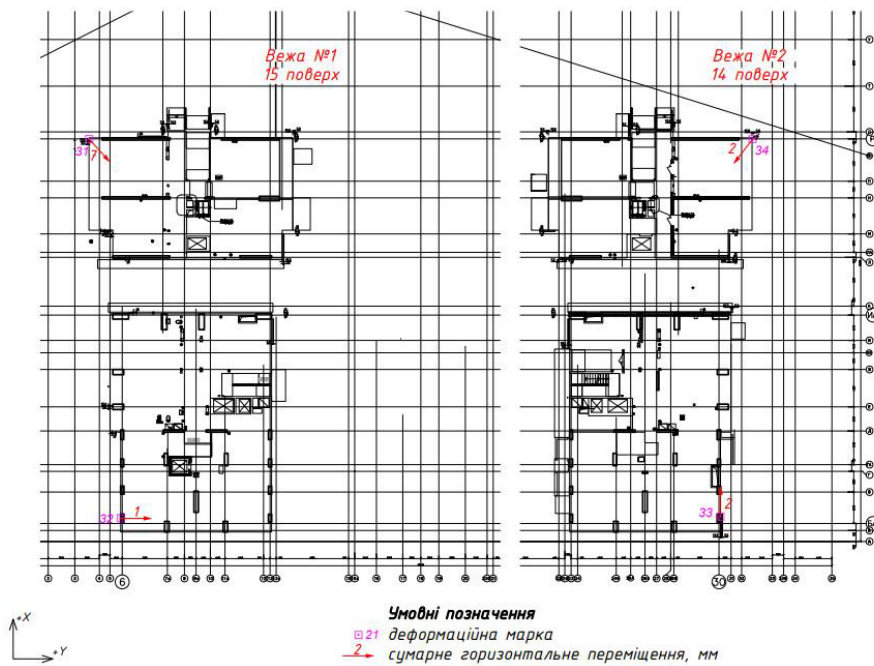


Рисунок 3.2.3 Схема сумарних горизонтальних переміщень деформаційних марок, розташованих на марках 31-32-33-34 у період з 19.09.2019 по 11.12.2020

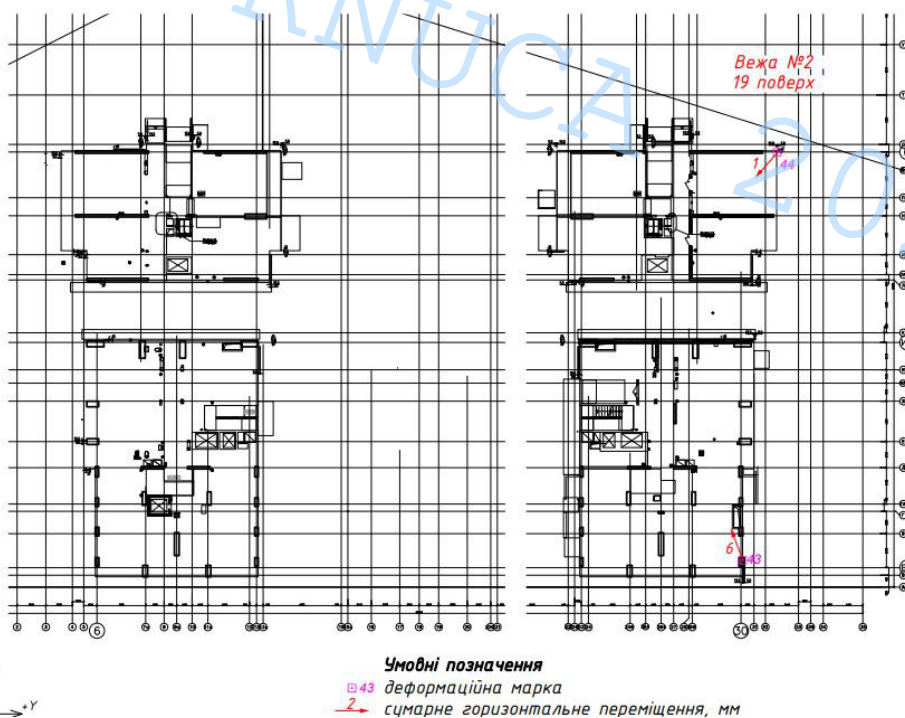


Рисунок 3.2.4 Схема сумарних горизонтальних переміщень деформаційних марок, розташованих на марках 43-44 у період з 19.09.2019 по 11.12.2020

Для визначення крену будівлі ми поділили роботу на два основні періоди.

Перший період:

У цьому періоді було проведено п'ять циклів спостережень, включаючи початковий, на деформаційних марках 11–12 (третій поверх), 13–14 (четвертий поверх) та 21–24 (одинадцятий поверх). Перший цикл відбувся **30 березня 2020 року**, а останній — **24 липня 2020 року**. За цей час максимальний крен склав **4 мм** і був зафіксований на марці **11** (третій поверх) у південно-західному напрямку. Значення крену інших марок варіювалися від **0 до 3 мм**.

Другий період:

У другому періоді також було здійснено п'ять циклів спостережень. Перший цикл розпочався **28 серпня 2020 року**, а останній завершився **11 грудня 2020 року**. Максимальний крен за цей період становив **3 мм** і був зафіксований на марці **31** (п'ятнадцятий поверх) у південно-східному напрямку та на марці **43** (дев'ятнадцятий поверх) у північно-західному напрямку. Крен інших марок коливався в межах **1–2 мм**.

Крім того, з **28 серпня 2020 року** було встановлено шість нових деформаційних марок (**31, 32, 33, 34, 43, 44**), для яких було проведено початковий цикл спостережень. Результати змін крену будівлі представлені в таблиці **2.4.2**.

Таблиці 3.2.2.

Відомість змін кренів будівлі з 30.03.2020 по 11.12.2020.

Створ	Поверх	Назва марки	30.03.2020 (початковий)		27.04.2020		27.05.2020			
			Зміна крену, мм		Зміна крену, мм		Зміна крену, мм		Сумарна зміна крену, мм	
			ΔQX	ΔQY	ΔQX	ΔQY	ΔQX	ΔQY	$\Sigma \Delta QX$	$\Sigma \Delta QY$
1	3	11	0	0	0	1	0	1	0	2
	11	21								
2	3	12	0	0	-1	-1	0	1	-1	0
	11	22								
3	4	13	0	0	1	0	0	1	1	1
	11	23								
4	4	14	0	0	0	-1	-1	2	-1	1
	11	24								

Створ	Поверх	Назва марки	25.06.2020				24.07.2020			
			Зміна крену, мм		Сумарна зміна		Зміна крену, мм		Сумарна зміна	
			ΔQX	ΔQY	$\Sigma \Delta QX$	$\Sigma \Delta QY$	ΔQX	ΔQY	$\Sigma \Delta QX$	$\Sigma \Delta QY$
1	3	11	-1	-2	-1	0	-3	-3	-4	-3
	11	21								
2	3	12	2	-2	1	-2	1	0	2	-2
	11	22								
3	4	13	1	1	2	2	-1	-1	1	1
	11	23								
4	4	14	0	-2	-1	-1	-1	2	-2	1
	11	24								

Продовження таблиці 3.2.2.

Створ	Поверх	Назва марки	28.08.2020				30.09.2020			
			Зміна крену, мм		Сумарна зміна		Зміна крену, мм		Сумарна зміна	
			ΔQX	ΔQY	$\Sigma \Delta QX$	$\Sigma \Delta QY$	ΔQX	ΔQY	$\Sigma \Delta QX$	$\Sigma \Delta QY$
1	3	11					0	0	0	0
	11	21	0	0	-4	-3	0	2	-4	-1
	15	31	-2	1	-2	1	-1	-1	-3	0
2	3	12					0	0	0	0
	11	22	-1	1	1	-1	0	-2	1	-3
	15	32	-1	1	-1	1	0	-2	-1	-1
3	4	13					0	0	0	0
	11	23	1	0	2	1	1	1	3	2
	14	33	0	1	0	1	2	-2	2	-1
4	4	14					0	0	0	0
	11	24	-2	-1	-4	0	2	0	-2	0
	14	34	-1	0	-1	0	1	-1	0	-1

Продовження таблиці 3.2.2.

Створ	Поверх	Назва марки	28.10.2020				17.11.2020			
			Зміна крену, мм		Сумарна зміна		Зміна крену, мм		Сумарна зміна	
			ΔQX	ΔQY	$\Sigma \Delta QX$	$\Sigma \Delta QY$	ΔQX	ΔQY	$\Sigma \Delta QX$	$\Sigma \Delta QY$
1	3	11								
	11	21	1	1	-3	0	0	-2	-3	-2
	15	31	0	1	-3	1	1	0	-2	1
2	3	12								
	11	22	1	0	2	-3	-2	-1	0	-4
	15	32	1	1	0	0	-2	-2	-2	-2
3	4	13								
	11	23	-2	-1	1	1	-1	1	0	2
	14	33	-1	1	1	0	0	2	1	2
	19	43	встановлена				2	0	0	0
4	4	14	0	0	0	0				
	11	24	2	2	0	2	-1	-2	-1	0
	14	34	2	2	2	1	-2	1	0	2
	19	44	встановлена				-2	0	-2	0

Створ	Поверх	Назва марки	11.12.2020			
			Зміна крену, мм		Сумарна зміна	
			ΔQX	ΔQY	$\Sigma \Delta QX$	$\Sigma \Delta QY$
1	3	11				
	11	21	1	3	-2	1
	15	31	1	2	-1	3
2	3	12				
	11	22	-1	2	-1	-2
	15	32	1	1	-1	-1
3	4	13				
	11	23	1	-1	1	1
	14	33	-3	-2	-2	0
	19	43	1	-2	3	-2
4	4	14				
	11	24	0	1	-1	1
	14	34	2	-1	2	1
	19	44	1	0	-1	0

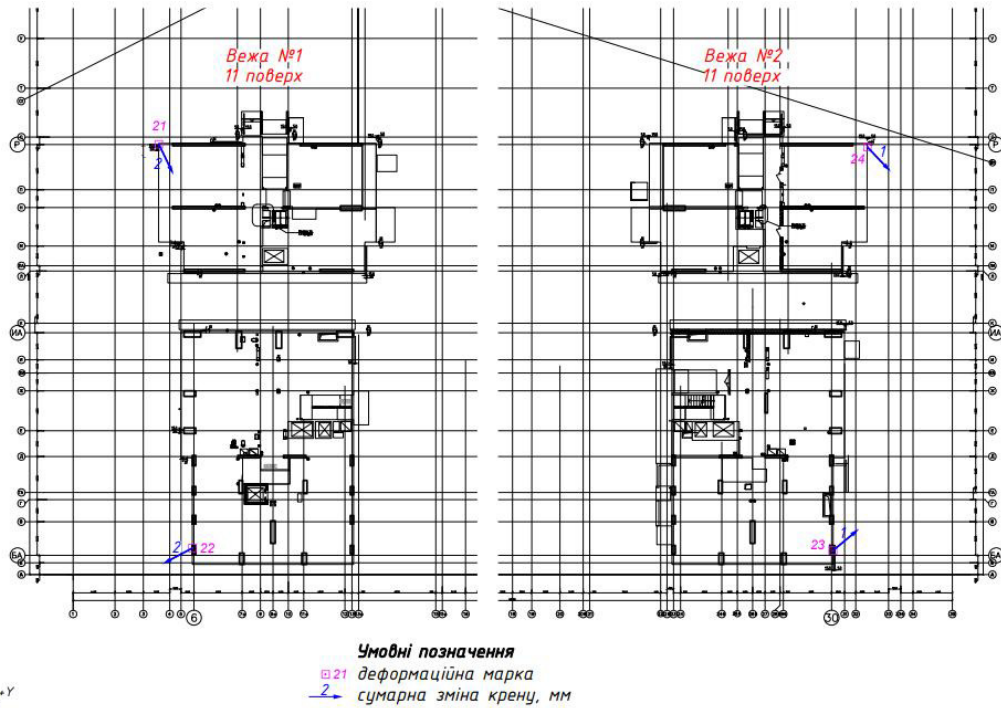


Рисунок 3.2.5. Схема сумарних змін кренів веж №1,2 на рівні 11 поверху з 30.03.2020 по 11.12.2020

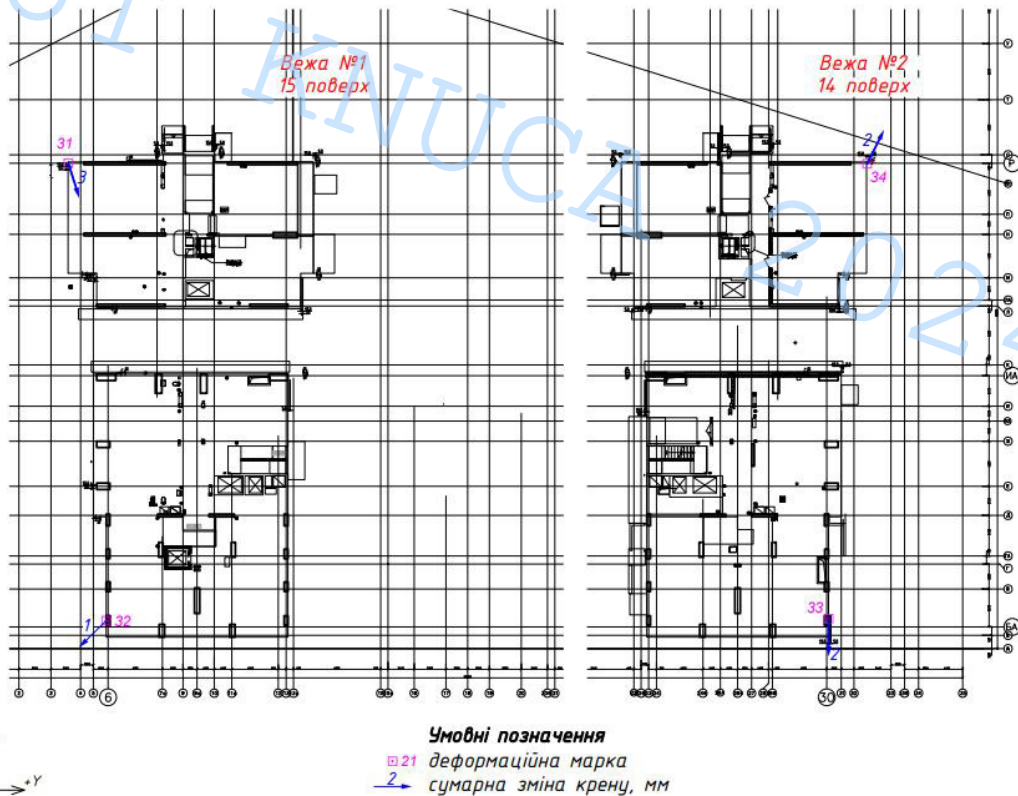
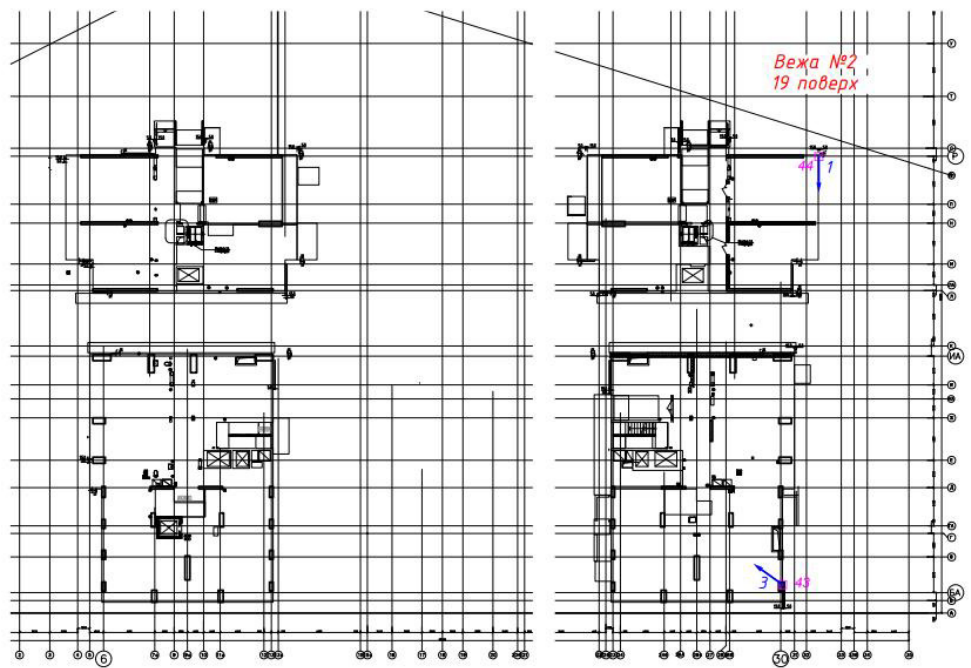


Рисунок 3.2.6. Схема сумарних змін кренів веж №1,2 на рівні 15 поверху вежі №1 та рівні 14 поверху вежі №2 з 24.07.2020 по 11.12.2020



Умовні позначення
 □ 43 деформаційна марка
 → 2 сумарна зміна крену, мм

Рисунок 3.2.7. Схема сумарних змін кренів вежі №2 на рівні 19 поверху вежі №2 з 28.10.2020 по 11.12.2020

GISUT KNUCA 2024

3.3 Аналіз вертикальних деформацій висотної споруди

Після вирівнювання результатів нівелювання були отримані позначки деформаційних марок, які порівнювалися між собою в кожному циклі. Перший цикл спостережень проведено **19.09.2019 року**, останній — **11.12.2020 року**.

Для зручнішого аналізу вертикальних деформацій (осідань) сходів було вирішено розділити всі 14 деформаційних марок на три групи. До першої групи увійшли марки №1–6.

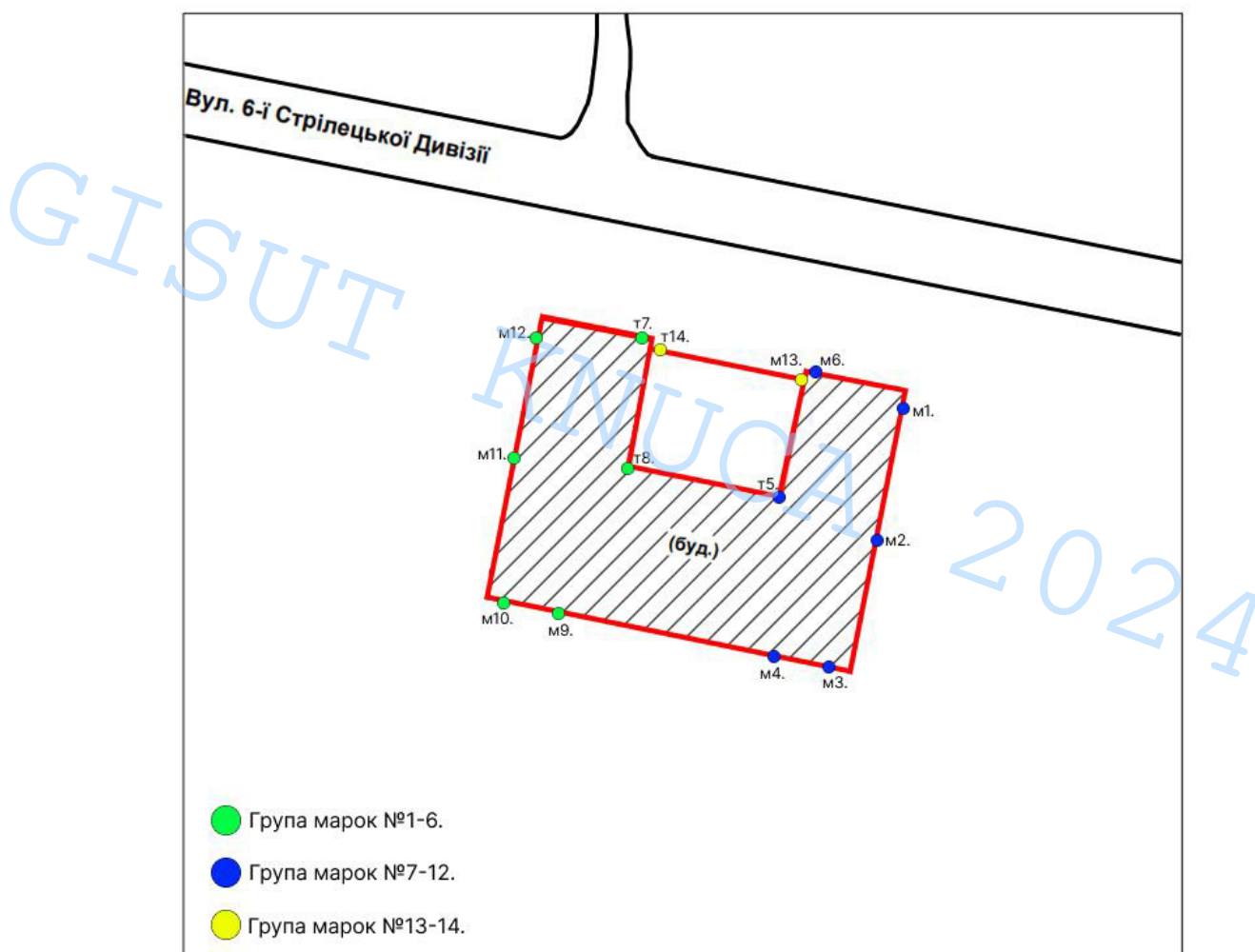


Рисунок 3.3.1 Розташування груп деформаційних марок на плані.

Таблиця 3.3.1

**Відомість зміни положення деформаційних марок, що встановлені на
будівельних конструкціях Вежі 1**

Назва марки	19.09.2019		24.10.2019		21.11.2019			18.12.2019		
	Позначка, м	Початковий цикл, Δh, мм	Позначка, м	Δh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
1	101.3974	0	101.3969	-0.5	101.3958	-1.1	-1.6	101.3958	0.0	-1.6
2	101.5511	0	101.5501	-1.0	101.5491	-1.0	-2.0	101.5481	-1.0	-3.0
3	101.6215	0	101.6215	0.0	101.6206	-0.9	-0.9	101.6199	-0.7	-1.6
4	101.5376	0	101.5367	-0.9	101.5364	-0.3	-1.2	101.5357	-0.7	-1.9
5	101.5852	0	101.5841	-1.1	101.5825	-1.6	-2.7	101.5818	-0.7	-3.4
6	101.5644	0	101.5636	-0.8	101.5631	-0.5	-1.3	101.5622	-0.9	-2.2
Середнє значення, мм				-0.7		-0.9	-1.6		-0.7	-2.3

Назва марки	14.01.2020			12.02.2020			30.03.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
1	101.3955	-0.3	-1.9	101.3945	-1.0	-2.9	101.3928	-1.7	-4.6
2	101.5473	-0.8	-3.8	101.5465	-0.8	-4.6	101.5450	-1.5	-6.1
3	101.6189	-1.0	-2.6	101.6185	-0.4	-3.0	101.6179	-0.6	-3.6
4	101.5347	-1.0	-2.9	101.5340	-0.7	-3.6	101.5336	-0.4	-4.0
5	101.5811	-0.7	-4.1	101.5796	-1.5	-5.6	101.5786	-1.0	-6.6
6	101.5613	-0.9	-3.1	101.5603	-1.0	-4.1	101.5598	-0.5	-4.6
Середнє значення, м		-0.8	-3.1		-0.9	-4.0		-1.0	-4.9

Назва марки	27.04.2020			27.05.2020			25.06.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
1	101.3928	0.0	-4.6	101.3918	-1.0	-5.6	101.3917	-0.1	-5.7
2	101.5444	-0.6	-6.7	101.5428	-1.6	-8.3	101.5426	-0.2	-8.5
3	101.6173	-0.6	-4.2	101.6163	-1.0	-5.2	101.6163	0.0	-5.2
4	101.5336	0.0	-4.0	101.5308	-2.8	-6.8	101.5308	0.0	-6.8
5	101.5777	-0.9	-7.5	101.5754	-2.3	-9.8	101.5754	0.0	-9.8
6	101.5598	0.0	-4.6	101.5591	-0.7	-5.3	101.5590	-0.1	-5.4
Середнє значення, м		-0.3	-5.3		-1.6	-6.8		-0.1	-6.9

Назва марки	24.07.2020			28.08.2020			30.09.2020		
	Позначка, м	Δh , мм	$\Sigma \Delta h$, мм	Позначка, м	Δh , мм	$\Sigma \Delta h$, мм	Позначка, м	Δh , мм	$\Sigma \Delta h$, мм
1	101.3911	-0.6	-6.3	101.3910	-0.1	-6.4	101.3903	-0.7	-7.1
2	101.5420	-0.6	-9.1	101.5409	-1.1	-10.2	101.5400	-0.9	-11.1
3	101.6161	-0.2	-5.4	101.6154	-0.7	-6.1	101.6154	0.0	-6.1
4	101.5308	0.0	-6.8	101.5300	-0.8	-7.6	101.5300	0.0	-7.6
5	101.5746	-0.8	-10.6	101.5729	-1.7	-12.3	101.5720	-0.9	-13.2
6	101.5585	-0.5	-5.9	101.5577	-0.8	-6.7	101.5568	-0.9	-7.6
Середнє значення, м		-0.4	-7.4		-0.9	-8.2		-0.6	-8.8

Назва марки	28.10.2020			17.11.2020			11.12.2020		
	Позначка, м	Δh , мм	$\Sigma \Delta h$, мм	Позначка, м	Δh , мм	$\Sigma \Delta h$, мм	Позначка, м	Δh , мм	$\Sigma \Delta h$, мм
1	101.3899	-0.4	-7.5	101.3899	0.0	-7.5	101.3899	0.0	-7.5
2	101.5382	-1.8	-12.9	101.5382	0.0	-12.9	101.5374	-0.8	-13.7
3	101.6154	0.0	-6.1	101.6154	0.0	-6.1	101.6151	-0.3	-6.4
4	101.5300	0.0	-7.6	101.5300	0.0	-7.6	101.5294	-0.6	-8.2
5	101.5712	-0.8	-14.0	101.5703	-0.9	-14.9	101.5692	-1.1	-16.0
6	101.5556	-1.2	-8.8	101.5556	0.0	-8.8	101.5548	-0.8	-9.6
Середнє значення, м		-0.7	-9.5		-0.1	-9.6		-0.6	-10.2

У першій групі максимальне осідання зафіксовано **10.12.2020 року** на марках №2 (-13,7 мм) та №5 (-16,0 мм). Осідання інших марок варіюється від -6,4 до -9,6 мм. Графік осідань представлений на рисунку 3.2.1.

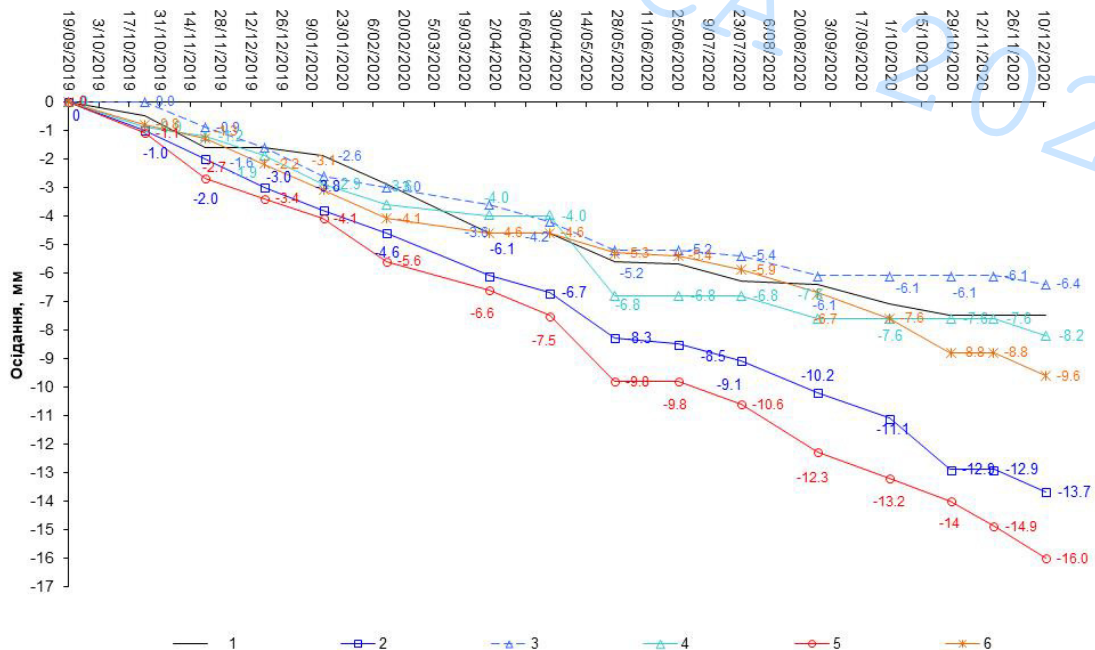


Рисунок 3.3.2 Графік осідань деформаційних марок, розміщених на будівельних конструкціях Вежі 1

- До другої групи увійшли марки №7-12.

Таблиця 3.3.2

Відомість зміни положення деформаційних марок, що встановлені на будівельних конструкціях Вежі 2

Назва марки	19.09.2019		24.10.2019		21.11.2019			18.12.2019		
	Позначка, м	Початковий цикл, Δh, мм	Позначка, м	Δh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
7	101.3803	0	101.3792	-1.1	101.3792	0.0	-1.1	101.3780	-1.2	-2.3
8	101.3900	0	101.3889	-1.1	101.3874	-1.5	-2.6	101.3867	-0.7	-3.3
9	101.4624	0	101.4620	-0.4	101.4616	-0.4	-0.8	101.4612	-0.4	-1.2
10	101.4548	0	101.4548	0.0	101.4540	-0.8	-0.8	101.4538	-0.2	-1.0
11	101.4428	0	101.4421	-0.7	101.4409	-1.2	-1.9	101.4402	-0.7	-2.6
12	101.4466	0	101.4458	-0.8	101.4456	-0.2	-1.0	101.4446	-1.0	-2.0
Середнє значення, мм				-0.7		-0.7	-1.4		-0.7	-2.1

Назва марки	14.01.2020			12.02.2020			30.03.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
7	101.3780	0.0	-2.3	101.3766	-1.4	-3.7	101.3748	-1.8	-5.5
8	101.3863	-0.4	-3.7	101.3846	-1.7	-5.4	101.3834	-1.2	-6.6
9	101.4606	-0.6	-1.8	101.4596	-1.0	-2.8	101.4591	-0.5	-3.3
10	101.4538	0.0	-1.0	101.4523	-1.5	-2.5	101.4519	-0.4	-2.9
11	101.4397	-0.5	-3.1	101.4383	-1.4	-4.5	101.4373	-1.0	-5.5
12	101.4446	0.0	-2.0	101.4435	-1.1	-3.1	101.4420	-1.5	-4.6
Середнє значення, м		-0.3	-2.3		-1.4	-3.7		-1.1	-4.7

Назва марки	27.04.2020			27.05.2020			25.06.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
7	101.3748	0.0	-5.5	101.3728	-2.0	-7.5	101.3728	0.0	-7.5
8	101.3834	0.0	-6.6	101.3807	-2.7	-9.3	101.3807	0.0	-9.3
9	101.4591	0.0	-3.3	101.4572	-1.9	-5.2	101.4572	0.0	-5.2
10	101.4519	0.0	-2.9	101.4509	-1.0	-3.9	101.4509	0.0	-3.9
11	101.4370	-0.3	-5.8	101.4349	-2.1	-7.9	101.4349	0.0	-7.9
12	101.4420	0.0	-4.6	101.4401	-1.9	-6.5	101.4401	0.0	-6.5
Середнє значення, м		0.0	-4.8		-1.9	-6.7		0.0	-6.7

Назва марки	24.07.2020			28.08.2020			30.09.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
7	101.3728	0.0	-7.5	101.3726	-0.2	-7.7	101.3724	-0.2	-7.9
8	101.3801	-0.6	-9.9	101.3796	-0.5	-10.4	101.3792	-0.4	-10.8
9	101.4572	0.0	-5.2	101.4567	-0.5	-5.7	101.4562	-0.5	-6.2
10	101.4509	0.0	-3.9	101.4504	-0.5	-4.4	101.4501	-0.3	-4.7
11	101.4349	0.0	-7.9	101.4346	-0.3	-8.2	101.4341	-0.5	-8.7
12	101.4401	0.0	-6.5	101.4397	-0.4	-6.9	101.4393	-0.4	-7.3
Середнє значення, м		-0.1	-6.8		-0.4	-7.2		-0.4	-7.6

Назва марки	28.10.2020			17.11.2020			11.12.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
7	101.3724	0.0	-7.9	101.3720	-0.4	-8.3	101.3708	-1.2	-9.5
8	101.3792	0.0	-10.8	101.3792	0.0	-10.8	101.3792	0.0	-10.8
9	101.4561	-0.1	-6.3	101.4561	0.0	-6.3	101.4556	-0.5	-6.8
10	101.4501	0.0	-4.7	101.4488	-1.3	-6.0	101.4481	-0.7	-6.7
11	101.4323	-1.8	-10.5	101.4307	-1.6	-12.1	101.4296	-1.1	-13.2
12	101.4390	-0.3	-7.6	101.4388	-0.2	-7.8	101.4381	-0.7	-8.5
Середнє значення, м		-0.4	-8.0		-0.6	-8.6		-0.7	-9.3

У другій групі марок максимальне осідання було зафіксовано за 10.12.2020, на марках №8 (-10.8 мм), №11 (-13.2 мм). Осідання інших марок коливається від -6.7 до -9.5 мм. Графік осідань зображено на рисунку 3.2.2.

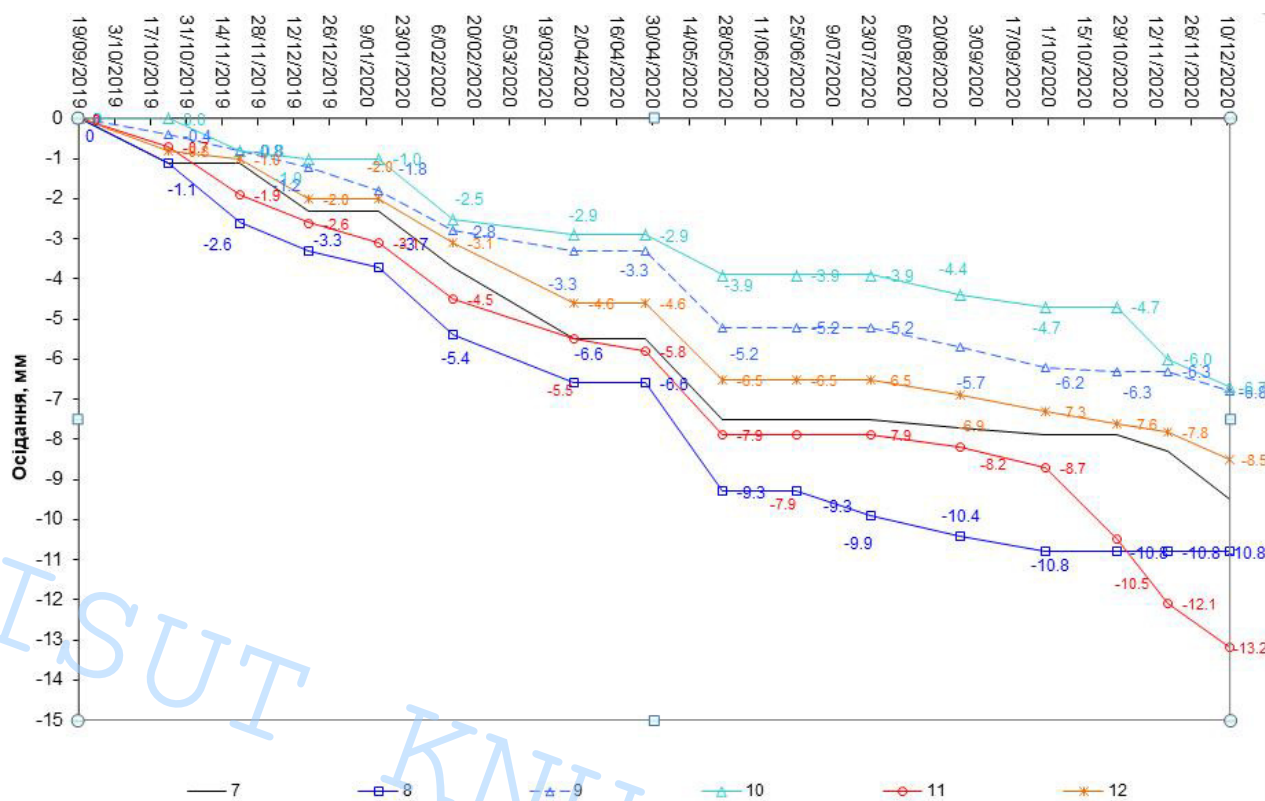


Рисунок 3.3.3 Графік осідань деформаційних марок, розміщених на будівельних конструкціях Вежі 2

- До третьої групи увійшли марки №13-14.

Таблиця 3.3.3

Відомість зміни положення деформаційних марок, що встановлені на будівельних конструкціях паркінгу об'єкта будівництва.

Назва марки	19.09.2019			24.10.2019		21.11.2019			18.12.2019		
	Позначка, м	Початковий цикл, дн, мм	Δh, мм	Позначка, м	Δh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
13	101.5761	0	-1.1	101.5750	-1.1	101.5747	-0.3	-1.4	101.5742	-0.5	-1.9
14	101.4567	0	-1.1	101.4556	-1.1	101.4555	-0.1	-1.2	101.4546	-0.9	-2.1
Середнє значення, мм				-1.1		-0.2		-1.3		-0.7	-2.0

Назва марки	14.01.2020			12.02.2020			30.03.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
13	101.5732	-1.0	-2.9	101.5724	-0.8	-3.7	101.5713	-1.1	-4.8
14	101.4546	0.0	-2.1	101.4536	-1.0	-3.1	101.4526	-1.0	-4.1
Середнє значення, м			-0.5	-2.5	-0.9	-3.4	-1.0	-4.4	

Назва марки	27.04.2020			27.05.2020			25.06.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
13	101.5713	0.0	-4.8	101.5698	-1.5	-6.3	101.5698	0.0	-6.3
14	101.4526	0.0	-4.1	101.4511	-1.5	-5.6	101.4511	0.0	-5.6
Середнє значення, м			0.0	-4.4	-1.5	-5.9	0.0	-5.9	

Назва марки	24.07.2020			28.08.2020			30.09.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
13	101.5694	-0.4	-6.7	101.5689	-0.5	-7.2	101.5685	-0.4	-7.6
14	101.4511	0.0	-5.6	101.4507	-0.4	-6.0	101.4501	-0.6	-6.6
Середнє значення, м			-0.2	-6.1	-0.5	-6.6	-0.5	-7.1	

Назва марки	28.10.2020			17.11.2020			11.12.2020		
	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм	Позначка, м	Δh, мм	ΣΔh, мм
13	101.5685	0.0	-7.6	101.5684	-0.1	-7.7	101.5683	-0.1	-7.8
14	101.4501	0.0	-6.6	101.4499	-0.2	-6.8	101.4496	-0.3	-7.1
Середнє значення, м			0.0	-7.1	-0.2	-7.2	-0.2	-7.4	

У третій групі марок максимальне осідання було зафіксовано за 10.12.2020 №13 (-7.8 мм), №14 (-7.1 мм). Графік осідань зображено на рисунку 3.3.4.

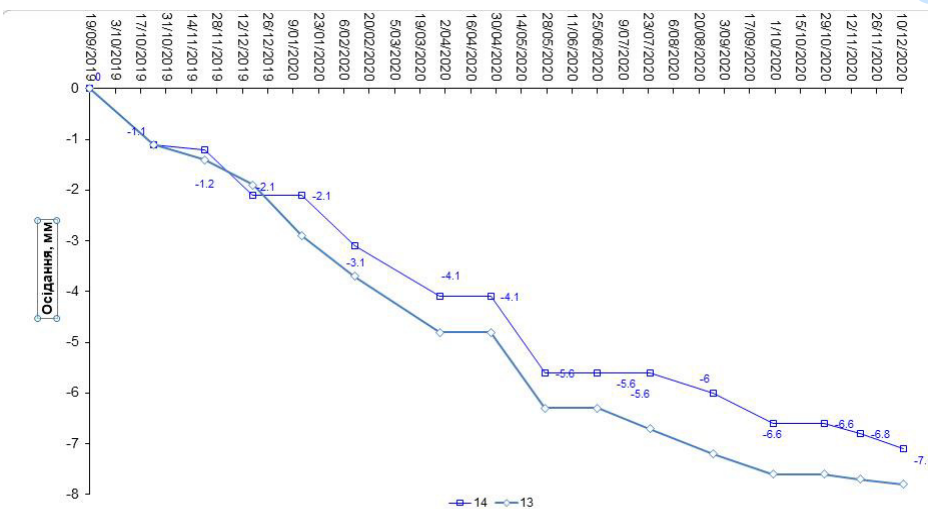
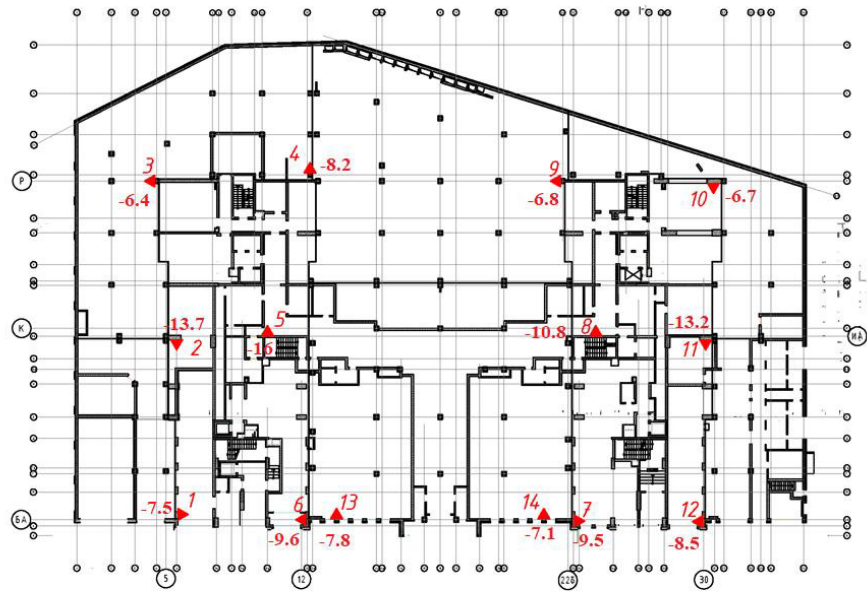


Рисунок 3.3.4 Графік осідань деформаційних марок, розміщених на будівельних конструкціях паркінгу об'єкта будівництва

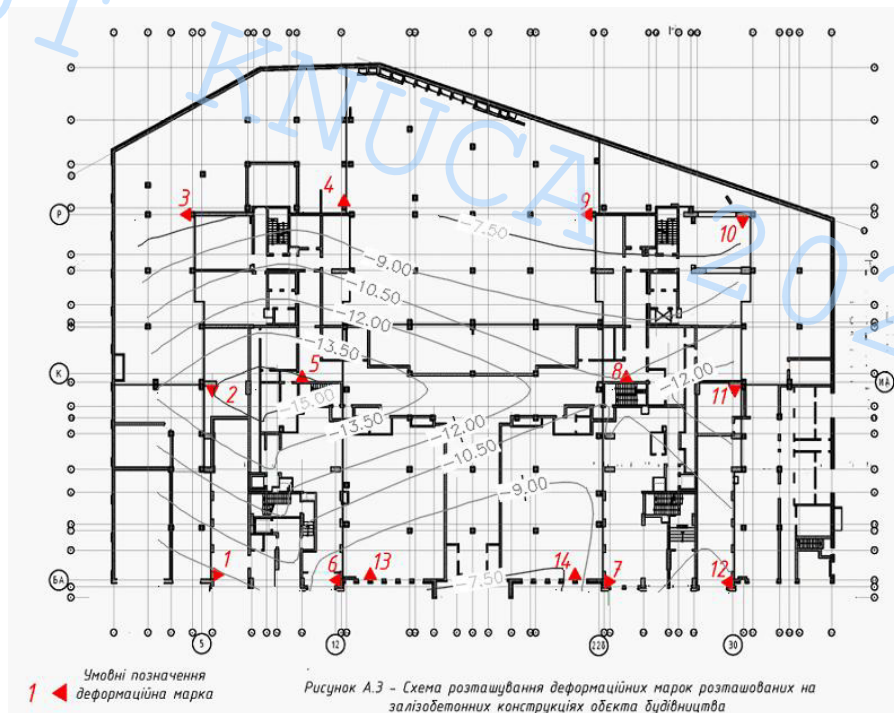
Абсолютні осідання марок та відносні нерівномірності осідання марок, які відбулися за 15 місяців, були винесені на схему 3.2.4.



Умовні позначення
деформаційна марка

Рисунок А.3 - Схема розташування деформаційних марок розташованих на залізобетонних конструкціях об'єкта будівництва

Рисунок 3.3.5 Схема кривих рівних осідань фундаментів споруди



Умовні позначення
деформаційна марка

Рисунок А.3 - Схема розташування деформаційних марок розташованих на залізобетонних конструкціях об'єкта будівництва

Рисунок 3.3.6 Схема горизонталі осідань споруди

Після аналізу проведених нами вимірювань деформацій споруди було встановлено, що найбільші значення осідання будівлі спостерігаються в середині по осі Y на марках 2, 5, 8 та 11.

3.4 Дослідження стабільності висотного положення опорних реперів висотної мережі.

Вимірювання деформацій споруди виконувалось протягом 15 місяців. Як було описано вище, якості вихідних пунктів використовувалось 3 репера, закріплених поза зоною можливих деформацій. Проте, тривай час споретрежень вимагає проведення досліджень щодо визначення стійкості вихідних пунктів. Таким чином гами було вирішено виконати дослідження стійкості пунктів методами А. Костехеля та методом Ботяна Г. К.

3.4.1 Метод А. Костехеля

За методом Костехеля [19 - 21] висоти вихідних реперів протягом всього циклу спостережень повинні зберігатись. Будь-яка зміна перевищень між реперами може бути викликана тільки зміною висот цих реперів, за умови вирівнювання нівелірної мережі як вільної, без вихідних пунктів.

Припустимо, що h_1 – вирівняне перевищення між реперами в 1 циклі вимірювань, тоді h_n – вирівняне перевищення між реперами в n циклі вимірювань. Тоді визначемо різницю перевищень між реперами:

$$v = h_n - h_1 \quad (3.4.1)$$

Такі обчислення необхідно виконати для кожного репера, приймаючи його висоту як вихідну. Репер, сума квадратів різниць перевищень якого буде мінімальною є найстабільнішим.

Виконаємо обчислення для трьох вихідних реперів Rp1, Rp2 та Rp3.

Визначені вирівняні перевищення між реперами занесемо у табл. 3.4.1

Табл. 3.4.1

Перевищення, м № циклу	Rp1 – Rp2	Rp1 – Rp3	Rp2 – Rp3	Rp2 – Rp1	Rp3 – Rp1	Rp3 – Rp2
1	0.9478	3.6657	2.7179	-0.9478	-3.6657	-2.7179
2	0.9477	3.6634	2.7157	-0.9477	-3.6634	-2.7157
3	0.9475	3.6629	2.7154	-0.9475	-3.6629	-2.7154
4	0.9477	3.6627	2.7150	-0.9477	-3.6627	-2.7150
5	0.9477	3.6626	2.7149	-0.9477	-3.6626	-2.7149
6	0.9477	3.6626	2.7149	-0.9477	-3.6626	-2.7149
7	0.9477	3.6624	2.7147	-0.9477	-3.6624	-2.7147

Продовження таблиці 3.4.1

Перевищення, м № циклу	$Rp1 - Rp2$	$Rp1 - Rp3$	$Rp2 - Rp3$	$Rp2 - Rp1$	$Rp3 - Rp1$	$Rp3 - Rp2$
8	0.9477	3.6624	2.7147	-0.9477	-3.6624	-2.7147
9	0.9477	3.6624	2.7147	-0.9477	-3.6624	-2.7147
10	0.9477	3.6624	2.7147	-0.9477	-3.6624	-2.7147
11	0.9477	3.6624	2.7147	-0.9477	-3.6624	-2.7147
12	0.9475	3.6625	2.7148	-0.9475	-3.6625	-2.7148
13	0.9475	3.6625	2.7148	-0.9475	-3.6625	-2.7148
14	0.9477	3.6624	2.7147	-0.9477	-3.6624	-2.7147
15	0.9477	3.6624	2.7147	-0.9477	-3.6624	-2.7147

Значення відхилень показано у табл. 3.4.2

Табл. 3.4.2

№ циклів	$Rp1 - Rp2$	$Rp1 - Rp3$	$Rp2 - Rp3$	$Rp2 - Rp1$	$Rp3 - Rp1$	$Rp3 - Rp2$
1-2	0.0001	0.0023	0.0022	-0.0001	-0.0023	-0.0022
1-3	0.0003	0.0028	0.0025	-0.0003	-0.0028	-0.0025
1-4	0.0001	0.0030	0.0029	-0.0001	-0.0030	-0.0029
1-5	0.0001	0.0031	0.0030	-0.0001	-0.0031	-0.0030
1-6	0.0001	0.0031	0.0030	-0.0001	-0.0031	-0.0030
1-7	0.0001	0.0033	0.0032	-0.0001	-0.0033	-0.0032
1-8	0.0001	0.0033	0.0032	-0.0001	-0.0033	-0.0032
1-9	0.0001	0.0033	0.0032	-0.0001	-0.0033	-0.0032
1-10	0.0001	0.0033	0.0032	-0.0001	-0.0033	-0.0032
1-11	0.0001	0.0033	0.0032	-0.0001	-0.0033	-0.0032
1-12	0.0003	0.0032	0.0031	-0.0003	-0.0032	-0.0031
1-13	0.0003	0.0032	0.0031	-0.0003	-0.0032	-0.0031
1-14	0.0001	0.0033	0.0032	-0.0001	-0.0033	-0.0032
1-15	0.0001	0.0033	0.0032	-0.0001	-0.0033	-0.0032

Визначимо сумму квадратів відхилень для кожного репера. Результати обчислень занесемо у табл. 3.4.3

Табл. 3.4.3

№ репера	$Rp1$	$Rp2$	$Rp3$
v^2	0,0001384	0,0001288	0,0002665

Таким чином, самим стабільним репером є репер $Rp2$. Цей репер прийнято за вихідний ку подальших розрахунках. Визначимо висоти двох інших реперів відносно реперу $Rp2$. Результати обчислень занесемо у табл. 3.4.4.

Табл. 3.4.4

№ циклу	H_{Rp1}	H_{Rp3}
1	228.8372	243.5029
2	228.8373	243.5007
3	228.8375	243.5004
4	228.8373	243.5000
5	228.8373	243.4999
6	228.8373	243.4999
7	228.8373	243.4997
8	228.8373	243.4997
9	228.8373	243.4997
10	228.8373	243.4997
11	228.8373	243.4997
12	228.8375	243.4998
13	228.8375	243.4998
14	228.8373	243.4997
15	228.8373	243.4997

Визначимо зміни висот реперів у кожному циклі за формулою:

$$\Delta H = H_1 - H_i \quad (3.4.2)$$

де H_1 – позначка репера. визначена в першому циклі;

H_i – позначка репера. визначена в поточному циклі.

Визначені зміни висот реперів занесемо у табл.3.4.5

Табл. 3.4.5

№ циклу	$Rp1$	$Rp3$
1	0.1	-2.2
2	0.3	-2.5
3	0.1	-2.9
4	0.1	-3.0
5	0.1	-3.0
6	0.1	-3.2
7	0.1	-3.2
8	0.1	-3.2
9	0.1	-3.2
10	0.1	-3.2

11	0.3	-3.1
12	0.3	-3.1
13	0.1	-3.2
14	0.1	-3.2
15	0.1	-2.2

Визначимо граничну похибку визначення вертикальних переміщень реперів за формулою 3.4.3:

$$\Delta H_{\text{гран.}} = K\sqrt{\pi} = 0.9 \text{ мм.} \cdot \sqrt{\pi} \quad (3.4.3)$$

де π – зворотна вага еквівалентного ходу. виражена числом штативів.

Після чого визначимо коефіцієнт N для кожного реперу. Репер вважається стабільним, якщо цей коефіцієнт більший за 1.

Для ходу Rp2 – Rp1. $\pi = 2$. $\Delta H_{\text{гран.}} = 1.3$ мм. Для ходу Rp2 – Rp3. $\pi = 8$. $\Delta H_{\text{гран.}} = 2.5$ мм.

Результати обчислень занесемо у табл. 3.4.6

Табл. 3.4.6

№ циклу	Rp1	Rp3
2	12,728	1,157
3	4,243	1,018
4	12,728	0,878
5	12,728	0,849
6	12,728	0,849
7	12,728	0,795
8	12,728	0,795
9	12,728	0,795
10	12,728	0,795
11	12,728	0,795
12	12,728	0,849
13	12,728	0,849
14	12,728	0,795
15	12,728	0,795

Таким чином, за результатами досліджень за методом Костехеля Rp1 був стабільним протягом всього циклу спостережень та може використовуватись у якості вихідного реперу. Репер Rp3 був стабільний тільки у перші три цикли спостережень.

3.4.2 Метод Г. К. Ботяна

Методом Ботяна Г. К. [19-21] так само виконується аналіз вертикальних переміщень реперів за умови вирівнювання мережі нівелювання як вільної. Виконаємо аналіз стійкості реперів методом Ботяна. Позначимо через S_i вертикальне зміщення репера в i -тому циклі. Тоді різниці перевищень між реперами в поточному і першому циклі можна позначити через Δh_{i-j} . Таким чином різниці перевищень в поточному циклі буде знаходитись за формулами:

$$\begin{cases} S_2 - S_1 = \Delta h_{1-2} \\ S_3 - S_1 = \Delta h_{1-3} \end{cases} \quad (3.4.4)$$

$$\begin{cases} S_1 - S_2 = \Delta h_{2-1} \\ S_3 - S_2 = \Delta h_{2-3} \end{cases} \quad (3.4.5)$$

$$\begin{cases} S_1 - S_3 = \Delta h_{3-1} \\ S_2 - S_3 = \Delta h_{3-2} \end{cases} \quad (3.4.6)$$

Якщо прийняти в i -тому циклі спостережень один із реперів зберіг свою відмітку, тобто $S_i = 0$, тоді можна записати:

$$\begin{cases} S_1 = 0 \\ S_2 = \Delta h_{1-2} \\ S_3 = \Delta h_{1-3} \end{cases} \quad (3.4.7)$$

$$\begin{cases} S_2 = 0 \\ S_1 = \Delta h_{2-1} \\ S_3 = \Delta h_{2-3} \end{cases} \quad (3.4.8)$$

$$\begin{cases} S_3 = 0 \\ S_1 = \Delta h_{3-1} \\ S_2 = \Delta h_{3-2} \end{cases} \quad (3.4.9)$$

Позначимо, $\sum_1^3 \Delta h = w_i$ та $\sum_1^3 S = D$, тоді для рівнянь (3.4.7) – (3.4.9)

можна записати:

$$w_i = D - 3S_i \quad (3.4.10)$$

Згідно методу Ботяна, найстабільнішим є метод, в якому величина w_i буде найбільш від'ємною. Виконані розрахунки занесемо у табл. 3.4.7.

Табл. 3.2.7

Δh цикли 1-2			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0023
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0022
S_{RP3}	-0.0023	-0.0022	0
w_i	-0.0024	-0.0021	0.0045
Δh цикли 1-3			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0003	0.0028
S_{RP2}	-0.0003	0	0.0025
S_{RP3}	-0.0028	-0.0025	0
w_i	-0.0031	-0.0022	0.0053
Δh цикли 1-4			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0030
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0029
S_{RP3}	-0.0030	-0.0029	0
w_i	-0.0031	-0.0028	0.0059
Δh цикли 1-5			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0031
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0030
S_{RP3}	-0.0031	-0.0030	0
w_i	-0.0032	-0.0029	0.0061
Δh цикли 1-6			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0031
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0030
S_{RP3}	-0.0031	-0.0030	0
w_i	-0.0032	-0.0029	0.0061
Δh цикли 1-7			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0033
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0032
S_{RP3}	-0.0033	-0.0032	0
w_i	-0.0034	-0.0031	0.0065

Δh ЦИКЛИ 1-8			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0033
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0032
S_{RP3}	-0.0033	-0.0032	0
w_i	-0.0034	-0.0031	0.0065
Δh ЦИКЛИ 1-9			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0033
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0032
S_{RP3}	-0.0033	-0.0032	0
w_i	-0.0034	-0.0031	0.0065
Δh ЦИКЛИ 1-10			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0033
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0032
S_{RP3}	-0.0033	-0.0032	0
w_i	-0.0034	-0.0031	0.0065
Δh ЦИКЛИ 1-11			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0033
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0032
S_{RP3}	-0.0033	-0.0032	0
w_i	-0.0034	-0.0031	0.0065
Δh ЦИКЛИ 1-12			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0031
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0034
S_{RP3}	-0.0033	-0.0028	0
w_i	-0.0034	-0.0029	0.0065
Δh ЦИКЛИ 1-13			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0031
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0034
S_{RP3}	-0.0033	-0.0028	0
w_i	-0.0034	-0.0029	0.0065

Δh ЦИКЛИ 1-14			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0033
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0032
S_{RP3}	-0.0033	-0.0032	0
w_i	-0.0034	-0.0031	0.0065
Δh ЦИКЛИ 1-15			
	Rp1	Rp2	T1
S_{RP1}	0	0.0001	0.0033
S_{RP2}	-0.0001	0	0.0032
S_{RP3}	-0.0033	-0.0032	0
w_i	-0.0034	-0.0031	0.0065

Згідно методу Ботяна найстійкішим репером протягом часу спостережень був репер $Rp1$. Високу стійкість також показав репер $Rp2$. Як і в розрахунках за методом Костехеля, репер $Rp3$ був визнаний таким що втратив стійкість і має бути виключений із вимірювань як вихідний пункт.

Таким чином, нами було виконано дослідження стійкості реперів висотної мережі методами Костехеля і Ботяна. За результатами досліджень виявлено що обидва методи дозволяють виявляти та виключати репери що втратили стійкість. На нашу думку, більш зручним у використанні є метод Костехеля, оскільки за цим методом легше виявити період, в якому один із реперів втратив стійкість.

РОЗДІЛ 4. Охорона праці на виробництві.

4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при роботі на будівництві.

Техніка безпеки для геодезиста на будівництві — це комплекс правил і заходів, спрямованих на забезпечення безпеки під час виконання геодезичних робіт. Виконання цих правил є обов'язковим для запобігання нещасним випадкам та збереження здоров'я працівників. Основні вимоги наведені нижче:

➤ **Загальні вимоги**

- Геодезист повинен пройти обов'язковий інструктаж з техніки безпеки перед початком робіт, включаючи первинний, повторний та цільовий інструктаж.
- Геодезисту необхідно бути ознайомленим із проєкту організації будівництва, знати небезпечні зони на будівельному майданчику та місця проведення робіт.
- Усі робітники повинні мати при собі медичний допуск для виконання робіт у небезпечних умовах.

➤ **Індивідуальний захист**

- Геодезист зобов'язаний носити захисний шолом, спецодяг, взуття з твердими носками, та за необхідності — захисні окуляри, рукавички та засоби для захисту органів слуху.
- Важливо використовувати сигнальні жилети з відбиваючими елементами під час роботи в умовах з обмеженою видимістю або поруч з важкою технікою.

➤ **Правила поведінки на будівельному майданчику**

- Перебування в зоні будівельної техніки дозволяється лише після узгодження з бригадирами або операторами техніки.
- Під час роботи біля працюючої техніки необхідно дотримуватись безпечної відстані та уникати знаходження під навантажувальними механізмами (кранами, підйомниками тощо).

- Необхідно уникати знаходження біля країв траншей, котлованів, або інших небезпечних зон без огорож і захисту.

➤ **Робота з приладами**

- Перед початком робіт переконатись у справності всіх приладів (нівелірів, тахеометрів, теодолітів та інших).
- Забороняється проводити вимірювання на конструкціях, що не є стійкими або знаходяться під навантаженням, без додаткових заходів безпеки.
- Під час роботи з електронними приладами необхідно уникати роботи в умовах підвищеної вологості або дощу, якщо прилади не мають відповідного захисту.

➤ **Робота на висоті**

- Геодезичні роботи на висоті повинні проводитись тільки з використанням страхувальних засобів (запобіжних поясів, карабінів).
- Перед роботою на риштуваннях або інших підйомних конструкціях перевірити їх стійкість та відповідність нормам безпеки.
- Забороняється перебувати під час вимірювань на краях незахищених конструкцій або платформ без страхування.

➤ **6. Поведінка при небезпечних ситуаціях**

- У разі виникнення надзвичайної ситуації (обвал, пожежа, аварія) геодезист повинен негайно залишити небезпечну зону, повідомити відповідального за безпеку та діяти згідно з інструкціями евакуації.
- Якщо під час роботи на будівельному майданчику виявлено несправності технічного обладнання, що можуть призвести до аварійної ситуації, необхідно зупинити роботи та негайно повідомити керівництво.

➤ **7. Вимоги до роботи в умовах поганої видимості або погодних умов**

- Під час роботи в умовах туману, сутінків або поганої видимості необхідно використовувати додаткові освітлювальні засоби та сигнальні прилади.

- При виконанні робіт під час сильного вітру або опадів, що можуть ускладнити роботу з геодезичними приладами, рекомендується тимчасово призупинити роботу або вжити додаткових заходів безпеки.

➤ 8. Закінчення робіт

- По завершенні роботи геодезист повинен прибрати свої інструменти та обладнання з будівельного майданчика, щоб не створювати перешкод для інших працівників.
- Всі вимірювальні прилади повинні бути повернуті на зберігання в сухому і захищеному місці.

Працівники, які тимчасово або постійно працюють за комп'ютером, піддаються впливу ряду небезпечних виробничих факторів.

Основними з них є:

- **Фізичні фактори:**
 - Висока напруга в електричному колі, замикання якого може пройти через тіло працівника.
 - Підвищений рівень рентгенівського випромінювання.
 - Високий рівень ультрафіолетового випромінювання.
 - Інтенсивне інфрачервоне випромінювання.
 - Можливість ураження статичною електрикою.
 - Присутність пилу в повітрі робочого приміщення.
 - Підвищений вміст важких позитивних аероіонів.
 - Нерівномірний розподіл яскравості в полі зору.
 - Високий рівень пульсації світлового потоку.
- **Хімічні фактори:**
 - Підвищена концентрація у повітрі вуглекислого газу, озону, аміаку, фенолу, формальдегіду та інших речовин.
- **Психофізіологічні фактори:**
 - Напруження зору.

- Напруження пам'яті.
- Напруження уваги.
- Тривале статичне навантаження.
- Обробка великого обсягу інформації за одиницю часу.
- Монотонність роботи в окремих випадках.
- Нераціональна організація робочого місця.

GISUT KNUCA 2024

До шкідливих факторів при роботі за комп'ютером також належать: тривале сидяче положення. вплив електромагнітного випромінювання. напруження зору. навантаження на суглоби. ризик захворювань органів дихання. алергічні реакції. порушення здоров'я під час вагітності тощо.

➤ **Тривале сидяче положення**

Тривале перебування в сидячому положенні може призвести до напруження м'язів шиї. голови. плечей та рук. розвитку остеохондрозу. а іноді й сколіозу. Також це може викликати застій крові в тазових органах. що підвищує ризик простатиту та геморою. Малорухливий спосіб життя сприяє ожирінню. Порушення стану міжхребцевих дисків може призвести до остеохондрозу і. як наслідок. до грижі міжхребцевого диска. Грижа може пошкодити спинний мозок та нервові закінчення. що викликає біль у спині та кінцівках. а в найгірших випадках може призвести до паралічу або навіть смерті.

Основною причиною остеохондрозу є дистрофія м'язів спини. Люди. які ведуть малорухливий спосіб життя. мають високий ризик розвитку цього захворювання. Перші симптоми включають болі в спині. головні болі та можливі порушення роботи внутрішніх органів.

Фактори ризику розвитку геморою включають малорухливий спосіб життя. ожиріння. надмірне споживання шкідливої їжі. запальні захворювання малого тазу тощо. Ожиріння може виникнути через неправильне харчування. сидячий спосіб життя. емоційний стрес. надмірний сон. вживання гормональних препаратів та шкідливі звички.

Ожиріння збільшує навантаження на серце. змінює його положення в грудній клітці. підвищує рівень "поганого" холестерину в крові. що призводить до відкладення його на стінках судин і розвитку атеросклерозу. Надлишковий жир в організмі впливає на роботу легень. що може спричинити задишку та гіпоксію органів і тканин.

➤ **Напруження зору**

Зір людини реагує на найменші вібрації тексту та мерехтіння екрану комп'ютера. Очні м'язи, що керують кришталиком, перебувають у постійній напрузі, що може призвести до погіршення зору. Для профілактики важливо правильно підбирати кольорову гаму екрану, шрифти, компоновання вікон у програмах, а також орієнтацію монітора.

Тривале сидіння перед монітором негативно впливає на очі, оскільки зображення на екрані складається з окремих світлих точок, які мерехтять, на відміну від суцільних ліній на папері. Це може призвести до погіршення зору, слезоточивості очей, головного болю, швидкої втомлюваності, двоїння та спотворення зображення.

GISUT
KNUCA
2024

➤ **Робота за комп'ютером і стрес**

Стрес — це психічне напруження, викликане певними життєвими ситуаціями. Робота з комп'ютером може спричинити стрес, наприклад, при втраті або пошкодженні інформації через комп'ютерні віруси, поломку жорсткого диска, робочі помилки або відсутність резервних копій. Стрес може призвести до серйозних наслідків, таких як інфаркт. Він може бути позитивним чи негативним, короточасним або тривалим, фізіологічним чи психологічним. Тривале використання комп'ютера може стати фактором виникнення стресу. При стресі в організмі запускаються біохімічні процеси, які пригнічують його в екстремальних умовах, що впливає на психічне здоров'я людини.

➤ **Робота за комп'ютером і органи дихання**

Тривала робота за комп'ютером може негативно впливати на дихальну систему через появу алергенів. Корпус і внутрішні компоненти комп'ютера можуть виділяти в повітря шкідливі речовини. Крім того, комп'ютер генерує електростатичне поле, яке притягує пил; цей пил може осідати в легенях і шкодити організму. Робота комп'ютера також здатна знижувати іонізацію навколишнього середовища та зменшувати вологість повітря.

Алергія є реакцією організму на подразники, що викликають підвищену чутливість при контакті з алергеном. Симптоми можуть включати риніт, шкірні висипання, сльозоточивість очей і навіть анафілактичний шок. Комп'ютер може стати джерелом різних алергічних реакцій. Наприклад, при нагріванні монітора до 50–55 °С відбувається виділення парів трифенілфосфатів. Також такі компоненти, як материнська плата, процесор, блок живлення та відеокарта, нагріваються і виділяють у повітря шкідливі сполуки фтору, хлору та фосфору.

У комп'ютері є багато ділянок, де накопичується пил і бруд, що сприяє розмноженню мікробів та грибків. Пил заряджається від екрану монітора і може потрапляти на шкіру та в дихальні шляхи користувача. При алергії зростає втомлюваність, дратівливість і знижується імунітет. Алергія може

призвести до різних захворювань: екземи, гемолітичної анемії, бронхіальної астми тощо. Найсерйознішим проявом алергії є анафілактичний шок, який може бути смертельним.

Можливі захворювання, пов'язані з роботою за комп'ютером.

1. **Проблеми зору.** Виникають через недостатнє освітлення та недотримання режиму роботи. Синдром "сухого ока" характеризується сухістю та деформацією рогівки.
2. **Захворювання опорно-рухового апарату.** Хвороби хребта, зумовлені неправильною організацією робочого місця та положенням рук під час друкування. Синдром RSI — хронічне перенапруження м'язів.
3. **Психічні розлади.** Неправильні методи роботи, безлад на робочому місці та вплив електромагнітного випромінювання можуть призводити до неврологічних проблем, таких як загальна втома, головний біль, порушення сну, зниження реакції та депресія.
4. **Шкірні захворювання.** Екран монітора притягує та заряджає пил, що може спричиняти подразнення і навіть хвороби у людей з чутливою шкірою.
5. **Інтоксикація організму.** Лазерні принтери можуть виділяти озон, який при вдиханні може бути шкідливим.

4.2 Заходи профілактики для забезпечення безпечних умов праці

Охорона праці під час геодезичних робіт регулюється наступними нормативними документами:

- **Закон України «Про охорону праці».**
- **Чинні на об'єкті правила техніки безпеки.**
- **Правила техніки безпеки при виконанні топографо-геодезичних робіт.**
- **Державні будівельні норми.**

Відповідальність за дотримання та забезпечення техніки безпеки покладається на підрядну організацію. Перед початком робіт усі працівники повинні бути ознайомлені з документацією з охорони праці, а також з організацією та проведенням геодезичного моніторингу.

Інструктажі проводяться кілька разів: первинний — вступний та безпосередньо на об'єкті, а також повторний, який здійснюється при внесенні змін до правил техніки безпеки або при зміні обладнання. У разі виникнення будь-якої загрози або небезпеки для життя працівників, керівництво об'єкту зобов'язане припинити всі інженерні роботи. Працівники повинні щорічно проходити атестацію з питань охорони праці та гігієни праці. Документи, такі як акт-допуск і наряд-допуск, є обов'язковими при роботі з інженерними об'єктами, особливо в зонах підвищеної небезпеки.

Усі будівельні майданчики мають бути оснащені засобами для надання першої медичної допомоги та аптечками.

Встановлено ряд правил. без дотримання яких геодезичні роботи не можуть бути розпочаті:

- **Про санітарно-гігієнічне обслуговування працівників.**
- **Про безпеку на виробництві в зимових умовах.**
- **Про освітлення будівель. проходів. проїздів та робочих місць.**

На будівництві отвори в перекриттях. де виконуються роботи або куди можливий доступ людей. повинні бути закриті суцільним настилом або огорожені міцними бар'єрами з бортовими дошками по периметру. Для виконання робіт на висоті понад 1.3 метра працівники повинні бути забезпечені страхувальними поясами. Місця закріплення цих поясів мають бути заздалегідь визначені відповідальним виконавцем робіт. До висотних робіт допускаються лише працівники. які пройшли медичний огляд та мають дозвіл на роботу в таких умовах. До роботи допускаються тільки ті працівники. які пройшли вступний інструктаж та навчання з техніки безпеки при виконанні геодезичних і будівельних робіт.

На будівельному майданчику повинні бути встановлені попереджувальні знаки в місцях можливої небезпеки та інформаційні таблички у зонах геодезичних робіт (наприклад. "Зона роботи крана". "Відкриті прорізи" тощо). Такі зони включають місця зберігання хімічних. радіоактивних та інших небезпечних речовин. дорожні смуги руху транспорту. простір. над яким можливе переміщення вантажів підйомними механізмами; зону зварювальних робіт та територію поблизу неізольованих струмопровідних частин. Ці місця слід обмежувати попереджувальними знаками. бар'єрами або іншими засобами огороження.

➤ **Заборонено виконувати геодезичні роботи:**

- При температурі повітря нижче -25°C .
- При швидкості вітру понад 6 балів.
- Під час сильного снігопаду. дощу. туману. недостатнього освітлення тощо.
- Без захисних касок та страхувальних поясів на висоті понад 1.3 метра.
- У разі ожеледиці.

Необхідно також дотримуватися правил пожежної безпеки при роботі з легкозаймистими речовинами. Обов'язковим є оснащення місця роботи вогнегасниками та ознайомлення працівників з правилами пожежної безпеки.

➤ **Заходи безпеки при роботі з геодезичним обладнанням**

Під час перерви спеціальне обладнання на монтажному майданчику не повинно залишатися без нагляду; його переміщення допускається лише в пакувальних ящиках або у складеному стані (штативи).

Заборонено переміщувати геодезичне обладнання на штативі в горизонтальному положенні, а також трясати та кидати його. Пересуватися по території робіт дозволено тільки після зняття приладу зі штатива і перенесення його в руці (заборонено ставити інструмент на штативі на землю або притуляти до стіни). У разі дощу та інших несприятливих погодних умов геодезичні прилади слід накривати водонепроникними чохлами. Прилади, що потрапили під дощ, необхідно ретельно висушити, очистити окуляр та об'єктив, а потім помістити в пакувальний футляр.

Геодезичне обладнання слід зберігати в сухому, теплом приміщенні, подалі від джерел тепла та опалення. Після завершення робіт стрічки мірних інструментів необхідно очистити та ретельно витерти насухо.

Висновок

У цій роботі ми проаналізували проект геодезичних робіт з визначення деформацій споруд на будівельному об'єкті, розташованому на провулку Редутнецький, в м. Києві

Для досягнення поставленої мети було спроектовано та створено опорну планово-висотну мережу комбінованим методом, використовуючи ГНСС-спостереження та лінійно-кутові побудови. Ми також визначили точності при спостереженнях за деформаціями. Подальше визначення планових деформацій споруд здійснювалося шляхом встановлення деформаційних марок і визначення їх координат методом лінійно-кутової засічки. Спостереження за висотними деформаціями проводилося нівелюванням II класу точності. Для цього було встановлено 14 деформаційних марок.

Потім виконано геодезичні вимірювання при спостереженні за деформаціями, як плановими, так і висотними.

У результаті аналізу вертикальних деформацій висотної споруди отримано дані про зміни положення деформаційних марок, побудовано графіки осідань та створено схему осідання марок, встановлених на будівельних конструкціях. Стосовно планових деформацій споруд, були отримані відомості про переміщення деформаційних марок, побудовані схеми горизонтальних переміщень, а також визначені зміни кренів будівлі та створена схема сумарних змін кренів. Уся робота виконана з дотриманням норм охорони праці.

Нами було досліджено стійкість реперів методами Костехеля та Ботяна. За результатами досліджень виявлено що репер *Rp3* необхідно виключити із вимірювань як вихідний пункт. На нашу думку більш зручним у користуванні є метод Костехеля, оскільки за цим методом можливо отримати об'єктивну оцінку періода, в якому нестабільних репер втратив стійкість.

Список використаних джерел

1. **Войтенко С. П.** Геодезичні роботи в будівництві: навчальний посібник. – Київ: ІСДО. 1993.
2. **Островський О. Л.** Геодезія. – Львів. 2004.
3. **Зайцев А.К., Марфевко С.В., Міхелєв Д.Ш.** Геодезичні методи дослідження деформацій споруд.
4. **Сидоренко В.П., Лобода І.В.** Моніторинг деформацій будівельних конструкцій. – Вісник геодезії та картографії. 2015.
5. **ДБН В.1.3-2:2010** Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. – Київ: Мінрегіонбуд України. 2010.
6. **ДСТУ Б В.2.1-27:2010** Основи і фундаменти споруд. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань.
7. **Боровий В.О., Бурачек В.Г.** Високоточні інженерно-геодезичні вимірювання. – Вінниця: ТОВ "Нілан-ЛТД". 2017.
8. **Бурак К.О., Гринішак М. Я.** Дослідження похибки зчитування відліку під час геометричного нівелювання коротким променем цифровими нівелірами. – Геодезія. картографія і аерофотознімання. 2014.
9. **Літинський В.О., Перій С.С.** Тригонометричне нівелювання в ходах геодезичних мереж згущення. – Львів. 2006.
10. **Ганьшин В.Н., Стороженко А.Ф.** Геодезичні методи вимірювання вертикальних зміщень споруд та аналіз стійкості реперів. – М.. 1991.
11. **Гуляєв О. П., Савчин І. Р.** Аналіз підходів до обґрунтування точності геодезичних спостережень за деформаційними процесами. – Вісник геодезії та картографії. 2014.
12. **ДБН В.2.1-10-2009** Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення.
13. **Третяк К.Р., Савчин І.Р.** Розроблення методики до розрахунку надійності активних моніторингових геодезичних мереж. – Вісник геодезії та картографії. 2013.

14. **Лисенко С.І., Драчук В.П.** Інженерно-геодезичні роботи при зведенні та експлуатації будівель. – Київ: Видавничий дім «Кондор». 2018.
15. **Гончарук О.П., Хоменко М.В.** Технології геодезичного моніторингу в будівництві. – Львів: Національний університет «Львівська політехніка». 2020.
16. **Рибак В.І., Притула В.М.** Сучасні методи вимірювання деформацій та зсувів. – Вісник геодезії та картографії. 2016.
17. **Кравчук П.А., Іванчук Т.О.** Оптимізація геодезичних мереж для моніторингу споруд. – Геодезія. картографія і аерофотознімання. 2017.
18. **Слободянюк В.О., Козяр І.В.** Автоматизовані системи спостережень за деформаціями будівельних конструкцій. – Вінниця: ТОВ "Універсум-Вінниця". 2019.
19. **Costachel. А.** Некоторые новые аспекты точного выравнивания для определения разрушения зданий / А. Costachel // *Vermessungstechnik*. – 1967. – Улица Глюкштедтер, Германия – N 7. – pp. 250-257. (статья на немецком языке)
20. **Нгуен Х.В.** Анализ и пути развития методов оценки устойчивости опорных реперов при наблюдениях за оседаниями земной поверхности / Х.В. Нгуен. М.Г. Мустафин // *Естественные и технические науки*. – 2017. – № 5 (107). – С. 89–96.

ДОДАТКИ

GISUT KNUCA 2024