

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання курсового проєкту

**«ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИШУКУВАНЬ
І МОНІТОРИНГУ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД»**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти
зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій,
освітньо-професійна програма «Геодезія та землеустрій»)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2023

Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту «Геодезичне забезпечення вишукувань і моніторингу інженерних споруд» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій, освітньо-професійна програма «Геодезія та землеустрій») / Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. О. Воронков, В. В. Касьянов. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 41 с.

Укладачі: канд. екон. наук, доц. О. О. Воронков,
канд. техн. наук, доц. В. В. Касьянов.

Рекомендовано кафедрою *земельного адміністрування та геоінформаційних систем*, протокол № 12 від 06.07.2023.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	5
2 СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	9
3 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ	11
4 ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	13
4.1 Варіанти завдань до розділу 1	13
4.2 Варіанти завдань до розділу 2.....	15
4.3 Варіанти завдань до розділу 3.....	20
5 ЗРІВНЮВАННЯ НІВЕЛІРНОЇ МЕРЕЖІ	21
5.1 Суть методу найменших квадратів.....	21
5.2 Параметричний метод зрівнювання	23
5.3 Вивід системи нормальних рівнянь.....	26
5.4 Порядок зрівнювання геодезичних побудов параметричним методом.....	27
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	37
ДОДАТОК А Зразок титульного аркуша	40

ВСТУП

Курсовий проєкт «Геодезичне забезпечення вишукувань і моніторингу інженерних споруд» є вибіркоvim компонентом у освітній програмі магістра «Геодезія та землеустрій» із спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій. Відповідно до навчального плану обсяг дисципліни становить 90 академічних годин або 3 кредити ECTS.

Метою курсового проєкту «Геодезичне забезпечення вишукувань і моніторингу інженерних споруд» є набуття здобувачами професійних знань та практичних навичок геодезичних вишукувань під час проєктування та моніторингу інженерних споруд.

Відповідно до програми курсовий проєкт розділений на три змістові модулі: «Побудова планово-висотної геодезичної мережі», «Технологія розмічувальних робіт інженерної споруди» та «Геодезичний моніторинг при будівництві будівель та інженерних споруд».

Перший змістовий модуль «Побудова планово-висотної геодезичної мережі» передбачає аналіз нормативно-правових документів, які регламентують розроблення проєкту будівництва. Другий змістовий модуль «Технологія розмічувальних робіт інженерної споруди» полягає у плануванні геодезичних вишукувань при виконання монтажних робіт. Третій змістовий модуль «Геодезичний моніторинг при будівництві будівель та інженерних споруд» полягає у визначенні порядку створення планово-висотної основи для геодезичного моніторингу та проведення геодезичного моніторингу.

В результаті виконання курсового проєкту здобувачі мають навчитись збирати та формувати дані, потрібні для геодезичного забезпечення об'єкту на всіх етапах будівельних робіт, обґрунтовувати способи вимірювань та розмічування будівельних елементів та інженерних споруд, визначати метод геодезичного моніторингу інженерних споруд та порядок його проведення.

У цих методичних рекомендаціях наведені індивідуальні вихідні дані до курсового проєктування за варіантами, вимоги до структури курсового проєкту, а також пояснення до змісту розділів, які відповідають змістовим модулям, та правила оформлення пояснювальної записки. Вибір варіанту завдання – за порядковим номером студента у журналі групи. Курсовий проєкт треба виконати протягом другого семестру з урахуванням тижнів модульного контролю (перший – 20–25 березня, другий 1–5 травня, третій 5–10 червня). Модульний контроль передбачає готовність відповідного розділу проєкту та відповіді на контрольні запитання у дистанційному курсі на платформі Moodle. Підсумковий контроль – захист курсового проєкту наприкінці семестру.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Геодезичне забезпечення є комплексом організаційних, технологічних та технічних заходів щодо забезпечення відповідності геометричних параметрів будівельного об'єкту нормативним та проєктним вимогам [1]. Проєктування, будівництво та експлуатацію інженерних споруд здійснюють з урахуванням певних просторово-геометричних характеристик. Для визначення цих характеристик проводять інженерно-геодезичні вишукування, які полягають у вивченні топографічних умов району будівництва. Як результат інженерно-геодезичних вишукувань, одержують топографо-геодезичні матеріали та дані, що необхідні для проєктування об'єктів будівництва та виконання інших видів інженерних вишукувань.

Під інженерно-геодезичними вишукуваннями розуміють комплекс робіт, потрібних для проєктування споруди, її будівництва та моніторингу. Це роботи із збирання просторової інформації, топографічного знімання місцевості та створення топографічних планів. У загальному випадку до інженерно-геодезичних вишукувань належать, зокрема, такі види робіт як топографічні зйомки масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, 1:200 та ін.; створення опорної геодезичної мережі, у тому числі геодезичної мережі для будівництва та експлуатації будівель і споруд, топографічних планів, профілів та інших матеріалів у графічній та цифровій формах; створення та ведення геоінформаційних систем населених пунктів, державного містобудівного та земельного кадастрів, тематичних карт у графічній або цифровій формах, а також проведення робіт з контролю за деформаціями будівель і споруд під час їх будівництва та експлуатації.

Геодезичні вишукування виконують організації та суб'єкти підприємницької діяльності, які мають ліцензії на виконання топографо-геодезичних робіт. Вихідним документом для виконання робіт з інженерно-геодезичних вишукувань є технічне завдання. Цей документ складає замовник за участі виконавця. Технічне завдання містить інформацію про види, цілі та обсяги робіт, загальну характеристику об'єкта та стадії проєктування, ступінь детальності відображення ситуації об'єкта, системи координат та висот, площ та масштабів зйомки, висот перерізу рельєфу, відомості про матеріали вишукувань минулих років. Технічне завдання визначає також черговість виконання робіт та терміни видачі матеріалів. До технічного завдання додають схему меж ділянок зйомки із врахуванням проєктів комунікацій.

Склад робіт з геодезичних вишукувань визначає вишукувальна організація з урахуванням виду будівництва, ступеню вивченості та особливостей території, а також стадії проєктування. Метою інженерно-геодезичних вишукувань є

отримання топографічних планів та створення інженерно-геодезичної основи із просторовим розташуванням об'єктів. Відповідальність за якість виконаних робіт несуть юридичні та фізичні особи, що виконують інженерні вишукування.

Геодезичні вишукування виконують у три етапи. Підготовчий етап призначений для уточнення технічного завдання замовника на підставі аналізу матеріалів вишукувань минулих років, обстеження території та складання програми вишукувань. Наступний польовий етап включає виконання польових вимірювань. Цей етап передбачає виконання геодезичних робіт для забезпечення проєктування, зокрема топографічних знімачь. Третій етап є етапом камеральних робіт. Він призначений для остаточного опрацювання та узагальнення результатів вимірів, складання звіту та передачі матеріалів замовнику.

Відповідно до [2] геодезичні роботи є невід'ємною частиною технологічного процесу будівельного виробництва. У разі будівництва об'єктів I, II та III категорій складності, тобто нескладних об'єктів [3] до складу будівельних проєктів можна додавати геодезичну частину проєкту, а для великих і складних об'єктів IV та V категорій складності, для висотних та експериментальних будівель, потрібно розробляти як проєкти виконання геодезичних робіт, так і проєкти моніторингу.

Найчастіше для геодезичного забезпечення будівництва об'єктів помірної складності складають програму виконання вишукувальних робіт [4], що ґрунтується на технічному завданні. Програма вишукувань містить обґрунтування можливості використання матеріалів вишукувань минулих років, складу та обсягів робіт, технології виконання робіт та попередній розрахунок точності отримуваних результатів. Обов'язковим у програмі виконання геодезичних робіт є обґрунтування вибору масштабу знімання і висоти перерізу рельєфу. Також програма вишукувань визначає форму та склад звітних матеріалів та склад матеріалів вишукувань для передачі замовнику та до територіальних фондів. До програми виконання вишукувальних робіт додають графічні матеріали, що відображають і деталізують її зміст.

Відповідно до [5] на підставі аналізу відомостей про раніше виконані геодезичні роботи, матеріалів попереднього спеціального обстеження та вибору найдоцільнішого варіанта побудови геодезичних мереж виконують проєктування геодезичних мереж згущення та знімальних геодезичних мереж як геодезичної основи великомасштабних топографічних знімачь. До того ж як вихідні пункти для розвитку та побудови мереж певного класу застосовують тільки пункти геодезичної побудови вищих за точністю класів. Координати пунктів геодезичних мереж визначають методами полігонометрії, триангуляції, трилатерації або іншими геодезичними побудовами та із GPS-спостережень. Для визначення висот пунктів геодезичних мереж застосовують методи

геометричного або тригонометричного нівелювання. Проєкт мережі, напрям ходів полігонометрії та місця встановлення пунктів уточнюють під час рекогностування. Геодезичні мережі та топографічні знімання виконують у системі координат УСК-2000 або у місцевій системі, яка розроблена для кожної області.

Для геодезичного забезпечення будівництва створюють геодезичну розмічувальну мережу, складниками якої є зовнішня та внутрішня розмічувальні мережі. Зовнішню мережу закріплюють поза будівельною спорудою. Її застосовують для виконання робіт нульового циклу, зокрема, для винесення головних, основних і детальних осей, для планування будівельного майданчика, підготовки котловану та монтажу фундаменту. Внутрішню мережу створюють з прив'язкою до зовнішньої геодезичної розмічувальної мережі на вихідному горизонті (перекритті першого поверху) та передають на інші монтажні горизонти. Приймання геодезичної розмічувальної мережі для будівництва оформлюють актом [1].

Розмічувальні роботи полягають у визначенні на місцевості розташування проєктних точок споруди [1]. Розмічування виконують від пунктів розмічувальних мереж. Першим кроком є винесення меж ділянки, координати якої отримують з електронної бази земельного кадастру, на місцевість. Розмічувальні роботи мають забезпечити винесення в натуру осей, позначок елементів та частин будівель із заданою точністю щодо положення в плані та за висотою споруд. При підготовленні будівництва геодезисти також виконують попереднє вертикальне планування території та побудову точок опорних планово-висотних мереж.

Обробка результатів вимірів полягає у попередніх польових обчисленнях та подальшій камеральній обробці, включаючи зрівнювальні обчислення. У процесі виконання робіт з метою визначення точності вимірів та її відповідності вимогам виконують контрольні обчислення. Нормативним документом, що регламентує точність розмічувальних робіт є [6].

Геодезичне забезпечення монтажу конструкцій та обладнання полягає у здійсненні проєктного розташування будівельних конструкцій та технологічного обладнання з використанням геодезичних методів.

Геодезична підготовка до монтажних робіт передбачає попереднє виконавче знімання фундаментів та виправлення неприпустимих відхилень, встановлення міток осей та координатних міток на будівельних конструкціях і технологічному обладнанні, підготовку розмічувальних елементів для встановлення. Окрім цього, виконують детальні розмічувальні роботи для монтажу будівельних конструкцій та фундаментів технологічного обладнання, а також роботи з геодезичного контролю точності геометричних параметрів

будівель і виконавчого знімання. Складають виконавчу геодезичну документацію.

Виконавче знімання проводять для визначення фактичних просторових координат елементів споруди з метою перевірки їх відповідності проектним значенням. Починати будівельно-монтажні роботи до закінчення виконавчого знімання забороняється. Результати виконавчого знімання відбивають у виконавчих схемах, на яких показують напрямок і значення відхилення конструкції від проектного положення. Дозвіл на виконання наступного етапу будівельно-монтажних робіт надається на підставі виконавчої схеми [1].

Склад та оформлення виконавчих схем мають відповідати вимогам типових схем з дотриманням вимог [7, 8]. На виконавчих схемах потрібно наводити фактичні відхилення геометричних параметрів і розташування у просторі елементів та конструкцій від проектних значень.

Для виконання інженерно-геодезичних завдань застосовують тільки повірені геодезичні прилади та інструменти. Вартість робіт з інженерно-геодезичних вишукувань визначають відповідно до [9].

Остаточним результатом виконання камеральних робіт є звіт із додатками відповідно до технічного завдання замовника та погодженої програми виконання робіт. У складі звіту повинні бути розмічувальні креслення, каталоги координат та висот вихідних пунктів, каталоги проектних координат і позначок, креслення геодезичних центрів і знаків, пояснювальна записка з обґрунтуванням точності побудови геодезичної розмічувальної мережі для будівництва.

Геодезичні роботи повинні виконуватись з дотриманням правил безпеки праці, що відповідають вимогам чинних нормативних документів [10].

Геодезичний моніторинг будівельних споруд полягає у виконанні комплексу робіт щодо спостереження за деформаціями та осіданням будівельних конструкцій [1]. Геодезичний моніторинг включає систему вимірів та їхню подальшу аналітичну обробку. Зазвичай геодезичному моніторингу підлягають основи, фундаменти, конструкції об'єкта нового будівництва, а також інженерні мережі, підземні споруди та об'єкти інфраструктури, що його оточують.

Геодезичний моніторинг виконують геодезичними методами відповідно до програми та технічного завдання. У технічному завданні визначають частини будівель, що підлягають моніторингу, розташування опорних та деформаційних марок та реперів, періодичність вимірів та необхідну точність, а також перелік звітних документів.

Комплекс робіт з геодезичного моніторингу для основи спрямований на визначення вертикальних деформацій та горизонтальних зміщень ґрунту. Для фундаментів визначають абсолютне та середнє осідання ґрунту, а також нерівномірність та відносну нерівномірність осідання. Для наземної частини

будівлі перед усім вимірюють відхилення від вертикалі будівельних конструкцій, таких як осі колон, стін, ліфтових шахт тощо, або будівлі в цілому. Вимірюють деформації колон та бетонних конструкцій, тріщини та досліджують їхній розвиток у динаміці. Вимоги до точності геодезичних вимірів деформацій основ будівель та методи їх визначення регламентує [11].

Для моніторингу деформацій будівель створюють спеціальну інженерно-геодезичну мережу, витрати часу на проведення вимірів включають до календарного графіка будівництва. Рекомендовану періодичність проведення моніторингу за кожним видом деформації регламентує [1]. Обробка результатів вимірів полягає у обчисленні величин деформацій, оцінюванні точності проведених польових робіт та має враховувати дані польових журналів. За кожним циклом виміру складають відомості та надають їх графічне оформлення.

Геодезичний моніторинг у період експлуатації будівель слід проводити переважно з використанням автоматизованих комплексів [12].

2 СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Курсовий проєкт містить пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка має складатись зі вступу, трьох розділів, висновків та списку джерел.

У вступі треба охарактеризувати мету та актуальність роботи, можливі сфери її використання, викласти оцінку сучасного стану питань геодезичного забезпечення, навести приклади та коротко охарактеризувати сутність питань, розглянутих у розділах курсового проєкту.

У першому розділі «Побудова планово-висотної геодезичної мережі» потрібно розглянути загальні відомості про об'єкт виконання робіт, які потрібні для формування даних щодо геодезичного забезпечення, проаналізувати нормативно-правові документи, які використовують під час розробки проєкту геодезичних робіт, обґрунтувати призначення планово-висотної геодезичної мережі та надати характеристику сучасних методів її побудови. Пояснити порядок узгодження та затвердження проєктної документації на етапах геодезичного забезпечення будівництва.

Перший розділ має містити такі підрозділи:

1.1 Загальні відомості про об'єкт виконання робіт та формування даних для проведення геодезичного забезпечення.

1.2 Нормативно-правові документи, які використовуються при розробці проєкту будівництва.

1.3 Виконується відповідно до варіанту індивідуального завдання до розділу 1.

У другому розділі «Технологія розмічувальних робіт інженерної споруди» потрібно обґрунтувати призначення планової і висотної розмічувальної мережі, охарактеризувати вимоги до неї та особливості побудови.

Другий розділ має містити такі підрозділи:

2.1 Розробка архітектурно планувальних обмежень території будівництва.

2.2 Проектування геодезичної мережі згущення та нівелірної мережі.

2.3 Встановлення меж території будівництва в натурі.

2.4 Розрахунок просторових координат конструктивних елементів проєкту та обчислення точності пунктів нівелірної мережі відповідно до варіанту індивідуального завдання до розділу 2.

У третьому розділі «Геодезичний моніторинг при будівництві будівель та інженерних споруд» потрібно навести методи проведення геодезичного моніторингу та проаналізувати вимоги до створення планово-висотної основи. Охарактеризувати види деформацій будівель і споруд та явища, що спричиняють деформації. Надати технологію геодезичного моніторингу деформацій будівель та інженерних споруд та охарактеризувати порядок проведення геодезичного моніторингу.

Третій розділ має містити такі підрозділи:

3.1 Особливості створення планово-висотної основи для проведення геодезичного моніторингу.

3.2 Технологія робіт з геодезичного моніторингу.

3.3 Виконується відповідно до варіанту індивідуального завдання до розділу 3.

У висновках викладають найважливіші результати роботи й наводять їх оцінку та відповідність сучасному рівню наукових і технічних знань у сфері геодезії, можливість використання результатів роботи, інформацію про методики проведення вимірювань та застосування геодезичних приладів.

Список джерел наводять наприкінці пояснювальної записки перед додатками. Бібліографічні описи джерел подають у порядку, за яким джерела вперше згадують у тексті. Порядкові номери бібліографічних описів у списку джерел мають відповідати посиланням на них у тексті пояснювальної записки. Бібліографічні описи джерел у списку наводять згідно з [16].

Графічна частина курсового проєкту подається у вигляді презентації з 6–10 слайдів, які містять рисунки та схеми, що стисло відбивають результати курсового проєктування.

3 ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Курсовий проєкт надають на паперовому та електронному носіях.

Текст друкують на аркушах формату А4 (210 мм x 297 мм) чорним шрифтом Times New Roman прямого накреслення через півтора міжрядкові інтервали кеглем 14.

Береги такі:

- верхній і нижній – не менші за 20 мм;
- лівий – не менший за 25 мм;
- правий – не менший за 10 мм.

Нумерація сторінок наскрізна, арабськими цифрами. Номер сторінки – у правому верхньому куті сторінки, без крапки в кінці. Титульний аркуш входить до загальної нумерації сторінок, номер сторінки на ньому не проставляють. Сторінки, на яких розміщено рисунки й таблиці, охоплюють загальною нумерацією сторінок.

Для розділів і підрозділів обов'язкова наявність заголовка та нумерації.

Заголовки структурних елементів та розділів потрібно друкувати великими літерами без крапки в кінці та розміщувати їх посередині рядка.

Заголовки підрозділів друкувати з абзацного відступу з великої літери без крапки в кінці. Абзацний відступ має бути однаковим – 1,25 см. Якщо заголовок складається з кількох речень, їх розділяють крапкою. Розривати слова знаком переносу в заголовках заборонено.

Відстань між заголовком і подальшим та попереднім текстом забезпечують пропуском одного рядка.

Структурні елементи «Зміст», «Вступ», «Висновки», «Список джерел» не нумерують.

Розділи нумерують арабськими цифрами без крапки, починаючи з цифри «1».

Підрозділи, як складові частини розділу, нумерують у межах кожного розділу окремо. Номер підрозділу складається з номера відповідного розділу та номера підрозділу, відокремлених крапкою. Після номера підрозділу крапку не ставлять, наприклад: 1.1, 1.2 тощо.

Усі графічні матеріали пояснювальної записки повинні мати однаковий підпис «Рисунок». Рисунок подають одразу після тексту, де вперше посилаються на нього.

Рисунки нумерують в межах кожного розділу. Номер рисунка складається з номера розділу та порядкового номера рисунка в цьому розділі, які відокремлюють крапкою, наприклад: другий рисунок третього розділу:

Зображення
рисунок

Рисунок 3.2 – Назва рисунка

Назву рисунка розміщують по центру, без абзацного відступу.

Таблицю подають безпосередньо після тексту, у якому її згадано вперше. Таблиці нумерують в межах розділу арабськими цифрами. Номер таблиці складається з номера розділу та порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад: перша таблиця другого розділу:

Таблиця 2.1 – Назва таблиці

Назву таблиці вирівнюють по ширині, із абзацним відступом (як у тексті).

Заголовки колонок таблиці починають з великої літери, а підзаголовки – з малої літери, якщо вони становлять одне речення із заголовком.

Наприкінці заголовків і підзаголовків таблиць крапки не ставлять.

Переліки подають у розділах та підрозділах. Перед переліком ставлять двокрапку. Перед кожним з елементів переліку ставлять знак «тире».

Текст кожної позиції переліку починають з малої літери з абзацного відступу відносно попереднього рівня підпорядкованості.

Формули та рівняння подають посередині сторінки симетрично до тексту, окремим рядком безпосередньо після тексту, у якому їх згадано.

Нумерують лише ті формули та рівняння, на які є посилання в тексті.

Формули та рівняння у тексті треба нумерувати в межах кожного розділу арабськими цифрами.

Номер формули або рівняння друкують на їх рівні праворуч у крайньому положенні в круглих дужках, наприклад (2.3). У багаторядкових формулах або рівняннях їхній номер проставляють на рівні останнього рядка.

Пояснення позначень, які входять до формули, треба подавати безпосередньо під формулою у тій послідовності, у якій їх наведено у формулі.

Пояснення позначень треба подавати без абзацного відступу з нового рядка, «де» без двокрапки. Позначки, якими встановлюють визначення або пояснення, потрібно вирівнювати у вертикальному напрямі.

Формули подають з обов'язковим позначенням у поясненні одиниці виміру відповідної фізичної величини. Між останньою цифрою та одиницею виміру залишають проміжок (окрім позначення одиниць плоского кута – кутових градусів, кутових мінут і секунд, які пишуть безпосередньо біля числа вгорі).

Приклад:

Незміщену оцінку дисперсії D_x^* визначають за формулою:

$$D_x^* = \frac{n}{n-1} \sigma_x^2 = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (2.5)$$

де n – кількість вимірів;

σ_x – середнє квадратичне відхилення;

x_i – результат i -го виміру, $i = \overline{1, n}$;

\bar{x} – середнє арифметичне результатів вимірів.

У тексті можна робити посилання на структурні елементи самої пояснювальної записки та інші джерела. У разі посилання на структурні елементи самої пояснювальної записки зазначають відповідно номери розділів або підрозділів, рисунків, формул, рівнянь, таблиць.

Посилаючись, треба використовувати такі вирази: «у розділі 4», «див. 2.1», «відповідно до 2.3.4», «(рисунок 1.3)», «відповідно до таблиці 3.2», «згідно з формулою (3.1)», «у рівняннях (1.23) – (1.25)» тощо.

Посилання на джерело інформації, наведене в переліку джерел посилання, рекомендовано подавати так: номер у квадратних дужках, наприклад, «у роботах [2] – [3]».

4 ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

4.1 Варіанти завдань до розділу 1

1. Етапи інженерно-геодезичних робіт. Опорні інженерно-геодезичні мережі.
2. Особливості проведення інженерно-геодезичних робіт в умовах будівельного майданчика.
3. Сучасні методи створення інженерно-геодезичних мереж. Особливості геодезичних вимірювань в інженерно-геодезичних мережах.
4. Великомасштабні інженерно-геодезичні знімання.
5. Трасування лінійних споруд.
6. Геодезична розмічувальна мережа для будівництва.
7. Точність розмічувальних робіт. Елементи розмічувальних робіт.
8. Сучасні методи винесення в натуру осей споруд. Детальні розмічувальні роботи.
9. Геодезична підготовка до монтажних робіт. Способи встановлення конструкцій в плані.

10. Геодезична підготовка до монтажних робіт. Вивірка прямолінійності технологічного обладнання.
11. Контроль висотного положення конструкцій. Перевірка вертикальності конструкцій.
12. Виконавче знімання. Точність геодезичних монтажних та виконавчих робіт.
13. Геодезичні роботи в підготовчий період при зведенні будинків.
14. Розмічування і закріплення осей будівель.
15. Геодезичне забезпечення облаштування котловану. Геодезичні роботи при зведенні фундаментів будинків.
16. Геодезичні роботи при зведенні каркасних будівель.
17. Геодезичні роботи при зведенні монолітних будівель цегляних будівель.
18. Геодезичні роботи при прокладанні підземних інженерних мереж.
19. Задачі і види геодезичних робіт з розмічування споруд.
20. Геодезична розмічувальна мережа для будівництва.
21. Закріплення геодезичної розмічувальної мережі на будівельному майданчику. Будівельна координатна сітка.
22. Будівельні допуски та розрахунки точності розмічувальних робіт.
23. Аналіз методів проєктування вертикального розпланування.
24. Складання плану будівельного майданчика.
25. Геодезичне трасування лінійних споруд. Польові роботи при геодезичному трасуванні.
26. Класифікація осей будівель та споруд. Загальні вимоги до розмічування основних осей будівель та споруд.
27. Завдання та зміст геодезичних робіт при виконанні монтажних робіт. Способи встановлення та вивірення конструкції у плані та по висоті.
28. Побудова планової і висотної розмічувальної мережі на вихідному горизонті.
29. Проєктування розмічувальних осей на монтажні горизонти.
30. Геодезичні роботи при монтажі колон.

4.2 Варіанти завдань до розділу 2

Порівняти параметричним способом результати нівелювання, що наведені в таблиці «Вихідні дані», якщо відомі висоти твердих марок H_A і H_B . На схемі нівелірної мережі, наведеної на рисунку 1, напрями ходів показані стрілками, виміри нерівноточні.

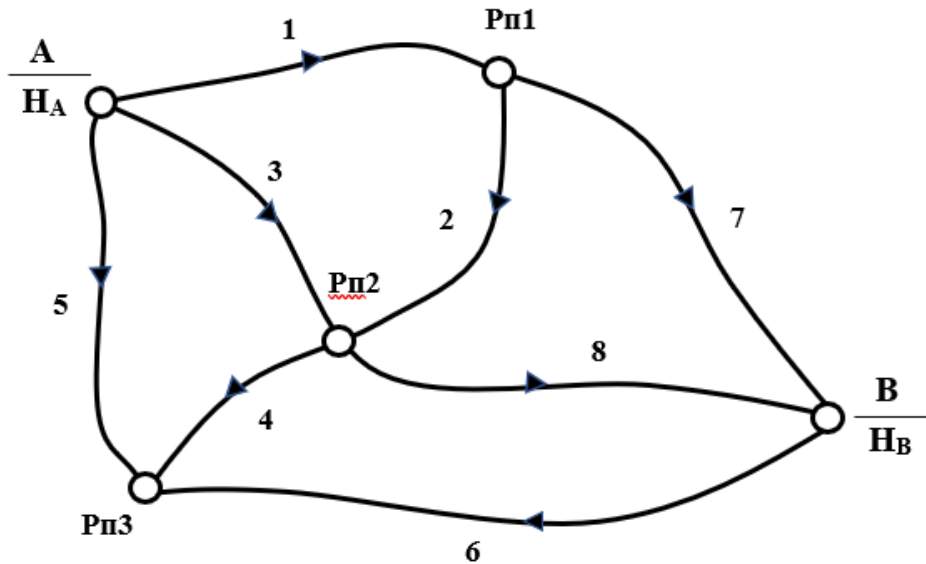


Рисунок 1 – Схема нівелірних ходів

Вихідні дані

Варіант № 1		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-1,354	24
2	-1,796	26
3	-3,148	27
4	0,208	21
5	-2,941	25
6	1,517	24
7	-3,106	26
8	-1,306	22
$H_A = 65,715; H_B = 61,257$		

Варіант № 2		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,196	16
2	0,263	14
3	0,458	15
4	0,208	12
5	0,667	14
6	-1,133	15
7	1,605	14
8	1,346	13
$H_A = 45,395; H_B = 47,198$		

Варіант № 3		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,142	12
2	-0,896	14
3	-0,753	16

Варіант № 4		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,142	19
2	0,132	16
3	0,276	17

4	0,067	13
5	-0,687	11
6	1,692	15
7	-2,522	14
8	-1,622	11
$H_A = 109,245; H_B = 106,867$		

4	0,037	12
5	0,312	13
6	-0,985	15
7	1,152	14
8	1,024	13
$H_A = 257,691; H_B = 258,987$		

Варіант № 5		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	1,842	16
2	0,365	14
3	2,204	15
4	0,154	12
5	2,363	13
6	-3,786	15
7	4,306	14
8	3,937	13
$H_A = 71,365; H_B = 77,511$		

Варіант № 6		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	1,381	17
2	0,496	14
3	1,875	19
4	0,101	12
5	1,979	18
6	-0,118	15
7	0,713	14
8	0,221	13
$H_A = 164,951; H_B = 167,047$		

Варіант № 7		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,381	11
2	0,142	12
3	0,522	16
4	0,203	12
5	0,727	15
6	-1,278	15
7	1,622	18
8	1,484	13
$H_A = 39,751; H_B = 41,756$		

Варіант № 8		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,412	10
2	0,065	10
3	0,476	15
4	0,046	12
5	0,525	15
6	-1,072	12
7	1,179	14
8	1,116	11
$H_A = 71,586; H_B = 73,179$		

Варіант № 9		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,871	12
2	0,345	12
3	1,215	17
4	0,421	15

Варіант № 10		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,914	16
2	0,975	14
3	1,887	16
4	1,166	12

5	1,635	14
6	-0,131	15
7	0,897	14
8	0,556	14
$H_A = 48,354; H_B = 50,124$		

5	3,055	15
6	0,739	15
7	1,401	14
8	0,429	13
$H_A = 217,557; H_B = 219,874$		

Варіант № 11		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-0,857	8
2	-0,812	8
3	-1,667	9
4	-0,166	7
5	-1,834	8
6	-0,253	4
7	-0,725	6
8	0,087	4
$H_A = 312,457; H_B = 310,874$		

Варіант № 12		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-0,957	9
2	-0,912	9
3	-1,867	8
4	-0,166	7
5	-2,033	9
6	0,775	7
7	-1,854	9
8	-0,941	8
$H_A = 12,954; H_B = 10,145$		

Варіант № 13		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,434	7
2	0,242	7
3	0,677	8
4	0,461	8
5	1,138	7
6	-0,527	9
7	1,232	6
8	0,987	8
$H_A = 15,486; H_B = 17,151$		

Варіант № 14		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,394	12
2	0,164	14
3	0,557	15
4	0,435	13
5	0,991	15
6	-0,111	15
7	0,706	14
8	0,546	13
$H_A = 27,354; H_B = 28,456$		

Варіант № 15		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-0,541	16
2	-0,159	14
3	-0,702	16
4	-0,264	12
5	-0,963	15

Варіант № 16		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,261	6
2	0,159	6
3	0,422	7
4	0,264	6
5	0,685	7

6	0,438	15
7	-0,863	14
8	-0,701	13
$H_A = 56,217; H_B = 54,814$		

6	-1,852	8
7	2,272	8
8	2,116	7
$H_A = 137,381; H_B = 139,915$		

Варіант № 17		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	0,437	16
2	0,015	14
3	0,453	16
4	0,264	13
5	0,717	14
6	-0,812	15
7	1,122	14
8	1,106	13
$H_A = 345,691; H_B = 347,248$		

Варіант № 18		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	3,342	15
2	0,137	14
3	3,477	16
4	2,457	15
5	5,935	17
6	-1,573	15
7	4,169	14
8	4,032	15
$H_A = 254,961; H_B = 262,471$		

Варіант № 19		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	4,342	16
2	1,152	14
3	5,491	16
4	-1,287	12
5	4,209	15
6	-1,517	15
7	1,381	14
8	0,227	13
$H_A = 223,624; H_B = 229,346$		

Варіант № 20		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-1,958	26
2	1,012	24
3	-0,944	26
4	-1,087	22
5	-2,031	25
6	3,401	23
7	-3,472	24
8	-4,488	25
$H_A = 162,753; H_B = 157,321$		

Варіант № 21		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-2,457	27
2	1,012	21
3	-1,446	24
4	-1,087	25
5	-2,530	26

Варіант № 22		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-3,457	16
2	1,053	14
3	-2,405	16
4	-2,016	12
5	-4,423	15

6	0,993	24
7	-1,072	23
8	-2,081	23
$H_A = 188,654; H_B = 185,127$		

6	0,916	15
7	-1,881	14
8	-2,934	13
$H_A = 512,678; H_B = 507,341$		

Варіант № 23		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-3,797	36
2	1,665	33
3	-2,133	35
4	0,683	32
5	-1,450	35
6	2,110	34
7	0,243	34
8	-1,425	33
$H_A = 678,241; H_B = 674,684$		

Варіант № 24		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-3,897	17
2	-1,115	14
3	-5,010	16
4	1,515	14
5	-3,500	18
6	7,579	15
7	-7,179	14
8	-6,068	18
$H_A = 489,321; H_B = 478,243$		

Варіант № 25		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-3,897	14
2	-1,115	13
3	-5,010	12
4	1,515	15
5	-4,500	15
6	2,750	16
7	-3,351	11
8	-2,238	14
$H_A = 146,183; H_B = 138,934$		

Варіант № 26		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	1,246	7
2	-1,105	5
3	0,142	8
4	1,515	7
5	1,658	9
6	-0,992	9
7	1,400	8
8	2,510	6
$H_A = 346,285; H_B = 348,934$		

Варіант № 27		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-3,164	27
2	-1,175	24
3	-4,336	26
4	1,451	24

Варіант № 28		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	2,164	16
2	-0,175	11
3	1,986	14
4	-0,451	12

5	-2,889	23
6	5,151	25
7	-4,875	26
8	-3,704	28
$H_A = 181,284; H_B = 173,246$		

5	1,54	12
6	-2,559	16
7	1,935	14
8	2,112	12
$H_A = 204,357; H_B = 208,457$		

Варіант № 29		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	7,987	15
2	-0,865	12
3	7,116	12
4	-0,451	11
5	6,671	14
6	-8,948	18
7	7,627	17
8	8,496	18
$H_A = 117,326; H_B = 132,941$		

Варіант № 30		
Номер ходу	Перевищення, м	Число станцій, N
1	-0,883	12
2	-0,365	13
3	-1,245	12
4	-0,451	11
5	-1,701	14
6	-0,260	15
7	-0,561	15
8	-0,194	16
$H_A = 84,126; H_B = 82,684$		

4.3 Варіанти завдань до розділу 3

1. Розміщення деформаційних марок. Точність та періодичність спостережень за деформаціями.
2. Аналіз стабільності реперів опорної мережі.
3. Способи спостереження за деформаціями.
4. Визначення горизонтальних зміщень споруд.
5. Спостереження за кренами та тріщинами.
6. Спостереження за зсувами.
7. Загальні відомості про деформації інженерних споруд.
8. Методи спостереження за осіданням споруди. Способи геометричного та тригонометричного нівелювання.
9. Методи спостереження за осіданням споруди. Способи мікронівелювання та гідронівелювання, фотограмметричний спосіб.
10. Горизонтальні зміщення споруд та способи їх визначення.
11. Вимірювання кренів споруд. Спосіб горизонтальних кутів.
12. Вимірювання кренів споруд. Спосіб координат.
13. Вимірювання кренів споруд. Спосіб малих кутів.
14. Вимірювання кренів споруд. Спосіб вертикального проєктування.
15. Вимірювання кренів споруд. Спосіб зенітних відстаней.
16. Вимірювання кренів споруд. Спосіб високоточного нівелювання.
17. Вимірювання кренів споруд. Спосіб напрямку з одного пункту.

18. Вимірювання кренів споруд. Вимірювання деформацій методом фотограмметрії.
19. Призначення та методи проведення виконавчих зйомок.
20. Виконавча зйомка підземних інженерних комунікацій.
21. Виконавча геодезична документація.

5 ЗРІВНЮВАННЯ НІВЕЛІРНОЇ МЕРЕЖІ

5.1 Суть методу найменших квадратів

У практиці геодезичних обчислень часто виникає завдання сумісної обробки результатів вимірів величин, які пов'язані одна з одною математичними співвідношеннями, тобто є функціонально залежними. Число вимірів при цьому зазвичай перевищує число невідомих шуканих величин. Саме наявність надлишкових вимірів дозволяє виконати контроль вимірів та підвищити надійність і точність зрівняних невідомих та їхніх функцій.

Нехай під час вимірювання невідомих величин, істинні значення яких X_1, X_2, \dots, X_n , отримані результати x_1, x_2, \dots, x_n , ваги яких відповідно p_1, p_2, \dots, p_n . Відомо, що між істинними значеннями шуканих величин існує функціональна залежність, яка виражається математичними рівняннями:

$$\begin{aligned}
 f_1(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0 \\
 f_2(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0 \\
 &\dots\dots\dots \\
 f_r(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де n – число всіх виміряних невідомих;

r – число незалежних рівнянь, $r < n$;

$t = n - r$ – число необхідних вимірів (параметрів).

Внаслідок похибок вимірів під час підстановки виміряних значень x_1, x_2, \dots, x_n до рівнянь (1) у їхніх правих частинах замість нулів з'являються неув'язки w_j :

$$\begin{aligned}
 f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= w_1 \\
 f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &= w_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 f_r(x_1, x_2, \dots, x_n) &= w_r.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Для усунення неув'язок w_j треба до кожного результату вимірів ввести поправки v_i , щоби рівність нулю у рівняннях (1) виконувалась:

$$[v^2] = [f_j(x_1, x_2, \dots, x_t) - d_j]^2 = F \rightarrow \min. \quad (7)$$

Це задача на умовний екстремум, яку розв'язують за умови, що всі похідні функції F за змінними x_i дорівнюють нулю, тобто:

$$\frac{\partial F}{\partial x_1} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial x_2} = 0; \dots, \quad \frac{\partial F}{\partial x_n} = 0. \quad (8)$$

У системі (8) число рівнянь дорівнює числу невідомих, кожна умова дає одно рівняння (отже це призведе нас до системи нормальних рівнянь). Візьмемо похідні для кожного рівняння (7) та отримаємо:

$$\frac{\partial F}{\partial x_1} = 2 \cdot F_1 \cdot \frac{\partial F_1}{\partial x_1} + \dots + 2 \cdot F_n \cdot \frac{\partial F_n}{\partial x_1} = 0, \quad (9)$$

враховуючи (5), маємо:

$$\frac{\partial F_1}{\partial x_1} = a_{j1}; \quad \frac{\partial F_2}{\partial x_2} = a_{j2}; \quad \frac{\partial F_t}{\partial x_t} = a_{jt}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Підставивши значення часткових похідних (10) у (9), отримаємо таку систему рівнянь:

$$\begin{aligned} [v_j a_{j1}] &= 0; \\ [v_j a_{j2}] &= 0; \\ &\dots\dots\dots \\ [v_j a_{jt}] &= 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Система (11) є системою нормальних рівнянь, у якій число рівнянь t дорівнює числу невідомих t . Така система рівнянь є визначеною та має лише один розв'язок.

5.2 Параметричний метод зрівнювання

Завдання зрівнювання геодезичних побудов виникає за наявності додаткових вимірів. Зрівнювання є обчислювальним процесом з визначення найкращих наближень до істинних значень виміряних та невідомих величин. Зрівнювання за методом найменших квадратів дозволяє знайти не тільки найкращі наближення, але й виконати апостеріорну оцінку точності як виміряних, так і шуканих величин.

Нехай задана геодезична мережа, в якій є t невідомих величин, істинні значення яких X_1, X_2, \dots, X_t . Для їх визначення було виміряно n елементів мережі, істинні значення яких L_1, L_2, \dots, L_n . При цьому виконується нерівність $n > t$. Природно, що істинні значення як виміряних, так і величин, що визначаються, залишаються невідомими.

У результаті вимірів отримані такі значення виміряних величин x_1, x_2, \dots, x_n . Ці значення характеризуються відповідними вагами p_1, p_2, \dots, p_n .

Результати вимірів незалежні.

Параметричними рівняннями зв'язку називають математичні співвідношення, що пов'язують істинні значення вимірних h_j та величин, що визначаються X_i . Перевищення h_j пов'язані із висотами точок, що визначаються, та вихідних реперів наступним чином (відповідно до рисунку 2):

$$\begin{aligned} h_1 &= X_1 - H_A; & h_2 &= X_2 - X_1; \\ h_3 &= X_2 - H_A; & h_4 &= X_3 - X_2; \\ h_5 &= X_3 - H_A; & h_6 &= X_3 - H_B; \\ h_7 &= -X_1 + H_B; & h_8 &= -X_2 + H_B. \end{aligned} \quad (13)$$

Це система параметричних рівнянь зв'язку виду (1), що містить $n = 8$ рівнянь, де значення коефіцієнтів a_{ji} , $i = \overline{1, t}$, $j = \overline{1, n}$ залежать від геометрії мережі. Ця система у матричній формі запису має вигляд

$$L = AX + A_0, \quad (14)$$

де L – стовпчик істинних значень вимірних величин із розмірністю $n \times 1$, в нашому прикладі це вісім значень h_j ;

A – коефіцієнти параметричних рівнянь зв'язку у вигляді матриці $n \times t$;

A_0 – вільні члени (стовпчик $n \times 1$), це певні заздалегідь відомі числа (наприклад, H_A та H_B);

X – істинні значення величин, які потрібно обчислити (стовпчик $1 \times t$), тобто в нашому прикладі це X_i .

Нагадаємо, що усі змінні містяться у наведених співвідношеннях, як істинні значення, які нам невідомі. Одночасно ці змінні є вимірними значеннями або значеннями, що обчислені на підставі результатів вимірів. Це означає, що вони містять похибки. Для зменшення похибок вимірів потрібно визначити до них поправки. Саме це завдання ми вирішуємо, застосовуючи параметричний метод. Нам треба знайти такі поправки, щоб сума їхніх квадратів була мінімальною. Отже, в нас є 8 вимірних величин і ми маємо отримати до них 8 поправок (зауважимо, що число зв'язків у схемі нівелірних ходів могло б бути й меншим за 8).

У результаті польових робіт отримано низку результатів вимірів h_1, h_2, \dots, h_n із вагами p_1, p_2, \dots, p_n (у нашому випадку це перевищення). Якщо би були відомі істинні значення вимірюваних величин, то можна було б просто обчислити істинні поправки за формулою $v_j = L_j - x_j$.

Позначимо зрівняні значення $x'_i = x_i + \delta x_i$. Знаючи зрівняні значення шуканих величин, можна отримати систему параметричних рівнянь поправок:

$$\begin{aligned} V_1 &= a_{11}\delta x_1 + a_{21}\delta x_2 + \dots + a_{t1}\delta x_t + l_1 \\ V_2 &= a_{12}\delta x_1 + a_{22}\delta x_2 + \dots + a_{t2}\delta x_t + l_2 \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ V_n &= a_{1n}\delta x_1 + a_{2n}\delta x_2 + \dots + a_{tn}\delta x_t + l_n \end{aligned} \quad (15)$$

або у матричній формі

$$V = Ax + l'.$$

5.3 Вивід системи нормальних рівнянь

Система параметричних рівнянь поправок (15) містить n рівнянь та $n + t$ невідомих, а отже, як наслідок, і безкінечну множину розв'язків.

У зв'язку з цим на розв'язання системи (15) накладають умову мінімуму суми квадратів відхилень (4), тобто $F = [pv^2] = \min$. Для розв'язання поставленої задачі достатньо дорівняти до нуля усі часткові похідні функції F за змінними x_i , попередньо підставивши у (6) вираз поправок через шукані величини (15):

$$F = [pv^2] = [p(a_1x_1 + a_1x_2 + \dots + a_tx_t + l)^2];$$

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} = [2p(a_1x_1 + a_1x_2 + \dots + a_tx_t + l)a_i] = 0.$$

Після проведення вказаної операції для усіх $i = \overline{1, t}$ та приведення подібних за x_i отримаємо:

$$\begin{aligned} [pa_1a_1]\delta x_1 + [pa_1a_2]\delta x_2 + \dots + [pa_1a_t]\delta x_t + [pa_t l] &= 0 \\ [pa_2a_1]\delta x_1 + [pa_2a_2]\delta x_2 + \dots + [pa_2a_t]\delta x_t + [pa_t l] &= 0 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \\ [pa_1a_t]\delta x_1 + [pa_1a_t]\delta x_2 + \dots + [pa_t a_t]\delta x_t + [pa_t l] &= 0, \end{aligned} \quad (16)$$

де δx_i – поправки до значень x_1, x_2, x_3 , що визначаються.

У матричній формі маємо:

$$\begin{aligned} A^T P A x + A^T P L' &= 0; \\ A^T P V &= 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Систему рівнянь (16) і у матричній формі (17) називають системою нормальних рівнянь.

Система нормальних рівнянь завжди має розв'язок, до того ж лише один. Це означає, що для задачі зрівнювання геодезичних побудов завжди можна знайти щонайкраще наближення x_1, x_2, \dots, x_t до істинних значень шуканих величин X_1, X_2, \dots, X_t із максимально можливими вагами (з найменшими дисперсіями).

Далі розв'язують нормальні рівняння та знаходять поправки до шуканих невідомих δx . Потім обчислюють шукані невідомі $x'_i = x_i + \delta x_i$ та поправки до результатів вимірів, користуючись співвідношенням (15), а наступним кроком – зрівняні значення виміряних величин. Виконують контроль зрівнювання шляхом підстановки зрівняних значень до вихідної системи параметричних рівнянь зв'язку, перевіряючи виконання рівностей.

5.4 Порядок зрівнювання геодезичних побудов параметричним методом

1. За схемою мережі проводять вибір незалежних невідомих, загальне число яких дорівнює t .

2. Складають параметричні рівняння зв'язку, які визначають вигляд матриці A – матриці параметричних рівнянь зв'язку. Матриця A має розмірність $n \times t$, де n – число виміряних величин. При цьому зрівнювання можливе тільки у випадку, якщо $n > t$.

За наявності нелінійних параметричних рівнянь зв'язку проводять їхню лінеаризацію шляхом обчислення часткових похідних цих функцій за всіма змінними.

3. Обчислюють ваги результатів вимірів та складають діагональну матрицю

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & p_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & p_n \end{pmatrix}$$

4. За результатами вимірів обчислюють наближені значення шуканих величин $x_1^0, x_2^0, \dots, x_t^0$. Тоді найкращі наближення $x_i, i = \overline{1, t}$ можна буде подати у вигляді $x_i = x_i^0 + \delta x_i, i = \overline{1, t}$, де δx_i – поправка до шуканої невідомої. За необхідності обчислюють за наближеними значеннями невідомих часткові похідні та вільні члени параметричних рівнянь поправок. Лінійні параметричні рівняння поправок у матричній формі матимуть вигляд (15):

$$\begin{aligned} V_1 &= a_{11}\delta x_1 + a_{21}\delta x_2 + \dots + a_{t1}\delta x_t + l_1 \\ V_2 &= a_{12}\delta x_1 + a_{22}\delta x_2 + \dots + a_{t2}\delta x_t + l_2 \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ V_n &= a_{1n}\delta x_1 + a_{2n}\delta x_2 + \dots + a_{tn}\delta x_t + l_n. \end{aligned}$$

5. Складають нормальні рівняння, які з врахуванням (14) та (15) матимуть вигляд (16), тобто:

$$\begin{aligned} [pa_1a_1]x_1 + [pa_1a_2]x_2 + \dots + [pa_1a_t]x_t + [pa_t l] &= 0 \\ [pa_2a_1]x_1 + [pa_2a_2]x_2 + \dots + [pa_2a_t]x_t + [pa_t l] &= 0 \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \\ [pa_1a_t]x_1 + [pa_1a_t]x_2 + \dots + [pa_t a_t]x_t + [pa_t l] &= 0 \end{aligned}$$

та у матричній формі (17):

$$\begin{aligned} A^T P A x + A^T P L &= 0; \\ A^T P V &= 0. \end{aligned}$$

Нормальні рівняння виконують відповідно до схеми, що наведена у таблиці 1. В таблицю 1 записують коефіцієнти вихідної матриці A і стовпчик перетворених вільних членів l .

Для виконання подальших контрольних дій вводять допоміжний стовпчик S, до якого записують суми за рядками, обчислення яких виконують за формулою:

$$p_j S_j = p_j a_{j1} + p_j a_{j2} + \dots + p_j a_{ji} + p_j l_j \quad j = \overline{1, n} \quad (18)$$

Таблиця 1 – Схема обчислення коефіцієнтів нормальних рівнянь

Номер	p_j	a_{j1}	a_{j2}	a_{j3}	l_j	S_j	V_j
1	p_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	l_1	S_1	V_1
2	p_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	l_2	S_2	V_2
...							
n	p_n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	l_n	S_n	V_n
[]		$[a_1]$	$[a_2]$	$[a_3]$	$[l]$	$[S]$	$[V]$
		$[p_1 a_1]$	$[p_1 a_2]$	$[p_1 a_3]$	$[p_1 l]$	$[p_1 S]$	
			$[p_2 a_2]$	$[p_2 a_3]$	$[p_2 l]$	$[p_2 S]$	
				$[p_3 a_3]$	$[p_3 l]$	$[p_3 S]$	
					$[p l]$	$[p S]$	
						$[p S S]$	

Виконавши усі записи та контрольні обчислення за формулою (18), переходять до обчислення коефіцієнтів нормальних рівнянь. Для цього обчислюють суму добутоків

$$p_1 a_{11} a_{11} + p_2 a_{12} a_{12} + \dots + p_n a_{1n} a_{1n}.$$

6. Розв'язують нормальні рівняння і знаходять поправки δx до шуканих невідомих x_i .

7. Обчислюють шукані невідомі x_i .

8. Обчислюють поправки до результатів вимірів h_j , застосовуючи співвідношення (15), а потім – зрівняні значення виміряних величин $x'_i = x_i + \delta x_i$.

9. Виконують контроль зрівнювання, підставляючи отримані значення до вихідних співвідношень.

Розглянемо приклад. Нехай у таблиці 2 наведено результати вимірів відповідно до нівелірної мережі, наведеної на рисунку 2.

Таблиця 2 – Результати вимірів

Номер ходу	Перевищення h_i , м	Число станцій, N	Вага, $p_i = 25/N$
1	2,987	45	0,56
2	-0,865	39	0,64
3	2,116	35	0,71
4	-1,22	37	0,68
5	0,893	42	0,60
6	-0,642	63	0,40
7	-1,451	52	0,48
8	-0,583	57	0,44

Потрібно зрівняти, застосовуючи параметричний метод зрівнювання, результати нівелювання за нерівноточними вимірами, якщо відомі висоти жорстких марок А 247,069 м та В 248,613 м. На схемі нівелірної мережі (рис. 2) напрями ходів показано стрілками.

Розв'язання.

1. За схемою мережі здійснюємо вибір незалежних невідомих, загальна кількість яких дорівнює t .

Оскільки треба визначити висоти точок $P_{п1}$, $P_{п2}$ та $P_{п3}$, для чого прокладено 8 ходів геометричного нівелювання, будемо вважати їх незалежними змінними. Отже, число невідомих величин $t = 3$, а число виміряних величин $n = 8$, до того ж $n > t$.

Позначимо істинні значення шуканих висот X_1 , X_2 та X_3 , а істинні значення виміряних величин (перевищень за відповідними ходами) відповідно h_1 , h_2 , h_3 , h_4 , h_5 , h_6 , h_7 , h_8 .

2. Складемо параметричні рівняння зв'язку, які визначають вигляд матриці A – матриці параметричних рівнянь зв'язку. Матриця A має розмірність $n \times t$, де n – число виміряних величин. При цьому зрівнювання можливе тільки у випадку, якщо $n > t$.

Якщо параметричні рівняння зв'язку опиняться нелінійними, потрібно провести їхню лінеаризацію.

Виходячи з вигляду мережі, що наведена на рисунку 2, складемо параметричні рівняння зв'язку, застосовуючи відомі значення висот вихідних реперів H_A та H_B . До того ж число рівнянь зв'язку має дорівнювати $n = 8$, та рівняння мають бути незалежними, тобто ніяке з них неможна отримати з іншого шляхом перетворень. Саме необхідне число рівнянь зв'язку і визначає необхідне число додаткових (або надлишкових) вимірів.

Відповідно до рисунку 2 істинні значення перевищень h_j пов'язані з істинними значеннями висот точок, що визначаються, та вихідних реперів у такий спосіб:

$$\begin{aligned}
 (X_1 - H_A) - h_1 &= 0 \\
 (X_2 - X_1) - h_2 &= 0 \\
 (X_2 - H_A) - h_3 &= 0 \\
 (X_3 - X_2) - h_4 &= 0 \\
 (X_3 - H_A) - h_5 &= 0 \\
 (X_3 - H_B) - h_6 &= 0 \\
 (H_B - X_1) - h_7 &= 0 \\
 (H_B - X_2) - h_8 &= 0.
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

Це система виду (12) $L_1 = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \dots + a_{t1}x_t + a_{01}$, число рівнянь $n = 8$, де значення коефіцієнтів a_{ij} , $i = \overline{1, t}$, $j = \overline{1, n}$ визначаються геометрією мережі. У матричній формі система рівнянь зв'язку має вигляд, наведений у таблиці 3.

Таблиця 3 – Матриця параметричних рівнянь зв'язку

x_1	x_2	x_3	h_j	H
1	0	0	2,987	-247,069
-1	1	0	-0,865	0
0	1	0	2,116	-247,069
0	-1	1	-1,22	0
0	0	1	0,893	-247,069
0	0	1	-0,642	-248,613
-1	0	0	-1,451	248,613
0	-1	0	-0,583	248,613

3. Обчислимо ваги результатів вимірів та складемо діагональну матрицю ваг (табл. 4)

$$P = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & p_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & p_n \end{pmatrix}$$

Таблиця 4 – Матриця ваг результатів вимірів

0,56							
	0,64						
		0,71					
			0,68				
				0,60			
					0,40		
						0,48	
							0,44

4. За відомими результатами вимірів обчислимо наближені значення шуканих величин $x_1^0, x_2^0, \dots, x_t^0$:

$$x_1^0 = H_A + h_1 = 247,069 + 2,987 = 250,056 \text{ м};$$

$$x_2^0 = H_A + h_3 = 247,069 + 2,116 = 249,185 \text{ м};$$

$$x_3^0 = H_A + h_5 = 247,069 + 0,893 = 247,962 \text{ м}.$$

Тепер найкращі наближення X_i ($i = \overline{1, t}$) можна подати у вигляді $X_i = x_i^0 + \delta x_i$ $i = \overline{1, t}$, де δx_i – поправки до шуканих невідомих. За необхідності можна обчислити за наближеними значеннями невідомих часткові похідні та вільні члени параметричних рівнянь поправок. Перетворимо систему параметричних рівнянь зв'язку (19) на лінійні параметричні рівняння поправок, шляхом підстановки до неї замість істинних вимірних значень, отримаємо:

$$\begin{aligned} (x_1 - H_A) - h_1 &= v_1 \\ (x_2 - x_1) - h_2 &= v_2 \\ (x_2 - H_A) - h_3 &= v_3 \\ (x_3 - x_2) - h_4 &= v_4 \\ (x_3 - H_A) - h_5 &= v_5 \\ (x_3 - H_B) - h_6 &= v_6 \\ (H_B - x_1) - h_7 &= v_7 \\ (H_B - x_2) - h_8 &= v_8. \end{aligned} \tag{20}$$

Якщо відомі істинні значення вимірних величин H_j , то можна обчислити істинні поправки $V_j = H_j - h_j$ (8 поправок), тобто істинні поправки V_j дорівнюють істинним значенням мінус вимірні значення.

Однак оскільки істинні значення невідомі, замість них скористаємось наближеними значеннями x_i^0 та підставимо їх до системи (20), отримаємо:

$$\begin{aligned} (x_1^0 + \delta x_1 - H_A) - h_1 &= 0 \\ (x_2^0 + \delta x_2 - x_1^0 - \delta x_1) - h_2 &= 0 \\ (x_2^0 + \delta x_2 - H_A) - h_3 &= 0 \\ (x_3^0 + \delta x_3 - x_2^0 - \delta x_2) - h_4 &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(x_3^0 + \delta x_3 - H_A) - h_5 &= 0 \\
(x_3^0 + \delta x_3 - H_B) - h_6 &= 0 \\
(H_B - x_1^0 - \delta x_1) - h_7 &= 0 \\
(H_B - x_2^0 - \delta x_2) - h_8 &= 0.
\end{aligned}$$

Тепер підставимо числові значення, маємо:

$$\begin{aligned}
(250,056 + \delta x_1 - 247,069) - 2,987 &= 0 \\
(249,185 + \delta x_2 - 250,056 - \delta x_1) + 0,865 &= 0 \\
(249,185 + \delta x_2 - 247,069) - 2,116 &= 0 \\
(247,962 + \delta x_3 - 249,185 - \delta x_2) + 1,22 &= 0 \\
(247,962 + \delta x_3 - 247,069) - 0,893 &= 0 \\
(247,962 + \delta x_3 - 248,613) + 0,642 &= 0 \\
(248,613 - 250,056 - \delta x_1) + 1,451 &= 0 \\
(248,613 - 249,185 - \delta x_2) + 0,583 &= 0.
\end{aligned}$$

Очевидно, що з отриманих рівнянь можна було б одразу знаходити невідомі δx_i , проте з точки зору точності обчислень це недоцільно.

Приведемо подібні та отримаємо:

$$\begin{aligned}
\delta x_1 + 0 &= V_1 \\
-\delta x_1 + \delta x_2 - 0,6 &= V_2 \\
\delta x_2 - 0 &= V_3 \\
-\delta x_2 + \delta x_3 - 0,3 &= V_4 \\
\delta x_3 - 0 &= V_5 \\
\delta x_3 - 0,9 &= V_6 \\
-\delta x_1 + 0,8 &= V_7 \\
-\delta x_2 + 1,1 &= V_8.
\end{aligned}$$

Отже, отримали параметричні рівняння поправок. Система параметричних рівнянь поправок має $n+t$ невідомих (вісім V_j та три δx_i).

5. Складемо нормальні рівняння, для чого визначимо їхні коефіцієнти. При цьому будемо застосовувати систему (16) як формулу:

$$\begin{aligned}
[pa_1 a_1]x_1 + [pa_1 a_2]x_2 + \dots + [pa_1 a_t]x_t + [pa_1 l] &= 0 \\
[pa_2 a_1]x_1 + [pa_2 a_2]x_2 + \dots + [pa_2 a_t]x_t + [pa_2 l] &= 0 \\
\dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots & \\
[pa_t a_1]x_1 + [pa_t a_2]x_2 + \dots + [pa_t a_t]x_t + [pa_t l] &= 0.
\end{aligned}$$

Складання нормальних рівнянь виконуємо з використанням схеми обчислення коефіцієнтів, що наведена в таблиці 1. Запишемо у її стовпчиках коефіцієнти вихідної матриці A та стовпчик перетворених вільних членів l . Для виконання подальших контрольних дій у стовпчик S записуємо суми за рядками, застосовуючи формулу (18) (табл. 5):

$$p_j S_j = p_j a_{j1} + p_j a_{j2} + \dots + p_j a_{ji} + p_j l_j \quad j = \overline{1, n}.$$

Таблиця 5 – Поточні розрахунки для визначення коефіцієнтів нормальних рівнянь

Номер	Вага	a_1	a_2	a_3	l	S	V
1	0,56	1	0	0	0	1	+0,17
2	0,64	-1	1	0	-0,6	-0,6	-0,32
3	0,71	0	1	0	0	1	+0,46
4	0,68	0	-1	1	-0,3	-0,3	-0,24
5	0,60	0	0	1	0	1	+0,52
6	0,40	0	0	1	-0,9	0,1	-0,38
7	0,48	-1	0	0	0,8	-0,2	+0,63
8	0,44	0	-1	0	1,1	0,1	+0,64
[]		$[a_1]=-1$	$[a_2]=0$	$[a_3]=3$	$[l]=0,1$	$[S]=2,1$	$[V]=1,48$
		$[pa_1a_1]=1,68$	$[pa_1a_2]=-0,64$	$[pa_1a_3]=0$	$[pa_1l]=0$	$[pa_1S]=1,04$	
			$[pa_2a_2]=2,47$	$[pa_2a_3]=-0,68$	$[pa_2l]=-0,664$	$[pa_2S]=0,486$	
				$[pa_3a_3]=1,68$	$[pa_3l]=-0,564$	$[pa_3S]=0,436$	
					$[pll]=1,4552$	$[plS]=0,2272$	
						$[pSS]=2,1892$	

Виконавши усі записи та контрольні обчислення, переходимо до обчислення коефіцієнтів нормальних рівнянь. Для цього обчислимо суму добутків

$$a_{11}p_1a_{11} + a_{12}p_2a_{12} + \dots + a_{1n}p_na_{1n}.$$

Перший коефіцієнт першого нормального рівняння

$$\begin{aligned} [pa_1a_1] &= p_1a_{11}a_{11} + p_2a_{12}a_{12} + p_3a_{13}a_{13} + p_4a_{14}a_{14} + \dots + p_8a_{18}a_{18} = \\ &= 0,56 \cdot 1 \cdot 1 + 0,64 \cdot (-1) \cdot (-1) + 0,71 \cdot 0 \cdot 0 + 0,68 \cdot 0 \cdot 0 + 0,6 \cdot 0 \cdot 0 + 0,4 \cdot 0 \cdot 0 + \\ &+ 0,48 \cdot (-1) \cdot (-1) + 0,44 \cdot 0 \cdot 0 = 0,56 + 0,64 + 0,48 = 1,68. \end{aligned}$$

Аналогічно отримаємо решту коефіцієнтів першого рівняння системи нормальних рівнянь:

$$[pa_1a_2] = -0,64; \quad [pa_1a_3] = 0;$$

та визначимо вільний член: $[pa_1l] = 0$.

Отримали перше рівняння системи нормальних рівнянь:

$$1,68x_1 - 0,64x_2 + 0 + 0 = 0.$$

Обчислимо коефіцієнти другого нормального рівняння. Звернемо увагу, що його перший коефіцієнт дорівнює другому коефіцієнту першого нормального рівняння, він вже обчислений $[pa_1a_2] = -0,64$. Другий коефіцієнт

$$[pa_2a_2] = p_1a_{21}a_{21} + p_2a_{22}a_{22} + p_3a_{23}a_{23} + p_4a_{24}a_{24} + \dots + p_8a_{28}a_{28} =$$

$$= 0,56 \cdot 0 \cdot 0 + 0,64 \cdot 1 \cdot 1 + 0,71 \cdot 1 \cdot 1 + 0,68 \cdot (-1) \cdot (-1) + 0,6 \cdot 0 \cdot 0 + 0,4 \cdot 0 \cdot 0 +$$

$$+ 0,48 \cdot 0 \cdot 0 + 0,44 \cdot (-1) \cdot (-1) = 0,64 + 0,71 + 0,68 + 0,44 = 2,47.$$

Аналогічно отримаємо третій коефіцієнт другого рівняння системи нормальних рівнянь та вільний член:

$$[pa_2a_3] = -0,68; [pa_2l] = -0,664.$$

Маємо друге нормальне рівняння:

$$-0,64x_1 + 2,47x_2 - 0,68x_3 - 0,664 = 0.$$

Обчислимо коефіцієнти третього нормального рівняння. Звернемо увагу, що його перший коефіцієнт дорівнює третьому коефіцієнту першого нормального рівняння, він вже обчислений $[pa_1a_3] = 0$. Другий коефіцієнт дорівнює третьому коефіцієнту другого рівняння, він також обчислений $[pa_2a_3] = -0,68$. Обчислимо третій коефіцієнт третього нормального рівняння:

$$[pa_3a_3] = p_1a_{31}a_{31} + p_2a_{32}a_{32} + p_3a_{33}a_{33} + p_4a_{34}a_{34} + \dots + p_8a_{38}a_{38} =$$

$$= 0,56 \cdot 0 \cdot 0 + 0,64 \cdot 0 \cdot 0 + 0,71 \cdot 0 \cdot 0 + 0,68 \cdot 1 \cdot 1 + 0,6 \cdot 1 \cdot 1 + 0,4 \cdot 1 \cdot 1 +$$

$$+ 0,48 \cdot 0 \cdot 0 + 0,44 \cdot 0 \cdot 0 = 0,68 + 0,6 + 0,4 = 1,68.$$

Обчислимо вільний член:

$$[pa_3a_3l] = p_1a_{31}l_1 + p_2a_{32}l_2 + p_3a_{33}l_3 + p_4a_{34}l_4 + \dots + p_8a_{38}l_8 =$$

$$= 0,56 \cdot 0 \cdot 0 + 0,64 \cdot 0 \cdot (-0,6) + 0,71 \cdot 0 \cdot 0 + 0,68 \cdot 1 \cdot (-0,3) +$$

$$+ 0,6 \cdot 1 \cdot 0 + 0,4 \cdot 1 \cdot (-0,9) + 0,48 \cdot 0 \cdot 0,8 + 0,44 \cdot 0 \cdot 1,1 =$$

$$= -0,204 - 0,36 = -0,564.$$

Маємо систему нормальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} 1,68\delta x_1 - 0,64\delta x_2 + 0 + 0 &= 0 \\ -0,64\delta x_1 + 2,47\delta x_2 - 0,68\delta x_3 - 0,664 &= 0 \\ -0,68\delta x_2 + 1,68\delta x_3 - 0,564 &= 0 \end{aligned} \right\}.$$

6. Розв'яжемо систему нормальних рівнянь з використанням Excel, в результаті знаходимо поправки δx_i до шуканих невідомих x_i :

$$\delta x_1 = + 0,174 \text{ см}; \delta x_2 = + 0,457 \text{ см}; \delta x_3 = + 0,521 \text{ см}.$$

Виконаємо контроль отриманих значень δx_i , для чого запишемо сумарне рівняння

$$1,040\delta x_1 + 1,150\delta x_2 + 1,000\delta x_3 - 1,228 = 0$$

та підставимо значення δx_1 , δx_2 , δx_3 до цього рівняння, перевіримо виконання рівності нулю:

$$0,181 + 0,526 + 0,521 - 1,228 = 0,000 \text{ (см)}.$$

7. Обчислимо зрівняні значення висот реперів x_i :

$$\text{Рп1: } x_1 = x_1^0 + \delta x_1 = 250,056 + 0,00174 = 250,0577 = 250,058 \text{ (м)};$$

$$\text{Рп2: } x_2 = x_2^0 + \delta x_2 = 249,185 + 0,00457 = 249,1896 = 249,190 \text{ (м)};$$

$$\text{Рп3: } x_3 = x_3^0 + \delta x_3 = 247,962 + 0,00521 = 247,9672 = 247,967 \text{ (м)}.$$

8. Обчислимо значення поправок за умовними рівняннями і запишемо їх у сантиметрах з точністю до двох знаків після коми:

$$\begin{aligned}v_1 &= +\delta x_1 = +0,17 \text{ см}; \\v_2 &= -\delta x_1 + \delta x_2 - 0,6 = -0,174 + 0,457 - 0,6 = -0,32 \text{ см}; \\v_3 &= +\delta x_2 = +0,46 \text{ см}; \\v_4 &= -\delta x_2 + \delta x_3 - 0,3 = -0,457 + 0,521 - 0,3 = -0,24 \text{ см}; \\v_5 &= +\delta x_3 = +0,52 \text{ см}; \\v_6 &= +\delta x_3 - 0,9 = 0,521 - 0,9 = -0,38 \text{ см}; \\v_7 &= -\delta x_1 + 0,8 = -0,174 + 0,8 = +0,63 \text{ см}; \\v_8 &= -\delta x_2 + 1,1 = -0,457 + 1,1 = +0,64 \text{ см}.\end{aligned}$$

9. Обчислимо зрівняні значення перевищень:

$$\begin{aligned}h_1 + v_1 &= +2,987 + 0,0017 = +2,989 \text{ м}; \\h_2 + v_2 &= -0,865 - 0,0032 = -0,868 \text{ м}; \\h_3 + v_3 &= +2,116 + 0,0046 = +2,121 \text{ м}; \\h_4 + v_4 &= -1,220 - 0,0024 = -1,222 \text{ м}; \\h_5 + v_5 &= +0,893 + 0,0052 = +0,898 \text{ м}; \\h_6 + v_6 &= -0,642 - 0,0038 = -0,646 \text{ м}; \\h_7 + v_7 &= -1,451 + 0,0063 = -1,445 \text{ м}; \\h_8 + v_8 &= -0,583 + 0,0064 = -0,577 \text{ м}.\end{aligned}$$

10. Виконаємо підсумковий контроль обчислень:

$$\begin{aligned}(x_1 - H_A) &= h_1 + v_1 = 250,0577 - 247,0690 = +2,9887 \text{ м}; \\(x_2 - x_1) &= h_2 + v_2 = 249,1896 - 250,0577 = -0,8681 \text{ м}; \\(x_2 - H_A) &= h_3 + v_3 = 249,1896 - 247,0690 = +2,1206 \text{ м}; \\(x_3 - x_2) &= h_4 + v_4 = 247,9672 - 249,1896 = -1,2224 \text{ м}; \\(x_3 - H_A) &= h_5 + v_5 = 247,9672 - 247,0690 = +0,8982 \text{ м}; \\(x_3 - H_B) &= h_6 + v_6 = 247,9672 - 248,6130 = -0,6458 \text{ м}; \\(H_B - x_1) &= h_7 + v_7 = 248,6130 - 250,0577 = -1,4447 \text{ м}; \\(H_B - x_2) &= h_8 + v_8 = 248,6130 - 249,1896 = -0,5766 \text{ м}.\end{aligned}$$

9. Визначимо зрівняні значення висот точок Рп1, Рп2, Рп3, використовуючи зрівняні значення вимірних величин:

$$\begin{aligned}H_{Рп1} &= H_A + h_1 = 247,069 + 2,983 = 250,052 \text{ м}; \\&\text{або } H_{Рп1} = H_B - h_7 = 248,613 + 1,455 = 250,068 \text{ м}; \\H_{Рп2} &= H_A + h_3 = 247,069 + 2,115 = 249,184 \text{ м}; \\&\text{або } H_{Рп2} = H_B - h_8 = 248,613 + 0,584 = 249,197 \text{ м}; \\H_{Рп3} &= H_A + h_5 = 247,069 + 0,889 = 247,958 \text{ м}; \\&\text{або } H_{Рп3} = H_B + h_6 = 248,613 - 0,637 = 247,976 \text{ м}.\end{aligned}$$

10. Обчислимо середньоквадратичну похибку одиниці ваги. Визначення СКП одиниці ваги виконаємо за формулою

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}},$$

де значення $[pv^2]$ отримаємо з використанням значень зворотних ваг:

$$[pv^2] = \left[\frac{v^2}{q}\right] = 37,053.$$

Тоді

$$\mu = \sqrt{\frac{37,053}{5}} = 2,72 \text{ мм} \approx 3 \text{ мм}.$$

Визначимо СКП одиниці ваги:

$$m_\mu = \frac{\mu}{\sqrt{2r}} = \frac{2,72}{\sqrt{2*5}} = 0,86 \text{ мм}.$$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 21.01.2010 № 20. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – 70 с. – Режим доступу: <http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/49.1.%20%D0%94%D0%91%D0%9D%20%D0%92.1.3-2~2010.%20%D0%A1%D0%A2%D0%93%D0%9F.%20%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%BD%D1%96%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8%20%D1%83%20%D0%B1%D1%83%D0%B4%D1%96%D0%B2%D0%BD.pdf>, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

2. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 05.02.2008 № 5. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. – Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2017/12/3.1.-DBN-A.2.1-1-2008.-Vishukuvannya-proektuvannya-i-teri.pdf>, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

3. Склад та зміст проектної документації на будівництво [Електрон. ресурс] : Наказ Мінрегіону України від 04.06.2014 № 163. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. – Режим доступу: <http://dreamdim.ua/wp-content/uploads/2018/08/DBN-A.2.2-3-2014.pdf>, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

4. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Інженерні вишукування для будівництва [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. – 126 с. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=58388, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

5. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98) [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Київ : 2002. – 214 с. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0393-98>, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

6. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Виконання вимірювань, розрахунків та контроль точності геометричних параметрів [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. – 76 с. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=25920, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

7. Основні вимоги до проєктної та робочої документації [Електрон. ресурс] : Наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 24.01.2009 № 29. – Електрон. текст. дані. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – Режим доступу: : <https://s3535a2ffc6bf3f73.jimcontent.com/download/version/1454781773/module/13102783822/name/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%20%D0%91%20%D0%90.2.4-4-2009.%20%D0%9E%D0%A1%D0%9D%D0%9E%D0%92%D0%9D%D0%86%20%D0%92%D0%98%D0%9C%D0%9E%D0%93%D0%98%20%D0%94%D0%9E%20%D0%9F%D0%A0%D0%9E%D0%95%D0%9A%D0%A2%D0%9D%D0%9E%D0%87%20%D0%94%D0%9E%D0%9A%D0%A3%D0%9C%D0%95%D0%9D%D0%A2%D0%90%D0%A6%D0%86%D0%87.pdf>, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

8. СПДБ. Загальні положення. Система проєктної документації для будівництва [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Київ, 2010. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=5062, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

9. Правила визначення вартості проєктно-вишукувальних робіт та експертизи проєктної документації на будівництво. [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – Режим доступу: <https://www.mvkexpert.com/files/Zmina3.pdf>, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

10. Техніка безпеки у будівництві [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/snip/4-1-0-19>, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

11. Ґрунти. Методи вимірювання деформацій основ будівель і споруд = Soils. Measuring methods of strains of structures and building bases [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294853/4294853419.pdf>, вільний (дата звернення: 11.09.2023). – Назва з екрана.

12. Бачишин Б. Д. Інженерна геодезія : навч. посіб. / Б. Д. Бачишин. – Рівне : НУВГП, 2020. – 196 с. – ISBN 978-966-327-480-5. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: https://ep3.nuwm.edu.ua/19290/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1%D0%BD%D0%B8%D0%BA_%D1%96%D0%BD%D0%B6_%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%B4_%D0%B2%D0%B8%D0%BF_1.pdf, вільний).

13. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 1. : навч. посіб. / [Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Бікс Ю. С., Вовк Т. Ю.]. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 98 с.

14. Геодезичне забезпечення будівництва. Частина 2. : навч. посіб. / [Ратушняк Г. С., Панкевич О. Д., Бікс Ю. С., Вовк Т. Ю.] – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 99 с.

15. Ратушняк Г. С. Інженерні вишукування : навч. посіб. / Г. С. Ратушняк, О. Д. Панкевич, О. Г. Лялюк. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 150 с. – Існує електрон. версія. (Режим доступу: <https://studfile.net/preview/3904218>, вільний).

16. ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання. – [Чинний від 2007–07–01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007. – 47 с. – (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи). – Існує електрон. версія. (Режим доступу: http://dnrb.gov.ua/wp-content/uploads/2015/12/DSTU-7.1-2006_2010.pdf, вільний).

17. Воронков О. О. Курсовий проєкт «Геодезичне забезпечення вишукувань і моніторингу інженерних споруд» : дистанційний курс [Електрон. ресурс] / О. О. Воронков ; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://dl.kname.edu.ua/course/view.php?id=1679>, вільний (дата звернення: 18.09.2023). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А
Зразок титульного аркуша

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БУДІВЕЛЬНОЇ
ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Кафедра земельного адміністрування та геоінформаційних систем

КУРСОВИЙ ПРОЄКТ

**ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИШУКУВАНЬ І
МОНІТОРИНГУ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД**

Варіант №

Виконав: студент 1 курсу, групи М Геодезія 2022-1
_____ Іванов Іван Іванович

Прийняв: доцент кафедри ЗА та ГІС
_____ Петров Петро Петрович

2023 року

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
до виконання курсового проєкту

«ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИШУКУВАНЬ І МОНІТОРИНГУ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності
193 – Геодезія та землеустрій, освітньо-професійна
програма «Геодезія та землеустрій»)*

Укладачі: **ВОРОНКОВ** Олексій Олександрович,
КАСЬЯНОВ Володимир Володимирович

Відповідальний за випуск *О. Є. Поморцева*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *О. О. Воронков*

План 2023, поз. 460М

Підп. до друку 25.09.2023. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 2,3.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.