

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Геоінформаційних систем управління територіями

Кафедра: Інженерної геодезії

Освітній рівень: «магістр за ОПП/ОНП»

Спеціальність: 193 геодезія та землеустрій

Спеціалізація: Інженерна геодезія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

Нестеренко О. В.

“ ___ ” _____ 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

Кушнірчука Тараса Юрійовича

1. Тема роботи «Геодезичний моніторинг за планово-висотним зміщенням будівлі» затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від “ ___ ” _____ 2024 року.
2. Керівник роботи: Ісаєв Олександр Павлович
3. Строк подання студентом роботи до захисту: _____
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

ВСТУП

**РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОБІТ ТА
ОБ’ЄКТУ МОНІТОРИНГУ**

- 1.1 Архітектурно-будівельна структуривна характеристики споруди
- 1.2 Фізико-географічні та геологічні умови району робіт
- 1.3 Кліматичні умови району робіт

**РОЗДІЛ 2. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ СПОСТЕРЕЖЕННІ ЗА
ПЛАНОВО-ВИСОТНИМ ЗМІЩЕННЯМ БУДІВЛІ**

2.1 Завдання геодезичного моніторингу

2.2 Види геодезичного моніторингу

2.3 Основні принципи спостережень за планово-висотним зміщенням будівлі

2.4 Вимоги до точності виконання вимірювань при спостереженні за планово-висотним зміщенням будівлі

РОЗДІЛ 3. РОБОТИ ПРИ СТВОРЕННІ ОПОРНИХ МЕРЕЖ ТА СПОСТЕРЕЖЕННІ ЗА ПЛАНОВО-ВИСОТНИМ ЗМІЩЕННЯМ БУДІВЛІ

3.1 Проєкт висотної мережі

3.1.1 Опорна висотна мережа

3.1.2 Локальна висотна мережа

3.2 Проєкт планової мережі

3.3 Спостережень за осіданням будівлі

3.4 Спостережень за горизонтальними зміщеннями та креном будівлі

РОЗДІЛ 4. ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ПЛАНОВО-ВИСОТНИМ ЗМІЩЕННЯМ БУДІВЛІ

4.2 Аналіз результатів спостережень за креном споруд

4.3 Аналіз результатів спостережень за осіданням споруд

РОЗДІЛ 5: ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ

ВИСНОВОК

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Графічний матеріал за розділами:

Р. 1. _____

Р. 2. _____

Р. 3. _____

Р. 4. _____

Р. 5. _____

6. Календарний план виконання роботи: а) наукова частина;
б) практична частина.

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1.	
Розділ 2.	
Розділ 3.	
Розділ 4.	
Розділ 5.	
Остаточне оформлення роботи	
Направлення роботи на рецензування, перевірку на плагіат	
Попередній захист роботи на кафедрі	

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1.			
Розділ 2.			
Розділ 3.			
Розділ 4.			
Розділ 5.			

8. Дата видачі завдання: _____

Зав. кафедри _____
(підпис)

Дем'яненко Р. А.

Керівник _____
(підпис)

Ісаєв О. П.

Студент _____
(підпис)

Кушнірчук Т. Ю.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**ФАКУЛЬТЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ
ТЕРИТОРІЯМИ**

КАФЕДРА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОДЕЗІЇ

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

на тему:

«Геодезичний моніторинг за планово-висотним зміщенням будівлі»

Кушнірчук Тарас Юрійович

Київ 2024 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

**ФАКУЛЬТЕТ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ
ТЕРИТОРІЯМИ**

КАФЕДРА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОДЕЗІЇ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

“ ___ ” _____ 20__ року

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

«Геодезичний моніторинг за планово-висотним зміщенням будівлі»

Виконав студент групи ГДм-23
спеціальність 193 Геодезія та Землеустрій
спеціалізація Інженерна геодезія

Кушнірчук Т. Ю.

Керівник: Ісаєв О. П.

Доцент кандидат технічних наук

Ідентичність підтверджую

Київ 2024 р

РЕЗЮМЕ (summary) до атестаційної випускної роботи студента:		Кушнірчук Тарас Юрійович	
Назва ВНЗ	Київський національний університет будівництва і архітектури		
Тема	Геодезичний моніторинг за планово-висотним зміщенням будівлі		
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	к.т.н. доцент Ісаєв Олександр Павлович		
Обсяг роботи:	пояснювальна записка, стор.	розділів	креслень формату А1
	90	5	0
Розділ 1	Опис географічного розташування, природні, кліматичні та інженерно-геологічні умови району, а також основні параметри, стан і особливості об'єкта, що підлягає моніторингу.		
Розділ 2	Опис методів, засобів виконання геодезичних вимірювань, спрямованих на контроль змін у планово-висотному положенні стані будівлі. У ньому розглядаються різні методи, які можуть бути використані для подальшої роботи.		
Розділ 3	Опис процес проектування геодезичних опорних мереж, необхідних для проведення точних спостережень за зміщеннями будівлі. Висвітлюються методи побудови мереж, вибір обладнання, технології вимірювань, обробка даних і забезпечення точності для моніторингу змін у положенні та висоті будівлі.		
Розділ 4	Аналіз отриманих геодезичних даних для визначення характеру, величини та динаміки зміщень будівлі. У ньому описуються методи обробки вимірювань, побудова графіків і схем деформацій, а також інтерпретація результатів для виявлення можливих причин змін.		
Розділ 5	Розділ "Охорона праці при виконанні робіт" висвітлює заходи безпеки та організаційні вимоги, спрямовані на забезпечення здоров'я і безпеки працівників під час виконання геодезичних робіт. У ньому розглядаються ризики, пов'язані з роботою на місцевості, використанням обладнання, дотриманням нормативів охорони праці та екологічної безпеки.		
Висновки по роботі:	Дипломна робота присвячена дослідженню методів геодезичного моніторингу для спостереження за планово-висотним зміщенням будівлі, що включає використання сучасних інструментів та методик вимірювань. Результати роботи дозволяють оцінити точність та		

	ефективність моніторингу, а також розробити рекомендації для покращення процесу спостереження за деформаціями будівель.
--	---

Ключові слова: проектування мережі, крен, осідання, планово-висотні зміщення, глибинні репери, опорна висотна мережа, локальна висотна мережа, планова мережа.

Keywords: network design, pitch, roll, settling, planned-height displacements, depth raps, reference height network, local height network, planned network.

Укладач: Кушнірчук Т. Ю.

Керівник: Ісаєв О. П.

GISUT KNUCA 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	10
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОБІТ ТА ОБ'ЄКТУ МОНІТОРИНГУ	12
1.1 Архітектурно-будівельна структуривна характеристики споруди	13
1.2 Фізико-географічні та геологічні умови району робіт	16
1.3 Кліматичні умови району робіт	22
РОЗДІЛ 2. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ СПОСТЕРЕЖЕННІ ЗА ПЛАНОВО-ВИСОТНИМ ЗМІЩЕННЯМ БУДІВЛІ	23
2.1 Завдання геодезичного моніторингу	24
2.2 Види геодезичного моніторингу.....	27
2.3 Основні принципи спостережень за планово-висотним зміщенням будівлі	31
2.4 Вимоги до точності виконання вимірювань при спостереженні за планово-висотним зміщенням будівлі	40
РОЗДІЛ 3. РОБОТИ ПРИ СТВОРЕННІ ОПОРНИХ МЕРЕЖ ТА СПОСТЕРЕЖЕННІ ЗА ПЛАНОВО-ВИСОТНИМ ЗМІЩЕННЯМ БУДІВЛІ	42
3.1 Проєкт опорної висотної мережі	43
3.1.1 Опорна висотна мережа	45
3.1.2 Локальна висотна мережа	50
3.2 Проєкт опорної планової мережі	56
3.3 Спостережень за осіданням будівлі	64
3.4 Спостережень за горизонтальним и зміщеннями та креном будівлі	67
РОЗДІЛ 4. ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ПЛАНОВО-ВИСОТНИМ ЗМІЩЕННЯМ БУДІВЛІ	73
4.1 Аналіз результатів спостережень за осіданням споруд	74
4.2 Аналіз результатів спостережень за креном споруд	80

РОЗДІЛ 5: ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ	84
ВИСНОВОК	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89

GISUT КНУСА 2024

ВСТУП

Сучасний розвиток будівництва, інженерних споруд та містобудування ставить перед геодезистами завдання високоточного контролю стану будівель і споруд у процесі їхньої експлуатації. Планово-висотні зміщення є одними з ключових показників, що характеризують стабільність конструкцій, тому їх своєчасний моніторинг є надзвичайно важливим. Особливе значення ці процеси набувають у районах з підвищеною сейсмічною активністю, складними інженерно-геологічними умовами або в умовах впливу значних динамічних та статичних навантажень.

Геодезичний моніторинг – це комплекс робіт, спрямованих на визначення та контроль за змінами просторового положення будівлі. Завдання моніторингу полягає не лише в отриманні даних про фактичний стан споруди, але й у прогнозуванні можливих змін у майбутньому, а також у попередженні аварійних ситуацій. Моніторинг планово-висотних зміщень дозволяє виявити потенційно небезпечні деформаційні процеси, оцінити їхню динаміку та вплив на загальний стан об'єкта.

Тема магістерського проєкту «Геодезичний моніторинг за планово-висотним зміщенням будівлі» є актуальною, оскільки техногенні та природні фактори все частіше створюють загрози для стабільності будівель. Моніторинг передбачає використання сучасного обладнання, такого як електронні тахеометри, високоточні нівеліри, GNSS-технології, а також спеціалізованого програмного забезпечення для обробки результатів вимірювань. Інтеграція цих методів дозволяє значно підвищити ефективність і точність спостережень.

Метою роботи є розробка проєкту геодезичного моніторингу за планово-висотним зміщенням будівлі, яка забезпечить своєчасне виявлення та аналіз зміщень будинку. Завданнями є визначення технологічної схеми робіт, вибір обладнання, оцінка точності вимірювань, а також обробка отриманих даних.

Окремо розглядаються питання впливу інженерно-геологічних умов на зміщення споруди та нормативні вимоги до точності спостережень.

Практична значущість проєкту полягає у можливості застосування запропонованих методів для контролю стану реальних об'єктів, в умовах щільної міської забудови чи на об'єктах підвищеного ризику. Впровадження ефективних методів моніторингу дозволить не лише запобігти можливим аваріям, але й оптимізувати експлуатацію будівель і споруд, знижуючи витрати на їх утримання та ремонт.

Дана робота спрямована на вирішення важливих завдань забезпечення надійності та безпеки об'єктів за допомогою сучасних геодезичних технологій. Результати дослідження можуть стати основою для подальшого вдосконалення систем моніторингу й адаптації їх до нових умов.

**РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОБІТ
ТА ОБ'ЄКТУ МОНІТОРИНГУ**

GISUIT.KYIV.UA 2024

1.1 Архітектурно-будівельна характеристика споруди

Будівля, за якою проводилося спостереження, знаходяться в жилу комплексі «Лісовий» за адресою село Новосілки, Київської області, на схилі пагорба. Це означає, що час від часу, хоча б раз на рік необхідно проводити спостереження за деформаціями цих споруд, щоб осідання або зсув не перевищували норму і задля того, щоб вчасно взяти заходи для усунення та попередження цих деформацій.



Рис. 1.1 Місце розташування об'єкту моніторингу

Конструктивна схема будівлі – монолітна з несучими монолітними залізобетонними стінами та монолітними залізобетонними перекриттями .

Розрахунок каркасу виконано із застосуванням програмного комплексу “ЛИРА”, міцність та стійкість будівлі забезпечено.

Будівля має розміри в плані 66.4 м x 18.9 м, висота поверху – 2.8 м.

Будинок має 25 поверхів та підвал.



Рис. 1.2 Фасад будинку

Прийняті такі конструкції будинку :

- фундаментна плита – монолітна залізобетонна товщиною 800 мм, виконана з бетону С20/25 W6 F50 та влаштована по бетонній підготовці товщиною 100 мм з бетону С10/12.5. Основою для плити служить ґрунт шару ІГЕ-4а - суглинок, з наступними розрахунковими фізико-механічними характеристиками: $\rho_1 = 2,06 \text{ т/м}^3$, $C_1 = 0,021 \text{ МПа}$, $\varphi_1 = 90$, $E = 11 \text{ МПа}$;
- стіни – монолітні залізобетонні товщиною 200 мм , виконані з бетону С20/25 F50. Проектом передбачено використання арматури по ДСТУ 3760:2006 класу А500С, А240С4;
- плити перекриття та покриття – товщиною 180 мм.
- сходові марші та площадки – збірні залізобетонні марші згідно серії 1.151.1-6, площадки – серія 1.152.1-8.
- вентиляційні блоки – збірні, залізобетонні.

- огорожі балконів – збірні, залізобетонні.

Просторова жорсткість каркасу будівель підвищена за рахунок сумісної роботи монолітних залізобетонних стін та дисків перекриттів та покриття. Така конструкція задовольняє вимогам при дії сейсмічного впливу.

Також у проекті виконані вимоги ДБН В.1.1-12:2014 (розділ 7.7) для будівель з несучими стінами із монолітного залізобетону.

GISUT KNUCA 2024

1.2 Фізико-географічні та геологічні умови району робіт

Київський промисловий район розташовано в центрі східної Європи на обох берегах р. Дніпра, у його середній течії, нижче впадіння лівої притоки – р. Десна. Своєрідність і різноманітність природних умов Києва пов'язані з його розташуванням на межі фізико-географічних зон: лісостепової та змішаних лісів. Північна частина міста розташована на Поліській низовині, південно-західна (правобережна) – на Придніпровській височині, південно-східна (лівобережна) – на Придніпровській низовині.

Придніпровська височина характеризується найбільш високими абсолютними відмітками – 175,0-198,0м.

Гідрографічна мережа району представлена р. Дніпро, річками його басейну (Десна, Либідь, Сирець, Нивка, Горенка, Віта, стр. Пляховий), озерами, болотами, штучними ставками і каналами. Дніпро і його долина мають вирішальний вплив на природні умови Києва та його околиць. Характерним для режиму всіх річок є весняна повінь, низька літня межень, дещо підвищені рівні восени через сезонні дощі.

Живлення річок змішане з переважаючим живленням ґрунтовими водами.

В геоморфологічному відношенні ділянка вишукувань розташована в межах моренно-зандрової рівнини та характеризується абсолютними відмітками поверхні землі в межах 186,0 м – 187,50 м.

Геологічна будова ділянки на глибину до 25,0 м сформована комплексом четвертинних відкладів, які підстилаються відкладами неогенового періоду. Четвертинні відклади представлені комплексом відкладів льодовикового походження (флювіогляціальними та моренними), та нижньочетвертинними бурими глинами.

Неразчленований комплекс флювіогляціальних та моренних відкладів (g_{II} , f_{II}).

Відклади цього комплексу сформовані переважно суглинками бурими, сірувато-бурими, сірими, важкими, які містять в собі лінзи та прошарки піску. Також в комплекс входить пісок та супісок жовтувато-сірі, сірі, бурувато-сірі.

Товща бурих глин (Q_1). Вони представляють собою ґрунти довільного мінливого зафарбування та строкатого літологічного складу. Колір їх бурий різних відтінків: червонувато-бурий, сірувато-бурий, плямистий. Глини щільні, в'язкі у різному ступені піщанисті, важкі; при висиханні вони розпадаються на гострокутні окремість, часто мають залізисто-марганцеві бобовини (переважно у нижній частині розрізу), карбонатні конкреції розміром до 3-5 см. В мінералогічному відношенні глини складаються із монтморилоніту (заліzysta різновидність) з домішками каолініту та гідрослюд. Поверхня бурих глин зазнала часткового розмиву та зафіксована в межах абсолютних відміток 171,9-172,9 м. В підшві нижньочетвертинних відкладів залягають строкаті глини неогенового періоду.

Неогенова система (N)

Відклади неогену на території, що досліджується, представлені верхнім міоценом (строкаті глини). Строкаті глини підстилають товщу бурих глин та сформовані глинами сірими, зеленувато-сірими, оливково-зеленими та жовто-сірими з багаточисленними охристо-жовтими та вишнево-червоними плямами та розводами. Глини щільні, в'язкі, іноді жирні, у нижній частині як правило з домішками піщаних частинок, з конкреціями та рихлими включеннями карбонатів з домішками та бобовинами залізо-марганцевих поєднань, максимальний вміст яких простежується в верхній частині розрізу. В мінералогічному відношенні глини складені каоліном з домішками монтморилоніту та гідрослюд. Вище по розрізу кількість монтморилоніту як правило збільшується. На ділянці вишукувань покрівля строкатих глин зафіксована в межах абсолютних відміток 164,8 - 165,6 м.

З денної поверхні флювіогляціальні відклади перекриті шаром насипного ґрунту потужністю до 1,8 м, який сформований супіском та суглинками сірими,

темно-сірими, неоднорідними. Більш детально склад, стан та умови залягання ґрунтів наведені на інженерно- геологічних розрізах, що додаються до звіту.

Гідрогеологічні умови ділянки

Гідрогеологічні дослідження виконувалися в комплексі з інженерно- геологічними роботами з метою визначення передбачуваної сфери взаємодії споруд, що проектуються, з геологічним середовищем, характеристик підземних вод, включаючи глибину залягання, сезонні коливання, потужність, напрямок руху підземних вод, їх хімічний склад та агресивність до бетону. Гідрогеологічні умови ділянки характеризуються наявністю водоносного горизонту, приуроченого до четвертинних льодовикових відкладів.

Під час проведення вишукувань рівень підземних вод зафіксований на глибинах 1,5 - 2,4 м в межах абсолютних відміток 184,60 – 185,70 м. Різниця рівнів пояснюється неоднорідністю ґрунтових умов. Ділянка вишукувань підтоплена. Високому рівню підземних вод сприяють значна потужність слабопроникних глинистих ґрунтів та погана дренажність території.

Поповнення підземних вод здійснюється шляхом інфільтрації атмосферних опадів, вод поверхневого стоку. Водотривким шаром служать товща бурих та строкатих глин. Прогнозний підйом рівня підземних вод основного водоносного горизонту на розрахунковий період можливий до 1,0 м від рівня, зафіксованого під час вишукувань, при незмінності граничних умов. Згідно результатам хімічного аналізу підземні води, відібрані зі свердловин під час польових робіт, за усіма компонентами неагресивні до бетону марки W₄ по водонепроникненості, приготовленому на будь-якому цементі.

Глибина сезонного промерзання ґрунтів може досягти 0,8-0,9 м.

Фізико-механічні властивості ґрунтів визначались у польових умовах за допомогою статичного зондування. Крім того були враховані результати лабораторних досліджень на зразках ґрунту непорушеної структури на суміжній ділянці.

На зразках порушеної структури визначалися фізичні властивості глинистих ґрунтів (межі пластичності, природна вологість, консистенція), для піщаних ґрунтів – гранулометричний склад, та вологість. Результати лабораторних досліджень опрацьовані на ПК і додаються до звіту В ході виконання польових робіт фізико-механічні властивості ґрунтів також вивчалися в 10-ти точках в умовах їх природного залягання методом статичного зондування до глибини 20,0 м.

Статичне зондування проводилось комплектом апаратури, яке одночасно і незалежно вимірює силу опору ґрунту під конусом зонду q_c , та силу тертя ґрунту по боковій поверхні зонду f_s . Тип зонду, його конструкція та комплект устаткування регламентуються вимогами ДСТУ Б В.2.1-9-2002, де наведені геометричні розміри зондів та вимоги до основної похибки вимірювання показників опору ґрунту. Спосіб реєстрації показників зондування – реєструючий вимірювальний прилад індикаторного типу та подальше занесення їх в журнал статичного зондування.

Камеральна обробка даних зондування польових вимірів показників властивостей ґрунтів виконано з використанням ПК, результати опрацювання оформлені у вигляді графіків зміни сили опору ґрунту конусу зонду та сили тертя ґрунту по його боковій поверхні з глибиною та додаються до звіту (графічні додатки). Ці результати оброблені за допомогою методів статистики.

Середньостатистичні значення показників статичного зондування використовувалися при визначенні нормативних значень фізико-механічних характеристик ґрунтів: кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення, щільності піщаних ґрунтів та модуля деформації. На ПК виконаний розрахунок несучої здатності палів в залежності від діаметру та заглиблення. Результати досліджень додаються до звіту.

На основі проведених інженерно – геологічних досліджень, враховуючи літологію та фізичний стан ґрунтів, в загальній товщі відкладів виділено 8

інженерно – геологічних елементів, геолого-літологічна характеристика яких наведена нижче:

ІГЕ 1а – Насипний ґрунт – супісок, суглинок сірі, темно-сірі, бурувато-сірі, неоднорідні, місцями з вмістом будівельних залишків.

ІГЕ – 2 Пісок сірувато-жовтий, жовтувато-сірий, темно-жовтий, з прошарками та лінзами глинистих ґрунтів дрібний та середньої крупності: 2 – щільний, 2а – середньої щільності.

ІГЕ – 3 Супісок жовтий, сірувато-жовтий, світло-бурий, з прошарками та лінзами піску, пластичний.

ІГЕ - 4 Суглинок сірий, сірувато-бурий, світло-бурий, з прошарками та лінзами піску: 4 – напівтвердий та тугопластичний, 4а – м'якопластичний.

ІГЕ - 5 Глина темно-бура, темно-сіра, місцями з конкреціями карбонатів, напівтверда та тверда.

ІГЕ – 6 Глина строката сірувато-жовта, жовта, з горбовинами марганцю, місцями з конкреціями карбонатів, тверда.

За результатами польових та лабораторних досліджень, з урахуванням наявних матеріалів вишукувань минулих років, в таблиці, що додається, наведені нормативні і розрахункові значення основних показників фізико-механічних властивостей ґрунтів, а також їх індекс групи за складністю розробки механізмами, згідно ДБН Д.2.2-1-99 .

Прогноз зміни інженерно-геологічних умов В складі пошукового прогнозу при інженерно-геологічних вишукуваннях на ділянці слід відмітити наступні імовірні зміни природно-техногенних умов: - глибина сезонного промерзання ґрунтів може досягти 0,8-0,9 м; - можливий підйом рівня підземних вод на розрахунковий період до 1,0 м від рівня, зафіксованого під час вишукувань при незмінності граничних умов; В процесі інженерного освоєння території техногенна діяльність людини є основним фактором, що може впливати на зміну інженерно-геологічних умов та

властивостей ґрунтів в районі майбутнього будівництва. Порушення умов відводу атмосферних опадів, неконтрольований полив газонів, втрати із водонесучих комунікацій, та інше, викличе збільшення техногенного навантаження на геологічне середовище, та може призвести до аномального підняття рівня підземних вод.

Ґрунти ділянки мають низьку стабільність, зумовлену неоднорідним складом і властивостями. Основними факторами, що впливають на стабільність, є висока потужність слабопроникних глинистих шарів, підтоплення через високий рівень ґрунтових вод (1,5–2,4 м), та значний вплив техногенних чинників. Здатність ґрунтів до несучої функції може погіршуватися через інфільтрацію води та можливий підйом рівня ґрунтових вод.

GISUT
KNUCA
2024

1.3 Кліматичні умови району робіт

Клімат Київської житлово-промислової агломерації помірно- континентальний з м'якою зимою і теплим літом. Вплив циклонів частіше проявляється зимою, тому спостерігаються часті відлиги, які іноді приводять до повного танення снігового покриву.

Середньорічна температура повітря $+7,7$ С. Середньорічна кількість опадів становить 650-680 мм. Переважаючий напрямок вітру влітку – західний, взимку – північно-західний.

У середньому за рік у Києві та його околицях спостерігаються 163 днів з опадами. Найчастіше опади бувають взимку і випадають у вигляді снігу.

Протягом року найбільше опадів випадає у липні (88 мм), найменше - у жовтні (35 мм). За сезонами середня кількість опадів становить: зима — 146 мм, весна — 141 мм, літо — 230 мм, осінь — 133 мм.

Абсолютна вологість повітря (парціальний тиск водяної пари) протягом року в середньому становить 8,9 гПа. Найбільших значень вона сягає у липні (в середньому— 15,5 гПа), найменших—у січні (3,8 гПа).

Середня річна відносна вологість становить 75%, найбільша вона у грудні — 86%, найменша (64%) — у травні.

**РОЗДІЛ 2. ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ ПРИ СПОСТЕРЕЖЕННІ ЗА
ПЛАНОВО-ВИСОТНИМ ЗМІЩЕННЯМ БУДІВЛІ**

2.1 Завдання геодезичного моніторингу

Геодезичний моніторинг є комплексом спостережень за положенням і станом будівельних конструкцій. Його завдання полягає у моніторингу планово-висотного зміщення будівлі, або її елементів для забезпеченні їхньої стабільної та безпечної експлуатації, відстеженні деформацій та попередженні аварій. Завдяки геодезичному моніторингу можливо контролювати положення конструкцій як у горизонтальній, так і у вертикальній площині, оцінюючи можливі зміни та фактори ризику. Розглянемо детальніше основні завдання геодезичного моніторингу.

Контроль стабільності та безпеки будівлі. Першочерговим завданням є забезпечення стабільності конструкції. Геодезичний моніторинг дозволяє фахівцям своєчасно виявляти деформації й зрушення, які можуть призвести до руйнування або аварії. У процесі моніторингу вимірюють планові та висотні зміщення конструкцій, що дає змогу оцінити рівень безпеки споруди і прийняти своєчасні заходи. Наприклад, моніторинг за допомогою тахеометрів або GPS-приймачів може визначати навіть незначні зміщення, які можуть бути раннім сигналом про початок деформаційних процесів.

Захист навколишнього середовища та інфраструктури. Геодезичний моніторинг також необхідний для захисту навколишньої інфраструктури й навколишнього середовища. У разі виникнення деформацій у будівлях, що знаходяться в густонаселених районах або поблизу критично важливих об'єктів, наприклад, тунелів або транспортних вузлів, будь-яке зміщення може створити ризику для сусідніх будівель і мешканців. За допомогою геодезичного моніторингу інженери можуть вчасно отримати дані про такі зрушення, і при необхідності, спланувати евакуацію або провести зміцнення конструкцій.

Вивчення деформаційних процесів і прогнозування їхнього розвитку. Одним із важливих завдань є виявлення характеру та причин деформацій. Будівлі можуть зміщуватися через нерівномірне осідання ґрунту, сезонні коливання, підземні

роботи або навіть через недоліки будівництва. Геодезичний моніторинг дозволяє визначати не лише сам факт зміщення, але й характер деформаційних процесів (наприклад, рівномірне або нерівномірне осідання). На основі отриманих даних складаються прогнози розвитку деформацій, що дозволяє планувати інженерні заходи, необхідні для стабілізації будівлі.

Перевірка ефективності будівельних технологій і рішень. Сучасні методи будівництва та інженерні рішення спрямовані на підвищення стабільності будівель. Однак, оцінити ефективність цих технологій можна лише в умовах реальної експлуатації споруди. Геодезичний моніторинг дозволяє перевірити, чи виконуються проєктні вимоги до стійкості конструкцій. Наприклад, якщо будівля була зведена з використанням нових типів фундаменту або особливих методів укріплення, моніторинг дозволить оцінити, чи справляються ці технології з навантаженнями і чи зберігають вони задану форму.

Розробка рекомендацій з технічного обслуговування та ремонті. Отримані дані моніторингу можуть бути використані для розробки рекомендацій з технічного обслуговування або модернізації конструкцій. Геодезичний моніторинг дозволяє своєчасно діагностувати дефекти, що утворюються у процесі експлуатації, й оцінити необхідність ремонтних заходів. Наприклад, якщо виявлено підвищене осідання частини будівлі, можуть бути рекомендовані роботи з укріплення фундаменту або заміна частини конструкцій.

Створення архіву даних для аналізу та досліджень. Дані, зібрані в процесі геодезичного моніторингу, формують базу для подальших досліджень. У випадку проведення повторних замірів можна відстежувати зміни в стані споруди з часом. Це важливо для наукових досліджень, що спрямовані на вивчення поведінки різних типів ґрунтів, впливу кліматичних умов і нових інженерних рішень на стабільність будівель. Архів даних дозволяє також порівнювати результати різних методів моніторингу, а також оптимізувати вибір інструментів та методів у майбутніх проєктах.

Підвищення загальної надійності та безпеки будівель. Кінцевою метою геодезичного моніторингу є підвищення надійності будівель, що, своєю чергою, впливає на рівень безпеки для мешканців та користувачів. За допомогою системного та регулярного моніторингу стає можливим забезпечення довготривалої експлуатації будівлі. Це досягається шляхом швидкого реагування на зміну показників та прийняття інженерних рішень для запобігання аваріям. Наприклад, регулярне спостереження за висотним зміщенням будівлі допомагає виявити і попередити ризики крену чи осідання, які можуть призвести до руйнування конструкцій.

GISUT
KNUCA
2024

2.2 Види геодезичного моніторингу

Сучасний розвиток будівельної галузі вимагає точних, детальних і надійних даних про технічний стан та геометричні параметри конструкцій інженерних споруд. Роботи ведуться в умовах, що включають складні інженерно-геологічні особливості: щільну міську забудову, русла підземних річок, а також близькість до діючих інженерних комунікацій і транспортних шляхів. Такі умови накладають суттєві статистичні та динамічні навантаження на основи, фундаменти та конструкції споруд.

Актуальною проблемою є оцінка технічного стану й руху ґрунтових масивів, які піддаються впливу сейсмологічних факторів і людської діяльності. Це створює необхідність перевірки сучасного стану природних та штучних ґрунтових утворень.

Під «ґрунтовими масивами» розуміється комплекс рельєфних нерівностей земної поверхні, що різняться за формою, розміром, походженням, структурою, віком і історією розвитку. Ці форми рельєфу, перебуваючи на різних етапах розвитку і тісно взаємодіючи з навколишнім середовищем, можуть під впливом сейсмічних факторів спричиняти руйнівні процеси — такі як тріщини, обвали, зсуви тощо, що становлять потенційну загрозу для людської діяльності.

Використання сучасних геодезичних інструментів (таких як лазерні сканери, тахеометри, GPS-приймачі та станції, нівеліри й роботизовані прилади, що можуть працювати під дистанційним керуванням) є ефективним підходом для моніторингу технічного стану та геометричних параметрів будівельних конструкцій інженерних споруд.

Будівлі та споруди можуть зазнавати деформацій, причини яких поділяються на дві основні категорії: деформації природного походження та деформації, що виникають через людську діяльність. Деформація – це зміна форми або розмірів об'єкта під впливом зовнішніх чинників. У разі руху об'єкта змінюється його просторове положення, що призводить до зміни координат основних контурів конструкції.

Для виявлення можливих деформацій у спорудах проводять комплекс інженерно-геодезичних робіт, щоб встановити причини, що вплинули на їхні геометричні параметри.

Деформації споруд або їх окремих будівельних конструкцій поділяються на:

- відхилення від умовної горизонтальної площини (висотні переміщення): прогин, вигин, перекіс, осідання, підйом.
- відхилення від умовної вертикальної площини (планові переміщення): крен (нахил споруди); випуклість площини – для площинних об'єктів, де через деформацію утворюється опуклість («пузо»); опуклість площини – для площинних об'єктів, де деформація створює «пузо» у протилежному напрямку; зсув; скручування – характерне для споруд баштового типу.

Висотні деформації визначаються методами нівелювання (геометричним, тригонометричним, гідростатичним, барометричним, автоматичним та GPS-нівелюванням), а також за допомогою стереофотограмметрії, наземного лазерного сканування та електронних датчиків нахилу. Планові деформації визначають через лінійно-кутові вимірювання, GPS, лазерне сканування, стереофотограмметрію, електронні датчики нахилу, датчики розкриття тріщин, електронні рівні та інклінометри.

Геодезичний моніторинг деформацій передбачає використання геодезичних приладів для фіксації просторового положення об'єкта та періодичне відстеження його змін відносно умовних горизонтальних і вертикальних площин. Цей процес включає систему вимірювань, запис результатів та аналітичну обробку отриманих даних.

Моніторингу підлягають фундаменти, несучі конструкції будівель або їх частин, новобудови, інженерні мережі, підземні споруди, а також інфраструктурні об'єкти навколо (території, квартали). Для висотних, експериментальних та складних споруд моніторинг є частиною науково-технічного супроводу і входить

до загального моніторингу будівельного об'єкта.

Моніторинг виконується геодезичними приладами або автоматизованими комплексами згідно з проєктом та програмою, розробленими на основі технічного завдання. Методи та точність вимірювань деформацій основ споруд визначаються відповідно до встановлених нормативів. Проєкти виконання геодезичних робіт (ПВГР) визначають вимоги до точності, періодичності та детальності моніторингу.

Геодезичний моніторинг традиційними методами здійснюється за допомогою спеціально встановлених спостережних марок, які орієнтовані на вихідні знаки, марки та реperi опорної геодезичної мережі. Найпоширенішими методами моніторингу планово-висотного зміщення є:

Нівелювання (переважно геометричне та тригонометричне) – спостереження за висотними змінами або вертикальними переміщеннями об'єкта. Це один з найточніших методів.

Лінійно-кутовий метод – спостереження за просторовим положенням об'єкта, також відноситься до точних методів.

Автоматизовані геодезичні комплекси (роботизовані тахеометри, датчики нахилу, датчики тріщин, електронні рівні тощо) – використовуються для безперервного моніторингу інженерних споруд та отримання онлайн інформації про їх зміщення, не поступаючись точністю попереднім методам.

Лазерне сканування (наземне, повітряне та автомобільне) – дозволяє створити 3D-модель об'єкта, що містить усю інформацію для швидкого виявлення дефектів і деформацій, і визначення крену будівлі, а також геометричних характеристик споруди.

GPS-моніторинг – визначення просторового положення через супутникову навігаційну систему. Підходить для визначення координат марок, що знаходяться на великих відстанях, коли лінійно-кутові вимірювання недоцільні.

Стереофотограмметрія – проводиться за допомогою стерео фотокамер і використовується для об'єктів з складною геометрією, дозволяючи створити змодельовану поверхню або проекцію об'єкта на площину.

Інклінометрія – метод, що полягає у використанні «моніторингової шахти», яка встановлюється вертикально або горизонтально. Зонд рухається по шахті в двох перпендикулярних площинах, що дозволяє визначити деформації об'єкта, зокрема нахили, прогини або зміни форми.

Ці методи також застосовуються для моніторингу зсувних процесів деформацій ґрунтів, особливо у складних рельєфних умовах або в районах, де будівельні роботи можуть призвести до падінь і обвалів, що вимагає удосконалення методів моніторингу ґрунтових масивів.

Геодезичний моніторинг ґрунтових масивів має забезпечувати високі вимоги до точності, швидкості отримання даних, їх деталізації та достовірності. Основне завдання геодезії при моніторингу зсувних процесів полягає в отриманні інформації, подібної до 3D-моделі ґрунтових масивів, яка відображає не лише зовнішні, але й внутрішні процеси. У дослідженні використовуються інклінометр, лазерний сканер та роботизований тахеометр для збору детальної та достовірної інформації про зсуви ґрунтових масивів поблизу кар'єра.

На вершині гори встановлені свердловини, а всередині гори прокладена шахта, по якій переміщується зонд. Це дозволяє отримати точні відомості про зміщення шахти на кожному метрі руху. Тобто, можна спостерігати не тільки зовнішні зміни у просторі гори, а й внутрішні зсуви, які неможливо виявити без спеціалізованого моніторингу.

2.3 Основні принципи спостережень за планово-висотним зміщенням будівлі

Для визначення величини осідання будівлі, тобто її вертикальних зміщень, використовують кілька методів: фотограмметричний, гідростатичний, мікронівелювання, а також геометричне та тригонометричне нівелювання. Найбільш універсальним підходом до спостереження за осіданням є періодичне високоточне геометричне нівелювання геодезичних марок 1, 2, 3 ... 20 (рисунок 2.1). Для проведення таких спостережень у фундамент будівлі вбудовують осадкові марки та реperi. У фундамент встановлюють марки з напівсферичною головкою, які розташовують вздовж осі фундаментів, що дозволяє фіксувати прогини та нахили в різних напрямках.

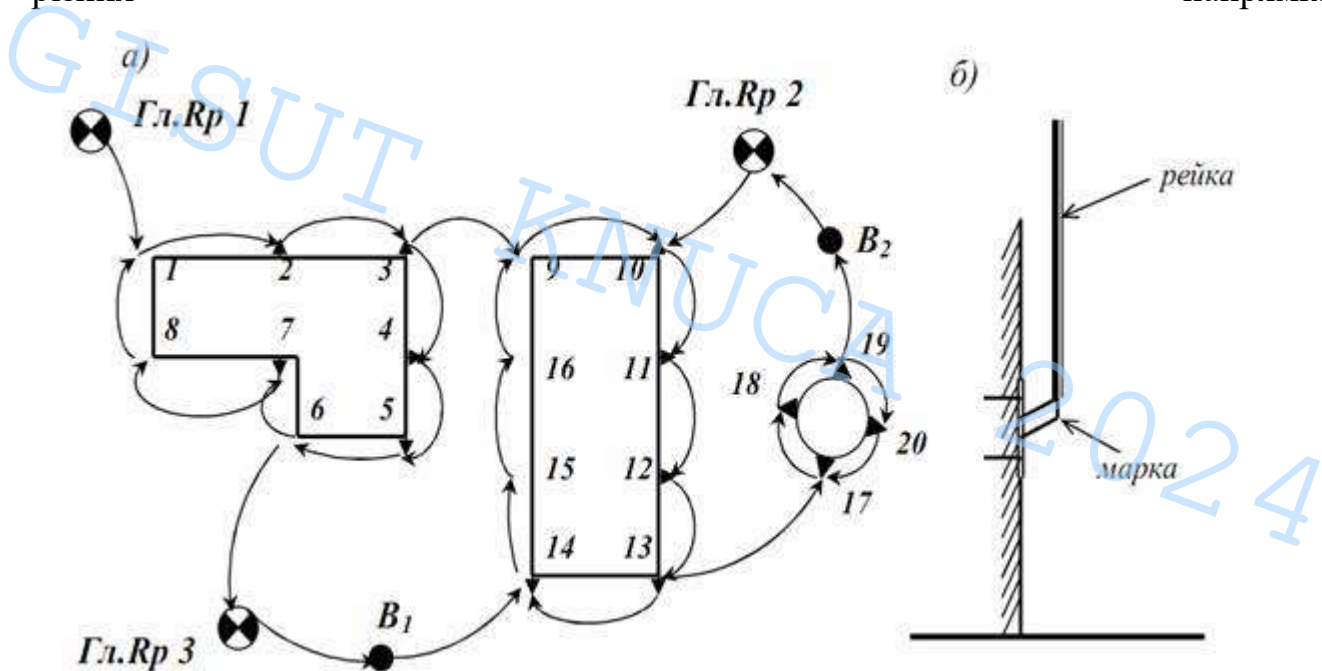


Рис. 2.1 – Схема розташування марок, нівелірних ходів для спостережень за осіданнями споруд способом геометричного нівелювання (а), конструкція марки в стіні будівлі (б)

Для визначення осідань на будівлі використовують мережу глибинних реперів, які служать висотною основою для моніторингу можливих осідань споруди. Для забезпечення точності спостережень кількість таких реперів повинна

становити щонайменше 3–4, що дозволяє здійснювати періодичні заміри протягом усього періоду моніторингу деформацій.

Спостереження за осіданнями проводять із певною періодичністю: раз на квартал, раз на півроку, раз на рік тощо, до досягнення стабілізації, тобто коли швидкість осідань знижується до 1–2 мм на рік. Метод геометричного нівелювання дозволяє з високою точністю визначати різницю висот між точками.

Залежно від вимог до точності вимірювання осідань використовують різні класи нівелювання. Наприклад, для контролю осідань бетонних гребель на гідротехнічних спорудах застосовують I та II класи, які мають середньоквадратичні похибки перевищення на одну станцію 0,3 та 0,4 мм відповідно. У промислових та цивільних будівлях частіше використовують I та II класи нівелювання, для яких похибки становлять 0,9 і 4 мм.

Відмітки точок, де спостерігають за деформаціями, обчислюють відносно вихідного репера, в умовній системі висот висотної мережі (наприклад, 100,000 м) — вона зберігається постійною протягом усього циклу спостережень. Щоб передати цю висоту іншим точкам, розробляють спеціальну схему вимірювань.

Вибір методики та приладів залежить від класу нівелювання. Для високоточних вимірювань використовують нівеліри типу Н-05 і спеціальні інварні рейки або інше обладнання яке відповідає точності проведення робіт. Нівелір встановлюють точно посередині між двома точками, а відліки беруть за основною та додатковою шкалами рейок. Нівелювання проводиться в прямому та зворотному напрямках на двох горизонтах приладу. Максимальна допустима довжина візирного променя становить 25 м, а його висота над поверхнею землі або підлоги має бути не меншою за 0,5 м. Вимірювання проводяться за сприятливих умов видимості, коли штрихи рейок чіткі та спокійні.

Дотримання всіх запобіжних заходів і рекомендацій забезпечує необхідну точність роботи. За отриманими результатами спостережень кожного циклу

визначають позначки марок, абсолютне осідання S_i , мм, швидкість осідання v , мм/рік, будують графіки осідань.

$$S_i = H_i - H_{i-1}, \quad (2.1)$$

де S_i – абсолютне осідання споруди, мм;

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

$$v = \frac{S_{ср}}{T}, \quad (2.2)$$

де v – швидкість осідання споруди, мм/рік;

$S_{ср}$ – середнє осідання споруди за період спостереження Δ .

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

Послідовність виконання геодезичних робіт із визначення горизонтальних зміщень:

- розроблення програми спостереження з вказанням методів спостереження і необхідних для нього приладів;
- розміщення опорних і контрольних пунктів спостереження;
- організація спостережень і оброблення отриманих результатів.

Опорні пункти спостереження проектують і закріплюють поза зоною можливих зміщень грантів. Перед кожним циклом спостереження перевіряють їх.

Для вимірювань величин зсуву споруди в горизонтальному напрямку застосовують методи:

- створних спостережень;
- триангуляційний;
- фотограмметричний.

Створний метод (повного створу, напівствору, четвертних створів, послідовних і частих створів, рухливої марки та малих кутів) широко використовують для вивчення деформацій лінійних споруд, де для контролю досить знати величину зміщення в одному напрямку. При цьому координатну систему орієнтують так, щоб напрям зміщень відповідав осі ординат, а напрям створу — осі абсцис. Величини зміщень обчислюють за різницею значень ординат (нестворностей), визначених у двох послідовних циклах спостережень.

Метод триангуляції застосовується при неможливості створення прямолінійних створів.

Суть методу полягає в тому, що з тригонометричних пунктів А, В, С за допомогою засічок періодично визначають координати точок 1, 2, 3 на споруді. Порівнюючи ці координати, визначають лінійні зміщення точок споруди. Горизонтальні кути вимірюються з певною точністю, а горизонтальні зміщення обчислюються як різниця координат у кожному циклі. Метод триангуляції є складним і вимагає значних обчислень.

Для визначення деформацій великих гідротехнічних споруд застосовується комбінований метод створних спостережень. Спостереження за зміщеннями точок здійснюються створом, а стійкість опорних точок, з яких проводяться спостереження, контролюється тригонометричним методом з використанням пунктів тригонометричної мережі.

Вимірювання кренів споруд

Крени є видом деформацій, що характерні для споруд баштового типу. Вони можуть виникати через нерівномірне осідання споруди або через вигин і нахил її верхньої частини внаслідок однобічного температурного нагрівання або впливу вітрового тиску. Тому для отримання повної інформації про крени та вигини необхідно проводити спільні спостереження за положенням як фундаменту, так і корпусу баштової споруди.

Вимірювання кренів і осідань повинні проводитися відповідно до технічного завдання, яке розробляє проектна організація, що спроектувала споруду. Технічне завдання містить регламент щодо допустимої точності визначення кренів та осідань, схеми розміщення візирних і осадкових марок, періодичності та строків спостережень, а також вимог до побудови геодезичної планової та висотної мережі. На основі цього завдання геодезична служба розробляє проект виконавчих геодезичних робіт:

- розрахунок необхідної точності геодезичних вимірювань, що виконують в кожному циклі спостережень за кренами та осіданнями споруд;
- вибір та обґрунтування планово-висотної геодезичної мережі, а також схему її побудови з позначенням усіх реперів, знаків та центрів опорних пунктів;
- конструкції осадкових та візирних марок та способів їх закріплення;
- вибір та обґрунтування методів і приладів для визначення кренів та осідань споруди;
- методика геодезичних вимірювань, що відповідає вибраному методу;
- перелік необхідного обладнання та приладів;
- календарний план виконання робіт;
- обробка результатів вимірювань;
- розрахунок кількості виконавців;
- кошторис на виконання робіт.

Для визначення кренів за допомогою методу координат необхідно знати координати пунктів моніторингу у прийнятій системі координат. Ці координати визначаються шляхом включення пунктів спостережень у геодезичну мережу, що створюється навколо споруди з використанням відомих геодезичних методів, при цьому пункти мережі пов'язані між собою вимірними напрямками та лініями.

Взаємне розташування пунктів моніторингу та споруди повинно відповідати певним вимогам: вони повинні бути розташовані в місцях, що забезпечують

стабільність їх положення та максимальне збереження, мати видимість не менше ніж $\frac{3}{4}$ висоти споруди, зручно розміщуватися для утворення оптимальної геометричної форми засічки, з відстанню приблизно 2–3 висоти споруди. Найзручнішою формою засічки є та, де кут засічки прямий.

Під час експлуатації періодичність спостережень за кренами та осіданнями визначається залежно від швидкості стабілізації осідання ґрунтів основи, інженерно-геологічних умов та стану споруди. У цей період має проводитися не менше трьох циклів спостережень на рік.

При знаходженні величин кренів споруди способом координат, у кожному циклі спостережень одночасно з трьох або чотирьох пунктів визначають координати верхньої частини споруди, а в початковому циклі — також координати центра нижнього перерізу, усе в межах прийнятої системи координат.

Суть методу горизонтальних кутів полягає у визначенні складових абсолютного крену та його величини в першому циклі, а також зміни величини крену в наступних циклах. Це досягається шляхом вимірювання горизонтальних напрямків на центри верхнього середнього і нижнього середнього перерізів у першому циклі, а також на центр тільки верхнього середнього перерізу в наступних циклах. Напрями створюють пряму кутову засічку. Метод горизонтальних кутів передбачає спостереження за верхньою точкою споруди з двох закріплених на місцевості геодезичних пунктів, розташованих у двох взаємоперпендикулярних напрямках (рисунок 2.2). В першому циклі вимірюють горизонтальні кути β_1 та β_2 на точку B , в другому циклі знову вимірюють горизонтальні кути β'_1 та β'_2 ; знаходять різниці $\Delta\beta = \beta'_1 - \beta_1$ та $\Delta\beta = \beta'_2 - \beta_2$, обчислюють прирости крену та його повну величину K за формулами (7.14):

$$q_1 = \frac{\Delta\beta_1'' L_1}{\rho''}, \quad q_2 = \frac{\Delta\beta_2'' L_2}{\rho''}, \quad K = \sqrt{q_1^2 + q_2^2}, \quad (2.2.14)$$

де L_1 та L_2 – горизонтальні прокладання від опорних точок до точки спостереження B , виміряні на місцевості, визначені прямою кутвою засічкою з опорних пунктів або визначені розв'язуванням прямої геодезичної задачі, м.

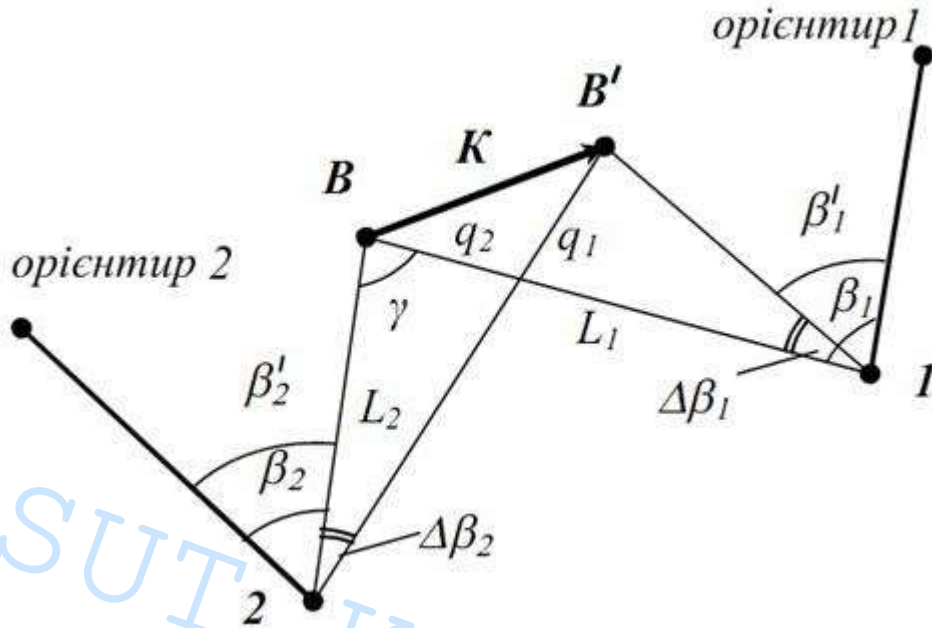


Рис. 2.2 – Схема до визначення кренів способом горизонтальних кутів
Якщо кут засічки відрізняється від 90° , то значення крену необхідно визначати за формулою

$$\hat{E} = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{q_1^2 + q_2^2 - 2q_1q_2 \cos \gamma} \quad (2.2.15)$$

В основі способу *малих кутів* знаходяться вимірювання на кожному з 3 – 4 пунктів спостережень, малого горизонтального кута між напрямками на центр свого (для даного пункту) найбільш низького пояса та центр верхнього пояса. Розглянемо спосіб малих кутів на прикладі башти трикутної форми. З точок 1, 2, 3, які розташовані від башти на відстані S_1, S_2, S_3 , визначено малі горизонтальні кути $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, що характеризують лінійні суміщення q_1, q_2, q_3 верхніх точок з осей споруди, які можна визначити за формулою 7.16:

$$q_i = \frac{S_i}{\rho} \beta_i'' \quad (2.)$$

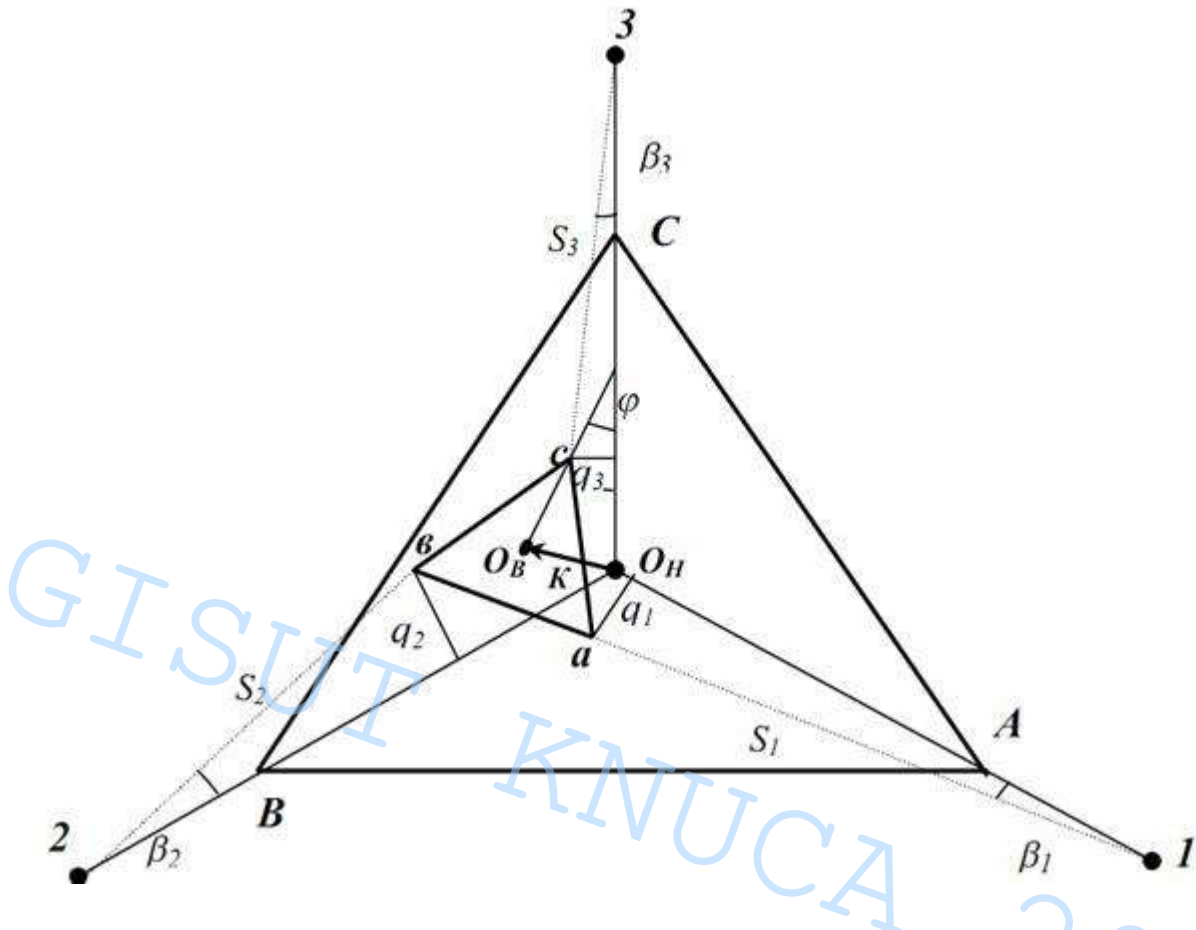


Рис. 2.3 – Схема до визначення кренів споруд способом малих кутів

Точність визначення суміщень q_1, q_2, q_3 за формулою 2.2.16 може бути оцінена таким чином:

$$m_q = \frac{\sqrt{S^2 m_\beta^2 + \beta^2 m_S^2}}{\rho} \quad (2.2.17)$$

де m_β, m_S – середньоквадратичні похибки визначення відстаней S та кутів β .

Метод напрямку з одного пункту дозволяє визначати суміщення центра верхнього перерізу, тобто складові крену, за осями умовної системи координат. Початок цієї системи збігається з центром нижнього цокольного перерізу, а вісь

ординат суміщена з напрямком "пункт спостережень – центр цокольного перерізу", тобто з лінією, що з'єднує точки 0 і 1 (див. рис. нижче).

Можливість сучасних електронних тахеометрів, які відображають на дисплеї просторові координати точок спостереження, дозволяє ефективно реалізувати цей метод. З точки 1 визначають умовні координати X та Y_4 точки 4 в системі координат $O_1 Y$. Обчислюють $\Delta Y = Y_4 - Y_{4\text{пр}}$ та за значеннями ΔO та ΔY знаходять крен K та його напрям.

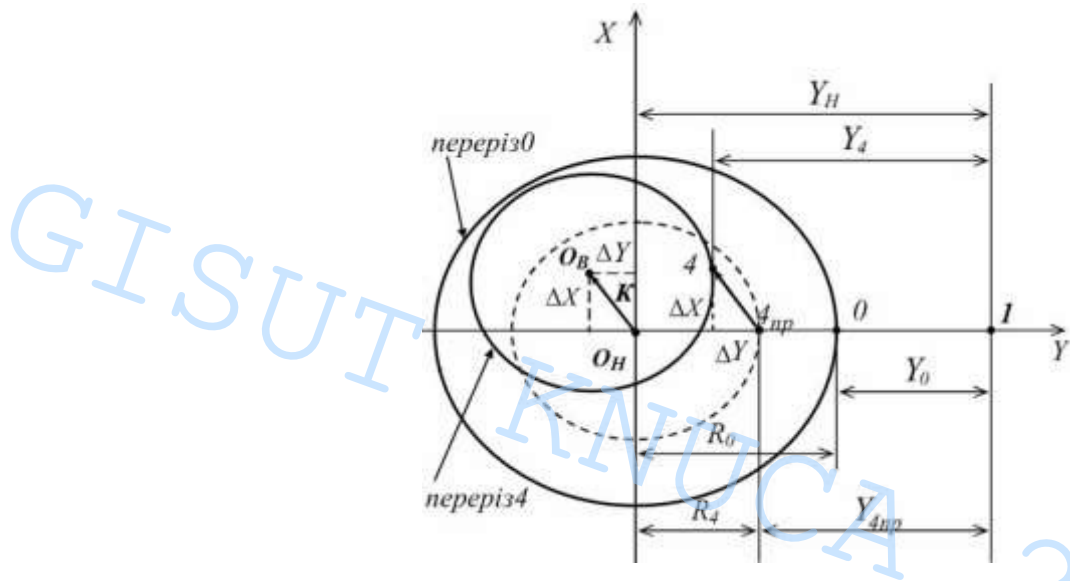


Рис. 2.4 Спосіб напрямку з одного пункта

2.4 Вимоги до точності виконання вимірювань при спостереженні за планово-висотним зміщенням будівлі

Точність є ключовим критерієм у всіх геодезичних роботах, особливо під час спостереження за деформаціями, де від неї залежить оцінка стану споруди та визначення її безпечності для перебування людей.

При контролі осідань промислових і цивільних будівель зазвичай використовують геометричне нівелювання I та II класів (у нашому випадку — II клас точн), для яких середньоквадратичні похибки визначення перевищень на станції складають відповідно 0,4 мм і 0,9 мм.

Попередня оцінка точності вимірювань вертикальних і горизонтальних деформацій проводиться залежно від очікуваної величини переміщень, що визначається проектом і узгоджується з нормативними таблицями, такими як таблиця 2.1.

Таблиця 2.1

Розрахункова величина вертикальних або горизонтальних переміщень, передбачених проектом, мм	Допустима похибка при вимірюванні переміщень для періоду, мм			
	будівельного		експлуатаційного	
	грунти			
	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

На підставі визначеної згідно з таблицею 2.1 допустимої похибки, встановлюють клас точності вимірювання вертикальних і горизонтальних переміщень підвалин будинків і споруд відповідно до таблиці 2.2

Таблиця 2.2

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

При відсутності інформації про розрахункові величини деформацій основи будівлі клас точності вимірювання планово-висотних зміщень визначають залежно від типу споруд і характеристик ґрунтів:

- I клас застосовують для унікальних будівель, споруд із тривалим терміном експлуатації (понад 50 років) або зведених на скельних і напівскельних ґрунтах.
- II клас використовується для споруд, зведених на піщаних, глинистих та інших стискуваних ґрунтах.
- III клас призначений для будівель на насипних, просадочних, заторфованих і сильностискуваних ґрунтах.
- IV клас встановлюється для земляних споруд.

При тригонометричному нівелюванні допустимі похибки вимірювання відстаней і вертикальних кутів регламентуються обраним класом точності й не повинні перевищувати значень, наведених у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3

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 2.4.

Таблиця 2.4

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

**РОЗДІЛ 3. РОБОТИ ПРИ СТВОРЕННІ ОПОРНИХ МЕРЕЖ
ТА СПОСТЕРЕЖЕННІ ЗА ПЛАНОВО-ВИСОТНИМ
ЗМІЩЕННЯМ БУДІВЛІ**

3.1 Проєкт висотної мережі

Висотна мережа потрібна для вимірювання величини осідання або зміщення споруди у вертикальному напрямку. Геодезична висотна мережа об'єктів будівництва створюється із застосуванням супутникових ГНСС технологій, прокладанням ходів геометричного та тригонометричного нівелювання.

Найбільш універсальним способом спостереження за осіданням являється періодичне високоточне геометричне нівелювання геодезичних марок. Схема ходів нівелювання має бути однаковою в усіх серіях спостережень. Місця установки нівеліра і рейок (зв'язуючі точки) в усіх серіях спостережень слід маркувати, а в експлуатаційний період закріпити постійними знаками.

Перед початком вимірювання вертикальних переміщень встановлюють: – репери – вихідні геодезичні знаки висотної основи;

- деформаційні марки – контрольні геодезичні знаки, що розташовують на будинках і спорудах, для яких визначаються вертикальні переміщення.

В залежності від точності вимірювання встановлюють репери наступних типів: глибинні репери, основи яких закладають в скельні, напівскельні або інші корінні практично нестискувані ґрунти; ґрунтові репери, основи яких закладають нижче глибини сезонного промерзання або переміщення ґрунту; стінні репери, що встановлюють на несучих конструкціях будинків і споруд, осідання підвалин яких практично стабілізувалося. Кількість реперів повинно бути не менше трьох.

Глибинні репери повинні бути розміщені:

- подалі від проїздів, підземних комунікацій, та територій, де є можливим руйнування або зміна місцеположення репера;

- поза зоною поширення тиску від будівлі;

- поза межами впливу явищ осідання, зсувних схилів, нестабілізованих насипів, торф'яних боліт, підземних виробок, карстових утворень та інших несприятливих інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов;

– на відстані, від будинку, не менше ніж потрібна товщина шару просадочного ґрунту;

– на відстані, яка виключає вплив вібрації від транспортних засобів, машин, механізмів;

– у місцях, де протягом усього періоду спостережень є можливим безперешкодний і зручний підхід до реперів для установки геодезичних інструментів. Конкретне місце розташування й конструкцію реперів визначає організація, яка виконує вимірювання, за узгодженням із проектною, будівельною або експлуатуючою організацією, а також з відповідними службами, що мають у даному районі підземне господарство (кабельні, водопровідні, каналізаційні та інші інженерні мережі).

GISUT
КНУСА
2024

3.1.1 Опорна висотна мережа

На стадії передпроектної підготовки було задано точність побудови висотної мережі, не менше 2 мм на 1 км подвійного ходу. Згідно з ДСТУ Б В.2.1-30:2014, задана точність відповідає точності нівелювання II класу (таб. 3.1).

ДСТУ Б В.2.1-30:2014

Таблиця 3.1

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

Під час початку проектування опорної висотної мережі було запроєктовано чотири глибинних репери (рисунок 3.4), два ґрунтових репери Rp1 та Rp2 (рисунок 3.5). Всього шість пунктів. Таке розташування пунктів дуже зручне і дає нам хорошу видимість на всі необхідні точки споруди.



Рис. 3.1 Місце закладання глибинних реперів

Побудова мережі починається із закріплення на місцевості куца глибинних реперів GRp1, GRp2 та GRp3 та глибинного репера GRp4 на відстані від будинків та автомобільних доріг, щоб обмежити вплив зсувів та вібрацій від них.

Перед початком робіт проводиться цикл спостережень для моніторингу стабільності куца глибинних реперів. Під час спостереження вимірювань відстані, кути та перепади висот між реперами. Дані обробляють, порівнюючи координати реперів із попередніми спостереженнями, аналізують зміни їхнього просторового положення та геометрію системи. Для подальшої роботи використовують глибинний репер з найбільш стійким положенням. В нашому випадку таким репером виявився GRp1

Після того, як репери вже закріплені в твердих шарах ґрунту проводиться визначення висотної відмітки глибинного репера GRp1 за допомогою GPS-приймача Leica GS16 (рисунок 3.8) в режимі «Статика» і приймаються за вихідні.

Визначивши відмітку глибинного репера GRp1 виконується побудова нівелірного ходу між цим репером та GRp4, який проходить через репери Rp1 та Rp2. В процесі нівелювання передається висотна відмітка на глибинний репер GRp4.

Розрахунок точності перенесення висотної відмітки для глибинного репера методом GNSS у статичному режимі враховує похибки, що виникають під час вимірювань. Основні джерела похибок: похибка визначення еліпсоїдної висоти, похибка моделі геоїда та похибка вимірювання висоти антени. Розглянемо детальний алгоритм:

Похибка визначення еліпсоїдної висоти (f_e):

Ця похибка залежить від базової точності приймача і відстані до базової станції.

$$f_e = f_b + (k \cdot d)$$

де:

$f_b = 5\text{ мм}$ — базова похибка GNSS-приймача;

$k = 0.5\text{ мм/км}$ коефіцієнт похибки через відстань до базової станції;

$d=14$ км — відстань до базової станції.

$$f_e = 5 \text{ мм} + (0.5 \cdot 14) = 5 + 7 = 12 \text{ мм}$$

Похибка моделі геоїда (f_g):

Прийmemo локальну модель з похибкою $f_g = 10$ мм

Похибка вимірювання висоти антени (f_a):

Ця похибка зазвичай невелика і залежить від точності вимірювань оператором.

Приймаємо:

$$f_a = 2 \text{ мм}$$

Розрахунок загальної похибки (f_H)

Загальна похибка визначення висоти обчислюється за формулою:

$$f_H = \sqrt{f_e^2 + f_g^2 + f_a^2}$$

Підставимо значення:

$$f_e = 12 \text{ мм}$$

$$f_g = 10 \text{ мм}$$

$$f_a = 2 \text{ мм}$$

Розрахунок:

$$f_H = \sqrt{12^2 + 10^2 + 2^2} = \sqrt{144 + 100 + 4} = \sqrt{248} \approx 15,75 \text{ мм}$$

Загальна похибка перенесення висотної відмітки для глибинного репера становить 15.8 мм при відстані до базової станції 14 км.

Передача відмітки на глибинний репер GRp4 відбувалася методом високоточного нівелювання II класу за допомогою цифровий нівелір Leica LS10.

Розрахуємо СКП ходу ($m_{\text{ходу}}$) та СКП визначення перевищення на станції (m_n)

Нев'язка ходу

$$f_{\text{пер}} = m \cdot \sqrt{L} = 5 \cdot \sqrt{0,947} = 4,87 \text{ мм}$$

Візьmemo граничну нев'язку як

$$f_{\text{пер}} = 3 \cdot m_{\text{ходу}}$$

$$m_{\text{ходу}} = \frac{f_{\text{пер}}}{3} = \frac{4,87}{3} = 1,62 \text{ мм}$$

СКП ходу ($m_{\text{ходу}}$) та СКП визначення перевищення на станції (m_n) пов'язані між собою

$m_{\text{ходу}} = m_n \cdot \sqrt{n}$, де n – кількість станцій в ході

$$m_n = \frac{1,62}{16} = 0,4 \text{ мм}$$

Взаємна точність розташування двох глибинних реперів з урахуванням похибки нівелювання становить приблизно 15,9 мм. Оскільки похибка нівелювання значно менша за похибку виносу висотної відмітки першого репера, її вплив є незначним.

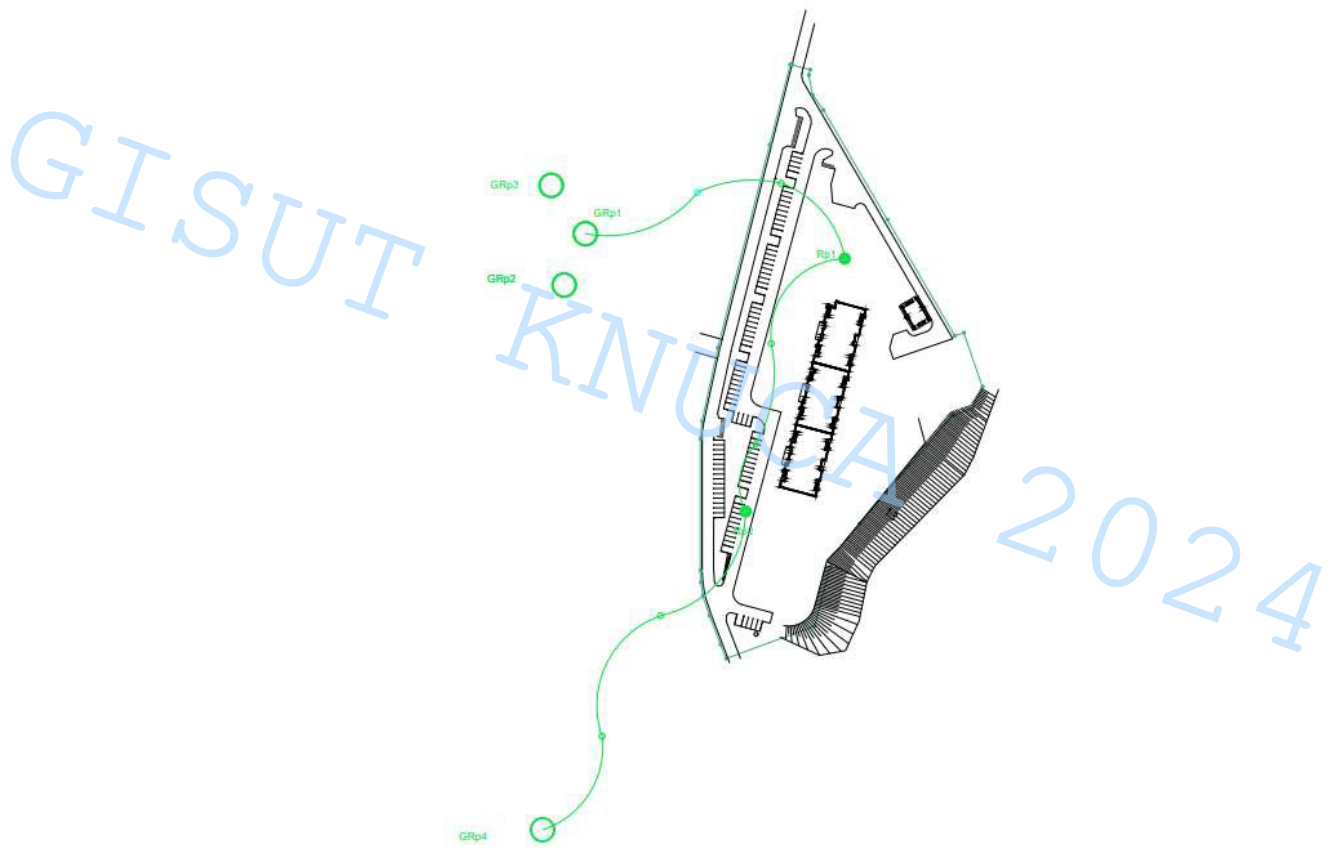


Рис. 3.2 Схема опорної висотної мережі

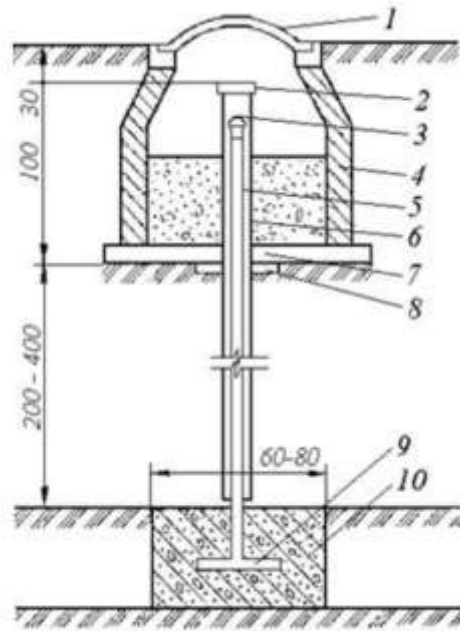


Рис. 3.3 Схема будови глибинного репера на бетонному фундаменті

- 1 - люк;
- 2 - кришка;
- 3 - реперна головка (\varnothing 2–4 см);
- 4 - цегляний або бетонний збірний колодязь;
- 5 - реперна труба (\varnothing 7–8 см);
- 6 - захисна труба (\varnothing 12–15 см);
- 7 - бетонна підготовка;
- 8 - хомут для утримання захисної труби;
- 9 - анкерний лист;
- 10 - бетонна подушка;
- 11 - шлак;

3.1.2 Локальна висотна мережа

Після створення опорної висотної основи починається створення локальної висотної основи. Локальна основа представлена мережею яка складається з двох ґрунтових реперів Rp1 та Rp2 а також з 16 осадових марок, які закріплюються в цокольній частині будівлі.

Контроль взаємного положення ґрунтових реперів Rp1 та Rp2 виконується в замкненому полігоні (рисунок 3.2). Отримані висотні відмітки ґрунтових реперів Rp1 та Rp2 контролюються відносно реперів GRp1 та GRp4 протягом всього періоду моніторингу будівлі.

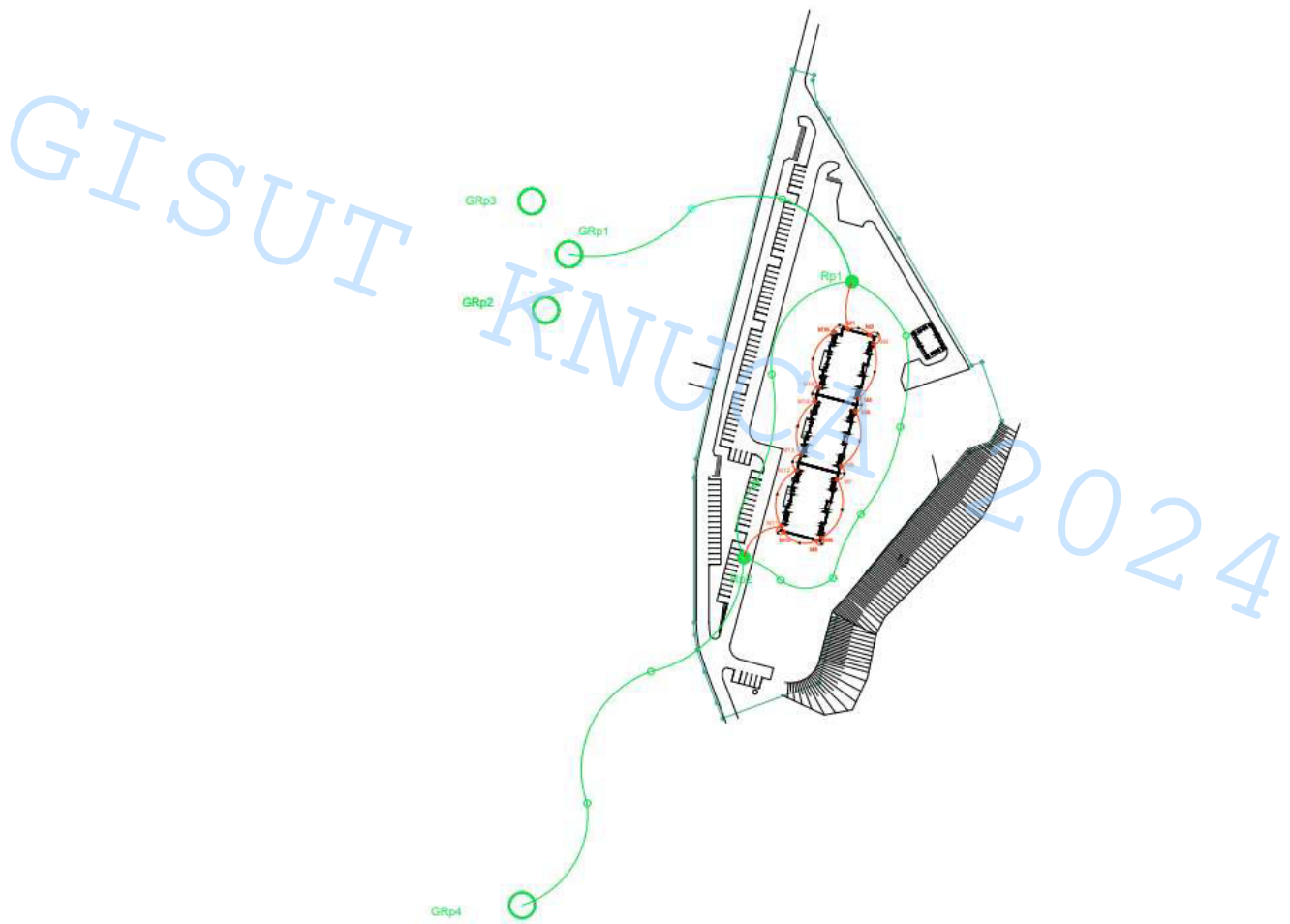


Рис. 3.4 Схема локальної висотної мережі

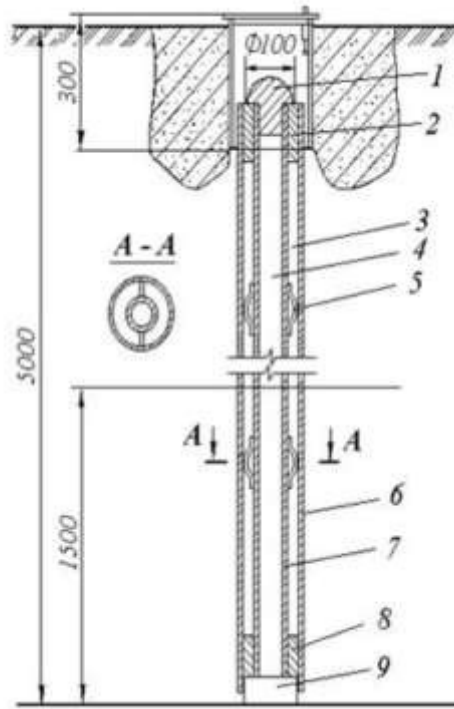


Рис. 3.5 Схема будови ґрунтового трубчастого репера

- 1 - запресована бронзова головка з хрестовиною;
- 2, 8 - сальники;
- 3 - мазут;
- 4 - цемент;
- 5 - наварний фонар із сталі;
- 6 - труба (Æ 150 мм);
- 7 - труба (Æ 60 мм);
- 9 - піддон металевий;

Згідно з ДБН В.1.3-2:2010 місце розташування деформаційних марок у період будівництва та експлуатації, має бути запроєктоване з урахуванням інженерно-геологічних умов основи, конструктивних особливостей будівлі (споруди) та зручності вимірювань.

Осадкові марки для визначення вертикальних переміщень можуть бути встановлені в нижній частині несучих конструкцій по всьому периметру будинку (споруди), всередині його, у тому числі на кутах, на стиках будівельних блоків, по обох сторонах осадкових або температурних швів, у місцях примикання поздовжніх

і поперечних стін, на поперечних стінах у місцях перетину їх з поздовжньою віссю, на несучих колонах, навколо зон з великими динамічними навантаженнями, на ділянках, із несприятливими геологічними умовами.

Проект розташування осадочних марок розробляється на основі детального аналізу будівельних, конструктивних і технологічних креслень, з урахуванням гідрологічних характеристик ґрунтів, на яких побудований будинок. У процесі підготовки проекту проводяться консультації з представниками проектних і монтажних організацій.

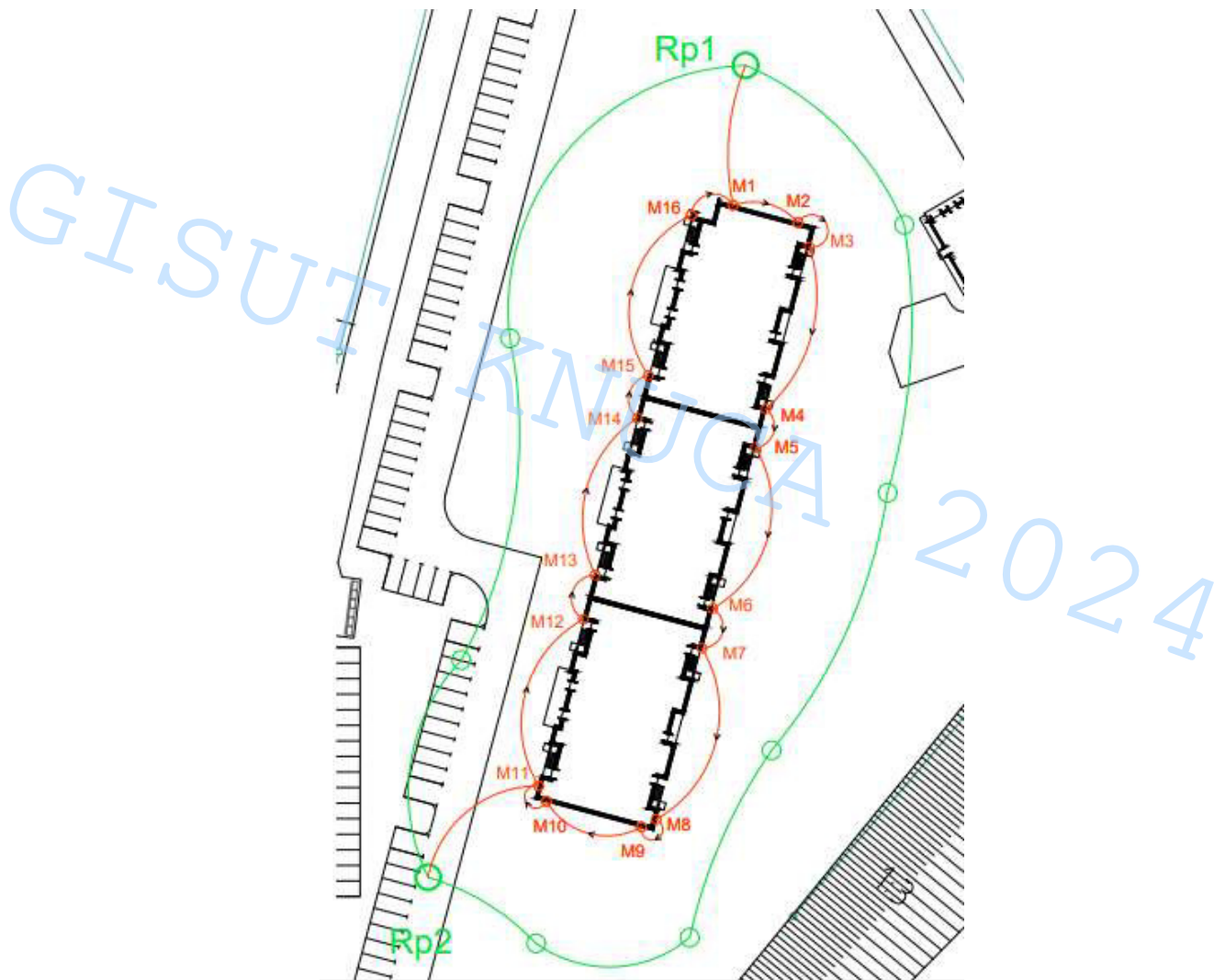


Рис. 3.6 Схема нівелювання осадочних марок

Для розрахунку точності нівелювання осадкових марок необхідно врахувати довжину нівелірного ходу, точність приладу та кількість марок. Точність нівелювання становить 5 мм на 1 км, а довжина ходу дорівнює 298,5 м. Спершу визначимо похибку для всього ходу. Це робиться шляхом пропорційного розрахунку: якщо на 1000 м похибка становить 5 мм, то для 298,5 м вона дорівнюватиме

$$f_h = 5\sqrt{L} = 5\sqrt{0,2985} = 1,4925 \text{ мм}$$

Оскільки нівелювання виконується для 16 осадкових марок, кожна з яких має незалежний результат, похибка для окремої марки зменшується завдяки середньоквадратичному усередненню. Це означає, що похибка однієї марки дорівнюватиме

$$f_m = f_h / \sqrt{16} = 1,4925 / \sqrt{16} = 0,3731 \text{ мм.}$$

Таким чином, точність нівелювання кожної осадкової марки при визначенні осідання будівлі становить приблизно 0,37 мм.

Для проведення робіт було обрано високоточний цифровий нівелір Leica LS10 та GNSS-приймача Leica Viva GS16



Рис. 3.7 Високоточний цифровий нівелір Leica LS10

Характеристика високоточного цифрового нівеліра Leica LS10

Таблиця 3.2

Зорова труба	
Збільшення	32х
Компенсатор	
Компенсатор (тип)	Маятниковий з магнітним демпфером і електронним контролем робочого діапазону
Точність	0.3"
Вимірювання відстаней	
Точність вимірювання відстаней	15 мм на 30 м
Дальність (електронні вимірювання)	Від 1.8 до 110 м
Дальність (візуальні вимірювання)	Від 0.6 м
Час виміру	2.5 с
Загальна інформація	
Точність	0.3 мм (по інварній рейці)
Точність	1.0 мм (за звичайній рейці)
Діапазон роботи	±10'

Характеристика GNSS-приймача Leica GS16

Таблиця 3.3

Точність 2D (статика)	3 мм + 0.5 ppm
Точність 3D (статика)	5 мм + 0.5 ppm
Точність 2D (RTK)	8 мм + 0.5 ppm (мережеве)
Точність 3D (RTK)	15 мм + 0.5 ppm (мережеве)
Час ініціалізації	4с



Рис. 3.8 GNSS-приемача Leica GS16

3.2 Проєкт планової мережі

Для проведення геодезичного моніторингу за горизонтальними зміщеннями та креном багатопверхових будівель розробляється проєкт планової мережі.

Опорна планова мережа проєктується у вигляді лінійно-кутової мережі (рисунок 3.9), яка складається з 6 пунктів, що забезпечує можливість проведення спостережень за горизонтальними зміщеннями та креном об'єкта. Такий тип мережі дозволяє отримувати необхідні дані для аналізу змін у просторі та оцінки технічного стану будівлі.

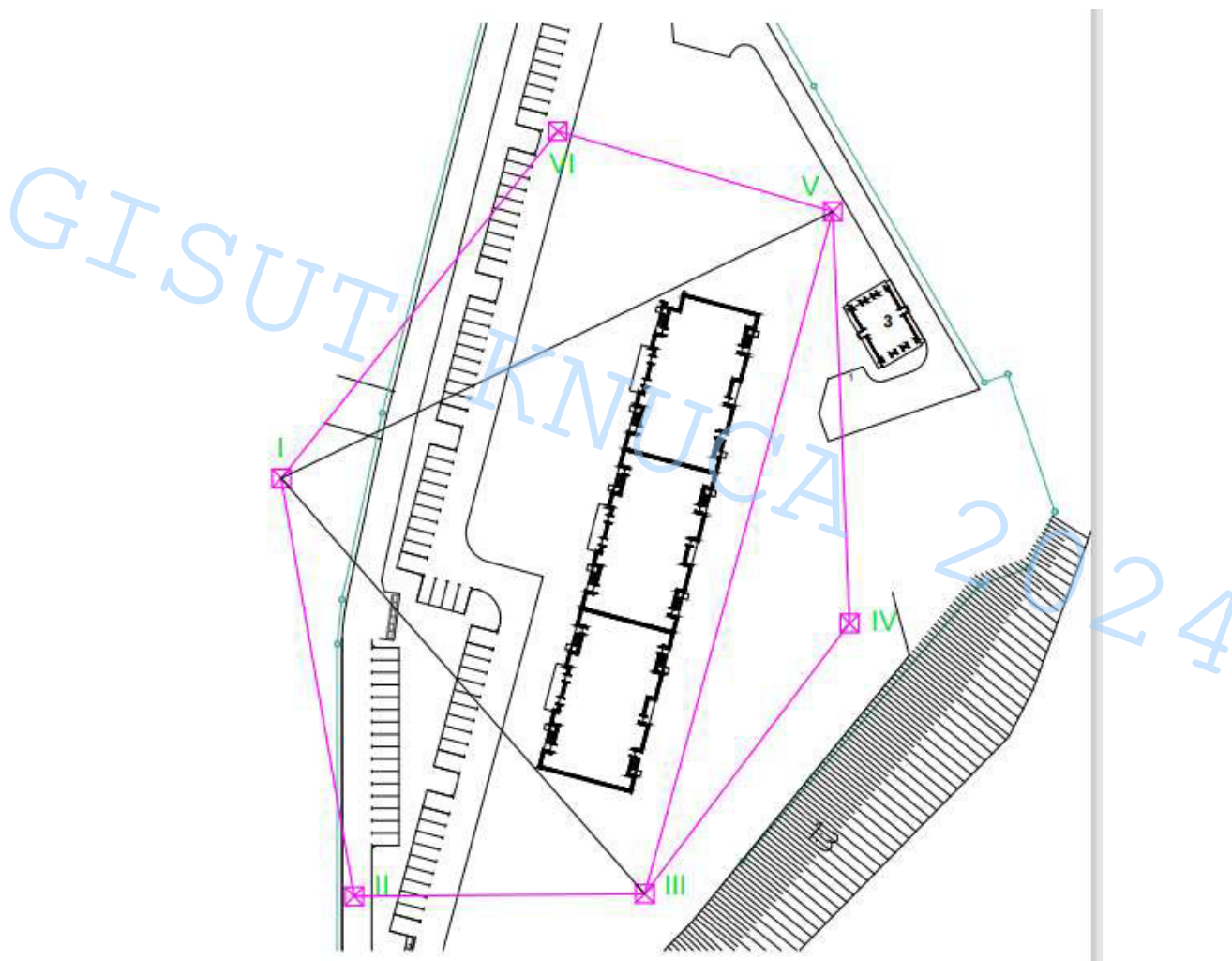


Рис. 3.9 Опорна планова мережа

Під час розробки проєкту планової опорної мережі виконано попередній розрахунок точності створення лінійно-кутової мережі. За вихідну сторону обрано

сторону III-V. Для спрощення розрахунків координати запроєктованих пунктів прийнято в умовній системі координат.

Значення точності лінійних і кутових вимірювань у розрахунках встановлено: похибка лінійних вимірювань становить 2 мм, а похибка кутових вимірювань – 3".

Попередній розрахунок точності побудови планової мережі виконано за допомогою програмного забезпечення «Топоград». Результати розрахунків наведено в таблиці 3.4.

GISUT
KNUCA
2024

Попередній розрахунок точності лінійно-кутової мережі

Таблиця 3.4

Назва пункту	Координати		Дирек.	На пункти	Довжина Сторін (м)	Середньо квадратичні похибки (СКП)					Відносна похибка сторін
	X (м)	Y (м)	Кут (° ' ")			X (м)	Y (м)	МХУ (м)	Сторін (м)	Дир. Кутів (сек)	
1	901.388	1130.745	278 54 3.8	2	123.43	0.0011	0.0013	0.0017	0.0014	2.4068	1:90894
			307 1 29.3	3	163.76				0.0012	1.5417	1:132672
			40 20 25.1	5	163.76				0.0012	1.5417	1:132672
			68 27 50.6	6	123.43				0.0014	2.4068	1:90894
2	920.486	1008.803	98 54 3.8	1	123.43	0.0015	0.0011	0.0019	0.0014	2.4068	1:90894
			353 40 57.1	3	80.00				0.0016	2.6711	1:50995
3	1000.000	1000.00	127 1 29.3	1	163.76				0.0012	1.5417	1:132672
			173 40 57.1	2	80.00				0.0016	2.6711	1:50995
			69 48 58.4	4	122.68				0.0015	1.7253	1:82934
			83 40 57.2	5	238.20						
4	1042.00	1115.142	249 48 59.4	3	122.68	0.0010	0.0015	0.0018	0.0015	1.7253	1:82934
			97 32 56.0	5	122.68				0.0015	1.7253	1:82933

5	1026.221	1236.754	220 20 25.1	1	163.76				0.0012	1.5417	1:132672	
			263 40 57.2	3	238.20							
			277 32 56.0	4	122.68				0.0015	1.7253	1:82933	
			173 40 57.1	6	80.00				0.0016	2.6711	1:50995	
6	946.697	1245.556	248 27 50.6	1	123.43	0.0016	0.0010	0.0019	0.0014	2.4068	1:90894	
			353 40 57.1	5	80.00				0.0016	2.6711	1:50995	

GISUT KNUCA 2024

За результатами попереднього аналізу точності було визначено слабкі сторони мережі: II-III та V-VI. На це вказує те, що відносна похибка вимірювання цих сторін є найбільшою і становить 1:50995, а середньоквадратична похибка (СКП) визначення координат пунктів дорівнює 1,9 мм. Але цієї точності нам достатньо для проведення моніторингу будівлі.

Для перевірки відповідності мережі вимогам точності визначення координат проведено порівняння отриманих значень СКП координат із прийнятними значеннями СКП зміщень. Значення СКП для вимірювання зміщень було прийнято відповідно до вимог 3-го класу точності, зазначених у таблиці 3.1.

Цей підхід дозволяє оцінити надійність мережі для виконання моніторингових спостережень та своєчасно виявити слабкі сторони, які можуть вплинути на результати вимірювань.

Допустимі похибки вимірювання деформаційних зміщень споруд

Оскільки середньоквадратична похибка (СКП) визначення координат, яка становить 1,9 мм, є меншою за допустиме значення 10 мм, запроектована планова мережа відповідає вимогам точності.

Побудова опорної планової мережі розпочинається з винесення пунктів III та V за допомогою GNSS-приймача Leica GS16 (рисунок 3.8) у режимі RTK (див. характеристики в таблиці 3.3). У GNSS-приймач вводяться координати пунктів мережі, які вираховані в місцевій системі координат Київської області — МСК32.

Далі пункт III закріплюється постійним знаком. Після цього виконується редукування положення пункту III до проектного значення за допомогою тахеометра Leica FlexLine TS10 I 1" R1000 (рис. 3.10). Після уточнення положення пункту III його закріплюють постійним знаком.

Такий підхід забезпечує точне розташування опорних пунктів відповідно до проекту, що є необхідною умовою для подальшого проведення спостережень і вимірювань.



Рис. 3.10 Тахеометр Leica FlexLine TS10 I 1" R1000

Основні характеристики тахеометра Leica FlexLine TS10 I

Таблиця 4

Збільшення (кратність)	30х
Точність кутова	1"
Дальність вимірювання без відбивача	1000м
Дальність вимірювання з відбивачем	3500м (10000м у режимі великих відстаней)
Точність вимірювання відстаней без відбивача	2мм+2мм/км
Точність вимірювання відстаней на відбивач	1мм+1.5мм/км

Після закріплення вихідної сторони V-III проводиться розмічування запроєктованих пунктів мережі. Ця операція здійснюється методом полярних

1 – залізобетонний чи металевий колодязь із кришкою; 2 – сальники; 3 – захисна труба діаметром 150 мм – 200 мм; 4 – труба діаметром 80 мм – 150 мм; 5 – ґрунт (пісок, лес); 6 – муфта; 7 – обмежувальне кільце; 8 – свердловина діаметром 250 мм; 9 – бетон; 10 – металевий диск; 11 – цементний розчин

Контролю точності положення пунктів планової мережі в кожному циклі проводиться методом спостереження на віддалені об'єкти. Такими об'єктами можуть бути телефонна вежа, церква тощо, головною умовою вибору є стабільність їхнього положення. Для цього на кожному з цих пунктів обираються та вимірюються горизонтальні кути для 3 напрямків на віддалені об'єкти. Такі спостереження проводяться впродовж усього періоду робіт.

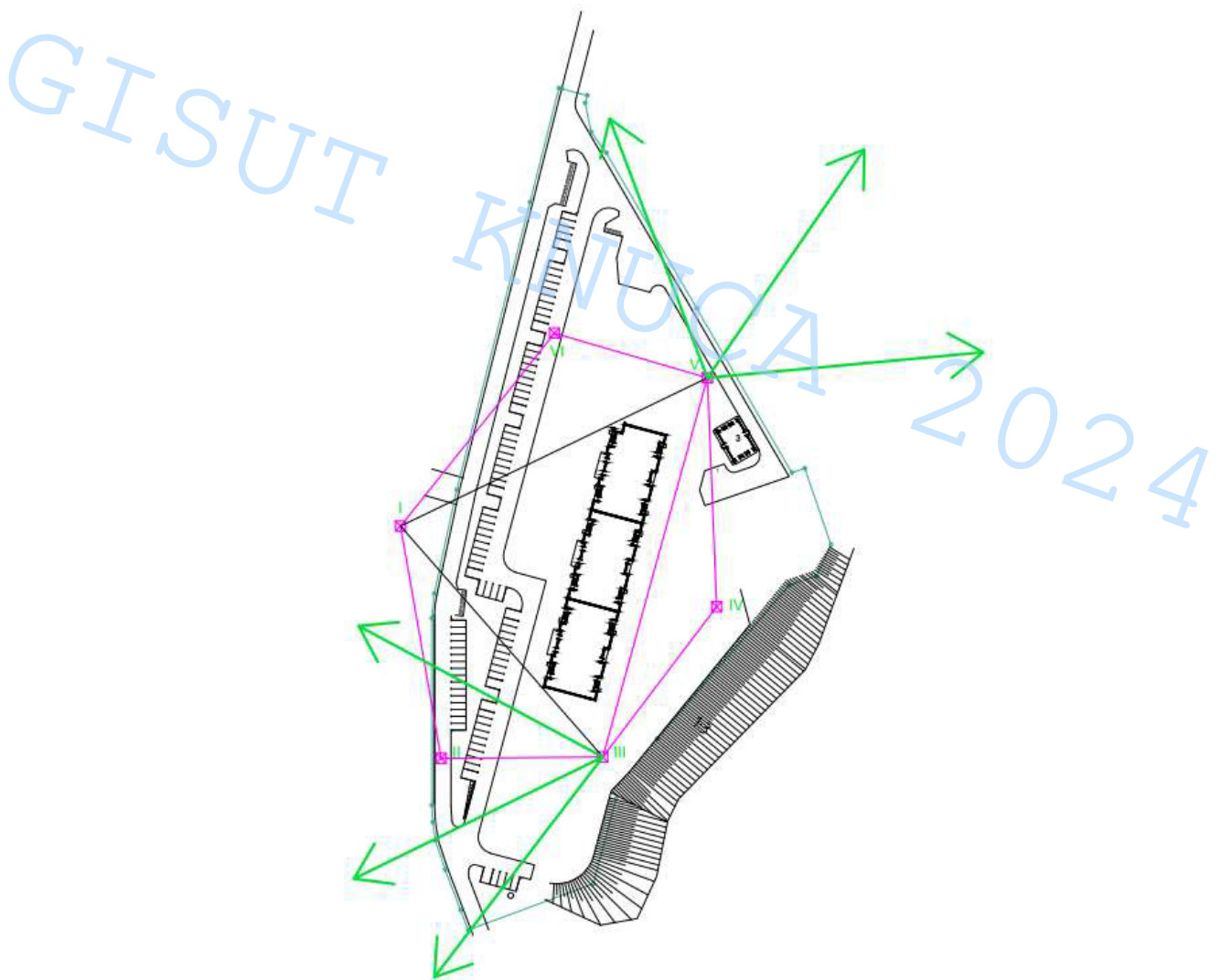


Рис. 3.12 Обрані напрямки для контролю точності мережі на прикладі

3.3 Методика спостережень за осіданням будівлі

Для вимірювання осідань застосовується метод нівелювання коротким променем. Цей метод передбачає виконання нівелювання з використанням променів, довжина яких не перевищує 60 м, що дозволяє досягти точності, відповідної вимогам нівелювання II класу.

Для проведення спостережень за осіданнями будівлі в комплексі встановлюються осадкові марки (рисунк 3.13). Вони є основними реперами, що забезпечують можливість багаторазових точних вимірювань висотних змін у визначених точках об'єкта, дозволяючи контролювати процес осідання протягом експлуатації споруди.

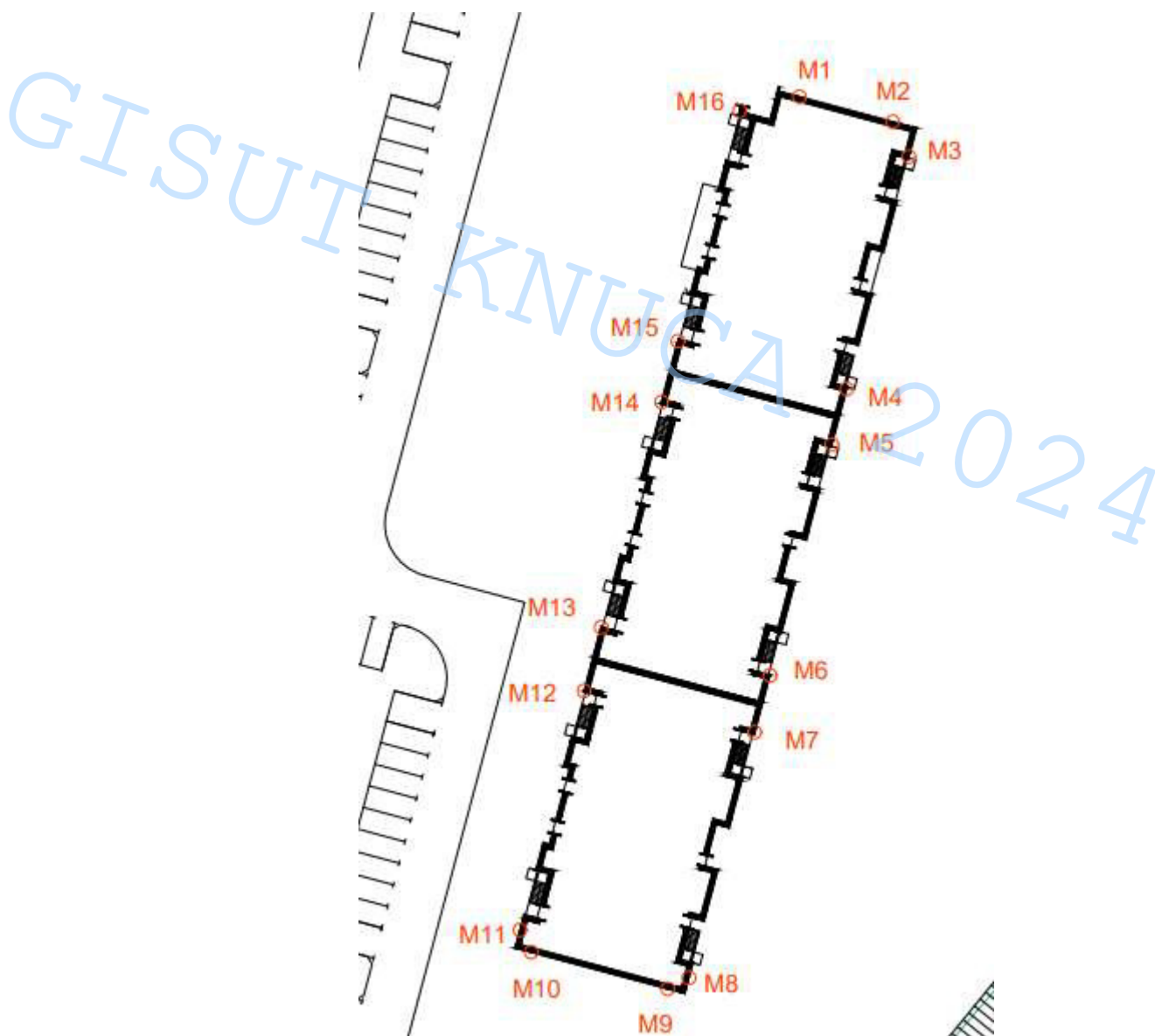


Рис. 3.13 Схема закріплення осадкових марок на будівлі

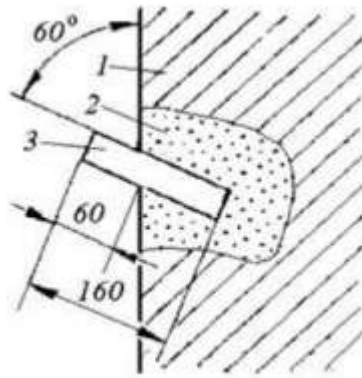


Рис. 3.14 Конструкція осадової марки

1- стіна; 2- цементний розчин; 3- сталевий кутик.

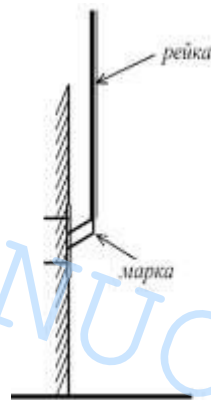


Рис. 3.15 Схема використання осадової марки

Осадіві марки встановлюються в нижній частині будівель та споруд, по їх периметру.

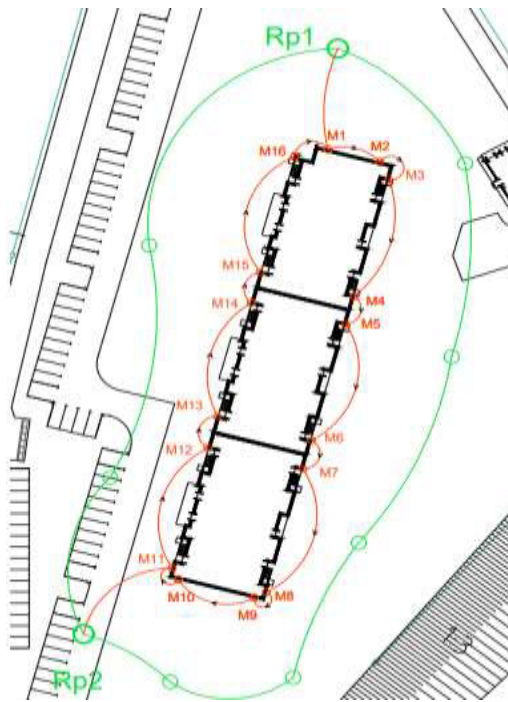


Рис. 3.16 Нівелювання осадових марок

Нівелірний хід прокладається по осадових марках та спирається на репери Rp.1 та Rp.2 (рис. 3.14).

Нівелювання виконується тільки виключно при сприятливих умовах й при хорошій видимості шкали рейок. Величину осідання осадової марки отримують в результаті різниці відміток отриманих в двох циклах вимірювання на цій марці:

$$\Delta H = H_2 - H_1;$$

3.4 Методика спостереження за горизонтальними зміщеннями та креном будівлі

Горизонтальні зміщення та крен будівлі при експлуатації виражаються у зміні координат їх точок. Ці зміни визначають за результатами різного роду геодезичних вимірювань: горизонтальних і вертикальних кутів, горизонтальних і похилих відстаней. Вимірюють кути та відстані і знаходять зміни координат. За змінами координат δx та δy характерних точок будівель можна визначити азимут і зенітний кут та величини загального зміщення точок в просторі.

Для визначення горизонтального зміщення однієї точки вимірюють кути і довжини в різних циклах спостережень. Визначення величини планового зміщення точки по осях координат будівлі:

Після отримання зміщень по осях визначається загальний вектор горизонтального зміщення та його азимут:

$$Q = \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}; \quad \alpha_Q = \arctg \frac{\delta y}{\delta x}.$$

Креном будівлі називають такий стан, при якому його площина симетрії відхиляється від вертикалі. Поява крену може бути викликана як нерівномірністю осідання споруди. В результаті крену можуть виникати різного виду деформації.

Вимірювання зміщень та крену висотних будівель виконується з пунктів опорної планової мережі (рис.3.15).

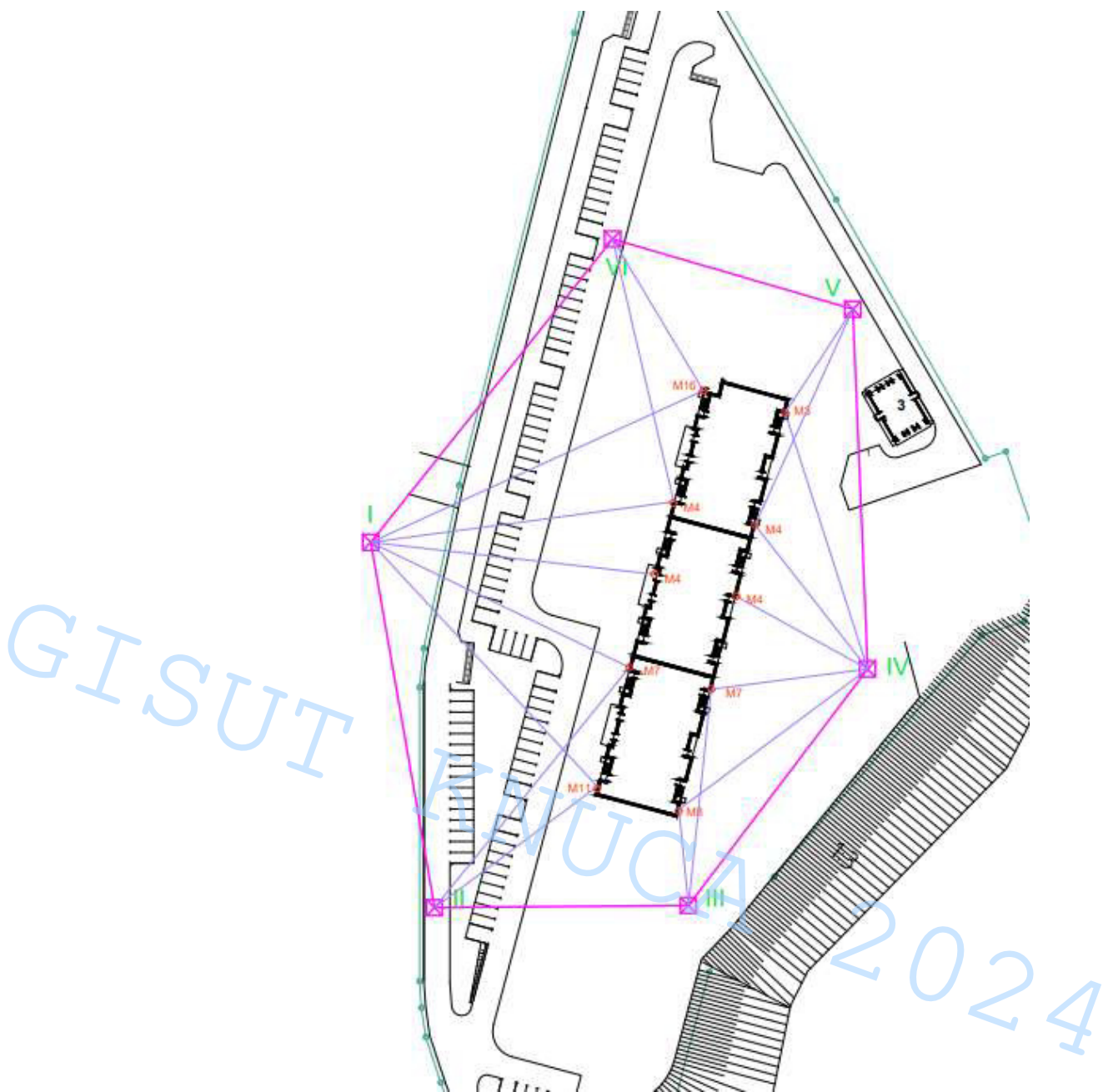


Рис.3.15 Напрямки спостереження з опорних пунктів на марки.

Для виконання вимірювання крену на будівлі закріплюються відповідні знаки. Дані знаки представлені рефлекторними марками на катафотових плівках, які наклеюють на конструкції і використовують для вимірювань у безвідбивному режимі, та трипельпризмами круглого огляду.

На будинку проектується два ряди знаків. Нижній ряд проектується з рефлекторних марок (рис.3.16), а верхній – стаціонарних трипельпризм (рис.3.17), оскільки, якщо виконувати вимірювання на рефлекторну марку під

кутом $<30^\circ$ до поверхні рефлекторної марки, то отримані значення будуть мати велику похибку.



Рис. 3.16 Рефлекторна марка



Рис. 3.17 Трипельпризма круглого огляду та спосіб її закріплення

Перший ряд знаків закріплюється між першим та другим поверхами, щоб забезпечити безперервний доступ до марок для спостереження в усіх циклах. Знаки наступного ряду закріплюються біля даху будівлі (рисунк 3.1). Встановлення знаків виконується на двох більших фасадах будівлі, оскільки це повністю забезпечить виконання моніторингу за креном будівелі в усіх напрямках.



Рис. 3.18 Місця закріплення рефлекторних марок та трипелъпризм на фасаді будівлі

Моніторинг за креном будівлі виконується в умовній системі координат. Вісь X лежить в здовж сторони III-V, а вісь Y лежить перпендикулярно до осі x.

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

Висота будинку 70 м.

$$0,0001\text{м} \cdot 70\text{м} = 0,007\text{м}$$

Крен будівлі – це вектор, що визначається за різницями $\delta x = x_2 - x_1$; $\delta y = y_2 - y_1$ координат точок будівлі у одному циклі спостережень

$$Q = \sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}; \alpha_Q = \arctg \frac{\delta y}{\delta x}$$

де Q – лінійна величина зміщення (скаляр); α_Q – азимут зміщення.

СКП вимірювання координат точок закріплених на будівлях методом полярних координат визначається за формулою:

$$m_p^2 = m_{ц.п.}^2 + m_{ц.м.}^2 + \left(S \frac{m_\beta^2}{\rho''^2} \right) + m_S^2 + m_i^2$$

Де:

$m_{ц.п.}$ – похибка центрування приладу;

$m_{ц.м.}$ – похибка центрування марки;

S – найбільша відстань від пункту мережі до марки;

m_β – похибка вимірювання кутів;

m_S – похибка вимірювання відстаней;

m_i – похибка відхилення осі обертання тахеометра від прямовисної лінії;

Приймаючи такі значення похибок:

$$m_{ц.п.} = 0,7 \text{ мм};$$

$$m_{ц.м.} = 1 \text{ мм};$$

$$m_\beta = 1'';$$

$$m_S = 2,5 \text{ мм};$$

$$m_i = S * \text{tg}(i) = 130,084 * \text{tg}(5'') = 3 \text{ мм};$$

Отримуємо:

$$m_p = \sqrt{0,7^2 + 1^2 + \left(130,084 \frac{1''^2}{206265''^2} \right) + 2,5^2 + 3^2} = 4,6 \text{ мм};$$

Отже СКП вимірювання координат найбільш віддаленої точки з пунктів планової мережі тахеометром Leica FlexLine TS10 I 1" R1000 буде дорівнювати 4,6 мм. Оскільки $4,6 \text{ мм} < 10,0 \text{ мм}$ (III клас точності), тому даний тахеометр можна використовувати для даного виду роботи.

GISUT KNUCA 2024

**РОЗДІЛ 4. ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ПЛАНОВО-ВИСОТНИМ
ЗМІЩЕННЯМ БУДІВЛІ**

4.1 Аналіз результатів спостережень за осіданням споруд

Інструментальні геодезичні вимірювання осідань споруди виконувалися методом геометричного нівелювання II класу.

Мережа нівелювання складалась з 16 деформаційних марок М1-М16 та 2-х реперів Rp1 та Rp2.

Схему розташування осідальних марок наведено у розділі 3.3.

Згідно з ДБН В.1.3-2:2010 «ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ У БУДІВНИЦТВІ» спостереження за осіданням будівель які вже знаходяться в експлуатації протягом 2-3 років проводять 1-2 рази на квартал (див. таблицю 4.1).

Спостереження за осіданнями проводилися , з 29 липня 2023р. по 07 серпня 2024 р.. Було виконано 6 циклів (1 цикл кожні 2 місяці) інструментальних геодезичних вимірювань осідань обстежуваного будинку. Виміряні висоти осідальних марок в 6 циклах спостережень наведено в таблиці 4.2. Висоти осадкових марок було визначено в умовній системі висот.

Періодичність геодезичного моніторингу за видом деформації

Таблиця 4.1

№ з/п	Вид деформації	Періодичність					
		під час будівництва			2-3 роки після будівництва	експлуатація	
		улаштування фундаменту	через кожні 5 повер- хів	закінчення будівництва	1-2 рази на квартал	2 рази на рік	постійно
1	Осідання	+	+	+	+	+	-
2	Нерівномірне осідання	+	+	+	+	+	-
3	Прогин фундаментів	+	+	+	+	+	-

Примітка. Періодичність виконання моніторингу уточнюється в проекті у відповідності до індивідуальних умов будівництва.

Для розрахунку абсолютних або повних осідань ΔH , зафіксованих на будинку марок, періодично обчислюють їх висоти H відносно вихідного ґрунтового репера $Rp1$, який розташований осторонь від споруди. Щоб визначити осідання точки в даному циклі спостережень H_i відносно початкового циклу спостережень H_0 , необхідно обчислити різницю вимірних відміток, отриманих на цих циклах, тобто

$$\Delta H = H_i - H_0 \quad (4.1)$$

Аналогічно можна розраховувати осідання між попереднім H_i і наступним H_{i+1} циклами спостережень.

$$\Delta H = H_i - H_{i-1} \quad (4.2)$$

Середнє осідання ΔH_{cp} всієї споруди або окремих її частин обчислюється як середнє арифметичне значення із суми осідань усіх n її точок, тобто

$$\Delta H_{cp} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H}{n} \quad (4.3)$$

Разом із середнім осіданням для повноти загальної характеристики вказують найбільше $\Delta H_{макс.}$ і найменше $\Delta H_{мін.}$ осідання точок споруд.

Нерівномірність осідань може бути визначена із різниць осідань ΔH яких-небудь двох точок 1 і 2, тобто

$$\Delta H = H_2 - H_1 \quad (4.4)$$

Аналогічним методом можна визначити осідання між попереднім і наступним циклами спостережень. Зміна величини осідання за певний інтервал часу характеризується середньою швидкістю осідання $\vartheta_{сер.}$. Середню швидкість осідання досліджуваної точки за проміжок часу t між двома циклами вимірювань i та $i+1$ можна обчислити за формулою:

$$\vartheta_{сер} = \frac{(H_{i+1} - H_i)}{t} \quad (4.5)$$

Якщо час t виражається числом місяців, то швидкість буде

середньомісячна, а коли час t виражається числом років то швидкість буде середньорічна і т. д.

Для прикладу розрахуємо осідання будинкув місці де закріплена марка М2, яка була обрана для зручності.

Виміряні відмітки марок

Початкова висотна позначка в 0 циклі цієї марки була виміряна 29.07.2023 і дорівнювала $H_0=107,697$ м. Повторні вимірювання були проведені 30.09.2023 і на той момент виміряна позначка стала дорівнювати $H_i=107,692$ м. За формулою (4.1):

$$\Delta H=107,697-107,693 = -4 \text{ мм.}$$

Наступні виміри були проведені 02.12.2023 і виміряна висотна позначка стала дорівнювати $H_i=107,69$ м, порівнявши виміряні значення за цей та за попередній періоди:

$$\Delta H = 107,693 - 107,69 = -3 \text{ мм,}$$

Можна зробити висновок, що будівля осіла на 3 мм.

02.02.2024 провели повторні спостереження, при яких позначка дорівнювала $H_i=107,686$ м, аналогічно підраховуємо осідання:
 $\Delta H=107,69 - 107,686 = -4$ мм,

Наступний цикл спостереження проводився 05.04.2024. Позначка дорівнювала $H_i=107,682$ м, вираховуємо різницю відміток:

$$\Delta H=107,686 - 107,682 = -4 \text{ мм,}$$

Наступний, 5 цикл спостереження проводився 04.06.2024. Позначка дорівнювала $H_i=107,679$ м, а осідання склало – -3 мм.

Останній, 6 цикл спостереження проводився 07.08.2024. Позначка дорівнювала $H_i= 107,676$ м, осідання за цей період склало – -3 мм.

По обрахункам видно, що осідання значні, але стабільні та складала протягом всього періоду спостережень в середньому по 3.5см за цикл. Сумарне осідання марки М2 на будівлі становить -2,1 см за період за період спостереження з липня 2023р. по серпень 2024 р..

Усі розрахункиданих були виконані за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel.

Проаналізувавши повністю виміряні дані в усіх циклах можна зробити такі висновки:

Було виконано 6 циклів вимірювання осідання будівлі в період з липня 2023р. по серпень 2024 р.

Станом на 07.08.2024р. максимальне значення осідання за весь період спостереження будівлі становить -2.6 см (марка М8) та -2.5 см (марка М9), решта значень знаходяться в межах від -1,9см до 2,3см , найбільше осідання відносно попереднього циклу спостереження становить -6 мм (марка 9), решта значень перебувають в межах від -5 мм до 0 мм.

В результаті спостереження за осіданням будівлі протягом всього періоду виміряні дані показали, що осідання будівлі були динамічними та склали в середньому по всьому будинку -3,552 мм за цикл. Найбільші значення осідання були виміряні в марок М8 та М9 які розташовані біля схилу яру на якому розташовуються обстежувана будівля. Динаміки на сповільнення процесу осідання помічено не було. Тому рекомендуємо продовжити спостереження за осіданнями для подальшого відстеження до моменту стабілізації осідання будівлі.

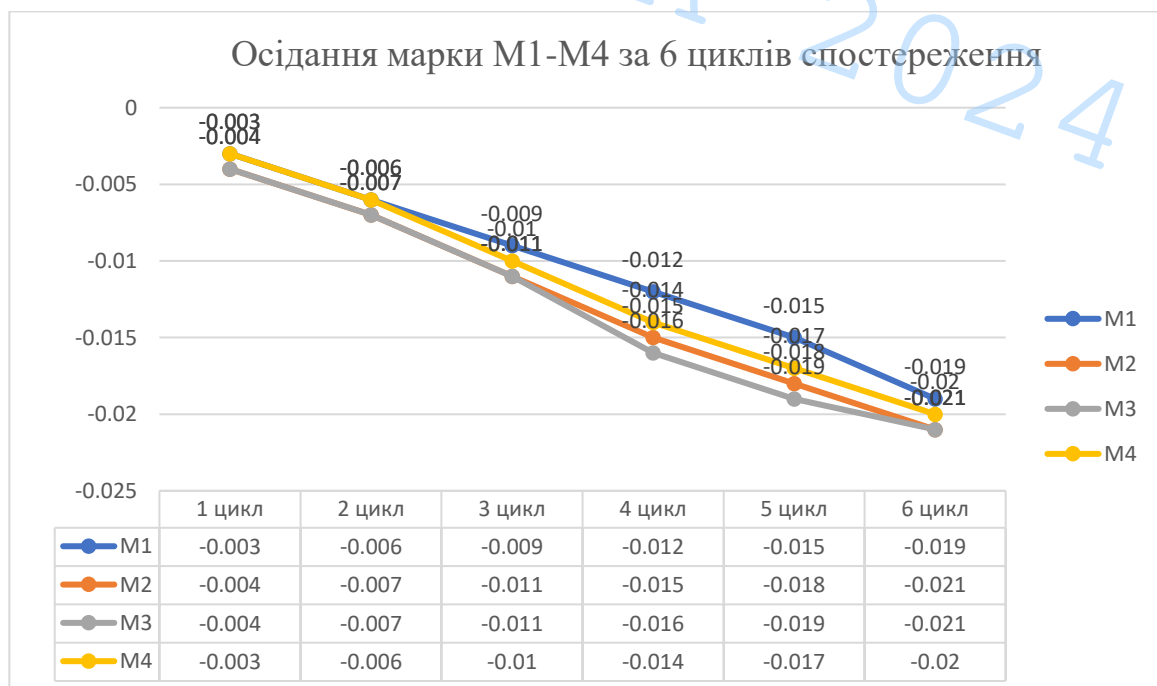


Рис. 4.1 Графік осідань марок М1-М4 обстежуваної будівлі за період з 29 липня 2023р. по 07 серпня 2024 р.

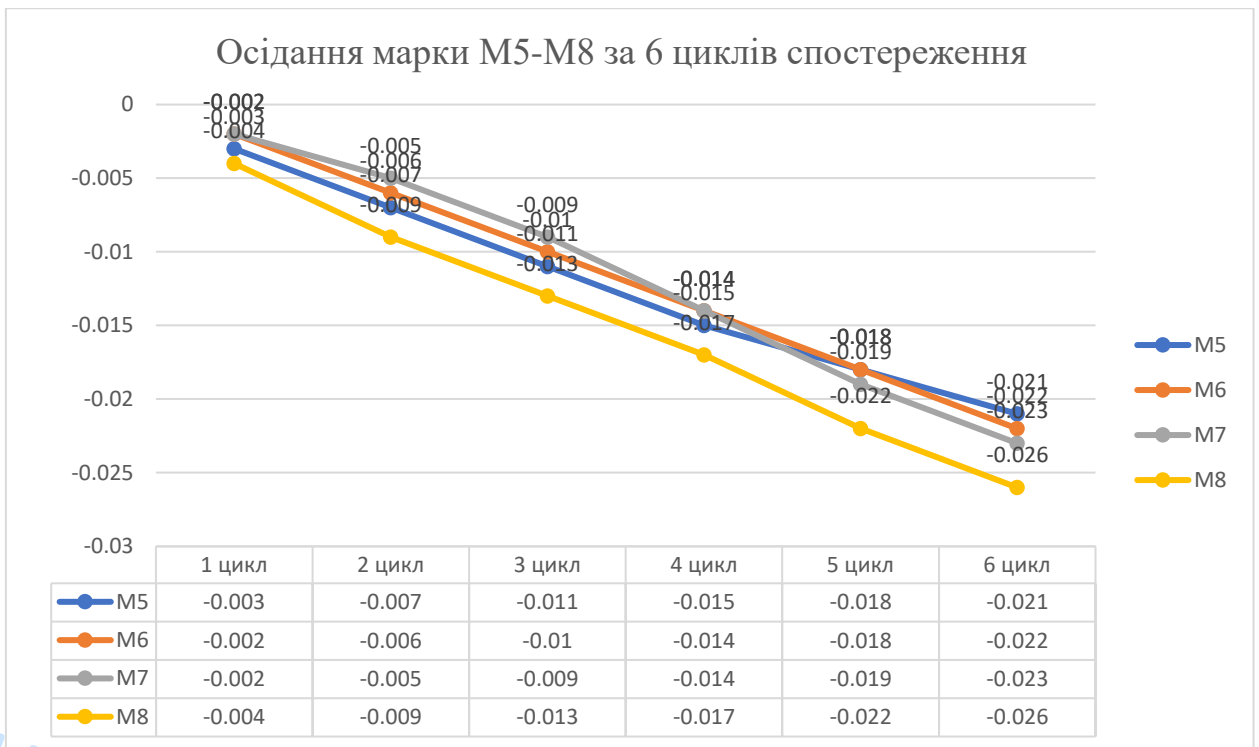


Рис. 4.2 Графік осідань марок М5-М8 за період
з 29 липня 2023р. по 07 серпня 2024 р.

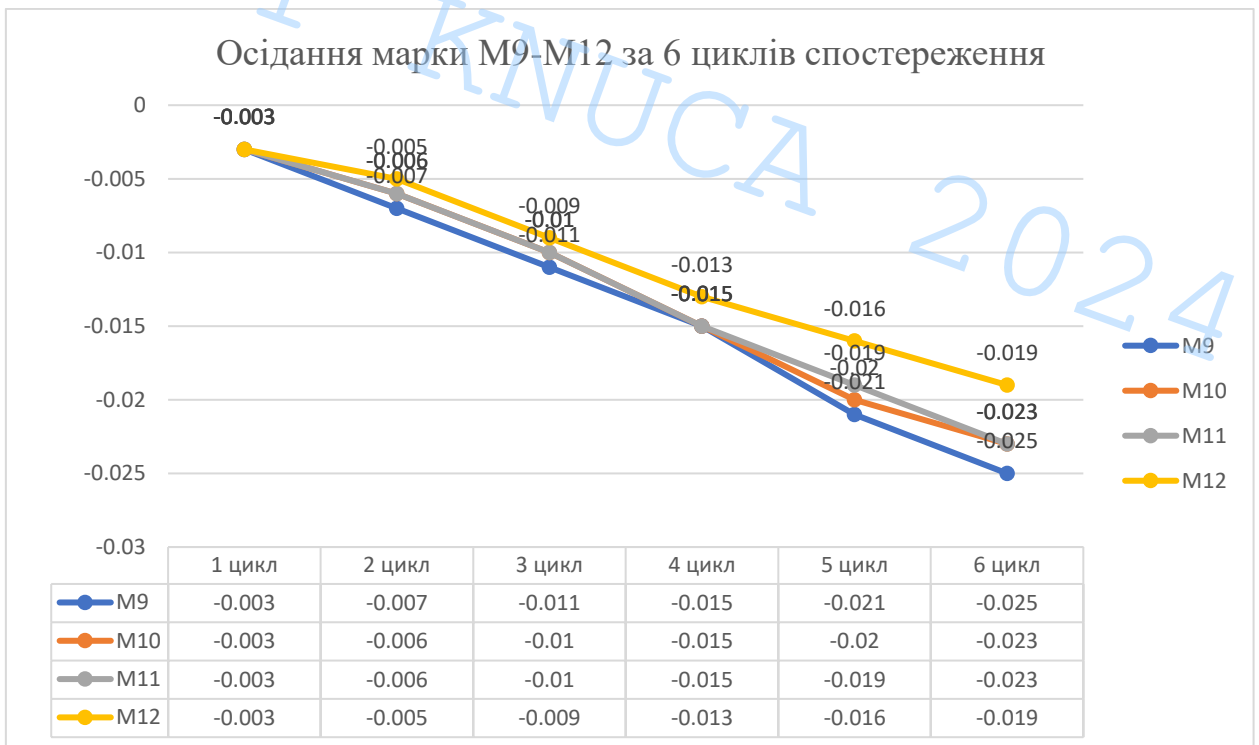


Рис. 4.3 Графік осідань марок М9-М12 за період
з 29 липня 2023р. по 07 серпня 2024 р.

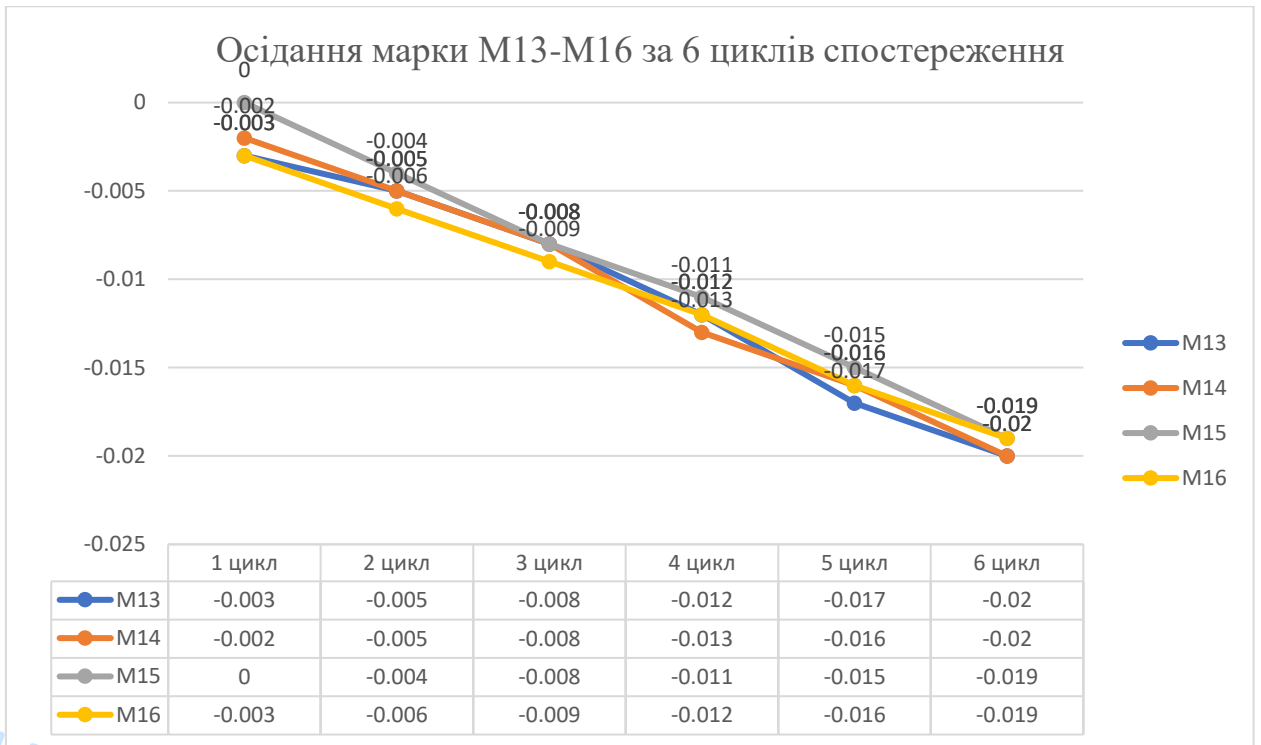


Рис. 4.4 Графік осідань марок M103-M16 за період з 29 липня 2023р. по 07 серпня 2024 р.

GISUT КНУСА 2024

4.2 Аналіз результатів спостережень за креном споруд

Для визначення величини крену було застосовано спосіб координат. Він полягає у визначенні лінійно-кутовою засічкою з місця установки тахеометра координат точок, розміщених зверху та знизу споруди.

Точки постійно закріплені на фасаді будинку за допомогою рефлекторних марок та трипельпризм в два ряди, їх розташування наведено в пункті 3.4 на рисунку 3.18.

З різниці координат між початковим та наступними циклами спостережень визначають величину та напрям крену за даний період спостережень.

Обчислюють лінійну величину крену Q :

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

та кутову величину крену

$$\alpha_Q = \arctg \frac{\delta y}{\delta x}$$

Де

x_B, y_B – координати точки у верхній частині споруди;

x_H, y_H – координати точки у нижній частині споруди

ΔH – різниця висот марок

Оскільки точки, розміщені зверху та знизу споруди, не лежать на одній прямовисній лінії, визначають зміну крену ΔQ :

$$\Delta Q = Q_n - Q_0$$

де Q_n – значення крену у n -му циклі спостережень, Q_0 – значення крену у нульовому циклі спостережень.

Для прикладу в таблиці 4.3 наведені координати деформаційних марок на обстежуваній будівлі в 0 циклі, а в таблиці 4.4 наведені координати в 6 циклі спостережень.

Координати деформаційних марок у нульовому циклі спостережень.

Для прикладу ми можемо обчислити лінійну величину крену Q в точці де закріплена марка НМ1 в 1 циклі:

$$Q = \sqrt{(990,7241 - 990,7171)^2 + (2089,0042 - 2116,1688)^2} = 24,9 \text{ мм}$$

Також можемо обчислити кутову величину крену:

$$\alpha_Q = \arctg \frac{\sqrt{(990,7241 - 990,7171)^2 + (2089,0042 - 2116,1688)^2}}{178,268 - 108,249} = \arctg 0,00036 = 1'13''$$

Обчислимо лінійну величину крену Q у вузловій точці НМ1 в 6 циклі

$$Q = 54,1 \text{ мм}$$

Також можемо обчислити кутову величину крену:

$$\alpha_Q = \arctg \frac{\sqrt{(990,8145 - 990,7692)^2 + (2116,1388 - 2116,1688)^2}}{178,249 - 108,249} = \arctg 0,000771 = 2'39''$$

Зміну крену в точці НМ1 за період спостережень склала:

$$\Delta Q = 54,1 - 24,9 = 29,2 \text{ мм}$$

Також для прикладу ми можемо обчислити лінійну величину крену Q у вузловій точці НМ5 в 0 циклі:

$$Q = \sqrt{(991,8967 - 991,8817)^2 + (2020,7773 - 2020,7623)^2} = 32,1 \text{ мм}$$

Також можемо обчислити кутову величину крену:

$$\alpha_Q = \arctg \frac{\sqrt{(991,8967 - 991,8817)^2 + (2020,7773 - 2020,7623)^2}}{178,229 - 108,229} = \arctg 0,0046 = 1'34''$$

Лінійну величина крену Q у вузловій точці НМ5 в 6 циклі

$$Q = \sqrt{(991,8967 - 991,8817)^2 + (2020,7773 - 2020,7623)^2} = 70,1 \text{ мм}$$

Також можемо обчислити кутову величину крену:

$$\alpha_Q = \arctg \frac{\sqrt{(991,8967 - 991,8817)^2 + (2020,7773 - 2020,7623)^2}}{178,229 - 108,229} = \arctg 0,001 = 3'26''$$

Зміну крену у вузловій точці НМ1 за цей період склала:

$$\Delta Q = 70,1 - 32,1 = 38 \text{ мм}$$

Необхідно зазначити, що визначення крену за допомогою цього методу не дає змоги виключити з результату вимірювань дефектів ведення монтажних будівельних та оздоблювальних робіт при будівництві або ремонті будинку. Ця величина може досягати дзначних величин, але це не є крен в повному

розумінні цього терміну. Цю величину можна назвати відхиленням від вертикалі граней фасаду будівлі.

Для того щоб зробити висновок про технічний стан будівлі, потрібно вивчати зміну крену в часі, тобто його розвиток.

Результати визначення крену відображені на схемах, наведені нижче:

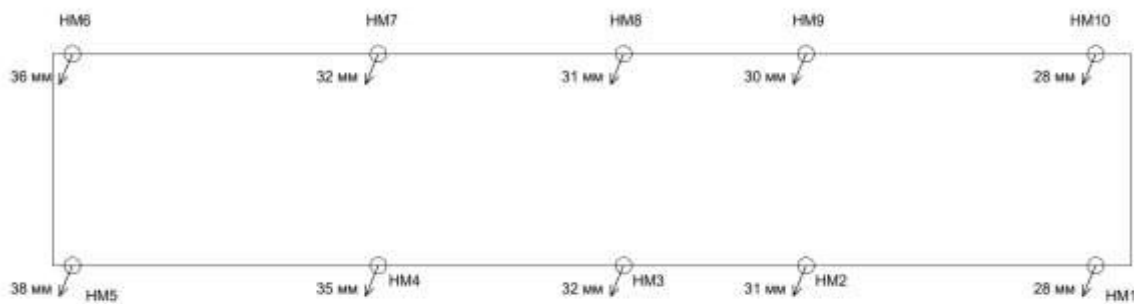


Рис. 4.5 Абсолютні крени головного фасаду будинку в місцях закріплення марок за весь час спостережень

На рисунках бачимо вигляд зверху будинку. Стрілками відображений напрям крену а також його значення в мм, наприклад на рис. 4.4 на контрольній точці НМ5 за період спостережень зсув пройшов на 12,5мм по напрямку стрілки.

За липень 2023р. по серпень 2024 р. було виконано 6 циклів вимірів кренів головного фасаду обстежуваного будинку.

Станом на 07 серпня 2024 р.:

- максимальні значення крену головного фасаду становлять 70,1 мм та 367,2 мм (марка В5 та марка В6), решта значень не перевищують 64,1 мм;
- максимальні значення зміни крену за 1цикл становлять 9 ммта виміряно було в 6 циклі в місці закріплення марки В5;

За результатами спостережень за визначенням значень кренів обстежуваної будівлі виявлено продовження зміни крену будівлі, який

спрямований в сторону схилу яру, біля якого побудована будівля. Динаміки на сповільнення процесу планового зміщення помічено не було.

Рекомендуємо продовжити спостереження за деформаціями для своєчасного виявлення їх можливого розвитку своєчасного реагування та попередження будівельної організації та замовника будівництва.

GISUT KNUCA 2024

GISUT КМУСА 2024

РОЗДІЛ 5: ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ

Охорона праці під час геодезичного моніторингу за планово-висотним зміщенням будівлі є комплексним процесом, спрямованим на забезпечення безпеки працівників, які виконують вимірювання в умовах підвищеного ризику. Вона включає підготовчі заходи, організацію робіт на місці, дотримання техніки безпеки при роботі з обладнанням, захист від зовнішніх небезпек і підготовку до можливих аварійних ситуацій.

Перед початком робіт усі працівники проходять обов'язковий інструктаж з охорони праці. Він включає ознайомлення з можливими ризиками, методами їх уникнення та алгоритмами дій у разі виникнення небезпечних ситуацій. Окрім вступного інструктажу, проводиться первинний та регулярний повторний інструктаж безпосередньо на робочому місці.

Працівники допускаються до робіт лише після перевірки їхньої кваліфікації, знань правил безпеки та забезпечення необхідними засобами індивідуального захисту. До таких засобів належать каски, сигнальні жилети, захисне взуття, рукавиці та страхувальні пристрої.

Робочі місця організовуються таким чином, щоб мінімізувати можливі ризики для працівників. Якщо моніторинг проводиться в небезпечних зонах, наприклад, поблизу аварійних будівель або на висоті, робочі місця огорожуються, встановлюються попереджувальні знаки, забезпечується стійкість обладнання. Всі зони, де є ризик падіння або зсуву конструкцій, оцінюються на наявність додаткових небезпек, таких як нестабільність ґрунту чи вібрації, які можуть викликати подальше зміщення.

Роботи на висоті потребують особливої уваги. Працівники, які виконують завдання на дахах, балконах або інших підвищеннях, повинні використовувати страхувальні пояси або анкерні системи. Окрім цього, обов'язковим є встановлення огорож або тимчасових платформ для забезпечення стійкості.

Особлива увага приділяється роботі з геодезичним обладнанням. Перед використанням інструменти, такі як тахеометри або нівеліри, перевіряються на справність. Їх встановлення проводиться лише на стійких поверхнях із

дотриманням правил вирівнювання. Усі налаштування та дрібні ремонти обладнання повинні виконуватися тільки після завершення польових робіт, щоб уникнути ризику поломки або травм під час вимірювань.

У разі проведення робіт поблизу транспортних шляхів забезпечується додаткова безпека: огорожуються місця виконання робіт, використовуються сигнальні знаки, а працівники одягають яскраві жилети. Якщо роботи виконуються в умовах поганої видимості, необхідно забезпечити належне освітлення робочої зони.

При виконанні геодезичного моніторингу у складних погодних умовах, таких як сильний вітер, злива або ожеледиця, роботи припиняються. Це також стосується ситуацій, коли стан будівлі створює загрозу обвалу чи інших небезпек. Перед продовженням робіт проводиться оцінка стану конструкції та умов на місці.

Усі працівники повинні бути ознайомлені з планом дій у разі аварійних ситуацій, включаючи евакуацію, першу допомогу та повідомлення відповідальних осіб. Робоче місце має бути оснащено аптечкою та засобами для швидкої евакуації. Для забезпечення безпеки проводяться регулярні перевірки дотримання правил охорони праці, які документуються у відповідних журналах.

Таким чином, охорона праці при геодезичному моніторингу полягає в ретельній організації робіт, забезпеченні працівників необхідними засобами захисту, контролі за дотриманням техніки безпеки та готовності до можливих ризиків. Це гарантує мінімізацію небезпек для персоналу та ефективність виконання завдань.

ВИСНОВОК

В даній дипломній роботі досліджено методологію та практичні аспекти геодезичного моніторингу за планово-висотними зміщеннями будівель. На основі проведеного аналізу теоретичних і прикладних аспектів моніторингу встановлено, що забезпечення стабільності конструкцій є важливим елементом у процесі експлуатації будівель, особливо в умовах впливу зовнішніх і внутрішніх факторів, таких як осідання ґрунту, тектонічні процеси чи техногенні навантаження.

У роботі розроблено ефективний алгоритм виконання геодезичного моніторингу, який включає вибір оптимального обладнання, встановлення системи реперів, проведення циклічних вимірювань і аналіз отриманих даних. Проведено польові вимірювання з використанням сучасних електронних тахеометрів і GNSS-технологій, що забезпечило високу точність результатів.

На основі аналізу результатів спостережень виявлено рівномірність та систематичність у вимірних переміщеннях. У багатьох випадках величина переміщень сягала 10 мм, що свідчить про наявність деформаційного процесу, оскільки такі значення не можуть бути пояснені лише похибками вимірювань.

Найбільші значення осідання та крену були виміряні в тій частині будівлі яка розташована біля схилу яру на якому розташовуються обстежувана будівля. Динаміки на сповільнення процесу осідання та крену помічено не було. Тому рекомендуємо продовжити спостереження для подальшого відстеження до моменту стабілізації деформаційних процесів будівлі. Для більш точного прогнозування та аналізу цих процесів рекомендовано застосовувати сучасні методи моделювання й прогнозування переміщень.

Отримані результати можуть бути використані для розробки рекомендацій щодо тривалого спостереження за об'єктами, особливо в зонах

підвищеного ризику. Запропонована методика є універсальною та може бути адаптована для різних типів будівель і споруд.

Таким чином, виконана робота підтвердила актуальність і важливість геодезичного моніторингу як засобу забезпечення безпечної експлуатації будівель та споруд.

GISUT KNUCA 2024

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.3-2:2010. Геодезичні роботи у будівництві. М., 2010 р.
2. ДСТУ Б В.2.1-30:2014 Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будинків і споруд.
3. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1975 г.
4. Інструкція з нівелювання I, II, III, IV класів. М., Недра, 1990 р.
5. Методические указания по созданию геодезических сетей. М., Недра. 1990 г.
6. ДБН А.3.1.-5-96. Управління, організація та технологія. Організація будівельного виробництва.
7. ДБН В.2.2.-24:2009 Проектування висотних житлових і громадських будинків.
8. ДБН В.2.1.-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування.
9. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах (ПТБ-88). – М.: Недра, 1991. – 368 с.
10. Применение геодезических засечек, их обобщенные схемы и способы машинного решения / П. И. Баран, В.И. Мицкевич, С.Г. Радов. – М.: Недра, 1986.-166 с.
11. Інженерна геодезія. С. П. Войтенко, Р. В. Шульц, О. М. Самойленко, О. В. Адаменко, О. І. Терещук, В. С. Староверов, О. Й. Кузьмич. 2022 р.
12. Закон України "Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність"
13. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність"
14. ДСТУ 2393-94 Геодезія. Терміни та визначення
15. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:20 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві
16. ДСТУ 8955::019 Метрологія. Теодоліти й тахеометри. Метрологічні та технічні вимоги
17. ДСТУ 9097:2021 Метрологія. Нівеліри оптико-механічні та електронні. Методика повірки

18. ДСТУ 2708:2006 Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки.
Організація та порядок проведення
19. ДСТУ 4179-2003 Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови
20. ДСТУ Б А.2.4-7:2009 СПДБ Архітектурно-будівельні креслення. Правила виконання
21. ДСТУ Б А.2.4-4:2009 СПДБ Основні вимоги до проектної та робочої документації
22. ДСТУ Б А.2.4-37:2008 СПДБ Позначення характеристик точності
23. ДБН А.2.1-1-2008 Інженерні вишукування для будівництва
24. [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/2023heodez\(2016\)/p3.html#p7](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/2023heodez(2016)/p3.html#p7)

GISUT
KNUCA
2024