

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**  
**Географічний факультет**  
**Кафедра геодезії та картографії**

На правах рукопису УДК: 528.4

**МОНІТОРИНГ ДЕФОРМАЦІЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД**  
**ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)  
Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво»  
Спеціальність 193 – «Геодезія та землеустрій»  
Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

Кваліфікаційна робота бакалавра  
студента 4 курсу  
освітнього рівня бакалавр  
*Чопенка Богдана Володимировича*

Науковий керівник:  
*Боднар Сергій Петрович*  
*асистент*

Допущено до захисту:  
Протокол засідання кафедри № \_\_\_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ проф. Даценко Л.М.

**КИЇВ – 2025**

## ЗМІСТ

<b>АНОТАЦІЯ</b> .....	3
<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>РОЗДІЛ 1. ДЕФОРМАЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ТА ПРИЧИНИ ЇХ ВИНИКНЕННЯ</b> .....	7
1.1. Загальні відомості про деформації споруд: прояви та наслідки .....	7
1.2. Види деформацій будівель і споруд. ....	10
<b>РОЗДІЛ 2. ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗА КРЕНАМИ ТА ОСІДАННЯМИ СПОРУД</b> .....	14
2.1. Геодезичні методи визначення деформацій .....	14
2.2. Спостереження і визначення кренів та горизонтальних переміщень.....	18
2.3. Високоточне нівелювання. Визначення вертикальних переміщень .....	24
2.4. Прилади високоточного вимірювання осідань .....	26
2.5. Методика проведення геодезичного моніторингу споруд на забудованих. територіях.....	30
<b>РОЗДІЛ 3. ВИМІРЮВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПРИКЛАДІ БУДИНКУ ПО ВУЛ. ВЕРХНІЙ ВАЛ, 28, М. КИЇВ.</b> .....	34
3.1. Фізико-географічна характеристика району робіт.....	34
3.2. Організація спостережень та проведення геодезичних робіт.....	36
3.3. Обробка результатів високоточного нівелювання .....	39
3.4. Аналіз результатів геодезичного моніторингу, інтерпретація та прогнозування осідань будівлі .....	41
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	43
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	45
<b>ДОДАТКИ</b> .....	47

## АНОТАЦІЯ

Чопенко Б. В.

Моніторинг деформацій будівель та споруд інженерно-геодезичними методами: кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» / Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Географічний факультет, Кафедра геодезії та картографії. - Київ, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню методів моніторингу деформацій будівель та споруд з використанням інженерно-геодезичних методів. Актуальність роботи визначається потребою набуття компетентностей, які необхідні для виконання інженерно-геодезичних робіт при виявленні критичних деформацій споруд та упередження можливих аварійних ситуацій. Цінність роботи полягає у вивченні та впровадженні комплексного підходу при застосуванні інженерно-геодезичних методів для моніторингу та прогнозування розвитку деформаційних процесів, зокрема у використанні сучасних геодезичних приладів та автоматизованих систем.

В роботі розглянуто та проаналізовані теоретичні основи моніторингу вертикальних і горизонтальних деформацій, а також практичні аспекти застосування геодезичних методів для визначення осідань, кренів та горизонтальних переміщень будівель. Зокрема, детально досліджено застосування методів геометричного нівелювання, при визначенні вертикальних та координатного методу, при визначенні горизонтальних зміщень споруд та їх конструкцій. Окрему увагу приділено використанню сучасних геодезичних приладів - цифрових нівелірів та електронних тахеометрів, як найоптимальнішого варіанту приладового забезпечення з точки зору досягнення високої точності та ефективності вимірювань.

Практична частина роботи ґрунтується на матеріалах геодезичного моніторингу деформацій будівлі в м. Київ, вулиця Верхній Вал, 28. Роботи проводилися з метою визначення величини осідань будівлі та їх прогнозуванню у найближчій перспективі. Отримані дані та їх аналіз мають практичне значення для розуміння стану конструкцій будівлі та забезпечення її подальшої безпечної експлуатації.

Особистий внесок здобувача полягає у безпосередній участі автора в проведенні комплексу геодезичних моніторингових робіт, обробці отриманих результатів високоточного нівелювання та побудові графічних моделей осідань.

*Ключові слова:* геодезичний моніторинг, деформації споруд, осідання, крени, цифрові нівеліри, електронні тахеометри, стабільність конструкцій.

## ВСТУП

**Актуальність теми:** Моніторинг деформацій будівель та споруд інженерно-геодезичними методами є важливою складовою частиною сучасного підходу до забезпечення безпеки та стабільності будівель у процесі їх експлуатації. Зростаюча інтенсивність будівництва, складність конструкцій і вплив техногенних факторів підвищують вимоги до точності та надійності моніторингу інженерних об'єктів. Постійний контроль за станом будівель, особливо в умовах міського середовища, стає необхідністю для своєчасного виявлення деформацій, які можуть призвести до серйозних аварій та значних матеріальних збитків.

Системи геодезичного моніторингу, зокрема методи визначення вертикальних і горизонтальних зміщень, кренів та осідань, дозволяють не лише зберегти цілісність споруд, а й продовжити термін їх експлуатації. Тема кваліфікаційного дослідження є особливо актуальною через зміну природних умов, посилення впливу людини, щільну забудову та активне будівництво в історичних районах. Це вимагає ретельного спостереження за станом будівель.

Інженерно-геодезичні методи моніторингу деформацій будівель і споруд, включаючи високоточне нівелювання, використання електронних тахеометрів і застосування новітніх технологій (наприклад, GNSS-систем), дозволяє не тільки вчасно виявляти зміни у стані споруд, а й оцінити наслідки та спрогнозувати їх можливий розвиток з метою ухвалення управлінських рішень з стабілізації ситуації. У цьому контексті, дослідження сучасних методів моніторингу споруд є важливим аспектом підготовки фахівців-геодезистів.

У сучасних умовах важливого значення набуває автоматизація процесів геодезичного моніторингу. Використання високоточних приладів та цифрових систем, лазерного сканування та спеціального програмного забезпечення дозволяє швидше виявляти деформації, оцінювати їхній розвиток і приймати обґрунтовані рішення.

**Мета кваліфікаційної роботи:** Дослідження методів інженерно-геодезичного моніторингу деформацій будівель та споруд, аналіз ефективності сучасних технологій для виявлення кренів, осідань та горизонтальних переміщень.

**Завданнями роботи** визначені:

- проаналізувати основні типи деформацій будівель і споруд;
- ознайомитися з методами геодезичного моніторингу деформацій споруд;
- провести аналіз деформацій стану будівлі за адресою: вул. Верхній Вал, буд. 28, м. Київ.

**Об'єкт дослідження** - будівлі та споруди, що зазнають деформацій у процесі їх експлуатації.

**Предмет дослідження** - методи та практичні засоби реалізації інженерно-геодезичного моніторингу деформацій, зокрема осідань будівель та споруд.

В роботі застосовуються наступні **методи досліджень**:

*Метод спостереження* - спостереження за змінами просторового положення конструкцій, що включає відстеження вертикальних та горизонтальних деформацій, змін у положенні фундаментів та елементів конструкцій.

*Метод натурних вимірювань* - ключовий метод дослідження, що включає високоточне нівелювання для визначення вертикальних осідань, а також використання електронних тахеометрів для визначення горизонтальних переміщень і кренів споруд.

*Метод порівняння* - метод порівняння отриманих даних спостережень з нормативними значеннями та проектними параметрами. Це дозволяє виявити відхилення та визначити ступінь деформації, що впливає на стабільність будівлі.

*Метод прогнозування* - на основі аналізу результатів спостережень і моделей розвитку деформацій, проведено прогнозування можливих змін у стані конструкцій на найближчі роки, що дозволяє вчасно вжити заходів для їх стабілізації.

**Структура кваліфікаційної роботи:** 3 розділи, 2 рисунки, 7 додатків, 12 використаних джерел. Загальний об'єм текстової частини роботи складає 46 сторінок.

**Ключові слова:** моніторинг, деформації, геодезія, осідання, крени, електронні тахеометри, цифрові нівеліри, будівлі, стабільність конструкцій.

## РОЗДІЛ 1. ДЕФОРМАЦІЇ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ТА ПРИЧИНИ ЇХ ВИНИКНЕННЯ

### 1.1. Загальні відомості про деформації споруд: прояви та наслідки

Деформації в будівельних конструкціях проявляються як зміни геометричних параметрів, або положення об'єкта у просторі внаслідок дії зовнішніх і внутрішніх впливів. Оскільки осідання, горизонтальні зміщення та крени часто є взаємопов'язаними процесами, вони можуть впливати на геометричну стабільність будівлі. Наприклад, нерівномірні осідання можуть спричинити горизонтальні зміщення через вплив ґрунтів, що не рівномірно ущільнюються. Крім того, ці процеси можуть спричинити додаткові крени споруд, що ускладнює точність визначення динаміки її зміщень.

Причинами таких змін можуть бути як особливості конструкції, так і зовнішні природні умови, або техногенні впливи. Зокрема на стан споруди впливають її вага, температурні коливання, рівень підземних вод, пориви вітру, сейсмічна активність, механічні навантаження, геологічна будова місцевості тощо. Нерівномірне осідання ґрунтів є однією з основних причин деформацій, оскільки воно спричиняє не тільки вертикальні зміщення, але й провокує горизонтальні зсуви. Це може статися через неоднорідну структуру ґрунтів, коли деякі ділянки мають вищу стисливість, ніж інші, або через наявність водо насичених прошарків, які можуть погіршити міцність основи.

Техногенне навантаження, таке як додаткові поверхи або промислові установки, може викликати значне навантаження на ґрунт, що часто призводить до збільшення осідань або зсувів, що не були враховані на етапі проектування. Тривале навантаження будівлі на ґрунт, призводить до його ущільнення, результатом чого стає вертикальна деформація чи поступове осідання. Такі процеси також провокуються карстовими утвореннями, зсувами, змінами рівня ґрунтових вод, сейсмічними коливаннями чи впливом важкої техніки. У випадку, коли пористі або

пухкі ґрунти змінюють свою структуру раптово, може відбутися швидке вертикальне просідання споруди.

Якщо основа будівлі ущільнюється нерівномірно, це призводить до деформаційного просідання, що може спричинити горизонтальні зсуви, нахили, викривлення, появу тріщин і навіть руйнування окремих елементів конструкції. Поява деформацій у будівлях та інженерних спорудах у різних умовах є складним викликом для їх усунення, адже з часом вони призводять до руйнування будівель чи споруд. Деформації можуть бути спричинені нерівним осіданням ґрунту, різноманітними сейсмічними активностями, перепадами температур, техногенним впливом, або недоліками у проектуванні та будівництві. Зі збільшенням строку служби споруд навантаження, що діють на конструкції, можуть спричинити тріщини, зсуви або інші відхилення від проектних характеристик. Щоб уникнути серйозних наслідків, важливо своєчасно здійснювати спостереження за деформаційними змінами за допомогою високоточних інструментів та сучасного обладнання. Це дозволяє виявити найменші відхилення у стані будівель та споруд, оцінити рівень загроз та вжити відповідних заходів щодо стабілізації конструкції.

Комплексний підхід до контролю змін передбачає використання геодезичних методів спостереження, аналізу стану фундаментів, моніторинг руху ґрунтів, а також залучення кваліфікованих спеціалістів для корекції проблемних ділянок. Оперативна реакція на деформаційні зміни сприяє подовженню строку служби об'єкта і знижує ризики експлуатаційної небезпеки.

Окрім зовнішніх чинників, важливу роль у виникненні деформацій відіграє й якість проектних рішень - особливо в частині фундаментів. Для ефективного виявлення деформацій, важливо здійснювати регулярний геодезичний моніторинг, що включає використання сучасних методів і приладів, таких, як лазерне сканування, роботизовані тахеометри, інклінометри. Моніторинг дозволяє своєчасно виявити навіть незначні зміщення та деформації, що є критичним для раннього виявлення проблеми, адже в багатьох випадках вони виникають у фундаментах через недоліками конструктивних рішень. Незважаючи на те, що іноді деформації можуть обмежуватися лише фундаментом, без пошкодження надземної частини будівлі, такі ситуації можуть призвести до поступового погіршення стійкості споруди. Основне

завдання фундаменту полягає в сприйнятті та рівномірному розподілі навантажень від конструкції на ґрунтову основу, враховуючи як постійні, так і змінні впливи. Надійність і довговічність будівлі напряму залежить від якості проектування та будівництва фундаменту [1].

Важливим етапом є розрахунок допустимих навантажень з урахуванням типу ґрунту та очікуваних змін у його структурі протягом усього періоду експлуатації. Більшість традиційних несучих конструкцій не мають достатньої жорсткості, або еластичності, щоб ефективно реагувати на нерівномірні осідання фундаменту. Це може призвести до локальних перевантажень у критичних зонах, появи тріщин у несучих стінах і перекриттях, а також до поступової втрати просторової жорсткості споруди.

Деформації, викликані осіданнями, є особливо небезпечними для будівель, зведених із крихких матеріалів, таких як цегла або бетон, які мають низьку пластичність та обмежену здатність до деформацій без утворення тріщин. Для запобігання критичним наслідкам необхідно ще на стадії проектування проводити глибокий технічний аналіз умов будівництва та властивостей ґрунтів, включаючи аналіз механічних властивостей ґрунту, прогноз можливих осідань та застосування конструктивних рішень, що підвищують гнучкість або жорсткість споруди.

Частою причиною пошкоджень конструкцій є зсув фундаментів відносно початково заданого положення. Такі зміщення можуть бути викликані нерівномірними осіданнями, сезонними змінами у властивостях ґрунту, підмивом ґрунтовими водами або навантаженнями, що перевищують розрахункові. Результатом цих процесів є виникнення напружень у несучих елементах, які можуть спричинити появу тріщин та порушення геометрії конструкції. Крім зовнішніх природніх чинників, не менш суттєву роль у виникненні деформацій відіграють і технічні недоліки в конструкції споруд.

Причинами деформацій часто виступають не тільки зовнішні чинники, але й внутрішні прорахунки, зокрема проектні недоліки та порушення умов експлуатації об'єкта. Серед основних причин варто виділити прорахунки при проектуванні, чи зміни несучих конструкцій, наприклад видалення стін або колон, а також надбудова поверхів, що підвищує навантаження на опорні елементи. Нерівномірний розподіл

навантажень або його раптове збільшення часто провокує нерівномірне просідання ґрунтів, це особливо критично, коли в проекті не враховано фактичний стан ґрунтів на ділянці. Наприклад, якщо навантаження концентруються у певних зонах без належного розподілу, це здатне спричинити просідання окремих частин фундаменту. Подібне нерідко виникає у випадках демонтажу несучих елементів, встановлення масивного обладнання або надбудови поверхів без інженерного обґрунтування. Такі прорахунки здатні викликати тріщини в опорних частинах споруди, викривлення перекритті, розгерметизацію стиків або навіть часткове обвалення конструкції.

Ще однією з частих помилок при проектуванні є ігнорування реальних фізико-механічних характеристик основи. У випадку, коли основа не витримує фактичне навантаження, можуть виникати нерівномірні просідання, що призводить до перекосів та пошкодження конструкції. Зміни рівня ґрунтових вод, процеси замерзання і відтавання також впливають на стабільність фундаментів, особливо в умовах сезонних коливань. Неправильне виконання будівельно-монтажних робіт, використання неякісних матеріалів або порушення технології будівництва також можуть спричинити додаткові деформації.

## **1.2. Види деформацій будівель і споруд**

*Деформації споруд* - це зміни геометричних параметрів або положення конструкцій, що виникають в результаті різних впливів, таких як навантаження, природні та техногенні фактори. Вони можуть бути різних видів і проявлятися в різних формах залежно від причин і умов. Види деформацій споруд поділяються на рівномірні та нерівномірні, а також вертикальні і горизонтальні. Рівномірні деформації характеризуються тим, що всі елементи конструкції змінюють своє положення однаково, в той час як нерівномірні деформації призводять до нерівномірного зміщення частин споруди, що може призвести до тріщин або викривлень конструкцій. Вертикальні деформації найчастіше виникають через осідання чи просадку ґрунтів під впливом власної ваги споруди або зовнішніх навантажень. Такі деформації можуть бути рівномірними, коли всі частини будівлі

осідають на однакову величину, або нерівномірними, коли одна частина будівлі осідає більше за іншу, що призводить до її крену чи утворення тріщин. Горизонтальні деформації включають зміщення конструкцій у горизонтальній площині. Це може бути зсуви або переміщення частин будівлі в результаті різних впливів, таких як боковий тиск ґрунту, сейсмічні коливання або великі техногенні навантаження. Горизонтальні переміщення можуть призвести до втрати стійкості конструкцій, порушення їх геометрії і зниження експлуатаційних характеристик. Основними видами деформацій будівель і споруд є осадки, просадки, осідання, крени, горизонтальні переміщення.

**Осадки** - це деформації, що виникають через ущільнення ґрунтів під дією навантажень та власної ваги ґрунту. Цей процес відбувається без порушення структури ґрунту, однак може впливати на стабільність споруд. Осідання може бути рівномірним або нерівномірним, залежно від типу ґрунту та навантажень. Наприклад, на будівельних майданчиках з великими навантаженнями, таких як багатоповерхові будівлі, осідання може спричинити тріщини у стінах або перекриттях через нерівномірне осідання. У випадку забудови на болотистих або торф'яних ґрунтах, осідання може бути значним через високу стисливість таких ґрунтів. Також осідання спостерігаються на дорогах та мостах через постійне навантаження від транспорту, що викликає поступове ущільнення ґрунту. Важливо проводити моніторинг для виявлення змін та запобігання негативним наслідкам.

**Просадки** - це деформації, які виникають через ущільнення та зміни структури ґрунтів основи під впливом зовнішніх навантажень та природних факторів. Вони відрізняються від звичайного осідання тим, що супроводжуються суттєвими змінами у фізичному стані ґрунтів, особливо у водонасичених або мерзлих ґрунтах. Просадки можуть бути спричинені замочуванням ґрунтів або відтаюванням льодових прошарків у мерзлих ґрунтах, що знижує їх міцність. Наприклад, в умовах високого рівня ґрунтових вод або під час весняного відтаювання ґрунти втрачають свою стабільність, що може призвести до значних деформацій конструкцій. Також просадки часто виникають через техногенні впливи, такі як будівництво на болотистих або вологих ґрунтах. Це може спричинити тріщини в стінах, перекося

вікон та дверей, а також зрушення фундаменту, що потребує своєчасного геодезичного моніторингу для попередження руйнувань.

**Осідання** - це деформації земної поверхні, які виникають під впливом підземних робіт, таких як видобуток корисних копалин або будівництво підземних споруд. Це також може бути наслідком раптових змін гідрогеологічних умов, наприклад, зниження рівня підземних вод або розвиток карстово-суфозійних процесів. Одним із прикладів є осідання, що виникає при видобутку вугілля або інших корисних копалин, коли під впливом видалення матеріалу з-під землі відбувається зрушення поверхні, що може призвести до руйнування інфраструктури. Інший приклад - будівництво підземних споруд, таких як метро чи тунелі, що також може викликати осідання поверхні внаслідок порушення рівноваги ґрунтів. Додатково, зниження рівня підземних вод через техногенні впливи може призвести до зсувів і осідань ґрунтів, що негативно впливає на стабільність будівель і споруд.

**Крен** - це деформація, при якій будівля або її частина нахиляється від вертикальної осі. Це може статися через нерівномірне просідання основи, що виникає, коли різні частини будівлі осідають з різною швидкістю через неоднорідність ґрунту. Окрім того, крен може бути спричинений недоліками в проектуванні або конструктивних рішеннях, коли не враховуються особливості ґрунтової основи або навантаження. Важливими чинниками є також вплив ґрунтових вод, які можуть змінювати властивості ґрунту і сприяти його просіданню. Наприклад, будівля, яка стоїть на нестабільному ґрунті або на землі з високим рівнем ґрунтових вод, може нахилитися з часом. Такі випадки сталися під час будівництва деяких історичних будівель, як-от Пізанська вежа в Італії, яка почала нахилитися через нерівномірне осідання основи внаслідок неправильного проектування фундаменту на слабких ґрунтах. Інші приклади включають будівлі в районах з високим рівнем ґрунтових вод або внаслідок техногенних впливів, таких як будівництво підземних споруд поблизу.

**Горизонтальні переміщення** - це сили, що діють у горизонтальній площині на будівлі або споруди, спричиняючи їх деформацію, зсув або тріщини. Такі переміщення можуть виникати через різні фактори, зокрема вітрові навантаження, сейсмічні коливання, нерівномірне осідання ґрунту чи техногенні впливи. Одним із основних джерел горизонтальних переміщень є вітер, особливо в районах з великими

вітровими навантаженнями, що може спричинити зміщення легких конструкцій, таких як висотні будівлі або мости. Сейсмічні коливання також можуть спричинити значні горизонтальні переміщення, особливо в сейсмічно активних зонах, що може призвести до серйозних деформацій будівель і споруд. Наприклад, землетрус у Японії у 2011 році спричинив масові горизонтальні зсуви конструкцій, що призвело до руйнувань. Горизонтальні переміщення також можуть бути викликані нерівномірним осіданням ґрунту, що часто спостерігається на ділянках із слабкими або водонасиченими ґрунтами. У таких випадках частини споруди можуть зміщуватися в горизонтальній площині, що веде до утворення тріщин у стінах, перекриттях і навіть до порушення геометрії об'єкта. Техногенні впливи, такі як будівництво на ділянках з підземними роботами або порушення в інфраструктурі, можуть посилювати ці ефекти, спричиняючи додаткові горизонтальні переміщення. Наприклад, тунелепроходження чи розробка кар'єрів можуть змінювати напружено-деформований стан ґрунту, що в свою чергу впливає на стабільність будівель [6].

Значну роль у виникненні деформацій відіграють внутрішні сили, що формуються в матеріалах конструкцій у відповідь на зовнішнє навантаження. Ці сили визначаються через поняття напруження. Напруженням у будівельних конструкціях називають внутрішню силу, що виникає в матеріалі під дією зовнішніх, або внутрішніх навантажень і розподіляється на одиницю площі поперечного перерізу. Величина та характер напружень залежать від конструктивних особливостей об'єкта, умов навантаження та властивостей матеріалів. Надмірні або нерівномірні напруження можуть стати причиною деформацій, або руйнування конструкції.

Таким чином, розуміння природи напружень у будівельних конструкціях є основою для забезпечення їхньої надійності та довговічності. Знання різновидів напружень та умов їх виникнення дозволяє інженерам своєчасно враховувати критичні навантаження під час проєктування, будівництва й експлуатації споруд. Комплексний підхід до аналізу напружень, у поєднанні з сучасними методами моніторингу, є ключовим фактором у попередженні деформаційних процесів та підвищенні загального рівня безпеки конструкцій.

## РОЗДІЛ 2. ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗА КРЕНАМИ ТА ОСІДАННЯМИ СПОРУД

### 2.1. Геодезичні методи визначення деформацій

Одним з основних підходів до відстеження змін у технічному стані споруд є використання геодезичних засобів контролю, таких як нівелювання високої точності, створення мережі реперів, а також використання сучасних електронних тахеометрів і лазерних сканерів. Ці методи дають змогу своєчасно фіксувати навіть незначні зміни у положенні конструктивних елементів, що дозволяє прогнозувати подальший розвиток деформацій та вживати заходів для їх усунення або мінімізації ризиків.

Для визначення вертикальних деформацій найчастіше використовують *метод геометричного нівелювання*, який є одним із найбільш точних і ефективних способів моніторингу вертикальних переміщень будівель і споруд. Геометричне нівелювання дозволяє з високою точністю вимірювати перевищення між точками на поверхні землі, що дає можливість визначити навіть незначні зміни в положенні конструкцій. Такий метод використовується для спостережень за осіданнями фундаментів, зміщенням стін або перекритті будівель, особливо на етапі тривалого моніторингу. Наприклад, цей метод широко застосовується при контролі стабільності мостів або висотних будівель, де будь-які вертикальні переміщення можуть мати серйозні наслідки для безпеки. Вимірювання за допомогою геометричного нівелювання часто проводяться за допомогою цифрових або оптичних нівелірів, що дозволяє проводити спостереження швидко і з високою точністю, що є критичним у випадках, коли необхідно швидко виявити навіть мінімальні деформації [2].

У практиці використовуються нівелювання I або II класу в залежності від вимог до точності. При застосуванні цього методу та для визначення кількісної величини деформаційних процесів, у відповідних точках будівель та споруд встановлюються спеціальні геодезичні контрольні марки. Ці *деформаційні (осадкові) марки* розміщуються там, де найбільш ймовірні або критичні прояви деформацій. Розміщення деформаційних марок здійснюється з врахуванням геологічних умов та

конструктивних особливостей об'єкта. Також закладаються глибинні репери, розташовані за межами потенційної зони деформацій. Важливо, щоб *репери* були розташовані поза зонами техногенного впливу, вібрацій та навантажень, з легким доступом для обслуговування та спостереження. За потреби допускається використання внутрішньої геодезичної мережі споруди.

Вимірювання полягає у визначенні перевищення між контрольними марками і реперами з подальшим обчисленням змін у часі. Результати заносяться в журнал спостережень і використовуються для аналізу результатів та побудови графіків осідань.

У випадках, коли застосування геометричного нівелювання є складним або недоцільним, використовують альтернативні методи. Одним із таких є *гідростатичне нівелювання*. Цей метод базується на використанні рідинної системи з датчиками, які встановлюються по периметру споруди. Зміни рівня рідини між датчиками вказують на вертикальні переміщення. Перевагою цього способу є можливість здійснювати безперервний моніторинг деформацій у реальному часі, що особливо важливо для споруд із підвищеним ризиком аварійності або при будівництві в складних геотехнічних умовах. Точність проведення спостережень регламентується державними стандартами.

Горизонтальні зміщення споруд, або їх елементів визначають різними методами, серед яких: лінійно-кутовий, створний та стереофотограмметричний.

*Лінійно-кутовий метод* є основним для визначення горизонтальних переміщень на обмежених площах, коли необхідно точно виміряти відстань і кути між точками спостереження, що дає змогу виявити зсуви чи зміщення конструкцій у площині. Наприклад, у процесі будівництва або реконструкції великих промислових об'єктів, таких як заводи або склади, цей метод використовується для контролю точності розташування окремих конструкцій і перевірки їх відповідності проекту.

*Створний метод* ґрунтується на вимірюванні відстаней і кутів між певними контрольними точками, що дозволяє визначати горизонтальні зміщення у межах великої площі, наприклад, на ділянках, де проводяться масштабні земляні роботи або зводяться нові будівлі поблизу вже існуючих споруд.

**Стереофотограмметричний метод** використовує фотографічні знімки з різних точок, що дозволяє отримати тривимірні моделі споруд та виявити горизонтальні зсуви або деформації в найскладніших геометричних умовах. Цей метод є дуже корисним при моніторингу великих інфраструктурних об'єктів, таких як мости, тунелі чи висотні будівлі, де традиційні методи можуть бути обмежені. Використання таких високотехнологічних методів забезпечує точність і надійність спостережень, що є критичним для запобігання аварійним ситуаціям і забезпечення безпеки експлуатації об'єктів.

Процес моніторингу включає періодичне виконання високоточних геодезичних вимірювань просторового положення деформаційних марок. Перший проведений цикл вимірювань фіксує початкові координати та висотні відмітки контрольних точок і слугує базисом для порівняльного аналізу з результатами наступних циклів.

Абсолютна величина осадки ( $S$ ) кожної окремої контрольної марки визначається шляхом порівняння її поточної висотної відмітки ( $H_{\text{поточне}}$ ), отриманої в результаті поточного циклу вимірювання відносно стабільного репера, з її початковою висотною відміткою ( $H_{\text{початкове}}$ ) зафіксованою під час першого циклу спостережень:

$$S = H_{\text{поточне}} - H_{\text{початкове}} \quad 2.1.1.$$

Для отримання узагальненої характеристики вертикальної деформації всієї споруди або її окремих функціональних секцій обчислюється середня осадка ( $S_{\text{середнє}}$ ). Цей параметр є середнім арифметичним значенням осадок усіх  $n$  встановлених контрольних марок на досліджуваній ділянці, де підсумування здійснюється для всіх марок від першої до  $n - \text{ї}$ :

$$S_{\text{ср}} = \sum_1^n \frac{s}{n} \quad 2.1.2.$$

Важливим показником динаміки деформаційних процесів є середня швидкість деформації. Вона відображає інтенсивність розвитку деформацій у часі та розраховується як відношення приросту деформації між двома послідовними циклами вимірювань до тривалості часового інтервалу між цими циклами:

$$U_{\text{ср}} = \frac{(S_i - S_{i-1})}{t} \quad 2.1.3.$$

Аналіз швидкості деформацій дозволяє не лише оцінити поточний стан об'єкта, але й прогнозувати його поведінку в майбутньому, а також своєчасно виявляти потенційно небезпечні тенденції розвитку деформаційних процесів. Комплексний аналіз величин осадок та швидкостей їх розвитку є ключовим елементом системи геодезичного моніторингу технічного стану будівель та споруд [3].

Враховуючи, що осідання ґрунтів часто стає причиною деформацій конструкцій, рекомендовано також зосереджуватися на етапах і методах моніторингу змін його стану.

Враховуючи тенденції останніх років слід відміти, що особливу увагу сьогодні приділяють *автоматизованим системам*, які забезпечують контроль за змінами в режимі реального часу. Такі комплекси можуть фіксувати параметри крену, осідання, коливання поверхонь будівлі та деформації несучих конструкцій.

Спеціалізоване програмне забезпечення, за допомогою якого обробляється отримана інформація, дає змогу враховувати кліматичні умови, проводити автоматизоване вирівнювання мережі та аналіз змін просторового положення деформаційних марок і контрольних точок.

Автоматизовані комплекси геодезичного моніторингу можуть інтегрувати в собі GNSS-приймачі, лазерні сканери, інклінометри, а також спеціалізовані датчики, здатні реєструвати осідання, крени та інші просторові зміщення. Такі системи дозволяють досягти точності визначення просторових переміщень у межах  $\pm 1-2$  мм і забезпечують неперервне спостереження зі збереженням даних, формуванням звітів та аналітичним прогнозуванням змін.

Застосування автоматизованих систем геодезичного моніторингу, особливо актуально для споруд підвищеного рівня відповідальності - наприклад, мостових переходів в умовах інтенсивного міського навантаження, промислового обладнання та техногенно небезпечних підприємств.

Потрібно також відмітити, що реалізація якісного геодезичного моніторингу неможлива без дотримання регламентних вимог щодо

- точності
- технічного оснащення
- періодичності вимірювань

- документального супроводу

Щоб забезпечити повноту спостережень, частоту та методи вимірювань визначають згідно з нормативними документами, з урахуванням категорії об'єкта та потенційної небезпеки. Для проведення вимірювань використовуються прилади, що відповідають установленим класам точності. Наприклад, тахеометри повинні забезпечувати кутову точність не гіршу за 3"-5", а нівеліри - мати середньоквадратичну похибку в межах 2-5 мм на кілометр ходу. У разі застосування GNSS-приймачів для спостережень за деформаціями, планова точність має становити до 10 мм, а висотна - до 20 мм. Тип приладу та клас точності обираються відповідно до складності об'єкта, вимог проектної документації та результатів перевірки обладнання [13]

## **2.2. Спостереження і визначення кренів та горизонтальних переміщень**

Значна частина деформацій споруд пов'язана з вертикальними та горизонтальними зміщеннями, що проявляються у вигляді осідань, кренів та переміщень конструкцій. Ці явища відрізняються за природою прояву та механізмом виникнення: осідання - це вертикальне зниження елементів конструкції, крени - відхилення споруди від вертикалі, а горизонтальні переміщення - зсуви частин об'єкта у площині.

Багато будівель, зокрема житлові, мають мілкозаглиблені фундаменти з цегляної кладки, або бетонних блоків. Такі конструкції передають навантаження на підстильний ґрунт, але залишаються вразливими до сезонних змін температури та вологості. Глибина їх закладання зазвичай не перевищує 3-4 метрів, що не завжди дозволяє компенсувати нерівномірне осідання, викликане особливостями ґрунтової основи. Причинами осідань можуть бути неоднорідна структура ґрунтів, наявність водонасичених, або слабких прошарків, порушення дренажу чи техногенні навантаження. Коли подошва фундаменту стикається з різними за стисливістю ґрунтами, наприклад, глинами, мулами, пісками, навантаження розподіляється

нерівномірно, що призводить до локальних деформацій. У результаті можуть з'являтися тріщини, викривлення або ослаблення несучих елементів.

Крен в будівельних конструкціях, зокрема в фундаментах, може бути спричинений кількома основними факторами. Одним з найбільш поширених є нерівномірне просідання ґрунту. Коли різні ділянки основи зазнають різного осідання, це спричиняє нахил будівлі, що з часом може призвести до серйозних деформацій. Нерівномірне осідання часто обумовлене неоднорідною структурою ґрунту, де певні зони мають різну стисливість, або водопроникність.

Крім того, крен може виникати через асиметрію навантажень, коли одна частина споруди або її елемент зазнає значнішого навантаження, ніж інші. Це може бути результатом невірно розподіленого навантаження під час проектування, або експлуатації. Також помилки проектування, такі як неправильне розрахункове навантаження, неякісні матеріали, або недостатнього врахування особливостей ґрунтових умов можуть призвести до виникнення кренів.

Всі ці фактори, особливо якщо їх не контролювати на етапі проектування чи під час експлуатації, можуть спричинити серйозні деформації та зниження стійкості споруди. Вони мають безпосередній вплив на стабільність конструкцій, тому важливо вчасно ідентифікувати їх і здійснювати моніторинг стану споруд. Розглянемо, як саме осідання, крени та горизонтальні переміщення можуть впливати на стабільність будівель, а також простежимо механізми, що сприяють їх виникненню [4].

*Горизонтальні переміщення будівель і споруд* часто відбуваються через зовнішні впливи, такі як боковий тиск ґрунту, вплив води, вітрове навантаження, а також сейсмічна активність. Для точного вимірювання горизонтальних переміщень будівель використовуються електронні тахеометри, які дозволяють визначати координати точок на відстані з високою точністю. Це дозволяє точно вимірювати відстані та кути між точками на конструкціях і контролювати їх зміщення. Такі прилади забезпечують високу швидкість вимірювань та зменшують вплив людського фактору.

*Горизонтальні зсуви* можуть змінювати положення конструкцій у площині, що часто призводить до деформацій або втрати стабільності будівель. Для визначення горизонтальних переміщень конструкцій використовують різні методи, такі як

лінійно-кутові засічки, створні, стереофотограмметричні методи, а також методи лазерного сканування. Електронні тахеометри є одним з найефективніших інструментів для цих методів, оскільки вони дозволяють здійснювати точні та швидкі вимірювання без необхідності додаткових точок, або спеціальних установок. Вони вимірюють кути та відстані з великою точністю, що дозволяє створювати надійні моделі для аналізу переміщень. Вимірювання відхилень від вертикалі проводяться за допомогою методів похилого проектування або лінійно-кутових засічок. У разі використання електронних тахеометрів цей процес стає значно простішим.

Електронні тахеометри дозволяють безперервно фіксувати зміни в положенні конструкції, автоматично розраховуючи відстані та кути, що в подальшому дозволяє точніше визначати величину крену або зміщення. Горизонтальний зсув окремої точки будівлі визначається як різниця координат цієї точки у поточному і початковому циклах спостережень:

$$q_x = x_{\text{пот}} - x_{\text{поч}}$$

$$q_y = y_{\text{пот}} - y_{\text{поч}} \quad 2.2.$$

Ці величини дозволяють точно визначити зміщення конструкцій у горизонтальній площині. Електронні тахеометри використовують для таких вимірювань систему координат з точними цифровими вимірювальними пристроями. Це дозволяє отримувати високу точність і зафіксувати найменші зміщення конструкції навіть через кілька циклів спостережень. Тахеометри можуть зчитувати координати точок у реальному часі, що сприяє оперативному моніторингу.

Особливістю конструкцій вертикального типу, таких як башти, є їх схильність до крену, тобто відхилення від вертикальної осі. Крен визначається як зміна кутового положення радіуса, проведеного з центру досліджуваного горизонтального перетину. Завдяки електронним тахеометрам можна безпечно та ефективно визначати цю різницю, оскільки прилад автоматично фіксує координати на різних точках споруди і забезпечує точність вимірювань в кілька міліметрів. Це дає змогу визначити навіть мінімальні зміщення, що є критичними для раннього виявлення небезпек. Величина крену обчислюється за допомогою різниці осідань двох точок вздовж обраної осі.

Нерівномірне осідання та горизонтальні зсуви можуть призвести до значних деформацій конструкцій, що серйозно впливає на їхню стабільність. Перш за все, це втрата геометричної стабільності, що проявляється у вигляді викривлень стін, перекосів вікон і дверей, а також порушення лінійних розмірів споруди. Ці зміни можуть призвести до поступового руйнування конструктивних елементів, таких як стіни, перекриття і навіть основи будівлі. З часом, якщо не вжити відповідних заходів для стабілізації, крени можуть перерости у загрозу обвалу, що, в свою чергу, ставить під сумнів безпеку експлуатації будівлі. Крім того, зниження несучої здатності може бути наслідком великих осідань або прогинів, що вимагають термінових технічних втручань для відновлення конструктивної цілісності [5].

Таким чином, деформації у вигляді осідань, кренів і горизонтальних переміщень є серйозною загрозою для стабільності будівель і споруд. Їх виникнення здебільшого пов'язане з геологічними особливостями основи, інженерними похибками або зовнішніми навантаженнями. Ефективна профілактика та своєчасна діагностика цих змін, заснована на систематичному технічному контролі, є запорукою безпечної та довготривалої експлуатації об'єктів. Геодезичний моніторинг, як один із ключових інструментів спостереження, дозволяє своєчасно виявити критичні відхилення і прийняти обґрунтовані інженерні рішення.

Для виявлення кренів застосовують такі методи, як високоточне геометричне нівелювання, тахеометричні знімання та спеціалізовані прилади - інклінометри й відвісні системи. Геодезичні спостереження за зміною положення вертикальних елементів конструкцій ведуться в динаміці, що дає змогу не лише зафіксувати відхилення, а й відстежити їхню тенденцію - прискорення, стабілізацію чи зростання. Що стосується горизонтальних переміщень, то вони можуть проявлятися у вигляді зсувів окремих елементів споруди, або всього об'єкта в цілому, зокрема на ділянках із слабкими, схильними до повзучості або нестійкими ґрунтами. Для визначення таких змін найчастіше застосовують метод створних вимірювань, метод лінійно-кутових побудов, а також безконтактні технології - лазерне сканування та супутникові системи.

Горизонтальні зміщення фіксуються за допомогою спеціальних контрольних марок що зображені на рисунку 2.1, які закладаються на фасади будівель, у вузлові точки несучих конструкцій, або влаштовуються, як виносні опорні віхи.

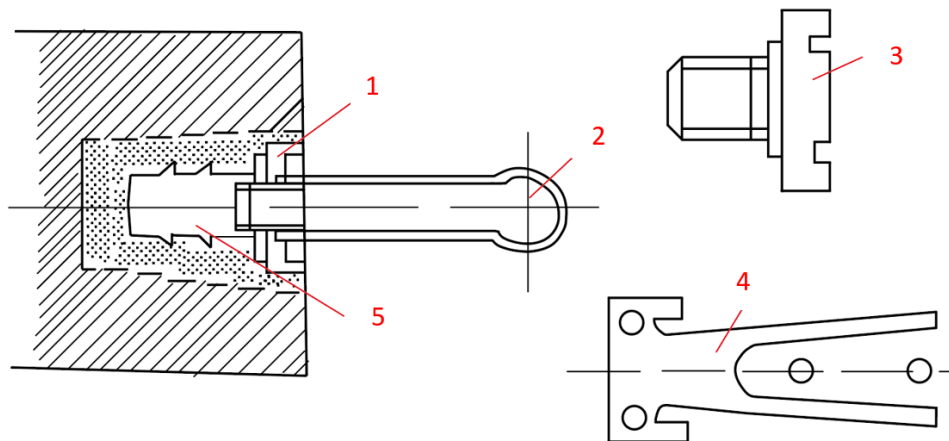


Рис. 2.1. Стінна деформаційна марка: 1 – головка, 2 – установчий марочний гвинт, 3 – кришка, 4 – ключ, 5 – хвостовик

У випадках перевищення гранично допустимих значень деформацій здійснюється оперативне коригування проектних рішень, посилення конструкцій або тимчасове припинення експлуатації об'єкта до усунення причин нестабільності. Таким чином, геодезичні методи виявлення кренів і горизонтальних зсувів є надійною основою для моніторингу просторової стабільності споруд. Своєчасне виконання таких спостережень дозволяє мінімізувати ризики, пов'язані з пошкодженням конструкцій, та забезпечити безпечну експлуатацію будівель і інженерних об'єктів [7].

Електронні тахеометри є невід'ємною частиною сучасної інженерної геодезії, що забезпечує точне вимірювання відстаней, кутів та висот для визначення координат точок на поверхні землі. Ці прилади здатні здійснювати вимірювання з високою точністю і дозволяють відслідковувати навіть найменші зміщення споруд у просторі. Однією з основних сфер їх застосування є геодезичний моніторинг, особливо при виявленні деформацій у будівлях і спорудах. Вони активно використовуються для моніторингу горизонтальних переміщень, кренів, осідань, перекосів та інших змін у геометрії конструкцій.

Електронні тахеометри працюють за принципом лінійно-кутових вимірювань, де завдяки точним вимірюванням кута і відстані можна визначити положення точки в тривимірному просторі. Це дозволяє з високою точністю відстежувати зміщення точок і елементів будівель у реальному часі, що надзвичайно важливо для запобігання значним пошкодженням, особливо в умовах потенційної нестабільності об'єкта. Використання тахеометрів дозволяє отримати точні дані за короткий час, без необхідності проводити тривалі польові роботи, що значно спрощує і прискорює процес.

Завдяки можливості підключення до сучасних супутникових систем (GNSS), тахеометри можуть працювати в режимі реального часу. Це дозволяє постійно спостерігати за великими будівельними об'єктами з високою точністю. Для забезпечення надійності та точності моніторингу часто застосовують активні пружини, інклінометри та роботизовані тахеометри, що дозволяють компенсувати похибки при зміщеннях і гарантують мінімальні похибки вимірювань. Завдяки таким інструментам можна не тільки отримати точні вимірювання, а й здійснити детальний аналіз стану будівель. Вони дозволяють швидко виявляти деформації, які не завжди видно неозброєним оком, тим самим надаючи можливість своєчасно вжити заходи щодо запобігання серйозним пошкодженням. Крім того, постійне використання електронних тахеометрів для моніторингу допомагає значно знизити ризики зниження стійкості будівель та підвищити загальну безпеку споруд.

Завдяки своїй здатності автоматизувати процес вимірювань і отримувати координати точок в режимі реального часу, електронні тахеометри значно знижують витрати часу та людських ресурсів, що робить цей метод вимірювань ефективним при моніторингу великих об'єктів і складних територій. Важливим аспектом використання тахеометрів є їх здатність інтегруватися в автоматизовані системи моніторингу, що дозволяє отримувати та обробляти дані без участі оператора, зменшуючи можливість людських помилок [10].

У поєднанні з іншими сучасними інструментами, наприклад лазерне сканування, електронні тахеометри забезпечують високоточний моніторинг на всіх етапах будівництва, що є запорукою стабільності конструкцій і зниження ризиків їх руйнування. Завдяки розвитку технологій, електронні тахеометри сьогодні є

незамінним інструментом для геодезичного моніторингу, оскільки вони забезпечують точність, швидкість та надійність вимірювань, що має важливе значення для забезпечення безпеки і довговічності будівельних споруд. Безперервний моніторинг здійснюється завдяки автоматизованим, роботизованим системам, що інтегрують кілька датчиків і приладів, що працюють синхронно і можуть обробляти великі обсяги даних, забезпечуючи точні і оперативні прогнози розвитку ситуації.

### **2.3. Високоточне нівелювання. Визначення вертикальних переміщень**

Високоточне нівелювання є одним з найнадійніших та найуживаніших методів визначення вертикальних переміщень будівель та споруд. Його застосування дозволяє з високою точністю фіксувати навіть незначні зміни у висотному положенні елементів конструкції, що особливо важливо при спостереженнях за динамікою осідання фундаментів у складних інженерно-геологічних умовах, контролем технічного стану будівель, а також при виявленні небезпечних тенденцій деформацій, які можуть призвести до виникнення аварійної ситуації.

Суть методу полягає у визначенні перевищень між точками, одна з яких – опорна (репер), встановлена поза зоною потенційних деформацій, а інша – контрольна, змонтована безпосередньо на конструкції. Основним приладом для виконання таких вимірювань є високоточний, останнім часом цифровий, нівелір у поєднанні з використанням інварних або фібергласових штрих-кодових рейок.

Вимірювання виконуються за певною схемою, яку за аналогією з виконанням подібних робіт в класичній геодезії прийнято називати «*нівелірним ходом*», звичайно у двох напрямках - прямому та зворотному, що дозволяє оцінити точність виконання робіт та виконати його зрівнювання.

У межах будівельного майданчика, при постановці завдання та наявності ресурсів, закладається мережа з кількох глибинних реперів, що опираються на корінні породи. Контрольні осадкові марки розміщуються у характерних місцях конструктивних частин споруди, наприклад: у місцях стику конструкцій, на кутах фундаменту або в центрі підвальних стін. Висотне положення кожної марки

фіксується з плином часу - у визначені цикли спостережень, що дозволяє простежити динаміку зміни положення точки.

**Абсолютна величина осідання** обчислюється, як різниця між висотними відмітками марки в певний момент часу і порівнюється з результатами виконаних вимірювань на початку спостережень – в «нульовий» цикл.

**Середня осадка** всієї споруди визначається, як середнє арифметичне з осадок окремих контрольних точок. Нерівномірність осідання оцінюється шляхом визначення різниць осадок між крайніми, або протилежними точками фундаменту. Важливими аналітичними показниками є також **нахил фундаменту** - відношення різниці осадок до довжини фундаменту, **відносна нерівномірність осадки** - відношення різниці осадок до відстані між точками, **відносний прогин** і, за потреби, **кут закручування споруди**.

Нормативними документами, встановлено граничні похибки визначення осадок, які не повинні перевищувати:

- 1 мм для унікальних будівель на скельних ґрунтах,
- 2 мм - для будівель на стисливих ґрунтах,
- 5 мм - для споруд на насипних ґрунтах,
- до 10 мм - для земляних споруд.

Середньоквадратична похибка (СКП) вимірювань обчислюється за спеціальною формулою, яка враховує довжину ходу та кількість вимірювань, і, для забезпечення достовірності результатів, повинна наближатися до мінімального значення.

$$\text{СКП} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad 2.3$$

Важливим аспектом є **регулярність** і **систематичність** спостережень. Перший цикл вимірювань приймається за базовий. Подальші вимірювання виконуються згідно з графіком, складеним на підставі стадій готовності об'єкта, а також з врахуванням сезонності, динаміки виявлених осідань, особливостей ґрунтів та конструктивних особливостей споруди. При виявленні прискорення осідань або інших ознак активних деформацій інтервал між циклами скорочують.

Систематичне спостереження та аналіз отриманих даних забезпечують своєчасне виявлення небезпечних відхилень і дозволяють зберегти експлуатаційну надійність будівель і споруд.

Таким чином, високоточне нівелювання є надійним інструментом у системі геодезичного моніторингу. Воно дозволяє своєчасно виявити і кількісно оцінити вертикальні деформації споруд, а також є основою для прийняття рішень щодо зміцнення конструкцій, зменшення навантажень, або проведення ремонтних заходів.

#### **2.4. Прилади високоточного вимірювання осідань**

Як відмічалось вище, нівелювання є одним із основних методів геодезичних вимірювань, який дозволяє визначити перевищення між точками на земній поверхні. Цей метод є надзвичайно важливим при виконанні моніторингу вертикальних переміщень споруд, оскільки дозволяє виявляти навіть незначні зміни у вертикальному положенні будівельних елементів.

Для досягнення високої точності та надійності результатів вимірювань необхідно застосовувати спеціалізовані прилади та додаткове оснащення. Вони забезпечують не лише високу точність, але й дозволяють здійснювати спостереження протягом тривалого часу з мінімальними помилками, що важливо для довгострокового моніторингу технічного стану споруд.

Основним інструментом для виконання нівелювання є нівелір. Для забезпечення високої точності вимірювань використовуються різні типи нівелірів, серед яких найбільш поширеними є *цифрові нівеліри*. Ці прилади мають ряд переваг перед аналоговими, зокрема автоматизоване зчитування перевищень без необхідності ручного зняття показів, що значно знижує ймовірність помилок, пов'язаних з людським фактором. Цифрові нівеліри також забезпечують швидкість вимірювань і високу точність, завдяки застосуванню штрихових рейок з цифровими маркерами, що дає можливість точного зчитування висотних перевищень.

Загалом нівеліри поділяються на кілька класів залежно від точності вимірювань: від технічних до високоточних. Для геодезичних спостережень на

будівельних об'єктах застосовуються високоточні нівеліри, здатні забезпечити найменші похибки і використовуються у важливих проектах, де потрібно забезпечити максимальну точність вимірювань, таких як при моніторингу деформацій споруд чи фундаментів.

Одним із прикладів сучасних моделей нівелірів є цифровий нівелір SDL30 призначений для точного вимірювання висот на різних об'єктах, таких як будівлі, стовпи, мости, тунелі, трубопроводи, лінії електропередачі тощо. Він також використовується для визначення нахилів і відхилень від горизонтального рівня. Основне його завдання - забезпечення високоточного вимірювання висоти на різних відстанях. SDL30 працює за допомогою лазерного віддалеміра, який здійснює вимірювання на відстані до 100 метрів з точністю до 1 мм на кожні 10 метрів. Діапазон вимірювання відстаней - від 1,6 до 100 метрів, час вимірювання в режимі точного одиночного вимірювання - менше 3 секунд. Нівелір має зорову трубу прямого зображення із збільшенням 32X і оснащений маятниковим компенсатором з магнітним демпфером, робочий діапазон компенсатора становить  $\pm 15''$ . Точність нівелювання (середньоквадратична похибка на 1 км подвійного ходу):

- електронне вимірювання по інварній рейці -  $\pm 0,6$  мм;
- електронне вимірювання по фібергласовій рейці типу BGS -  $\pm 1,0$  мм;
- візуальне вимірювання -  $\pm 1,0$  мм.

Нижче наведено таблицю із технічними характеристиками нівеліра Sokkia SDL30.

*Таблиця 2.4*

#### **Технічні характеристики нівеліра Sokkia SDL30**

Країна виробник	Японія
Вага	2.4 кг
Розмір	158x257x182 мм
Захист від зовнішніх факторів	IPX4
Час роботи	8.5 годин
Живлення	BDS71
Діапазон робочих температур	від $-20^{\circ}\text{C}$ до $+ 50^{\circ}\text{C}$
Модуль Bluetooth	відсутній

Тип трегера	механічний
Зовнішня пам'ять	відсутня
Внутрішня пам'ять	2000 вимірів (64 кБ)
Збільшення зорової труби	32x
Діапазон роботи компенсатора	$\pm 15'$
Час вимірювання	до 3 секунд
Діапазон вимірів	1.6 – 100 метрів
Поле зору	$1^\circ 20'$

Допоміжне обладнання, яке використовується для виконання нівелювання, включає в себе ряд приладів і аксесуарів, що покращують точність та зручність виконання вимірювань. Одним із таких елементів є нівелірні рейки, які слугують шкалою для зчитування висотних відміток під час вимірювання різниці висот. Виготовляються вони з інвару або інших матеріалів, що мають низьку температурну деформацію, аби мінімізувати похибки, викликані коливаннями температури. Рейки оснащені шкалами та штрих-кодом, що дозволяють зчитувати точні значення перевищень у візуальному або автоматичному режимах роботи.

Також до основного оснащення для нівелювання належать штативи, на яких встановлюється нівелір. Вони повинні бути стійкими та жорсткими, щоб запобігти зміщенню приладу під час роботи.

Окрім наведених засобів контролю деформацій, для високоточного вимірювання осідань у геодезії широко застосовуються інші сучасні прилади. Одним із таких є тахеометри - електронно-оптичні інструменти, здатні вимірювати горизонтальні та вертикальні кути, а також відстані до визначених точок. Завдяки високій точності, особливо у випадку використання роботизованих тахеометрів, ці прилади є ефективними засобами моніторингу осідань та просторових переміщень об'єктів. Вони забезпечують безперервне спостереження за станом споруд, що особливо важливо під час активного будівництва, реконструкції або в зонах підвищеної техногенної небезпеки. Автоматизовані тахеометри дозволяють

проводити вимірювання без постійної участі оператора, що робить їх зручними та надійними для довготривалих високоточних спостережень.

Іншим важливим приладом для контролю осідань і переміщень є *інклінометри*. Вони використовуються для вимірювання кутів нахилу конструкцій чи ґрунтів, що особливо необхідно при спостереженнях за схилами, дамбами, підпірними стінами чи будівлями, які можуть відчувати поступові зміщення через нерівномірне осідання. Інклінометри можуть бути як мобільними, так і стаціонарними, і вони здатні реєструвати навіть мінімальні зміни нахилу, що можуть бути індикаторами серйозних деформацій.

Для спеціалізованих досліджень, зокрема на ділянках з потенційними геологічними ризиками, часто застосовуються *гравіметри* - прилади для вимірювання сили тяжіння в конкретних точках земної поверхні. Зміни в гравітаційному полі можуть свідчити про підземні порожнини, зміни в щільності ґрунтів або масові переміщення порід, що супроводжуються осіданнями чи зсувами. Гравіметрія дозволяє здійснювати контроль за процесами, які важко виявити традиційними геодезичними методами, що робить її важливим елементом комплексного моніторингу деформацій.

Для більш складних вимірювань, коли необхідно враховувати додаткові фактори, такі як температурні зміни або вологість, використовуються термодатчики та гідрометеостанції. Вони дозволяють автоматично коригувати отримані дані в залежності від зовнішніх умов, що дає змогу отримувати більш точні результати у процесі довгострокового моніторингу. Важливою частиною забезпечення точності вимірювань є також транспортні футляри та захисні чохла, які забезпечують безпечно зберігання та транспортування геодезичних приладів, зокрема нівелірів і рейок, під час переміщення між робочими ділянками.

У сучасних умовах для здійснення безперервного спостереження за технічним станом споруд можуть застосовуватись додаткові технологічні рішення, на основі використання *GNSS-приймачів*, що працюють в режимі високоточного позиціонування, та *деформаційних датчиків*, що дозволяють отримувати дані про зміну положення точок на конструкціях в реальному часі.

Такі рішення особливо корисні в умовах, де необхідний постійний контроль за станом будівель, наприклад, на ділянках з підвищеним сейсмічним ризиком чи на об'єктах, де можуть відбуватися невеликі, але критичні зміни у структурі.

Таким чином, додавання електронних тахеометрів, GNSS-приймачів, інклінометрів та гравіметрів до традиційних методів, таких як геометричне та тригонометричне нівелювання, дозволяє здійснювати багаторівневий контроль стану будівель, забезпечуючи високу точність, надійність та раннє виявлення небезпечних змін у конструкціях і навколишньому середовищі. Це дозволяє своєчасно виявляти деформації та зміщення споруд, що є важливим для забезпечення їх безпеки і стабільності у процесі експлуатації.

## **2.5. Методика проведення геодезичного моніторингу споруд на забудованих територіях**

Своєчасне виявлення деформацій дає змогу оперативно реагувати на потенційно небезпечні зміни, тим самим забезпечуючи структурну стійкість споруди. Геодезичний моніторинг є невід'ємною складовою системи технічного контролю будівництва та здійснюється відповідно до чинних нормативних документів.

З метою запобігання деформаційним проявам, як у процесі будівництва так і протягом експлуатаційного періоду, спостереження за просторовими змінами будівельних конструкцій слід розпочинати вже з початкових етапів зведення об'єкта.

У процесі підготовки проектної документації передбачається можливість виникнення таких конструктивних змін, як просідання, крен і горизонтальні переміщення, які можуть проявитися внаслідок нерівномірного ущільнення ґрунтової основи або внаслідок зміни навантаження на фундаментну частину будівлі. Основним завданням геодезичного моніторингу є виявлення й кількісна оцінка фактичних змін у просторовому положенні споруди з метою контролю відповідності реальних параметрів проектним значенням та недопущення перевищення допустимих деформацій.

Методика проведення геодезичного моніторингу на забудованих територіях охоплює кілька послідовних етапів, кожен з яких спрямований на забезпечення точності вимірювань та достовірності оцінки деформаційних процесів.

На підготовчому етапі здійснюється аналіз проектної та виконавчої документації на об'єкт, а також вивчення інженерно-геологічних умов території. На основі отриманих даних визначається перелік конструктивних елементів споруди, які потребують контролю, формується програма моніторингу, в якій зазначаються методи вимірювання, типи приладів, точність, періодичність спостережень та допустимі відхилення.

Далі виконується побудова геодезичної основи моніторингу. На місцевості закріплюються опорні репери (зазвичай за межами зони впливу можливих деформацій), а на самій споруді встановлюються контрольні марки або візирні цілі. Розташування цих точок має відповідати критичним зонам можливих деформацій (фундамент, несучі стіни, колони, перекриття тощо). Після створення мережі виконується первинний цикл вимірювань, що формує базу для порівняння з подальшими результатами. Вимірювання виконуються із застосуванням високоточних інструментів: нівелірів - для фіксації вертикальних переміщень, тахеометрів або GNSS-приймачів - для горизонтальних зсувів та об'ємних змін.

Основний етап спостережень включає систематичне проведення вимірювань у відповідності до встановленого графіку (регулярно або в моменти особливого навантаження - бетонування, демонтаж, навантаження конструкцій тощо). Кожен цикл супроводжується детальною фіксацією всіх параметрів: погоди, температури, умов спостереження. Всі дані обробляються з використанням спеціального програмного забезпечення. За результатами обробки встановлюється абсолютне та відносне зміщення контрольних точок, проводиться аналіз швидкості та напрямку деформацій. Якщо зафіксовано зміни, що перевищують встановлені нормативами допустимі межі, приймаються рішення щодо запровадження попереджувальних або компенсувальних заходів.

Заключний етап включає оформлення технічного звіту з результатами геодезичного моніторингу. У звіті наводиться аналіз динаміки просторових змін, графіки та таблиці зміщень, прогноз подальших деформацій, а також рекомендації

щодо інженерних дій. Залежно від результатів моніторингу може бути змінена періодичність спостережень або оновлена програма моніторингу. Таким чином, методика забезпечує безперервний контроль за станом споруди та дозволяє своєчасно реагувати на потенційно небезпечні деформаційні прояви.

Методика спостережень та допустимі похибки вимірювань регламентуються чинними будівельними нормами [14]. Вони також встановлюють критерії точності, перелік необхідної документації та порядок обробки результатів. Залежно від категорії споруди встановлюються допустимі похибки при побудові геодезичної мережі. Наприклад, для об'єктів площею забудови понад 100 тис. м<sup>2</sup> середньоквадратична похибка нівелювання не повинна перевищувати 2 мм на 1 км подвійного ходу, а для лінійних вимірювань - 2 мм (до 50 м) або 1:25000 від довжини при більших відстанях. Для менших об'єктів допускаються похибки в межах 5 мм (до 50 м) або 1:10 000. Параметри вибираються відповідно до таблиці точності, встановленої в нормативних документах, і залежать від класу точності приладів.

Систематичні спостереження дозволяють фіксувати динаміку змін у просторі, оцінювати тенденції та ухвалювати рішення щодо технічного стану конструкцій. Метою геодезичного контролю є не лише фіксація деформацій, а й прогнозування їх подальшого розвитку. Завдяки високоточним вимірюванням можна встановити зони підвищеного ризику, оцінити стабільність об'єкта та розробити профілактичні заходи для запобігання подальшому погіршенню технічного стану.

Геодезичні роботи мають важливе значення для здійснення будівельних проектів, адже забезпечують точність та надійність інформації, необхідної для правильного розміщення об'єктів на місцевості та дотримання проектних вимог. Вони включають різні етапи, зокрема топографічні зйомки, інженерно-геодезичні вишукування та моніторинг деформацій споруд.

*Топографічні зйомки* забезпечують точне відображення поверхні землі, включаючи природні та штучні об'єкти, і використовуються для створення картографічних матеріалів, що служать основою для проектування інженерних мереж та будівель.

*Інженерно-геологічні вишукування дозволяють оцінити стан ґрунтів, зокрема їх міцність та стабільність, рівень підземних вод та інше, що критично для вибору типу фундаменту і прийняття вірних конструктивних рішень.*

### **РОЗДІЛ 3. ВИМІРЮВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ПРИКЛАДІ БУДИНКУ ПО ВУЛИЦІ ВЕРХНІЙ ВАЛ, 28, м. КИЇВ**

#### **3.1. Фізико-географічна характеристика району робіт**

Геодезичні роботи, що здійснювалися на об'єкті, проводилися з метою отримання вихідних даних для розробки проєкту укріплення будинку № 28 на вулиці Верхній Вал, м. Київ, Подільський район. Об'єктом обстеження є двоповерхова безпідвальна будівля закладу громадського харчування мережі «Пузата Хата». На час виконання робіт, будівля використовується за призначенням. Усі результати інженерно-геодезичних вишукувань слід розглядати у комплексі із результатами інженерно геологічних вишукувань.

Територія виконання робіт в геоструктурному відношенні відноситься до Українського кристалічного щита в межах його Фастівського блоку. За літературними відомостями скельовий фундамент представлений комплексом метаморфічних порід, перекритих потужним чохлом осадових відкладів. Кристалічні породи залягають на глибинах більше 250 метрів від денної поверхні. В ортографічному плані район вишукувань відноситься до зони переходу від Придніпровської височини до Придніпровської низовини. В геоморфологічному відношенні майданчик проведення робіт відноситься до заплави правого берегу р. Дніпро та розташований в межах тальвегової частини Глибоцької балки. Рельєф ділянки рівний, спланований, з незначним ухилом у північно-східному напрямку. Поверхня упорядкована та вимощена тротуарною плиткою, абсолютні позначки поверхні навколо будівлі становлять 103.10...101.70 метрів. Клімат району помірно континентальний, середньорічна температура повітря +8°C. Мінімальна температура - 32°C. Максимальна температура +39°C. Вітри переважно західного напрямку. Відносна вологість у липні 68%, а в січні 83%. Сніговий покрив тримається 84 дні, висота - 14-25 см. Глибина промерзання ґрунту - 1.0 м. Також на досліджуваній ділянці є шар ґрунтових вод на глибині 7 - 7.5 м. Він без тиску і живиться дощами, талою водою,

підземними притоками та витокami з труб. Вода тече на схід - до Дніпра, яке знаходиться орієнтовно на відстані 800 м. від будівлі. Іноді у верхніх шарах ґрунту може накопичуватися вода після дощів, ділянка також може підтоплюватися. Дощова вода відводиться в міську зливову систему.

Територія на якій знаходиться будівля має насипні ґрунти, включаючи біогенні, що є слабкими і служать підставою для фундаментів. Об'єкт знаходиться в зоні впливу метро, де проходять тунель Оболонсько - Теремківської лінії (рис. 3.1).

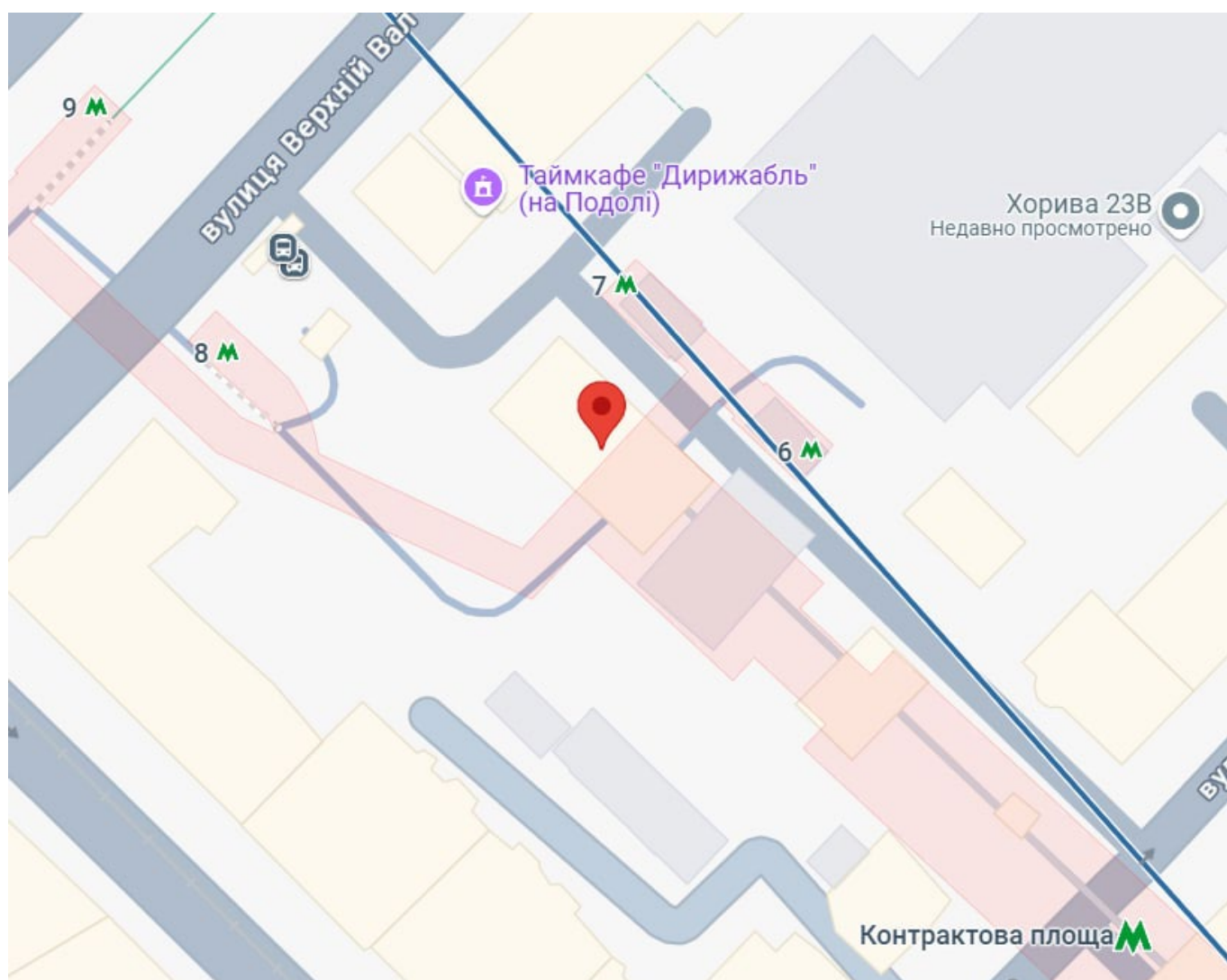


Рис. 3.1. Розташування об'єкту моніторингу та схематичне положення тунелю метрополітену

Через роботу метро рівень ґрунтових вод піднявся на 3 - 4 метри, що спричинило деформації будівель на неглибоких фундаментах.

За проектом реконструкції частину будівлі було демонтовано, а на місці старих конструкцій встановлено нові. Фундаменти будівлі стрічкового типу, неглибокого

закладання виконані з монолітного залізобетону, зображені на рисунку 3. В одній частині фундаменту наявний дефект, який виник по причині того, що опалубка розійшлась під час бетонування. Глибина залягання подібного типу фундаменту відповідає кліматичним вимогам, проте не відповідає геологічним і конструктивним нормам для безпечної експлуатації. Для металевих опор в середині будівлі використано стовпчасті фундаменти з монолітного залізобетону з розширенням підшви основи. Глибина їх закладання 1,1 м. від підлоги першого поверху, що на 0,35 – 0,55 м. нижче рівня існуючої поверхні.

### **3.2. Організація спостережень та проведення геодезичних робіт**

Комплекс високоточних інженерно-геодезичних робіт зі спостереження за осіданням нежитлової будівлі виконувалися згідно з вимогами інструкції по нівелюванню II класу, польові спостереження виконувались комплектом високоточного цифрового нівеліра Sokkia SDL 30, призначеним для нівелювання II класу. Загальна кількість циклів спостережень – 7. Вимірювання проводилися по 6 осадочним маркам. Інженерно-геодезичні вишукування зі спостереження за динамікою просідання стін будівлі містять наступні види робіт:

- підготовчо-організаційні роботи,
- вимірювальні роботи,
- обчислювальні роботи.

На етапі підготовчо-організаційних робіт було узгоджено місця закріплення осадочних марок, а також визначено точне розташування опорних реперів для зручності вимірювань. Репери розміщені на ділянках, які не піддаються деформаціям, але якомога ближче до будівлі. Для спостереженнями за деформаціями використовуються ґрунтові та стінні репери. Вихідний репер, який умовно прийнятий за 100 м встановлений на деформованій частині оглядового колодязя каналізаційної камери. Висотна опорна система складається з 4 ґрунтових реперів, і кожен цикл вимірювань включає визначення висотного положення осадочних марок, фото реперів наведено в додатку А. Репери задовольняють вимоги стабільності, точності та

доступності для вимірювань, і не розташовані поблизу залізниць чи трамвайних шляхів. Осадкові марки закріплені з урахуванням відстані до фундаментів і мають довжину від 200 мм до 350 мм, з глибиною закладання не менше 100 мм. Загалом використано 6 осадкових марок, схема розташування та фотофіксація подані в додатку Б.

Перед кожною сесією вимірювань прилад перевіряв взаємне висотне положення точок реперів для забезпечення їх геометричного взаємного розміщення. Всього було проведено сім циклів спостережень. Основним методом вимірювання осідань є геометричне нівелювання, яке базується на визначенні висотних відміток осадкових марок відносно опорних реперів.

Методика геодезичного спостереження за осадками споруд ґрунтувалася на періодичних вимірюваннях вертикальних зміщень конструкцій відносно опорних реперів із застосуванням методу геометричного нівелювання. Спостереження виконували шляхом прокладання нівелірних ходів II класу точності, які поєднували всі осадкові марки з реперами в єдину висотну мережу. На початковому етапі закладали або обирали опорні репери в стабільних, недеформованих ділянках - у природному ґрунті або на сусідніх спорудах. Після цього на об'єкті встановлювали осадкові марки в місцях очікуваних деформацій, з урахуванням конструктивних особливостей фундаменту, навантаження на окремі ділянки будівлі, наявності тріщин, переходів по висоті та потенційних зон осідань. Важливим було рівномірне розміщення марок по площині та периметру фундаментів для повного відображення картини деформацій. Схема будівлі та значення величини осідань стінних марок визначені за період спостережень наведено у додатку Д. Вимірювання здійснювали короткими променями довжиною до 25 м, а при повторних циклах прилад встановлювали у тих самих точках, дотримуючись однакових напрямків і кількості станцій. Початковий цикл нівелювання зрівнювали строгим способом, наступні - спрощеними, з обов'язковим контролем стійкості вертикальної основи. Осадкові марки та репери підтримували у технічно справному стані, а у разі їх пошкодження - оперативно відновлювали для забезпечення безперервності та достовірності моніторингу.

Основним приладом для виконання вимірювань є нівелір. Відповідно до прийнятої програми робіт вимірювання виконуються з дотриманням головних принципів нівелювання: прокладанням прямого і зворотного ходів між опорними точками (при наявності двох та більше реперів) або прокладанням замкнутого нівелірного ходу - з використанням однієї точки опори.

Прямий хід - на цьому етапі нівелір встановлюється в певній точці (напрямок вимірювання вказує на першу контрольну точку). Спостереження здійснюється на контрольні реperi, що розташовані в різних точках об'єкта чи майданчика. Під час прямого ходу визначається перевищення між точкою установки приладу та точкою спостереження. Вимірювання проводилися за допомогою коротких променів, де максимальна відстань між нівеліром і рейкою не перевищувала 25 м. Це забезпечує високу точність і контроль за зміщеннями навіть на великих площах.

Зворотній хід - цей етап полягає у повторенні вимірювання, але вже з іншої точки, яка є відображенням попередньої. Після встановлення приладу на нову точку, проводиться спостереження на попередньо виміряні точки та контрольні реperi. Зворотний хід дає можливість виявити і компенсувати похибки, які можуть виникнути при установці приладу, а також інші помилки, наприклад, зміщення приладу або помилки під час вимірювання через зовнішні умови.

Після виконання прямого та зворотного ходу, отримані значення перевищень з різних напрямків порівнюються, і якщо різниця між ними є мінімальною, це свідчить про точність вимірювань. Якщо ж різниця значна, то можна припустити, що виникли помилки, які потребують корекції. Завдяки такій схемі можна уникнути похибок, спричинених людським фактором або нестабільністю приладу. Під час вимірювань контролюється стабільність положення нівеліра, що є важливою умовою для збереження точності вимірювань.

Вимірювання осідань будівель проводились періодично, по циклам, з обов'язковим повторенням вимірів на однакових сталих місцях для забезпечення постійності напрямів та точності результатів. Всі осадкові марки повинні бути підтримувані в належному стані, що дозволяє здійснювати стабільні і точні вимірювання протягом тривалого періоду часу. Таким чином, при виконанні нівелювання важливу роль відіграє не тільки точність вимірювань, але й правильне

розміщення марок, що дає змогу виявити нерівномірні осідання, а також систематичний контроль за станом обладнання та марок. Це дозволяє забезпечити високий рівень достовірності даних та оперативність у виявленні деформацій будівлі. Результати спостережень, включаючи зміщення осадкових марок, надані в додатку В.

### **3.3. Обробка результатів високоточного нівелювання**

Одним з ключових етапів у геодезичному моніторингу є обробка та аналіз отриманих даних.

Процес зрівнювання нівелірних ходів є основним при визначенні вертикальних переміщень об'єкта. Зрівнювання нівелірних ходів проводять строгим способом тільки після першого (початкового) циклу вимірювань. Наступні цикли вимірювань зрівнюють простішими способами, що дозволяє контролювати стійкість вертикальної основи ще під час виконання етапу польових робіт.

Це припускає, що з часом можна забезпечити точність моніторингу, знижуючи вартість і тривалість подальших вимірювань.

Зрівнювання нівелірних ходів зазвичай здійснюється після кожного циклу спостережень з метою уточнення величин осідань і деформацій. Для забезпечення високої точності вимірювань усі етапи контролю повинні враховувати геодезичні похибки та інші зовнішні фактори, які можуть вплинути на результати.

Для організації та систематизації отриманих даних у дослідженні використовувалась офісна програма Microsoft Excel. У ній було створено таблицю, в якій зазначались номери реперів і марок спостереження, їх висотні координати та дати проведення вимірювань (див. додаток В).

Важливою частиною зрівнювання є обчислення різниць між висотами різних циклів спостережень. Зокрема, порівнюючи значення висот отримані при різних циклах спостережень, можна відслідковувати тенденції змін та провести аналіз та оцінку розвитку деформацій по усіх етапах спостережень.

Різниця між попередніми і наступними значеннями дозволяє не тільки виявити поточні деформації, але й екстраполювати розвиток явища на деякий період, з умовою збереження виявлених тенденцій та деформаційних чинників.

Для отримання достовірних результатів і оцінки точності кожного циклу спостережень застосовуються математичні методи, зокрема методи статистичної обробки даних. Це дозволяє визначити середньоквадратичну похибку вимірювань і оцінити точність проведених досліджень, що є критично важливим для прийняття обґрунтованих інженерних рішень на основі результатів моніторингу. Також було виконано порівняння результатів вимірювань, що дозволило оцінити динаміку осідань за допомогою розрахунку середніх значень і варіацій.

Збір і аналіз цих даних дозволяє відслідковувати певні закономірності та характерні зміни, які відбуваються зі спорудою, прогнозуючи можливі подальші змін у положенні конструкцій будівлі. Це є важливим для забезпечення тривалого та безпечного функціонування об'єкта.

З метою візуалізації результатів вимірювань побудовані графіки та схема, що наочно ілюструють процеси осідань та їх динаміку в часі.

На графіках детально представлені значення осідань у різних циклів спостережень (див. додаток Г). Ці графіки дозволяють проаналізувати швидкість осідання, виявити період найбільших значень деформації, а також відстежити зміни, що відбуваються на споруді в цілому.

Обробка даних за допомогою програмного забезпечення також включала аналіз трендів осідань для кожної точки спостереження, що допомогло створити цілісну картину змін стану споруди впродовж досліджуваного періоду. Важливою частиною цього процесу є визначення стійкості і рівномірності осідань, що можуть свідчити про потенційні проблеми у фундаментах споруди та необхідність застосування стабілізаційних заходів.

Завдяки систематичному і детальному аналізу отриманих результатів вдається сформулювати повну картину деформацій об'єкта, що дозволяє своєчасно вжити заходів для корекції деформацій, підвищення стабільності споруд та запобігання можливим аварійним ситуаціям.

### **3.4. Аналіз результатів геодезичного моніторингу, інтерпретація та прогнозування осідань будівлі.**

Проведення інженерно-геологічних вишукувань на об'єкті дало чітке розуміння основних факторів, що впливають на стабільність будівлі, зокрема ущільнення ґрунтів, нерівномірне осідання та техногенне підтоплення території. Виявлені проблеми з ґрунтовою основою та недостатня глибина закладання фундаментів потребують втручання для припинення прогресування процесу деформацій. З огляду на це, рекомендується провести посилення фундаментів шляхом встановлення паль, застосування ін'єкцій для стабілізації ґрунтової основи та виконання технічного укріплення фундаменту для запобігання подальшим деформаціям. Також необхідно здійснити ремонт системи водовідведення, що дозволить усунути проблему підтоплення, а також влаштувати гідроізоляцію фундаментів для захисту від негативного впливу ґрунтових вод.

Прогнозування осідань будівлі базується на результатах моніторингу вертикальних переміщень протягом 5 місяців. За цей період середня швидкість осідання північно-східного фасаду, в районі з'єднання «старої» та «нової» частин будівлі, становить -0,4 мм, а північно-західного фасаду – близько нуля. Це дозволяє прогнозувати подальше осідання на рівні -5 мм за один рік, за умови збереження поточної динаміки.

Необхідно зазначити, що, незважаючи на незначні осідання в місцях з'єднання частин будівлі, загальний стан споруди не викликає занепокоєння. Зокрема, на марках М1 та М2 було зафіксовано найбільше осідання: -1,4 мм та -1,9 мм відповідно. Проте, на марках М5 і М6 осідання не відбулося, і для М6 навіть спостерігалось незначне додатне переміщення (+0,2 мм). Таким чином, усі зафіксовані осідання є в межах допустимих норм і не є критичними для експлуатації споруди. Однак ці дані повинні бути передані до проектної організації для подальшого аналізу та внесення відповідних коригувальних заходів.

З огляду на поточну ситуацію, важливо продовжити моніторинг стану конструкцій, особливо в зонах з підвищеним навантаженням або техногенним впливом, таким як зона впливу метро. Систематичні спостереження дозволять

своєчасно виявляти небезпечні тенденції, що сприятиме стабільності будівлі і своєчасному реагуванню на потенційні загрози. Використання новітніх технологій та методів геодезичного моніторингу допоможе оперативно виявляти навіть найменші зміщення, що є критично важливим для забезпечення безпеки та стабільності будівель у процесі їх експлуатації.

## ВИСНОВКИ

За результатами виконання завдань кваліфікаційної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Основними типами деформацій, що виникають у процесі зведення та експлуатації будівель, є осідання, крени та горизонтальні зсуви конструкцій, спричинені як природними, так і техногенними чинниками. Деформації конструкцій значно ускладнюють експлуатацію будівель і споруд. Вони можуть призвести до серйозних проблем, включаючи аварійні ситуації, що ставлять під загрозу безпеку об'єкта та його мешканців чи користувачів. Тому запобігання і усунення деформацій є важливою складовою для забезпечення надійної і довготривалої експлуатації споруд.

2. Моніторинг споруд є критично важливим для своєчасного виявлення небезпечних деформацій на ранніх етапах їх прояву та прийняття необхідних рішень для запобігання та усунення можливих наслідків. Регулярні геодезичні спостереження є необхідною умовою для підтримання стабільного стану споруд і запобігання аварійним ситуаціям. Сучасні технології геодезичного моніторингу дозволяють значно підвищити точність вимірювань та мінімізувати вплив людського фактору, а впровадження автоматизованих систем відіграє ключову роль у забезпеченні безперервності і автоматизації виконання спостережень за просторовим положенням будівель на всіх етапах їх експлуатації.

3. Для визначення горизонтальних і вертикальних зміщень будівель/споруд, досягнення високої точності вимірювань та результативності геодезичних спостережень найдоцільнішим є використання геодезичних методів: високоточного геометричного нівелювання - для встановлення величини вертикальних переміщень та координатного методу - для визначення параметрів кренів, і сучасних геодезичних приладів, зокрема цифрових нівелірів та електронних тахеометрів. Крім того, застосування цифрових нівелірів та електронних тахеометрів є найоптимальнішими за критеріями вартості, швидкості та точності вимірювань.

4. Виконуючи комплекс робіт з високоточного нівелювання при моніторингу осідань будівлі №28 на вулиці Верхній Вал, м. Київ визначені величини деформацій, проведений їх аналіз та прогнозування розвитку явища в короткостроковій перспективі. Зібрані дані є важливими для подальшого контролю за станом будівлі та підвищення безпеки її експлуатації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтенко С. П. Геодезичні роботи в будівництві : навч. посіб. Київ : ІСДО, 1993. 144 с.
2. Кузьмін В. І., Білятинський О. А. Інженерна геодезія в дорожньому будівництві. Київ : Вища школа, 2006. 278 с.
3. Могильний С. Г., Войтенко С. П. Геодезія. Чернігів : КП Видавництво «Чернігівські обереги», 2002. 408 с.
4. Геодезія / О. Л. Островський та ін. Львів, 2004. 164 с.
5. Ратушняк Г. С. Геодезія : практикум. Київ : Вища школа, 1992. 226с.
6. Ратушняк Г. С., Лялюк О. Г. Геодезичні роботи в будівництві. Вінниця : ВНТУ, 2008. 182 с.
7. Войтенко С., Шульц Р., Білоус М. Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва : зб. наук. пр. 2009. Вип. 1 (17). С. 144–150.
8. Баран П., Сушко С., Чорнокінь В. Досвід інженерно-геодезичних спостережень за зсувами території міського житлового масиву з висотними будинками. Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва. 2000. С. 132–139.
9. Ішутіна Г. Планово-висотні геодезичні знаки для визначення деформаційних процесів споруд комбінованими методами. Містобудування та територіальне планування : наук.-техн. зб. Київ : КНУБА, 2011. Вип. 39. С. 195–200.
10. Інженерні вишукування для будівництва : ДБН А.2.1-1:2014. Київ : Мінрегіон України, 2014. 126 с.
11. Геодезичні роботи у будівництві : ДБН В.1.3-2:2010. Київ : Мінрегіон України, 2010. 70 с.
12. Зуска А. В. Інженерна геодезія : навч. посіб. Дніпро : Нац. гірн. ун-т, 2016. 242 с. Джерела
13. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. – [Чинний від 2009-01-01]. – Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2008.

14. ДБН В.1.3-2:2010. Геодезичні роботи у будівництві [Чинний від 01.01.2011].  
– К.: Мінрегіон України, 2010. – 55 с. – (Державні будівельні норми України).

# ДОДАТКИ

## Додаток А

### Опорні точки висотної (нівелірної) основи



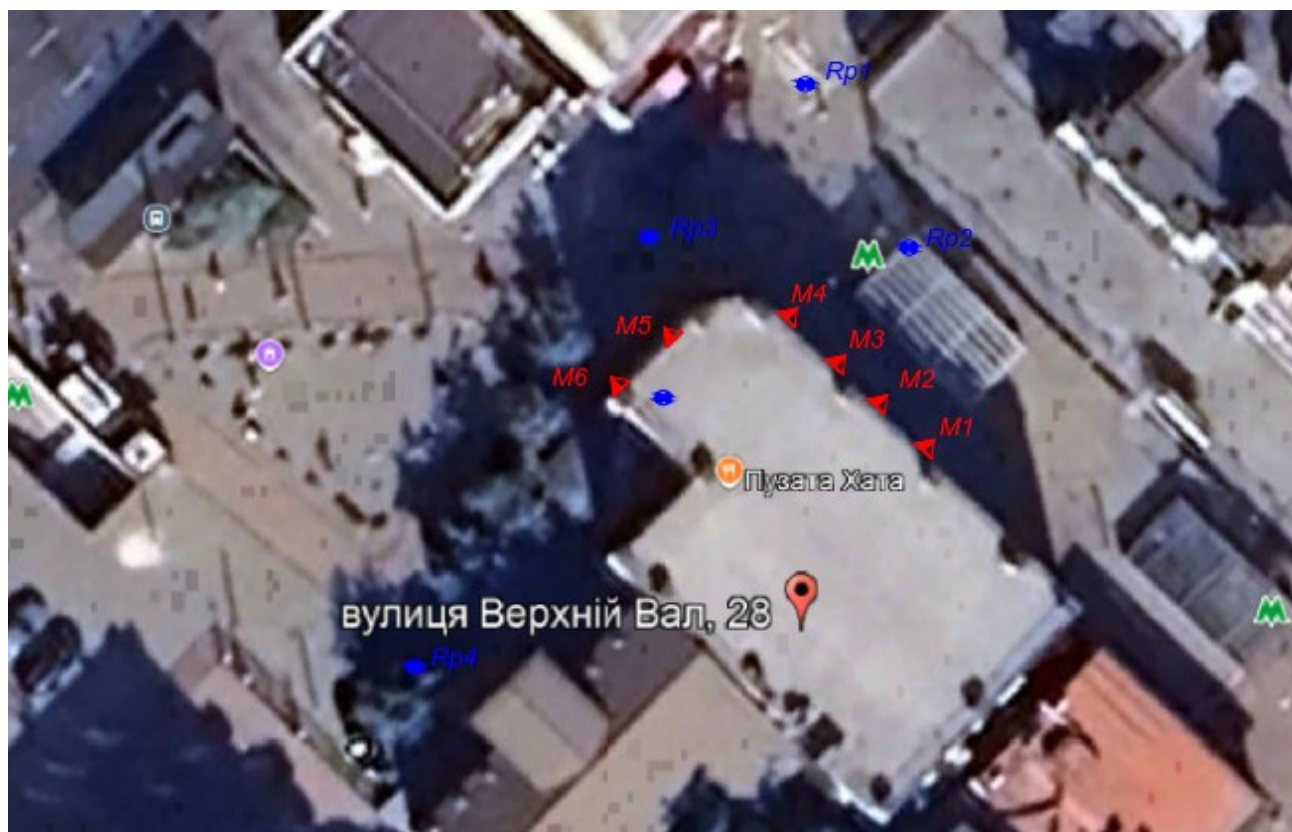
**Rp2**



**Rp4**

## ДОДАТОК Б

Схема розташування осадкових марок  
на споруді по вул. В.Вал, 28-30, м. Київ та опорних реперів

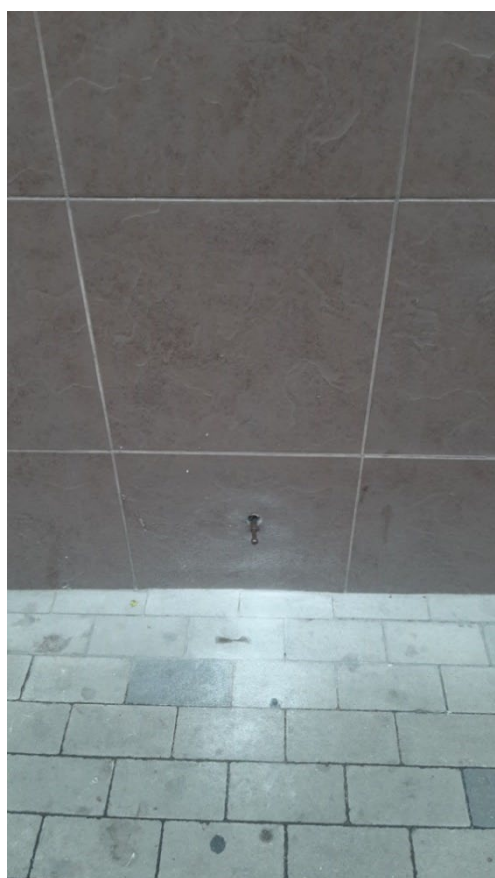


**ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТОК Б**

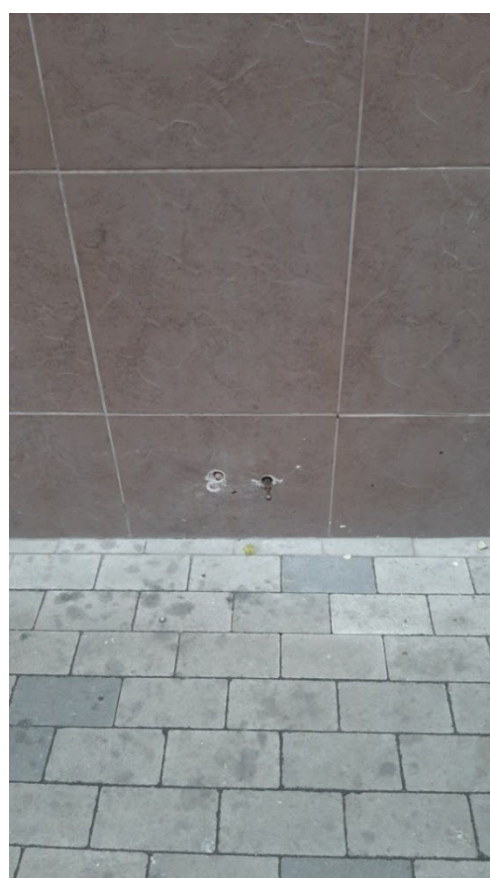
Фотофіксація положення осадкових марок



Стінні осадкові марки М5, М6.



М5



М6

## ДОДАТОК В

Таблиці результатів вимірювання осідань будівлі по вул. Нижній Вал, 28

Номери реперів/ осадкових марок	02.11.2024	16.11.2024		04.12.2024				
	H1, м	H2, м	H <sub>i</sub> -H <sub>i-1</sub> , м	H3, м	H <sub>i</sub> -H <sub>i-1</sub> , м	H <sub>i</sub> -H1, м	H <sub>i</sub> -H1, мм	
Rp1	100,0000	100,0001	0,0001	100,0000	0,0000	0,0000	0,0	
Rp2	101,1448	101,1448	0,0000	101,1449	0,0001	0,0001	0,1	
Rp3	100,1619	100,1619	0,0000	100,1618	-0,0001	-0,0001	-0,1	
Rp4	100,7835	100,7835	0,0000	100,7832	-0,0003	-0,0003	-0,3	
M1	101,2859	101,2853	-0,0006	101,2849	-0,0010	-0,0010	-1,0	
M2	100,9598	100,9594	-0,0004	100,9588	-0,0010	-0,0010	-1,0	
M3	<i>відсутня</i>	100,7773	//	100,7771	-0,0002	-0,0002	-0,2	
M4	<i>відсутня</i>	100,7968	//	100,7968	0,0000	0,0000	0,0	
M5	100,5309	100,5309	0,0000	100,5307	-0,0002	-0,0002	-0,2	
M6	100,5284	100,5282	-0,0002	100,5280	-0,0004	-0,0004	-0,4	
Номери реперів/ осадкових марок	02.01.2025			02.02.2025				
	H4, м	H <sub>i</sub> -H <sub>i-1</sub> , м	H <sub>i</sub> -H1, м	H <sub>i</sub> -H1, мм	H5, м	H <sub>i</sub> -H <sub>i-1</sub> , м	H <sub>i</sub> -H1, м	H <sub>i</sub> -H1, мм
Rp1	100,0000	0,0000	0,0000	0,0	100,0001	0,0001	0,0001	0,1
Rp2	101,1451	0,0002	0,0003	0,3	101,1452	0,0001	0,0004	0,4
Rp3	100,1621	0,0003	0,0002	0,2	100,1621	0,0000	0,0002	0,2
Rp4	100,7832	0,0000	-0,0003	-0,3	100,7836	0,0004	0,0001	0,1
M1	101,2846	-0,0003	-0,0013	-1,3	101,2848	0,0002	-0,0011	-1,1
M2	100,9586	-0,0002	-0,0012	-1,2	100,9586	0,0000	-0,0012	-1,2
M3	100,7768	-0,0003	-0,0005	-0,5	100,7768	0,0000	-0,0005	-0,5
M4	100,7966	-0,0002	-0,0002	-0,2	100,7966	0,0000	-0,0002	-0,2
M5	100,5308	0,0001	-0,0001	-0,1	100,5309	0,0001	0,0000	0,0
M6	100,5283	0,0003	-0,0001	-0,1	100,5285	0,0002	0,0001	0,1
Номери реперів/ осадкових марок	02.03.2025				03.04.2025			
	H6, м	H <sub>i</sub> -H <sub>i-1</sub> , м	H <sub>i</sub> -H1, м	H <sub>i</sub> -H1, мм	H7, м	H <sub>i</sub> -H <sub>i-1</sub> , м	H <sub>i</sub> -H1, м	H <sub>i</sub> -H1, мм
Rp1	100,0001	0,0000	0,0001	0,1	100,0000	-0,0001	0,0000	0,0
Rp2	101,1453	0,0001	0,0005	0,5	101,1451	-0,0002	0,0003	0,3
Rp3	100,1624	0,0003	0,0005	0,5	100,1625	0,0001	0,0006	0,6
Rp4	<i>зміщена</i>	-	-	-	-	-	-	-
M1	101,2844	-0,0004	-0,0015	-1,5	101,2845	0,0001	-0,0014	-1,4
M2	100,9582	-0,0004	-0,0016	-1,6	100,9579	-0,0003	-0,0019	-1,9
M3	100,7766	-0,0002	-0,0007	-0,7	100,7762	-0,0004	-0,0011	-1,1
M4	100,7965	-0,0001	-0,0003	-0,3	100,7959	-0,0006	-0,0009	-0,9
M5	100,5308	-0,0001	-0,0001	-0,1	100,5308	0,0000	-0,0001	-0,1
M6	100,5283	-0,0002	-0,0001	-0,1	100,5286	0,0003	0,0002	0,2

## ДОДАТОК Г

## Значення та динаміка зміщень осадкових марок

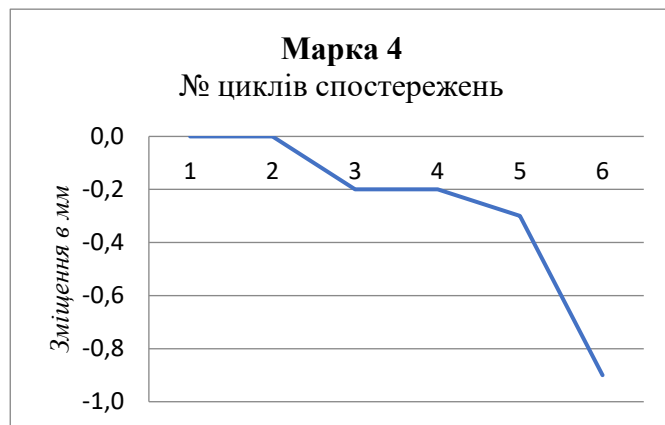
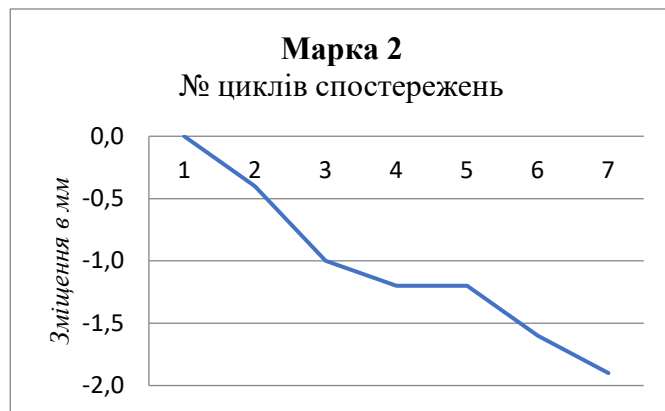


Схема будівлі та значення величини осідань стінних марок визначені за період спостережень

