

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
Географічний факультет
Кафедра геодезії, картографії та землеустрою

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З КУРСУ “ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ”**

для студентів денної форми навчання
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
галузі знань: G “Інженерія, виробництво та будівництво”
спеціальності: G18 “Геодезія та землеустрій”
освітньо-професійної програми “ГЕОДЕЗІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ”

Київ 2026

Рецензенти:

Міхно О.Г., кандидат технічних наук, доцент
Сушко В.Г., директор ПП «Геосканес», сертифікований інженер-геодезист

*Затверджено вченою радою географічного факультету
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол №10 від 24.03.2026 р.)*

*Методичні вказівки обговорено й схвалено на засіданні кафедри геодезії,
картографії та землеустрою (протокол №9 від 05.03.2026 р.)*

Сосса Б.Р. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Інженерна геодезія» для студентів денної форми навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань G «Інженерія, виробництво та будівництво» спеціальності G18 «Геодезія та землеустрій» освітньо-професійної програми «Геодезія та землеустрій». – К.: КНУ імені Тараса Шевченка, 2026 р. – 41 с.

Методичні вказівки призначені для студентів географічного факультету спеціальності G18 «Геодезія та землеустрій». У виданні представлено комплекс із 11 лабораторних занять, що охоплюють повний цикл геодезичного супроводу об'єктів будівництва та реконструкції: від апріорної оцінки точності мереж до виконавчого знімання та моніторингу деформацій споруд.

Особливу увагу приділено автоматизації інженерно-геодезичних розрахунків з використанням сучасного програмного забезпечення (AutoCAD, табличні редактори) та елементів програмування. Студенти опановують методику матричного опрацювання даних за методом найменших квадратів, алгоритми жорсткої трансформації координат (алгоритм Кабша-Умеями) та сучасні способи розмічувальних робіт (винос в натуру координат, робота з базовою лінією).

Методичні вказівки спрямовані на формування у майбутніх фахівців навичок аналітичного мислення, вміння працювати з нормативною документацією (ДБН, ДСТУ) та створювати професійну виконавчу документацію.

Зміст

| | |
|---|----|
| <i>Вступ</i> | 4 |
| Лабораторна робота №1. Попередній розрахунок точності просторових інженерно-геодезичних мереж..... | 5 |
| Лабораторна робота №2. Трансформація та оцінка точності орієнтування цифрових растрових планів..... | 8 |
| Лабораторна робота №3. Статистичний аналіз та оцінка надійності оберненої лінійно-кутової засічки..... | 10 |
| Лабораторна робота №4. Створення геодезичної розмічувальної основи об'єкта реконструкції методом трансформації координат..... | 12 |
| Лабораторна робота №5. Оптимізація трансформації координат алгоритмом Кабша-Умеями та порівняльний аналіз точності..... | 18 |
| Лабораторна робота №6. Висотне обґрунтування об'єкта та оформлення акта приймання геодезичної розмічувальної основи..... | 21 |
| Лабораторна робота №7. Геодезична підготовка проєкту: аналітичний та графічний розрахунок координат розмічувальних точок та винесення їх в натуру | 24 |
| Лабораторна робота №8. Розмічування конструкцій способом базової лінії..... | 26 |
| Лабораторна робота №9. Виконавче знімання змонтованих конструкцій..... | 28 |
| Лабораторна робота №10. Геодезичний моніторинг: розрахунок складних деформацій конструкцій (крен та кручення)..... | 34 |
| Лабораторна робота №11. Проєктування вертикального планування та розрахунок об'ємів земляних робіт методом квадратів..... | 35 |

Вступ

Сучасний розвиток будівельної галузі, впровадження BIM-технологій та підвищення вимог до точності зведення складних інженерних споруд докорінно змінюють роль геодезиста на будівельному майданчику. Сьогодні інженер-геодезист — це не лише оператор високоточних приладів, а й аналітик, здатний працювати з великими масивами даних, автоматизувати обчислення та приймати відповідальні рішення на основі статистичного аналізу результатів вимірювань.

Даний курс лабораторних робіт побудований за принципом наскрізного проектування. Студенти починають з теоретичного прогнозування точності майбутніх робіт, створюють власну планово-висотну основу об'єкта реконструкції, виконують розмічувальні роботи та завершують цикл виконавчим зніманням і спостереженням за деформаціями змонтованих конструкцій.

Ключові особливості пропонованого курсу:

- інтеграція IT-технологій: відмова від ручних розрахунків на користь матричної алгебри в табличних редакторах та використання хмарних застосунків на Python для складних математичних перетворень;
- реалізм задач: всі завдання імітують реальні ситуації на об'єктах реконструкції, включаючи роботу в умовах «геодезичного вакууму» та необхідність відновлення будівельної системи координат;
- нормативна база: оформлення результатів робіт (актів, виконавчих схем) здійснюється у відповідності до чинних державних стандартів (ДБН В.1.3-2:2010, ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009).

Мета виконання лабораторних робіт — забезпечити набуття студентами таких компетентностей:

інтегральної: здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі геодезії та землеустрою.

загальних:

ЗК11. Усвідомлення рівних можливостей та гендерних проблем.

ЗК13. Здатність зберігати, примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії, закономірностей розвитку предметної області, її місця в загальній системі знань про природу й суспільство, а також в розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для відпочинку та ведення здорового способу життя.

спеціальних (фахових):

СК02. Здатність застосовувати теорії, принципи, методи фізико-математичних, природничих, соціально-економічних, інженерних наук при виконанні завдань геодезії та землеустрою.

СК09. Здатність застосовувати інструменти, прилади, обладнання, устаткування при виконанні завдань геодезії та землеустрою.

СК11. Здатність здійснювати геодезичний моніторинг земної поверхні, природних об'єктів, інженерних споруд.

Лабораторна робота №1.

Попередній розрахунок точності просторових інженерно-геодезичних мереж

Мета роботи

Навчитися прогнозувати точність визначення координат на основі паспортних даних приладу та геометричних параметрів мережі.

Персоналізація завдання

Параметри точності приладу (m_β — кутова похибка, m_s — лінійна похибка) розраховуються залежно від порядкового номера студента у списку (N):

- кутова точність: $m_\beta = 1'' + 0,2'' \cdot (30 - N)$;
- лінійна точність: $2 \text{ мм} + 2 \text{ ppm}$, де відстань при виконанні Етапу 1 для ppm береться як $10 \cdot N$ метрів;
- індивідуальний кут нахилу для дослідження джерел похибок: $v_0 = 1,5 \cdot N$.

Задачі заняття

Етап 1: Спрощений розрахунок (радіальна похибка)

На першому етапі студент розраховує похибку положення точки відносно станції за спрощеною схемою, розділяючи її на поздовжню та поперечну складові.

Поздовжня похибка ($m_{\text{позд}}$): дорівнює похибці вимірювання відстані m_s на задану відстань.

Поперечна похибка ($m_{\text{попер}}$): залежить від відстані S та кутової похибки m_β . У свою чергу, кутова похибка складається з двох складових – горизонтальних і вертикальних кутів:

$$m_{\text{гор}} = m_{\text{верт}} = \frac{S \cdot m_\beta}{\rho''},$$

де $\rho'' = 206265$.

Повна похибка положення точки:

$$M_p = \sqrt{m_{\text{позд}}^2 + m_{\text{гор}}^2 + m_{\text{верт}}^2} = \sqrt{m_s^2 + 2 \cdot \left(\frac{S \cdot m_\beta}{\rho''} \right)^2}$$

Взаємна точність між двома точками. Якщо припустити, що точки визначені з однієї станції за однакових умов, похибка взаємного положення складе:

$$M_{\text{вз}} = M_p \sqrt{2}$$

Етап 2: Аналітичний розрахунок через частинні похідні

Цей етап передбачає використання повної диференційної моделі координат. Координати точки в просторі визначаються функціями:

$$X = S \cdot \cos v \cdot \cos \alpha$$

$$Y = S \cdot \cos v \cdot \sin \alpha$$

$$H = S \cdot \sin v$$

де S – нахилена відстань, ν – кут нахилу, α – горизонтальний кут.

За законом накопичення похибок, середня квадратична похибка функції визначення координат F виглядає так:

$$m_F^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial S}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial \nu}\right)^2 m_\nu^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial \alpha}\right)^2 m_\alpha^2$$

Для функції F частинні похідні будуть мати такий вигляд:

| Координат а | Похідна за відстанню $\frac{\partial}{\partial S}$ | Похідна за кутом нахилу $\frac{\partial}{\partial \nu}$ | Похідна за горизонтальним кутом $\frac{\partial}{\partial \alpha}$ |
|----------------|---|--|---|
| X | $\cos \nu \cos \alpha$ | $-S \sin \nu \cos \alpha$ | $-S \cos \nu \sin \alpha$ |
| Y | $\cos \nu \sin \alpha$ | $-S \sin \nu \sin \alpha$ | $S \cos \nu \cos \alpha$ |
| H | $\sin \nu$ | $S \cos \nu$ | 0 |

Після підстановки значень частинних похідних у формулу середньої квадратичної похибки функції визначення координат і проведення спрощення ми отримаємо:

$$M_P = \sqrt{m_X^2 + m_Y^2 + m_H^2} = \sqrt{m_S^2 + S^2 m_\nu^2 + S^2 \cos^2 \nu m_\alpha^2}$$

Етап 3: Побудова матриць точності в табличному редакторі

Потрібно створити таблицю 1, де по горизонталі змінюється відстань S (від 20 до 220 м з кроком 20 м), а по вертикалі — кут нахилу ν (від 0° до 45° з кроком 5°).

Алгоритм для табличного редактора:

1. Створити константу m_β (в радіанах).
2. Використати функцію RADIANS() для переведення кутів з градусів у радіани.
3. В комірках перетину S та ν прописати формулу для M_P .

Створюємо таблицю 2 даних для дослідження джерел похибки при індивідуальному куті нахилу ν_0 . Структура таблиці:

- стовпчик 1: відстань S від 10 до 200 м з кроком 10 м;
- стовпчик 2: похибка віддалеміра m_S у мм;
- стовпчик 3: похибка за вертикальний кут $m_{\text{верт}} = S \cdot m_\alpha^{\text{rad}}$ у мм;
- стовпчик 4: похибка за горизонтальний кут $m_{\text{гор}} = S \cdot \cos \nu \cdot m_\alpha^{\text{rad}}$ у мм;

В кінці кожного стовпчика (2, 3, 4) обчислити середнє значення за допомогою функції =AVERAGE().

Етап 4. Аналіз результатів

Провести візуалізацію результатів таблиці 1 за допомогою умовного форматування. Для цього потрібно виділити всю таблицю з розрахованими похибками (тільки похибки) і вибрати умовне форматування комірок кольором (червоний-жовтий-зелений) таким чином, щоб менші значення було підсвічено зеленим кольором, а більші - червоним.

Застосувати умовне форматування до значень таблиці 2: виділити кольором значення, що перевищують середнє для кожного стовпчика даних.

На основі отриманих даних потрібно побудувати два графіки для оцінки можливостей приладу:

Графік №1. Загальна точність вимірювань.

Побудувати точкову діаграму залежності повної просторової похибки M_p від відстані S для трьох кутів нахилу (0° , 20° , 45°). Обов'язково нанести горизонтальну лінію допуску (5 мм).

Мета: визначити максимальну робочу відстань приладу для конкретного виду робіт.

Графік №2. Структура похибки (внесок компонентів).

Побудувати гістограму з накопиченням для свого індивідуального кута ν_0 . Кожен стовпчик має складатися з трьох блоків: m_s , $m_{\text{верт}}$ та $m_{\text{гор}}$.

Мета: Проаналізувати, який саме блок приладу (віддалемірний чи кутомірний) сильніше впливає на результат при збільшенні відстані.

Зверніть увагу на розмірність кутових похибок: у формулах МНК та накопичення похибок кутові похибки m_ν та m_α обов'язково мають бути переведені з секунд у радіани. В табличному редакторі: $m_{\text{rad}} = m_{\text{sec}} / 206265$ або $m_{\text{rad}} = \text{RADIANS}(m_{\text{sec}} / 3600)$.

Похибка координати Н: зверніть увагу, що горизонтальний кут α взагалі не впливає на точність визначення висоти Н (похідна дорівнює 0). Це логічно, оскільки поворот приладу в горизонті не змінює висотне положення візирного променя.

Результат

Студент здає звіт у вигляді файлу табличного редактора, який містить:

- спрощений розрахунок: обчислення радіальної та взаємної похибки для фіксованої відстані;
- основна матриця точності: таблиця $S \times \nu$ з умовним форматуванням за кольоровою шкалою;
- таблиця компонентів: розрахунок окремих похибок для індивідуального кута з обчисленими середніми значеннями;
- графічний блок: два налаштовані графіки з підписами осей та легендою;
- короткий висновок: письмова відповідь на питання: «На якій максимальній відстані ваш прилад забезпечує точність 5 мм?».

Запитання для самоперевірки:

1. Як впливає збільшення кута нахилу ν на похибку визначення планових координат (X, Y) ?
2. На якій відстані похибка приладу за кут починає домінувати над похибкою за відстань?
3. Чи впливає висота приладу i на точність визначення планових координат у цій моделі?

Лабораторна робота №2. Трансформація та оцінка точності орієнтування цифрових растрових планів

Мета роботи

Навчитися виконувати координатну прив'язку растрових картографічних матеріалів у середовищі CAD, розраховувати теоретичні координати рамок планшетів за їх номенклатурними номерами та проводити аналіз точності отриманого результату.

Етап 1. Дешифрування координат

Студент отримує файл з назвою типу 4835.jpg.

- масштаб: 1:2000;
- розмір: 50×50 см (що відповідає 1000×1000 м на місцевості).

Логіка координат: перші дві цифри (48) — координата X (північ) нижнього лівого кута в км. Другі дві цифри (35) — координата Y (схід) нижнього лівого кута в км. Приклад для 4835.jpg: нижня ліва точка (X, Y): 48000, 35000. Оскільки розмір планшета 1×1 км, координати інших кутів розраховуються додаванням 1000 м.

Необхідно пам'ятати, що в геодезичній системі координат вісь X спрямована на Північ (вгору), а вісь Y — на Схід (вправо). В AutoCAD за замовчуванням X — це Схід, а Y — Північ.

Для коректного виконання: вводити геодезичний Y у поле X AutoCAD, а геодезичний X — у поле Y AutoCAD.

Етап 2. Побудова еталонної сітки в CAD

Створення еталона: Студент має поставити 4 точки (_POINT) за розрахованими координатами кутів планшета. Щоб точки було видно, змініть стиль точок: PTYPE (або меню Format - Point Style).

Вставка растра: команда IMAGEATTACH (або меню File - Attach). Растр вставляється в довільному місці або там, де вкаже користувач, якщо поставити галочку «Specify on screen».

Етап 3. Процес трансформації

1. Вибрати растр. Ввести команду ALIGN.
2. Перша пара точок: лівий нижній кут растра → еталонна точка (48000, 35000).
3. Друга пара точок: правий верхній кут растра → еталонна точка (49000, 36000).
4. Після вибору другої пари точок і натиснення Enter, з'являється опція: Scale objects based on alignment points? — YES.

Етап 4. Оцінка точності (аналіз)

Після виконання команди ALIGN за двома точками (наприклад, LL — нижня ліва та UR — верхня права), ці точки будуть збігатися з еталонами

ідеально. У двох інших кутах виникнуть лінійні відхилення через різні причини (наприклад, деформацію паперу при скануванні). Для об'єктивної оцінки точності необхідно перевірити відхилення в інших характерних точках планшета.

Об'єкти контролю:

1. Два вільні кути: верхній лівий (UL) та нижній правий (LR).
2. Внутрішні хрести: вибрати 2-3 хрести координатної сітки, що розташовані ближче до центру та рівномірно розподілені по планшету.

Хрести нанесені через 10 см, що відповідає 200 метрам у реальних координатах.

Приклад розрахунку точок контролю для файлу 4835:

| Назва точки | Тип | X (північ) | Y (схід) |
|------------------|----------------|------------|-----------|
| LL (Lower Left) | Базова (ALIGN) | 48000,000 | 35000,000 |
| UR (Upper Right) | Базова (ALIGN) | 49000,000 | 36000,000 |
| UL (Upper Left) | Контрольна 1 | 49000,000 | 35000,000 |
| LR (Lower Right) | Контрольна 2 | 48000,000 | 36000,000 |
| Хрест (центр) | Контрольна 3 | 48400,000 | 35400,000 |
| Хрест (центр-2) | Контрольна 4 | 48600,000 | 35600,000 |

Порядок розрахунку нев'язок у табличному редакторі:

Для кожної контрольної точки студент вимірює відхилення фактичного зображення від поставленої точки:

1. Визначити dX та dY (різниці координат);
2. Обчислити лінійну нев'язку за формулою: $f_i = \sqrt{dX^2 + dY^2}$;
3. На основі 4–5 значень розрахувати середню лінійну нев'язку та зафіксувати максимальну;
4. Зробити висновок про придатність/непридатність растрового зображення для проведення точних робіт на підставі максимальної лінійної нев'язки $f_{i \max} \leq 0,4$ м та показати загальний показник якості

$$\text{сканування всього планшета } f_{avg} = \frac{\sum f_i}{n}.$$

Вимоги до оформлення та здачі роботи

Замість надсилання окремого файлу кресленика (.dwg), студент повинен сформулювати та надіслати комплектний архів. Це критично важливо, оскільки без файлу зображення (.jpg) растр у кресленні не відобразиться.

Використання команди ETRANSMIT (сформулювати комплект):

1. Введіть команду ETRANSMIT у командному рядку AutoCAD;
2. У вікні, що з'явиться, переконайтеся, що до списку включено як файл .dwg, так і файл растра .jpg;
3. Натисніть «ОК» — програма створить ZIP-архів;
4. Назва архіву має відповідати формату: Прізвище_Група_Lp2.zip.

Результат

До перевірки приймається архів, що містить:

1. Файл кресленика, де растр прив'язаний до еталонних точок;
2. Пояснювальна записка (можна у форматі текстового блоку прямо в кресленику або окремим файлом), де наведено:
 - таблицю теоретичних координат усіх використаних точок (базових та контрольних);
 - таблицю отриманих відхилень f_i у контрольних точках;
 - розрахунок середньої та максимальної похибки;
 - висновок: «Точність орієнтування растра складає $f_{\max} = \dots$ м, що відповідає / не відповідає нормативному допуску для масштабу 1:2000 (0,4 м)».

Запитання для самоперевірки:

1. Чому при введенні геодезичних координат у командному рядку AutoCAD ви вводили значення сходу (Y) першим, а півночі (X) — другим? До яких наслідків призведе ігнорування цього правила?
2. Що саме робить команда ALIGN (Вирівняти), коли ви відповідаєте «ТАК» на запит про масштабування об'єктів? Як зміниться результат, якщо вибрати «НІ»?
3. Чому в точках, за якими проводилася прив'язка, похибка дорівнює нулю, а на внутрішніх хрестах сітки вона з'являється? Назвіть мінімум дві причини виникнення цих відхилень.
4. Чому для даної роботи було вибрано допуск 0,4м?

Лабораторна робота №3.

Статистичний аналіз та оцінка надійності оберненої лінійно-кутової засічки

Мета роботи

Оволодіти методами статистичної обробки результатів польових вимірювань, навчитися виявляти та відфільтровувати грубі помилки (промахи) за заданими критеріями та порівнювати фактичну точність із теоретичними розрахунками.

Вихідні дані

Масив координат однієї і тієї ж точки (контрольного хреста), визначених різними операторами (студентами) з різних станцій, координати яких визначено методом оберненої лінійно-кутової засічки.

Еталон (контроль): координати X_0 , Y_0 , H_0 , визначені викладачем з високою точністю.

Етап 1. Первинна обробка та аналіз відхилень

Необхідно імпортувати дані в табличний редактор та для кожного виміру (кожного студента i) розрахувати:

Компоненти відхилень: $\Delta X_i = X_i - X_0$; $\Delta Y_i = Y_i - Y_0$; $\Delta H_i = H_i - H_0$;

Повну просторову лінійну похибку, яка обчислюється за формулою тривимірної оберненої геодезичної задачі: $f_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2 + \Delta H_i^2}$;

Середнє відхилення по групі Δ_{avg} . Розраховується як середнє арифметичне всіх f_i .

Етап 2. Оцінка точності (СКП)

Оскільки контрольні координати визначені з вищою, але не абсолютною точністю, ми не приймаємо їх за істинне значення. Розрахунок СКП (m) проводиться за формулою Бесселя, де за центр розподілу приймаються контрольні координати, визначені викладачем:

$$m = \sqrt{\frac{\sum f_i^2}{n-1}},$$

де f_i - лінійна відстань від отриманої студентом точки до контрольної, n - кількість результатів у вибірці.

Етап 3. Фільтрація грубих помилок

Для очищення даних від «вильотів» (студентів, які припустилися помилок при наведенні або знятті відліку), використовується статистичний фільтр.

Критерій: $f_i > 2 \cdot \Delta_{avg}$ (подвійне середнє відхилення).

Дії в табличному редакторі: треба створити дублікат таблиці. Використовуючи «Фільтр» або функцію IF, позначити та видалити набори даних, де f_i перевищує поріг.

Етап 4. Повторний аналіз та порівняння з теорією

Після видалення промахів потрібно повторно розрахувати СКП $m_{очист}$ для «чистої» групи.

Тепер треба порівняти отриману фактичну СКП з апіорною (теоретичною) похибкою, яку розраховують за принципом Етапу 1 у лабораторній роботі №1 (радіальна похибка).

Теоретична (ЛР1): M_p для відстані 20 м та точності приладу 5" і 3мм+2ppm.

Фактична (ЛР3): $m_{очист}$.

Для розрахунку f_i використовуйте функцію SQRT(SUMSQ(DX; DY; DH)).

Для умовного виділення вильотів скористайтесь умовним форматкуванням: Правила виділення клітинок -> Більше -> [Комірка з $2 \cdot \Delta_{avg}$].

Результат

1. Зведена таблиця з усіма вимірами групи, розрахованими Δ та повною похибкою f_i ;
2. Очищена таблиця без грубих помилок;

3. Порівняльна таблиця: Показник (n , m); До фільтрації; Після фільтрації; Теоретичне значення (для m). СКП подати в міліметрах до першого знаку після коми.
4. Висновок: «Фактична СКП після видалення промахів склала ... мм, що (збігається / не збігається) з теоретичним розрахунком ... мм. Це свідчить про (високу якість / наявність систематичних факторів) польових вимірювань».

Запитання для самоперевірки:

1. Чому СКП (m) зазвичай має більше значення, ніж середнє відхилення Δ_{avg} ?
2. У яких випадках для розрахунку точності ми ділимо суму на n , а в яких на $n-1$?
3. Що фізично означає величина СКП (m) для результатів вашої засічки?
4. Чому для фільтрації промахів ми використовуємо критерій Δ_{avg} або 3σ , а не просто видаляємо все, що нам не подобається?

Лабораторна робота №4.

Створення геодезичної розмічувальної основи об'єкта реконструкції методом трансформації координат

Мета роботи

Навчитися створювати локальну геодезичну основу та визначати параметри 2D-перетворення Гельмерта для приведення результатів знімання у проєктну (будівельну) систему координат за допомогою МНК у середовищі табличних редакторів.

▲ Важливе зауваження щодо ідентифікації та порядку точок

Для коректного розв'язання системи рівнянь за МНК (ЛР №4) та успішного виконання SVD-розкладу (ЛР №5) необхідно забезпечити сувору топологічну відповідність між фактичними та теоретичними наборами даних.

Принцип відповідності «Точка в точку»: кожна фактична точка ($X_{факт}$, $Y_{факт}$), знята тахеометром, повинна відповідати тій самій геометричній точці на проєктному кресленику ($X_{теор}$, $Y_{теор}$). Якщо ви зняли «Центр колони №1» у полі, то в табличному редакторі у відповідному рядку матриць b та A мають стояти проєктні координати саме цієї колони.

Суворий порядок слідування: матриця b (теоретичні координати) та матриця A (базовані на фактичних координатах) будуються за однаковим списком точок.

Помилка: якщо в списку фактичних вимірів точка A йде першою, а в списку теоретичних — другою, розрахунок параметрів трансформації буде хибним.

Перевірка: Перед запуском розрахунку переконайтеся, що геометрична «фігура», яку утворюють точки в полі, ідентична фігурі в САД.

Рекомендація щодо нумерації: надавайте точкам унікальні імена (наприклад, M1, ColA1) ще на етапі польового знімання та зберігайте ці імена в табличному редакторі. Це дозволить уникнути плутанини при формуванні динамічної індексації.

Теоретичні основи: 2D-перетворення Гельмерта

При роботі на об'єктах реконструкції інженер-геодезист часто стикається з ситуацією геодезичного вакууму: стара геодезична основа зазвичай втрачена або зруйнована під час експлуатації, а проектна документація та кресленики, за якими зводилася будівля десятки років тому, можуть бути відсутні або не відповідати фактичному стану конструкцій.

У таких умовах виникає потреба самостійного створення геодезичної розмічувальної основи та «відновлення» внутрішньої системи координат будівлі за її головними осями. Для цього виконується знімання наявних конструкцій (наприклад, колон) у довільній системі координат приладу (яка створюється в полі «з нуля» з випадковим орієнтуванням). Після цього, шляхом математичного опрацювання, здійснюється перехід до будівельної системи координат, яка жорстко прив'язана до фактичних осей будівлі та її проектних параметрів.

Варто враховувати, що використання мінімально необхідної кількості точок (наприклад, лише двох осей) часто призводить до низької точності, оскільки воно не враховує помилки, накопичені під час первинного будівництва, а також похибки розмічування та знімання. У реальних умовах конструкції мають відхилення від проєкту, тому для отримання надійного результату необхідно знімати надлишкову кількість осей та колон (від 4 до 8 точок). Застосування методу найменших квадратів (МНК) до такої надлишкової кількості даних дозволяє "припасувати" випадкові похибки та отримати найбільш імовірні параметри перетворення, що забезпечує максимальну точність посадки об'єкта.

Для цього використовується 4-параметричне перетворення Гельмерта. Воно дозволяє врахувати:

1. Два зсуви (ΔX , ΔY) — перенесення початку координат;
2. Кут повороту (α) — приведення осей приладу у відповідність до осей будівлі;
3. Масштабний коефіцієнт (m) — врахування лінійних спотворень (в задачах інженерної геодезії зазвичай $m = 1$).

Математична модель у лінеаризованому вигляді:

$$\begin{cases} X_{теор} = a + c \cdot x_{факт} - d \cdot y_{факт} \\ Y_{теор} = b + d \cdot x_{факт} + c \cdot y_{факт} \end{cases}$$

Де a , b , c , d — параметри, які ми визначаємо за допомогою методу найменших квадратів (МНК).

Матричне формулювання задачі

Для розв'язання системи рівнянь за МНК ми формуємо дві матриці:

- Матриця \mathbf{b} ($2n \times 1$): вектор теоретичних координат, отриманих у САД.
- Матриця \mathbf{A} ($2n \times 4$): матриця часткових похідних (коефіцієнтів перед невідомими).

Структура рядків матриці \mathbf{A} для кожної точки i :

- Рядок для X : $[1, 0, x_i, -y_i]$
- Рядок для Y : $[0, 1, y_i, x_i]$

Вектор невідомих параметрів \mathbf{x} обчислюється за фундаментальною формулою МНК:

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{b},$$

Оцінка точності (СКП):

Після обчислення параметрів необхідно перевірити, наскільки точно «сіли» наші фактичні колони на теоретичні осі. Для цього ми обчислюємо вектор нев'язок \mathbf{v} , як різницю між обчисленим значенням і теоретичним:

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} - \mathbf{b}.$$

Після цього можна обчислити середню похибку перетворення координат за формулою СКП одиниці ваги:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum v^2}{2n - k}},$$

де $2n$ – загальна кількість рівнянь, $k = 4$ (кількість параметрів).

Задачі заняття

Етап 1: Польові роботи та збір даних

1. *Створення основи:* закріплення на об'єкті 4-х робочих марок (точок ПВО), вимірювання рулеткою розмірів колон, розмічування центрів колон.
2. *Вимірювання:* виконання знімання марок та центрів наявних колон (від 2 до 4 колон) електронним тахеометром у довільній системі координат (СК приладу).
3. *Результат:* список фактичних координат точок колон ($x_{\text{факт}}$, $y_{\text{факт}}$) та марок основи, розміри колон.

Етап 2: Створення проєктної моделі в САД

1. *Побудова:* у середовищі САД накреслити схему колон згідно з проєктним кроком і розмірами (визначається за результатами вимірювань).
2. *Прив'язка:* призначити одній з точок перетину осей «круглі» проєктні координати (наприклад, $X=100,000$, $Y=500,000$). Орієнтувати сітку осей суворо за дирекційними кутами 0° та 90° .
3. *Нанесення теоретичних точок:* на основі розмірів колон нанести теоретичні точки центрів колон. Їх координати також будуть «круглі». Наприклад, для колони розміром 400×400 мм, що знаходиться на перетині осей з координатами $X=106,000$ $Y=506,000$, теоретичні точки центрів колон матимуть координати: $(106,200; 506,000)$, $(106,000; 506,200)$, $(105,800; 506,000)$, $(106,000; 505,800)$.

4. *Експорт*: вивантажити теоретичні координати центрів колон ($X_{теор}$, $Y_{теор}$) у текстовий або табличний формат за допомогою інструменту DATAEXTRACTION.

Розумне використання команди DATAEXTRACTION.

- Створіть блок-маркер – намалуйте маленьке коло або хрестик. Додайте до нього атрибут (команда ATTDEF), назвіть його, наприклад, "№". Згрупуйте їх у блок (BLOCK): назвіть блок і виберіть, що точку прив'язки ви вкажете на екрані (Specify on screen), натисніть ОК і вкажіть точку прив'язки – центр кола або хрестика;
- Розставте точки. Розставляйте цей блок у потрібних місцях (команда INSERT). При кожній вставці AutoCAD запитуватиме номер точки — вводьте 1, 2, 3 тощо. Якщо ви помилилися з номером точки, цей атрибут можна редагувати у властивостях блока (PROPERTIES);
- Запустіть експорт даних. Введіть команду DATAEXTRACTION (або DX);
- Створіть новий файл експорту (.dxe); виберіть об'єкти на кресленнику через Select objects in the current drawing (ваши блоки, після вибору натисніть Enter); залиште у списку об'єктів тільки блок (назва вашого блока), у списку властивостей залиште галочки лише навпроти Геометрія (Geometry) -> Позиція X та Позиція Y, а також навпроти вашого Атрибута (№); На етапі "Refine Data" ви побачите готову таблицю. Тут можна перейменувати стовпці та змінити їх порядок;
- На фінальних кроках майстра DATAEXTRACTION у вас буде два варіанти, один з яких – Output data to external file (.xls, .csv). Після вказання місця і назви файлу, програма запише цю таблицю у форматі Excel (.xlsx) або CSV.

Зверніть увагу: якщо ви працюєте зі стандартним десятковим розділювачем (комою) – не забудьте замінити у файлі експорту крапки на кому через функцію «Знайти і замінити».

Етап 3. Математичне опрацювання в табличному редакторі

1. *Формування матриці b*: вектор-стовпець теоретичних координат точок колон. Використовуйте динамічну індексацію для автоматизації.
2. *Формування матриці A*: матриця коефіцієнтів часткових похідних. Використовуйте динамічну індексацію для автоматизації.
3. *Обчислення параметрів*: знаходження вектора $x = [a, b, c, d]^T$ через нормальні рівняння.
4. *Оцінка точності (СКП)*: обчислення середньої квадратичної помилки (СКП) одиниці ваги за формулою Гаусса.
5. *Трансформація точок основи*: використовуючи знайдені параметри a, b, c, d, необхідно переобчислити координати робочих марок (точок ПВО) з системи приладу в будівельну систему координат.

Логіка автоматизації: створення динамічної адресації

При створенні матриць важливо розуміти, що замість ручного заповнення матриць ми будемо *алгоритмічний автомат*. Для цього ми використовуємо комбінацію чотирьох функцій: *ROW*, *INDEX*, *INT*, *MOD*.

«Золоте правило» індексації:

При побудові матриці кожна точка займає 2 рядки. Щоб табличний редактор не плутався, ми використовуємо такі «цеглинки»:

| Функція | Роль у формулі | Логіка |
|--|----------------|---|
| $ROW(A1)-1$ | Лічильник | Створює послідовність 0, 1, 2, 3..., яка є базою для розрахунків. |
| $INT(\text{лічильник}/2)$ | Групування | Дозволяє редактору «затриматися» на першій точці два рядки поспіль (0, 0, 1, 1...). |
| $MOD(\text{лічильник}; 2)$ | Циклічність | Створює перемикач між X та Y (0, 1, 0, 1...). |
| $INDEX(\text{таблиця}; \text{рядок}; \text{стовпець})$ | Навігатор | Вибирає потрібну координату з вашої таблиці польових вимірів. |

Математика функцій *INT* та *MOD* найкраще працює, коли відлік починається з 0. Саме тому ми використовуємо $ROW(A1)-1$. Однак сам табличний редактор шукає дані в таблицях починаючи з 1, тому до фінального результату індексу ми завжди додаємо +1.

Припустимо, що у нас є список з 8 теоретичних точок, координати X і Y яких розміщено у комірках D2, E2, D3, E3, ... D9, E9 (D2:E9). Для автоматичного формування матриці **b** використовуємо формулу $=INDEX(\$D\$2:\$E\$9; INT((ROW(A1)-1)/2)+1; MOD(ROW(A1)-1; 2)+1)$, яку потім розтягнемо для автоматичного заповнення даних.

Пояснення формули:

Крок 1. Генератор порядкового номера – $(ROW(A1)-1)$. Це "двигун" нашої формули.

- Коли ми в першому рядку: $ROW(A1)$ дає 1. $1 - 1 = 0$;
- Коли ми в другому рядку: $ROW(A2)$ дає 2. $2 - 1 = 1$;
- Результат: при протягуванні вниз ми отримуємо чисту послідовність: 0, 1, 2, 3, 4, 5...

Крок 2. Визначення номера точки (Рядок в *INDEX*) – $INT(.../2)+1$

Тут ми кажемо редактору: "Тримайся за одну точку два рядки поспіль".

- Для першого рядка (0): $INT(0/2) + 1 = 1$ (Точка №1);
- Для другого рядка (1): $INT(1/2) + 1 = 1$ (Все ще точка №1);
- Для третього рядка (2): $INT(2/2) + 1 = 2$ (Точка №2);
- Логіка: ми ділимо на 2, бо у кожній точці дві координати. *INT* відкидає дробову частину, а +1 коригує індекс для функції *INDEX*, яка починає відлік з 1.

Крок 3. Вибір координати X або Y (Стовпець в *INDEX*) – $MOD(...; 2)+1$

Це "перемикач" між стовпцями D (X) та E (Y).

- Для першого рядка (0): $MOD(0; 2) + 1 = 1$ (Перший стовпець — X)

- Для другого рядка (1): $\text{MOD}(1; 2) + 1 = 2$ (Другий стовпець — Y)
- Для третього рядка (2): $\text{MOD}(2; 2) + 1 = 1$ (Знову X, але вже для нової точки)
- Логіка: Залишок від ділення на 2 завжди буде або 0, або 1. Це ідеальний циклічний перемикач.
Фінальна збірка — INDEX(діапазон; рядок; стовпець)
Тепер INDEX просто виконує наказ:
- "Візьми таблицю \$D2:E9\$".
- "Перейди до рядка № [Результат Кроку 2]".
- "Візьми значення зі стовпця № [Результат Кроку 3]".

При формуванні матриці **A** для перших двох стовпчиків оптимально використовувати умову: ЯКЩО Умова1, то Значення1, інакше Значення 2. Для визначення умови підбору рядків через один скористаємося алгоритмом з Кроку 3 для заповнення матриці **b**. Для першого стовпчика це виглядає так:

=IF(MOD(ROW(A1); 2)=1; 1; 0)

Аналогічно заповнюємо другий стовпчик. Третій стовпчик матриці формується аналогічно матриці **b**, тільки за вихідну таблицю беруться фактичні координати точок. При формуванні четвертого стовпчика ми стикаємося з тим, що треба не тільки підставляти дані, а у деяких випадках ще й міняти їх структуру (-y_i). Тут можна скористатися або умовою IF, або перемикачем логіки CHOOSE. Синтаксис команди має такий вигляд: CHOOSE(index_num; value1; [value2]; ...). Отже, ми можемо підставити дані в залежності від порядкового номера комірки. В нашому випадку, у матриці **A** для параметра **d** у нас в першому рядку точки має бути -Y, а в другому X. Ми кажемо:

CHOOSE(MOD(...)+1; "-Y"; "X").

Якщо MOD дав 0 (перший рядок), CHOOSE вибере перший варіант. Якщо 1 — другий. Також, у цьому випадку для значень Y можна вказати таблицю тільки ігреків, а для X, відповідно, іксів.

Важливі правила роботи з матрицями в табличних редакторах:

1. Розмірність: перед введенням формули ви мусите заздалегідь виділити область порожніх комірок, яка відповідає розміру майбутньої матриці. При множенні матриць $(m \times n) \cdot (n \times k)$ результат матиме розмір $(m \times k)$.
2. Введення: оскільки ми працюємо з масивами, після введення формули натискайте не просто Enter, а комбінацію Ctrl + Shift + Enter. Табличний редактор візьме формулу у фігурні дужки { }.
3. Англійські назви: використовуйте MMULT (множення), TRANSPOSE (транспонування) та MINVERSE (обернення).

Транспонування матриці **A** (**A**^T):

- Розмірність: якщо **A** має 16 рядків і 4 стовпці, то **A**^T матиме 4 рядки і 16 стовпців;
- Формула: =TRANSPOSE(діапазон_A)
Обчислення матриці нормальних рівнянь $\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A}$

- Розмірність: результат завжди буде квадратним — 4×4 .
- Формула: =MMULT(діапазон_A^T; діапазон_A)
Обернення матриці N^{-1}
- Розмірність: Квадратна матриця 4×4 .
- Формула: =MINVERSE(діапазон_N)

Самоперевірка для студентів:

- якщо ви виділили замало комірок — ви побачите лише частину даних;
- якщо ви виділили забагато комірок — у "зайвих" з'явиться помилка #N/A;
- якщо ви забули Ctrl+Shift+Enter — відобразиться лише одне число замість масиву;
- масштабний коефіцієнт: Після отримання вектора x , перевірте $m = \sqrt{c^2 + d^2}$. Якщо він близький до 1,000, ваші розрахунки з великою ймовірністю правильні.

Практичний алгоритм дій для студента:

1. У полі: зняти марки основи (4 шт.) та колони (2-4 шт.) у СК приладу.
2. В САД: побудувати ідеальну сітку осей з «круглими» координатами, експортувати теоретичні координати точок на колонах.
3. В Excel:
 - автоматично сформувати матриці A та b .
 - Обчислити параметри a, b, c, d .
 - Визначити масштаб $m = \sqrt{c^2 + d^2}$ (має бути близьким до 1,000).
 - Оцінити похибку m_0 (якщо вона перевищує допуск $m_{доп.} = 0,035m$, перевірити правильність знімання центрів колон).
4. Трансформація: застосувати отримані параметри до координат марок основи. Отримані значення і будуть їхніми координатами у будівельній системі об'єкта.

Результат

Студент має представити:

1. Відомість польових вимірювань.
2. САД-кресленик з нанесеними фактичними та теоретичними точками.
3. Табличний файл з автоматизованим розрахунком матриць та параметрів.
4. Висновки щодо точності отриманого приведення на основі величини m_0 .
5. Координати точок основи в будівельній системі координат (необхідні для виконання наступних практичних робіт).

Лабораторна робота №5.

Оптимізація трансформації координат алгоритмом Кабша-Умеями та порівняльний аналіз точності

Мета роботи

Вивчити алгоритм жорсткої трансформації (Kabsch-Umeyama), реалізувати його за допомогою веб-застосунку для розкладу матриць за сингулярними числами. Порівняти класичне 2D-перетворення Гельмерта з алгоритмом Кабша-Умеями для оцінки стабільності масштабного коефіцієнта та збереження геометрії об'єкта.

Етап 1. Реалізація алгоритма Кабша-Умеями

На відміну від лінеаризованого методу Гельмерта з ЛР №4, алгоритм Кабша-Умеями розв'язує задачу знаходження оптимальної матриці повороту R та вектора зсуву T шляхом мінімізації середньоквадратичного відхилення. В математичній моделі розв'язку прийнято такі позначення: P – вихідна система (польові вимірювання), Q – цільова система (теоретичні точки). Кроки алгоритму:

1. Центрування: обчислення центроїдів польових (P) та теоретичних (Q) точок. $\mu_P = \begin{pmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{pmatrix}$, $\mu_Q = \begin{pmatrix} \bar{X} \\ \bar{Y} \end{pmatrix}$.
2. Віднімання центроїдів від кожної точки: $P'_i = P_i - \mu_P$, $Q'_i = Q_i - \mu_Q$; результат в табличному редакторі – дві таблиці (матриці) розміром $n \times 2$ (де n — кількість точок).

3. Обчислення матриці коваріації: $H = P'^T \cdot Q'$;
4. Пошук оптимального повороту через сингулярний розклад (SVD) матриці H. Сингулярний розклад або розклад матриці за сингулярними значеннями (singular values decomposition) – це загальний випадок розкладення матриці за власними значеннями. Після проведення розкладу ми отримуємо матрицю лівосингулярних векторів, діагональну матрицю сингулярних значень і транспоновану матрицю правосингулярних векторів: $SVD(H) = [U \ \Sigma \ V^T]$;

5. Розрахунок матриці повороту (R). Матриця повороту обчислюється як: $R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix} = V \cdot d \cdot U^T$;

у цій формулі d – перевірка на віддзеркалення. Якщо визначник $\det(V \cdot U^T) < 0$, то $d = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$, інакше $d = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$. Результат – матриця R (2×2). Якщо d додатна, то це значення можна виключити з формул визначення матриці повороту і масштабного коефіцієнту.

Геометричний зміст матриці R: $r_{11} = r_{22} = \cos\theta$, $r_{12} = -\sin\theta$, $r_{21} = \sin\theta$, де θ – кут повороту.

6. Розрахунок масштабного коефіцієнта (m). Масштабний коефіцієнт розраховується для подальшого аналізу, при обчисленнях його не використовуємо. Його обчислюють за виразом:

$$m = \frac{Tr(\Sigma \cdot d)}{Var(P)}$$

де Tr – слід матриці (сума діагональних елементів), а Var(P) –

сума квадратів усіх центрованих координат P'_i . Отримане значення

порівнюємо зі значенням m , отриманим у попередній лабораторній роботі.

7. Розрахунок вектора зміщення (T).

$$T = \mu_Q - R \cdot \mu_P.$$

Результат – вектор 2×1 .

Для полегшення виконання розкладу матриці за сингулярними числами було написано програму на python та імплементовано як веб-застосунок. Це приклад використання засобів програмування для вирішення інженерних задач. Адреса веб-застосунку <https://svd2dcalc.streamlit.app/> Він додатково обчислює знак визначника d для спрощення наступних розрахунків.

Етап 2. Трансформація точок

Тепер можна перерахувати будь-яку точку (включаючи марки основи) за формулою:

$$Q_{trans} = R \cdot P + T.$$

Етап 3. Оцінка точності (СКП):

Після того, як було виконано жорстку трансформацію всіх точок із параметрами R та T , необхідно оцінити якість суміщення. Для цього спочатку для кожної точки розраховуються нев'язки v – різниця між отриманими (трансформованими) координатами та теоретичними значеннями з CAD:

$$v_x = X_{trans} - X_{theor},$$

$$v_y = Y_{trans} - Y_{theor}.$$

Для оцінки загальної точності трансформації використовується формула, аналогічна тій, що була в ЛР №4, але зі зміненою кількістю ступенів свободи:

$$m_0 = \sqrt{\frac{\sum (v_{xi}^2 + v_{yi}^2)}{2n - k}},$$

де в чисельнику під коренем – сума квадратів усіх лінійних відхилень; $2n$ – загальна кількість рівнянь (кожна точка дає 2 рівняння для X та Y); k – кількість визначених параметрів для жорсткої трансформації (2 зсуви t_x , t_y та 1 кут повороту θ). На відміну від ЛР №4, де $k=4$, тут ми не шукаємо масштабний коефіцієнт, тому $k=3$.

Етап 4. Аналітична частина

Потрібно порівняти два підходи до опрацювання одного і того ж об'єкта. Для контролю геометрії необхідно розрахувати відстань L між двома найвіддаленішими точками:

- в польових умовах (ЛР №4);
- після МНК-трансформації (ЛР №4);
- після трансформації Кабша-Умеями (ЛР №5).

Також потрібно заповнити порівняльну таблицю за результатами двох методів:

| <i>Параметр порівняння</i> | <i>Польові значення</i> | <i>Метод Гельмерта (ЛР 4)</i> | <i>Алгоритм Кабша-Умеями</i> |
|--|-------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Масштабний коефіцієнт | - | | |
| СКП одиниці ваги (m_0), мм | - | | |
| Макс. відхилення в точці V_{\max} , мм | - | | |
| Відстань між крайніми точками (L), м | | | |

Результат

Студент має представити:

1. Табличний файл з розрахунком матриць та параметрів перетворення.
2. Висновки щодо точності отриманого приведення на основі величини m_0 .
3. Координати точок основи в будівельній системі координат (необхідні для виконання наступних практичних робіт).
4. Порівняльна таблиця: масштаб m , СКП m_0 та контрольна відстань L для двох методів.
5. Аргументовану відповідь на питання: «Який метод трансформації краще застосовувати для даного об'єкта реконструкції і чому?»

Лабораторна робота №6.

Висотне обґрунтування об'єкта та оформлення акта приймання геодезичної розмічувальної основи

Мета роботи

Навчитися передавати висотні відмітки на пункти планової основи методом геометричного нівелювання та оформлювати виконавчу документацію згідно з вимогами ДБН В.1.3-2:2010.

Правило знаків для відліків за рулеткою

Щоб не заплутатися у формулах, ми вводимо єдине правило для запису відліку R .

Додатний відлік (+R): рулетка встановлена «нулем» на точку і спрямована вгору до візирного променя нівеліра. Це стандартний випадок для точок на підлозі або землі.

Від'ємний відлік (-R): Рулетка закріплена «нулем» на точку і спрямована вниз до візирного променя нівеліра. Це типово для точок на стелі, нижніх гранях балок або високо розташованих марок.

Розрахункові формули

Визначення горизонту приладу (ГП). Горизонт приладу — це висота візирного променя нівеліра. Він розраховується через відмітку репера (H_{Rp}) та відлік по рулетці на ньому (R_{Rp}):

$$ГП = H_{Rp} + R_{Rp}.$$

Зверніть увагу, що якщо репер знаходиться на підлозі, R_{Rp} буде зі знаком «+». Якщо репер закріплений високо на стіні чи балці і ми тягнемо рулетку вниз – R_{Rp} буде зі знаком «-».

Знаючи ГП, ми можемо знайти відмітку будь-якої точки, знаючи відлік по рулетці на ній (R_i):

$$H_i = ГП - R_i.$$

Розрахунки оформити у вигляді таблиці за зразком:

| № точки | Відлік R (мм) | Відмітка H (м) |
|---------|-----------------|------------------|
| Rp1 | +1250 | 100,000 |
| ГП | - | 101,250 |
| M1 | +1422 | 99,828 |
| M2 | -856 | 102,106 |
| ... | ... | ... |

Оформлення Акта за ДБН В.1.3-2:2010

Студент має заповнити форму «Акт приймання геодезичної розмічувальної мережі будівельного майданчика» (Додаток Г). Реквізити для заповнення:

- Об'єкт: реконструкція навчального корпусу;
- Замовник: КНУ імені Тараса Шевченка;
- Відповідальний від замовника: прізвище викладача;
- Виконавець: БМУ ГТЗ-4;
- Відповідальний від виконавця: ПІБ студента.

Зміст акта: в акті вказується, що планово-висотна основа відповідає проекту, закріплена надійними знаками (марками) і придатна для виконання розмічувальних робіт. Також обов'язково вказуються додатки з повною назвою.

Графічні додатки та каталог

До Акта обов'язково додаються два документи, які студент формує на основі результатів лабораторних робіт №№ 4, 5, 6.

1. Каталог координат і висот

Зведена таблиця, що об'єднує планові координати з ЛР №5 та висоти з ЛР №6. Зразок таблиці:

| № точки | X | Y | H |
|---------|---------|---------|--------|
| T1 | 203,644 | 504,596 | 1,078 |
| T2 | 206,043 | 494,333 | 1,059 |
| ... | ... | ... | ... |
| Rp1 | - | - | ±0,000 |

2. Схема розташування пунктів

На основі кресленика з ЛР №4-5 студент оформлює схему:

1. *Умовні знаки:* репер виділяється окремим символом (згідно з умовними знаками), марки — стандартними точками.
2. *Підписи:* біля кожної точки у вигляді дробу вказується її назва (в чисельнику) та обчислена відмітка (в знаменнику). Підписи ставляться

справа від точки. У випадку злиття двох підписів, один з них переноситься в сторону, щоб забезпечити читабельність схеми.

3. *Осі*: обов'язково наносяться осі та ряди будівлі з підписами. Між осями та рядами проставляються відстані, одна вісь і один ряд підписуються значеннями їх координат.

Зразок оформлення схеми наведено на Рис. 1.

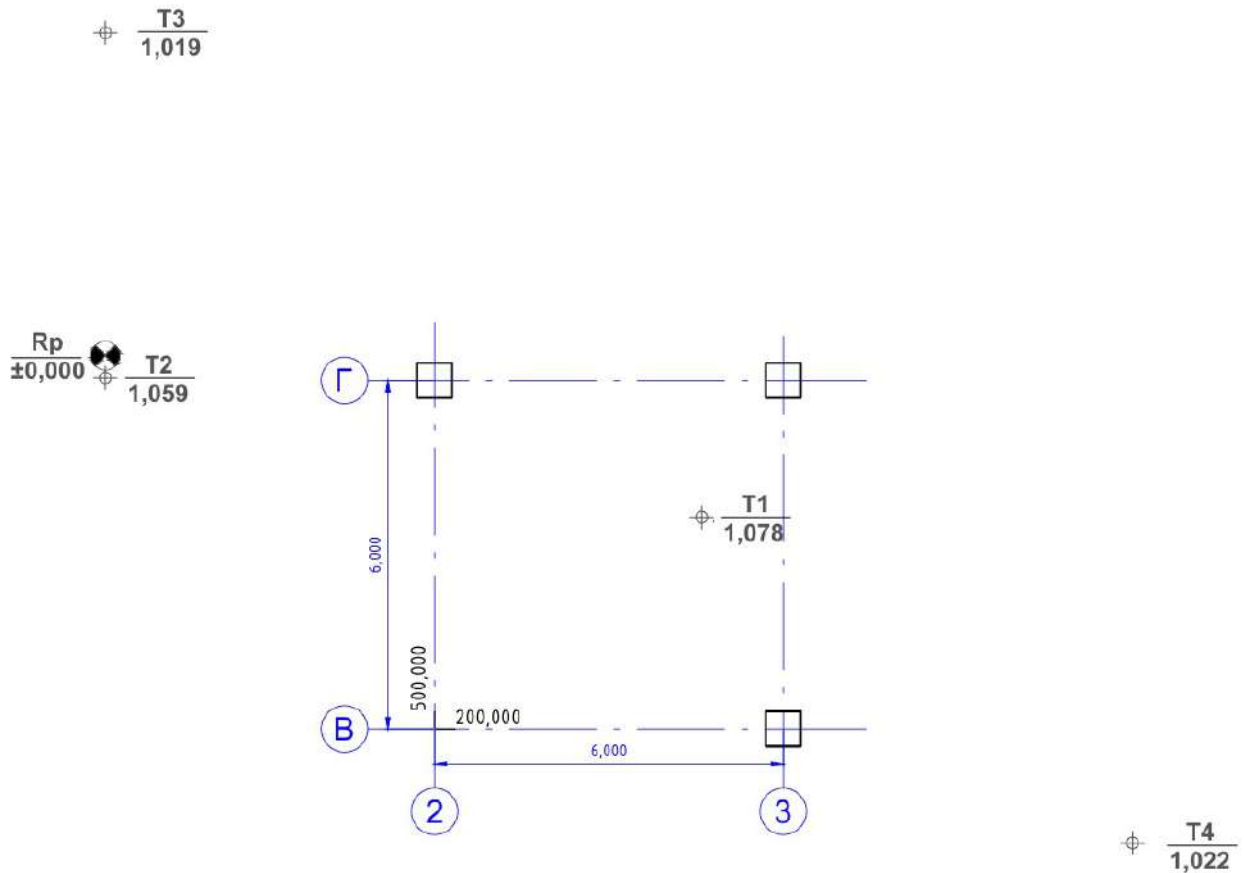


Рис. 1. Зразок оформлення Додатку 2.

Результат

Студент має представити:

1. Розрахункову таблицю нівелювання; дані вимірювань рулеткою з урахуванням знаків («+» – вгору, «-» – вниз); розрахунок горизонту приладу (ГП) та відміток усіх точок (H_i).
2. Заповнений АКТ приймання геодезичної розмічувальної мережі, виконаний за формою Додатка Г ДБН В.1.3-2:2010 з усіма підписами сторін (Замовник – викладач, Виконавець – студент).
3. Додаток 1. Каталог координат і висот. Зведена таблиця, де поєднано планові координати з ЛР №4, 5 та висотні відмітки з ЛР №6.
4. Додаток 2. Схема планово-висотної основи. Кресленик із нанесеними пунктами, репером та осями будівлі. Біля кожного пункту мають бути підписи назви та відмітки.

Запитання для самоперевірки

1. Як вплине нахил рулетки (відхилення від вертикалі) на точність визначення відмітки точки?
2. Яке призначення Акта приймання розмічувальної мережі згідно з ДБН В.1.3-2:2010?
3. Чому для висотних позначок на об'єкті реконструкції важливо використовувати саме абсолютні відмітки (від репера), а не умовні?

Лабораторна робота №7.

Геодезична підготовка проєкту: аналітичний та графічний розрахунок координат розмічувальних точок та винесення їх в натуру

Мета роботи

Навчитися розраховувати проєктні координати конструктивних елементів (анкерних груп, кутів колон) двома незалежними способами для забезпечення контролю правильності даних. Реалізувати проєкт на місцевості, використовуючи метод вільної станції та розраховані координати.

Вихідні дані

Точка перетину осей: кожен студент використовує свій перетин (наприклад, Ряд А / Вісь 1), для якого в ЛР №4 було призначено «круглі» координати (наприклад, $X=200,000$, $Y=500,000$). Викладач надає схему анкерної групи (наприклад, 4 болти навколо центру колони з відступами ± 125 мм та ± 100 мм) і перетин осей, відносно яких потрібно розрахувати координати. Зразок кресленика вихідних даних наведено на Рис. 2.

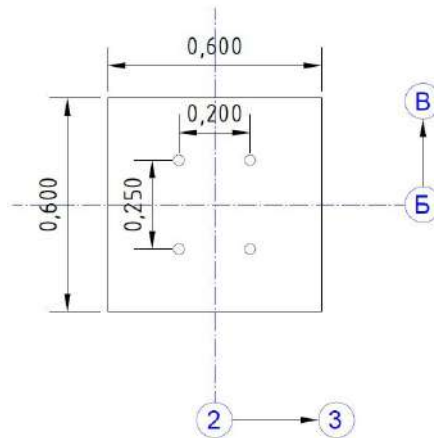


Рис. 2. Зразок кресленика вихідних даних

Етап 1: Аналітичний розрахунок

Студент має розрахувати планові координати (X , Y) кожної точки (болта або кута) за формулами зміщення відносно перетину осей.

Для цього спочатку визначаються координати потрібного перетину осей. Якщо перетин А-1 має координати 200,000; 500,000, а крок рядів і осей складає 12 м, то координати перетину X_i , Y_i визначаються як

$$X_i = X_0 + n \cdot d_x; Y_i = Y_0 + n \cdot d_y,$$

де X_0, Y_0 – координати відомого перетину осей, d_x, d_y – крок рядів і осей (зазвичай, $d_x = d_y$), n – кількість кроків рядів/осей.

Для нашого випадку $n=1$, $dX = dY = 12,000$ м. Отже, $X_B=212,000$ м, $Y_2=512,000$ м.

Після цього розраховуються координати елементів, що підлягають виносу. Для нашого випадку (Рис. 2), коли нанесено розміри між самими елементами, ми виходимо з принципу симетричності конструкцій. Таким чином, зміщення від ряду (по X) і зміщення по осі (по Y) складе:

$$\delta_x = 0,250/2 = \pm 0,125 \text{ м,}$$

$$\delta_y = 0,200/2 = \pm 0,100 \text{ м.}$$

Розраховуємо координати анкерів і зводимо дані у таблицю. Нумерація елементів у таблиці умовна.

| № | X | Y |
|---|---------|---------|
| 1 | 212,125 | 511,900 |
| 2 | 212,125 | 512,100 |
| 3 | 211,875 | 512,100 |
| 4 | 211,875 | 511,900 |

Координати кутів колон обчислюються аналогічно.

Етап 2: Графічний розрахунок у CAD

Для контролю аналітичних розрахунків студент виконує витягування координат безпосередньо з кресленника.

- У середовищі AutoCAD студент будує потрібний перетин осей (у разі його відсутності) і детальну схему анкерної групи навколо обраного перетину осей. Анкери можна креслити як кола невеликого (0,01-0,03 м) радіусу або точками при умові зміни стилю точок.
- Використовуючи інструмент DATAEXTRACTION, потрібно отримати список координат усіх точок.
- Порівняння: Координати, отримані графічно, мають збігатися з аналітичними до 1 мм.

Етап 3: Польове винесення в натуру координатним способом

Завдання:

- встановити тахеометр у зручному місці та виконати обернену засічку за марками основи, координати яких були отримані в ЛР №5;
- винести в натуру розраховані координати анкерів/кутів колон через функцію «Винос в натуру»;
- закріпити точки на місцевості та провести контрольне промірювання відстаней між ними рулеткою для перевірки внутрішньої геометрії групи.

Результат

1. Таблиця з порівнянням аналітичних та графічних координат.
2. Роздрукована розмічувальна відомість для польових робіт.
3. Скріншот з CAD з наявними осями та детальною схемою вузла.

4. Закріплені на місцевості точки.

Запитання для самоперевірки:

1. Чому важливо рахувати координати двома способами перед виходом у поле?
2. Як зміниться координата X анкера, якщо він зміщений на 200 мм на Північ у геодезичній системі координат, але ви працюєте в САД?
3. Яку точність (кількість знаків після коми) слід виставляти в САД для підготовки розмічувального креслення?
4. Як розрахувати допустиму нев'язку відстаней між винесеними в натуру точками?

**Лабораторна робота №8.
Розмічування конструкцій способом базової лінії**

Мета роботи

Навчитися використовувати функціонал тахеометра «Базова лінія» для розрахунку та винесення проєктних точок через лінійні відступи від головних осей об'єкта будівництва або реконструкції.

Вихідні дані та підготовчий етап (в полі)

1. Студенти використовують ті самі вихідні дані, що і в роботі № 7.
2. Встановлення приладу: виконати вільну станцію (обернену засічку) за марками ПВО, координати яких отримані в попередніх лабораторних роботах.
3. Визначення базової лінії: в меню тахеометра обрати функцію «Базова лінія». Задати точку 1 (початок): перетин осей (наприклад, Б/2, в залежності від вихідних даних). Задати точку 2 (кінець): точка на тій самій осі (наприклад, Б/3).
4. Тепер вісь А прийнята приладом за вісь абсцис (X або Довжина), а перпендикуляр до неї — за вісь ординат (Y або Зміщення).

Задача № 1:

Розрахунок та винесення точок за параметрами. Ця задача імітує ситуацію, коли у геодезиста є лише монтажна схема з відступами від осей, але немає готового списку координат.

Алгоритм:

1. В меню «Базова лінія» обрати підпункт «Точка».
2. Ввести проєктні параметри для кожного анкера/кута колони:
 - Довжина: відстань від початку лінії (точки 1) вздовж осі (назад – мінус, вперед – плюс).
 - Зміщення: перпендикулярний відступ (вліво або проти годинникової стрілки – мінус, вправо або за годинниковою стрілкою – плюс).

3. Прилад автоматично обчислить координати та перейде в режим винесення в натуру.

Результат: Студент виносить 4 точки анкерної групи та фіксує їх на місцевості.

Задача № 2:

Винесення допоміжних осей на суміжні конструкції. Найбільш затребуваний метод на будівництві – перенесення осі на стіни, колони або обнесення для подальшого контролю монтажу.

Алгоритм:

Використовуючи ту саму базову лінію, студент має винести створ осі за межі плями забудови.

Якщо базову лінію задано вздовж цифрової осі і винести треба саме її, то після наведення на місце виносу потрібно контролювати величину *зміщення* від базової лінії. Наприклад, якщо після вимірювання точки прилад показав зміщення $-0,048$, це значить, що треба навестися на точку, яка знаходиться правіше відносно осі на 48 мм. Аналогічно, якщо прилад показав зміщення $+0,017$, треба навести на точку, що знаходиться лівіше відносно осі на 17 мм. Після наведення потрібно провести повторне вимірювання.

Якщо базову лінію задано вздовж цифрової осі і винести треба ряд (перпендикулярно), то після наведення на місце виносу потрібно контролювати величину *довжини* базової лінії. Наприклад, якщо після вимірювання точки прилад показав довжину $-0,054$, це значить, що треба навестися на точку, яка знаходиться правіше відносно ряду на 54 мм. Аналогічно, якщо прилад показав довжину $+0,049$, треба навести на точку, що знаходиться лівіше відносно ряду на 49 мм. Після наведення потрібно провести повторне вимірювання.

Так, методом послідовних наближень знаходять положення осі на місцевості. Схему роботи з базовою лінією наведено на Рис. 3.



Рис. 3. Схема роботи з базовою лінією
Аналогічним способом виносяться осі колон, анкерних груп і т.п.

Зміщення базової лінії

Якщо потрібно винести вісь паралельно заданій базовій лінії, можна вказати зміщення базової лінії. Наприклад, при параметрах будівельної сітки, вказаних у ЛР №7, після винесення осі 2 можна вказати зміщення 12,000 і виносити вісь 3, або вказати зміщення -12,000 і виносити вісь 1.

Результат

Студент здає короткий звіт у вільній формі з параметрами базової лінії (координати точок 1/2), таблицю винесених точок з вказаними параметрами довжини та зміщення.

Запитання для самоперевірки

1. Чим зручніший метод «Базової лінії» порівняно з винесенням за координатами?
2. Яка точка приладом вважається початком координат при роботі з базовою лінією?
3. Наведіть приклад, коли може бути корисною функція повороту базової лінії?
4. Як ви вважаєте, з якою точністю потрібно виносити осі методом базової лінії?

Лабораторна робота №9.

Виконавче знімання змонтованих конструкцій

Мета роботи

Отримати фактичні дані про положення конструкцій (колон) для подальшого порівняння з проектом. Навчитися автоматизувати процес створення виконавчої документації згідно з ДСТУ/ДБН.

Етап 1. Польові роботи

Орієнтування: встановлення приладу методом вільної станції за марками ПВО (використовуючи каталог із ПР №6). Точку стояння вибирати приблизно, під кутом 45° до будь-якої площини колони.

Знімання: для кожної колони зняти мінімум 4 точки в основі («низ») та 4 точки у верхній доступній частині («верх»). Точки знімаються на двох взаємно перпендикулярних площинах, видимих з точки стояння, по 2 на площину. Схему точок для знімання наведено на Рис. 4.

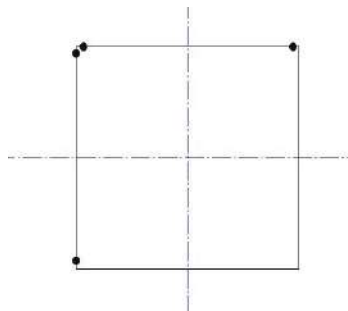


Рис. 4. Схема розташування точок для виконавчого знімання

Зверніть увагу, що у зв'язку з фізикою вимірювання відстані (розсіювання лазерного променя) не можна наводитись на самий край колони. При наведенні відступайте 5-10 мм від краю в сторону центра.

Етап 2. Камеральні роботи

Завантаження точок в CAD

Після завантаження точок з приладу потрібно підготувати їх для експорту. Один із найшвидших способів масового завантаження точок в AutoCAD без використання сторонніх LISP-додатків – використання SCR-файлів (скриптів). Основний принцип скрипту полягає в тому, що AutoCAD сприймає текст у файлі як послідовність команд, які ви вводите в консоль вручну.

Для малювання точок зазвичай використовується команда `_POINT` (або `_MULTIPLE_POINT` для багатьох точок).

Зверніть увагу, що для пришвидшення подальшої обробки, краще сформувані два файли скрипта – один для точок верху і один для точок низу.

Створення скрипта AutoCAD:

- скопіюйте координати у звичайний Блокнот або інший редактор текстових файлів;
- збережіть файл з розширенням `.scr` (наприклад, `points.scr`);
- переконайтеся, що дотримано всіх вимог до форматування і змісту;
- перед завантаженням налаштуйте вигляд точок командою `_PTYPE`, інакше вони можуть бути непомітними;
- в AutoCAD просто перетягніть файл мишкою прямо у вікно моделі або введіть команду `SCRIPT` і виберіть файл.

Вимоги до форматування.

Щоб AutoCAD не видав помилку, перевірте файл за цими пунктами:

- Перший рядок: команда створення багатьох точок – `_MULTIPLE_POINT`;
- Десятковий роздільник: тільки крапка (наприклад, `50.75`). Кома зарезервована для розділення координат;
- Роздільник координат: тільки кома (наприклад, `X,Y`), без пробілів;
- Кодування: зберігайте файл у форматі ANSI або UTF-8;
- Порожні рядки: будьте обережні з зайвими пробілами в кінці рядків – AutoCAD сприйме їх як повторне натискання `Enter`, що може перервати виконання команди;
- Останній рядок: В кінці файлу обов'язково залиште один порожній рядок (`Enter`), щоб підтвердити останню введену координату.

Зразок змісту файла скрипта:

```
_MULTIPLE_POINT  
100.50,200.00,0  
110.20,210.50,0  
125.00,230.15,0
```

Увага! Не забувайте про напрямки осей і порядок координат!

У новому файлі AutoCAD створіть два шари для точок низа і верха колон. Мова названих шарів не має значення. При використанні кирилических назв шарів, уникайте використання літери «б». Завантажте точки у відповідний шар і збережіть файл для подальшого опрацювання.

Створення шаблону AutoCAD

Створення власних шаблонів (.dwt) в AutoCAD для геодезичних виконавчих знімачів – це інвестиція часу, яка окупається вже після перших кількох виконавчих схем. Вона дозволяє перейти від "малювання" до професійного проектування та документування.

Основні переваги використання шаблонів:

1. Стандартизація та дотримання ДБН. Виконавча документація має чіткі вимоги до оформлення. Шаблон дозволяє один раз налаштувати все згідно з нормами (наприклад, ДБН А.2.1-1:2014):
2. Типи ліній та символи. Створення специфічних умовних знаків для точкових і лінійних об'єктів.
3. Текстові та розмірні стилі. Налаштування висоти шрифту (2,5 мм, 3,5 мм тощо) та засічок, які не змінюються від кресленика до кресленика.
4. Налаштовані аркуші (Layouts). Попередньо створені листи необхідних форматів з уже вставленими рамками та штампами.
5. Робота з шарами (Layer Management). Це одна з найбільших переваг. У шаблоні ви заздалегідь створюєте структуру шарів.
6. Колір та товщина. Кожному шару призначається своя товщина лінії і колір для коректного друку.

Для створення шаблону можна створити новий файл або використати існуючий. У випадку редагування файлу не забудьте попередньо увімкнути видимість усіх шарів і видалити зайві елементи. Для редагування підійде файл, який ви створювали для Додатка 2 до ЛР №6.

Алгоритм створення шаблону:

- створіть усі необхідні шари (осі, підписи осей, конструкції, точки низу, точки верху, розміри і т.д.);
- створіть і налаштуйте текстові та розмірні стилі (щонайменше, один текстовий і один розмірний);
- створіть і налаштуйте необхідні типи ліній;
- призначте шарам необхідні кольори, товщини і типи ліній;
- створіть аркуш (Layout) альбомної або книжкової орієнтації з рамкою і штампом, заповніть постійні значення в штампі;
- переконайтеся, що в моделі залишилися тільки потрібні дані, наприклад, осі і конструктив;
- збережіть файл командою Save as, у полі формат виберіть AutoCAD drawing template (.dwt), програма автоматично відкриє теку з шаблонами, назва шаблону – на ваш розсуд.

Тепер при створенні нового файлу і виборі шаблону можна вибрати створений шаблон з налаштованими стилями, шарами, лініями, аркушами.

Оформлення виконавчого креслення

Створіть новий файл з використанням вашого шаблону. Скопіюйте туди точки, імпортовані раніше. Для цього відкрийте файл з точками, виберіть все (Ctrl+A), скопіюйте в буфер обміну і вставте у новий файл з тими ж координатами (Paste – Paste to original coordinates). Зверніть увагу, що точки залишаться у тому ж шарі, в якому були в оригінальному файлі. Тому якщо назви шарів у файлі з точками і шаблоні не збігаються, перенесіть точки у потрібний шар (за допомогою Select similar і Properties).

Для попередньої підготовки креслення варто виокремити фрагмент, який підлягає оформленню. Для цього можна скористатися командою EXTRIM, яка обрізає зображення ззовні або всередині вибраної рамки. Спочатку накресліть рамку командою Rectangle (як показано на Рис. 5). Потім введіть EXTRIM, виберіть рамку і вкажіть точку ззовні рамки. Після обрізки рамку можна видалити.

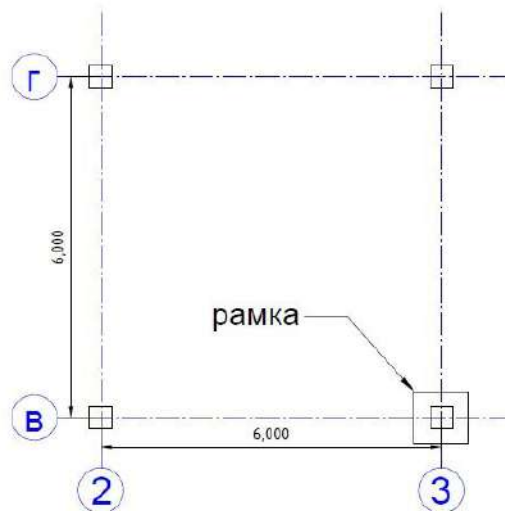


Рис. 5. Виокремлення фрагмента креслення для подальшого оформлення

Для забезпечення читабельності виконавчого креслення, відхилення низа і верха варто робити окремо. Для цього на одному кресленку створюється два однакових блоки, кожен зі своїми знятими точками. Вимкніть видимість точок верха і низа, скопіюйте весь блок вправо на 1 чи 1,5 м. Відстань копіювання вибирається так, щоб два блоки не перекривалися і не були занадто далеко один від одного. Потім увімкніть видимість точок верха, виділіть їх (вибрати одну, потім Select similar) і перенесіть вправо на ту саму відстань, на яку копіювали блок. Увімкніть точки низа. В результаті у вас має вийти два однакових блоки з точками низу на правому і точками верху на лівому.

Якщо колона має розміри 600 на 600 мм і симетрична відносно перетину осей, то теоретичні відстані від осі до края колони всюди складатимуть 0,300 м. Враховуючи, що у нас є точки фактичного положення колони, нам потрібно оформити ці розміри у вигляді розмірної лінії з двома значеннями: фактичний

розмір над лінією і теоретичний розмір 0,300 в дужках під лінією. Для вказання фактичних і теоретичних розмірів можна скористатися функцією Text override у властивостях розміру і службовими командами програми.

Алгоритм дій:

- вибрати або створити такий стиль розміру, щоб стрілки і текст були співмірні розміру блока;
- переконатися, що вирівнювання тексту налаштовано по вертикалі по центру (Text placement – Vertical - Centered), а зміщення від розмірної лінії (Offset from dim line) – 0;
- проставити паралельні розміри від осей, паралельних площинам колони до точок на цих площинах (всього 8 розмірів – по 4 на кожен блок);
- вибрати всі розміри і на вкладці налаштувань Text в поле Text override ввести «<>\X(0,300)» (без лапок);
- всі розміри стануть такими, як потрібно.

Пояснення команди:

- кутові дужки < > говорять програмі вставити значення за замовчуванням (в даному випадку, виміряну горизонтальну або вертикальну відстань);
- \X вводить новий рядок знизу, на який ми переходимо;
- (0,300) – текст, що вставляється у новий рядок.

Таким чином, ми ніби говоримо програмі: встав фактичний розмір, який ми виміряли, перейди на новий рядок і встав там значення теоретичного розміру в дужках. За допомогою такого підходу наш розмір завжди показує фактичну відстань і дає можливість редагувати теоретичну відстань, що досить зручно при великій кількості таких розмірів.

Остаточне оформлення виконавчого кресленика для задачі:

Перед друком треба переконатися, що на кресленик нанесено усі розміри, нанесено і підписано осі, суміжні осі, підписано верх і низ, заповнено штамп і примітки, точки закрито для друку. Зразок оформлення наведено на Рис. 6.

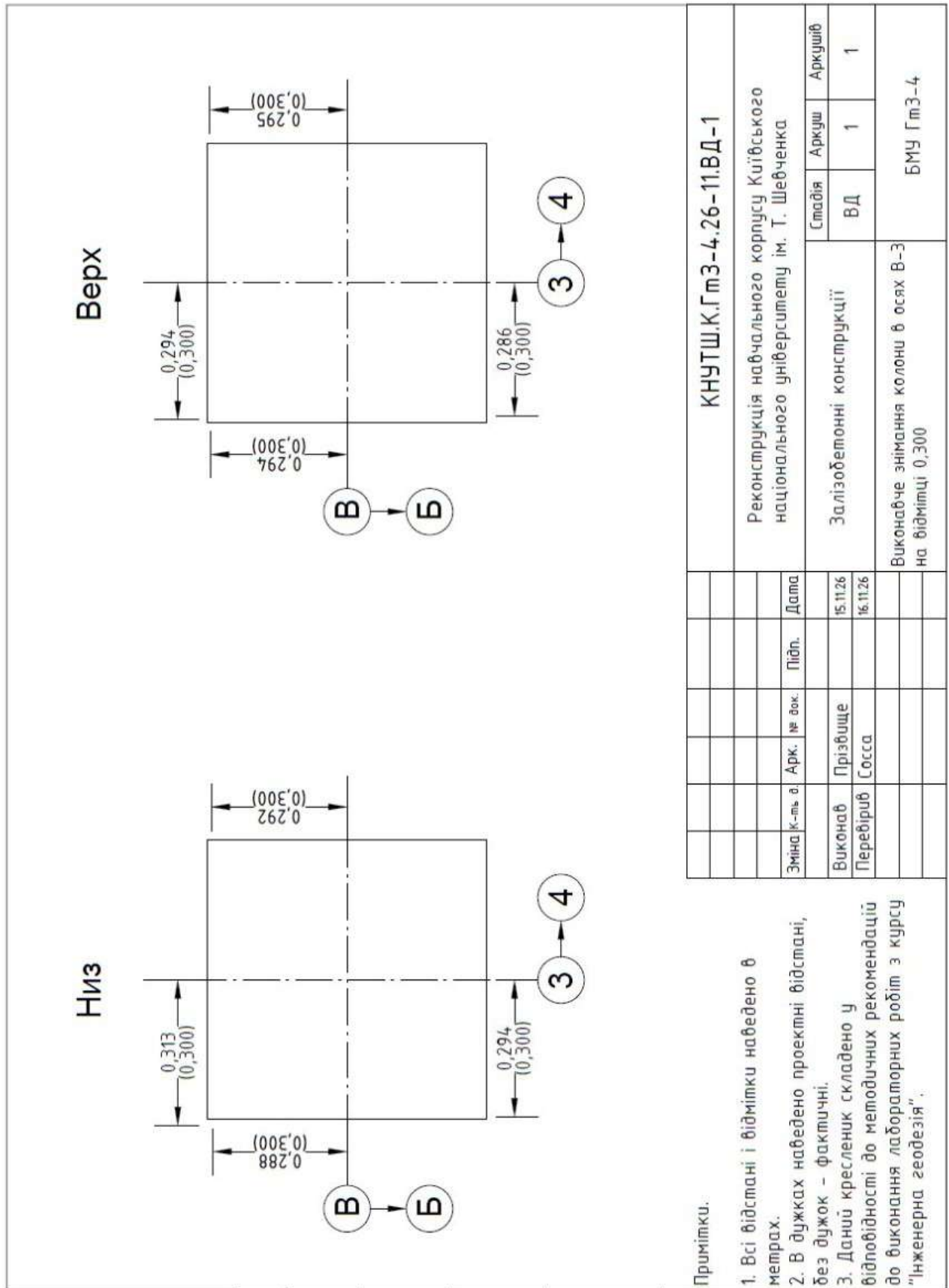


Рис. 6. Зразок оформлення виконавчого кресленника

Результат

Студент здає файл з точками верха і низа колон в різних шарах у форматі .dwg, шаблон кресленника у форматі .dwt, виконавчий кресленик у форматі .pdf.

Запитання для самоперевірки

1. Чому при підготовці виконавчої схеми важливо залишати проектне значення динамічним (за допомогою символів \triangleleft)?
2. Для чого у шаблоні виконавчого кресленника створюються окремі шари (Осі, Проект, Факт, Відхилення)?
3. Чому для оформлення виконавчих схем не рекомендується використовувати команду «Розчленувати» (Explode) для розмірів?

Лабораторна робота №10.

Геодезичний моніторинг: розрахунок складних деформацій конструкцій (крен та кручення)

Мета роботи

Навчитися аналізувати просторове положення конструкцій, розраховувати вектори крену та кути кручення перерізів колон на основі даних виконавчого знімання.

Математична модель аналізу

Оскільки в попередній лабораторній роботі для кожної колони знято по 4 точки на нижньому перерізі (Н) та 4 точки на верхньому (В), ми розглядаємо колону як об'ємний об'єкт. У цьому випадку ми можемо визначити складні деформації конструкцій аналітичним або графічним способом.

Етап 1. Розрахунок центрів перерізів і визначення крену

Координати центрів: для нижнього перерізу $X_{н_ц}$, $Y_{н_ц}$) та верхнього ($X_{в_ц}$, $Y_{в_ц}$) обчислюються як середнє арифметичне координат 4-х точок відповідного зрізу. Вектор крену: $\Delta X = X_{в_ц} - X_{н_ц}$, $\Delta Y = Y_{в_ц} - Y_{н_ц}$.

Величина повного крену:

$$K = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}.$$

Задачі:

1. Порівняти K із допуском $H/400$.
2. Обчислити дирекційний кут крену в будівельній системі координат.

Етап Б. Аналіз кручення

Кручення — це поворот верхнього перерізу відносно нижнього навколо вертикальної осі. Потрібно розрахувати крен та кручення окремо для кожної площини.

Розрахунок для кожної грані:

- обчислити дирекційний кут нижньої лінії грані А $\alpha_{нА}$ та верхньої $\alpha_{вА}$;
 - обчислити дирекційний кут для суміжної грані Б $\alpha_{нБ}$ та $\alpha_{вБ}$;
- визначення чистого кручення θ :

$$\theta_A = \alpha_{вА} - \alpha_{нА},$$

$$\theta_B = \alpha_{вБ} - \alpha_{нБ}.$$

Аналіз результатів

Якщо $\theta \neq 0$, колона закручена навколо своєї осі. Студент має визначити напрямок кручення (за годинниковою стрілкою чи проти).

Якщо $\theta_A \approx \theta_B$: маємо класичне кручення (весь корпус колони повернувся навколо своєї осі).

Якщо $\Delta\theta$ суттєва: це свідчить про деформацію перерізу (опалубку роздуло або перекосило під час заливки).

Графічне представлення результатів (візуалізація)

У звіт студент додає схему, побудовану в САД:

Суміщення контурів: накласти контур нижнього перерізу (пунктиром) на контур верхнього перерізу (суцільною лінією). Це наочно покаже і зсув (крен), і поворот (кручення).

Векторна діаграма: побудувати вектор крену від центру низу до центру верху в масштабі 10:1 для наочності відхилень. Вказати дирекційний кут і величину крену.

Результат

Студент здає відомість, у якій вказано:

- Координати центрів перерізів;
- Значення лінійного крену K та його напрямок;
- Значення кута кручення θ у мінутах або градусах для кожної грані;
- Графічну схему деформації колони;
- Інженерний висновок про деформацію конструкції.

Запитання для самоперевірки

1. Як відрізнити помилку встановлення колони в плані (зсув) від її нахилу (крен)?
2. Що критичніше для несучої здатності колони: лінійний крен K чи кутове кручення θ ?
3. Чому для визначення кручення недостатньо зняти лише по одній точці зверху і знизу?
4. Чому для перевірки вертикальності колони ми знімаємо точки саме на її гранях, а не намагаємося знайти її геометричний центр?
5. Що означає ситуація, коли кручення за однією гранню складає 5', а за іншою — 20'?
6. Якщо знімати колону не тільки зверху і знизу, а ще й посередині, чи зможемо ми визначити якісь додаткові елементи деформації конструкції?

Лабораторна робота №11.

Проектування вертикального планування та розрахунок об'ємів земляних робіт методом квадратів

Мета роботи

Навчитися аналітично визначати відмітки точок шляхом інтерполяції, розраховувати проєктні позначки та будувати картограму земляних мас.

Етап 1: Отримання та індивідуалізація вихідних даних

Кожен студент отримує відмітки 4-х кутів ділянки розміром 40 × 40 метрів (сітка 4 × 4 квадрати по 10 метрів). Персоналізація:

- $H_1(0,0) = 100,00 + 0,1 \cdot N$ (де N — номер студента)
- $H_2(0,40) = H_1 + 0,5$
- $H_3(40,40) = H_1 - 0,3$
- $H_4(40,0) = H_1 + 0,1 \cdot (30 - N)$.

Схему ділянки наведено на Рис. 7.

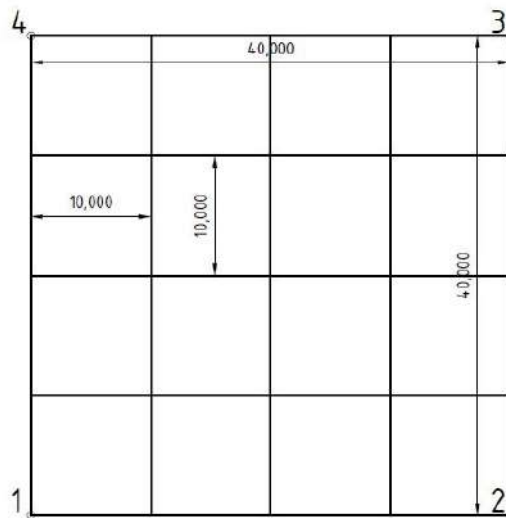


Рис. 7. Схема ділянки для розрахунку об'ємів.

Етап 2: Розрахункова частина

Для автоматизації розрахунків будуюмо матрицю 5 × 5 вузлів.

Інтерполяція «чорних» відміток (H_ϕ). Спочатку розраховуються відмітки по периметру (лінійна інтерполяція між кутами). Потім – внутрішні вузли (середнє арифметичне між відповідними точками на протилежних сторонах або лінійна інтерполяція по рядах).

Визначення «червоної» (проєктної) відмітки ($H_{пр}$). Задаємо умову нульового балансу (планування під горизонтальну площину).

$$H_{пр} = \frac{\sum H_\phi}{n} \text{ (середнє арифметичне всіх вузлів).}$$

Розрахунок робочих позначок ($h_{роб}$):

$$h_{роб} = H_{пр} - H_\phi.$$

Додатні значення — насип, від'ємні — виїмка.

Розрахунок об'ємів для кожного квадрата:

$$V = S \frac{\sum h_{роб}}{4}, \text{ де } S \text{ – площа квадрата.}$$

Для автоматизації розрахунків інтерполяції спочатку розрахуємо крок зміни відмітки. Наприклад, для верхньої межі ділянки (точки 4-3) це буде $d_{4-3} = (H_3 - H_4) / 4$. Потім обчислюємо відмітки проміжних точок $H_i = H_{i-1} + d$. Таким же способом обчислюємо відмітки внутрішніх точок.

Зверніть увагу, що якщо для обчислення чорних відміток і робочих позначок ми використовуємо сітку вузлів (5×5), то для обчислення об'ємів – сітку квадратів (4×4).

Після обчислення об'ємів в усіх квадратах, окремо рахуємо об'єми виїмки і насипу по всій сітці. Для цього в табличному редакторі можна використати функцію SUMIF(діапазон; “умова”).

Справа і знизу від сітки додаються додаткові підсумкові графи. Справа: $\Sigma V_{\text{насипу}}$ та $\Sigma V_{\text{виїмки}}$ по кожному з 4 горизонтальних рядів. Знизу: $\Sigma V_{\text{насипу}}$ та $\Sigma V_{\text{виїмки}}$ по кожному з 4 вертикальних стовпчиків.

Етап 3: Графічна частина

Накресліть сітку квадратів за розмірами. Заповніть розрахунковими даними усі вузли і квадрати. Заповнення вузлів відбувається за схемою:

- верхній правий кут: проєктна (червона) відмітка, колір Red, точність 0,00;
- нижній правий кут: фактична (чорна) відмітка, колір White/Black, точність 0,00;
- верхній лівий кут: робоча позначка, колір Blue, точність 0,00.

Для цього зручно використовувати атрибутивний блок «Вузол». Для створення такого блока спочатку створіть точку і поставте її на будь-який вузол сітки. Потім створіть три атрибути для чорної відмітки, червоної відмітки і робочої позначки через команду ATTDEF. Назви атрибутів вибирайте такі, щоб ви самі могли їх зрозуміти при заповненні. Якщо для якогось атрибуту встановити значення за замовчуванням, то його не потрібно буде кожного разу вводити. Зверніть увагу на вирівнювання тексту – для того, щоб при зменшенні або збільшенні кількості символів у значенні атрибута текст не почав наїжджати на сітку, налаштуйте вирівнювання кожного атрибута протилежно тому, де відносно вузла він знаходиться. Наприклад, для червоної відмітки, яка знаходиться зверху і справа від вузла, вкажіть вирівнювання знизу зліва (bottom left). Таким чином ваш кресленик не втратить читабельності навіть при великій кількості знаків у значення атрибута.

Тепер скомпонуйте ваш майбутній блок – підберіть висоту шрифту і трохи розсуньте атрибути так, щоб вони не знаходилися впритул до ліній сітки. Так ви зробите кресленик більш читабельним. Після завершення компоновки створіть блок із трьох атрибутів і точки з точкою прив'язки у вузлі (положення точки). Роботу з блоками описано в лабораторній роботі №4.

В центрі кожного квадрата треба вставити значення об'єму з точністю 0,000. Аналогічно вузлу, зручно створити блок з одним атрибутом – значенням об'єму. При створенні блоку зверніть увагу на правильне розташування напису

(центр квадрата), правильне вирівнювання і правильну точку прив'язки. Об'єм вказується зі знаком «+» або «-».

Лінія нульових робіт: якщо в квадраті є і насип, і виїмка, потрібно нанести лінію переходу. За знаками робочих позначок визначаємо сторони квадрату, де проходить лінія, розраховуємо відстань від однієї з точок (h_1): $x = L \frac{|h_1|}{|h_1| + |h_2|}$ на калькуляторі або в табличному редакторі.

Додатково у новому шарі накресліть дві полілінії: одна для зони виїмки і друга для зони насипу. Ці полілінії мають спільну сторону, яка проходить по лінії нульових робіт і далі продовжуються по периметру сітки. Зверніть увагу, що для правильної топології при кресленні замкненої полілінії потрібно не замикати її вибором першої точки, а після передостанньої точки вибрати команду «Замкнути» (Close) або c і Enter.

Площі (Area) цих поліліній дають нам площу виїмки і площу насипу. Контроль – сума площ виїмки і насипу дорівнює площі ділянки.

Після нанесення всіх текстів на кресленик потрібно заштрихувати виїмку і насип. Для того, щоб не вибирати велику кількість квадратів, можна відключити шар сітки і штрихувати полігони, утворені полілініями виїмки і насипу. Виїмка штрихується синім кольором, тип заливки – ANSI31 (діагональна), кут повороту 0° . Для насипу вибираємо ту ж заливку, але червоного кольору і з поворотом 90° . Якщо штриховка занадто рідка, зменшіть її масштаб і, відповідно, збільшіть, якщо занадто часта. Масштаб заливки змінюється у властивостях, вкладка Pattern – Scale.

Зверніть увагу, що контури для заливки повинні бути замкнуті, щоб штриховка лягла коректно.

Зразок оформлення квадрата наведено на Рис. 7.

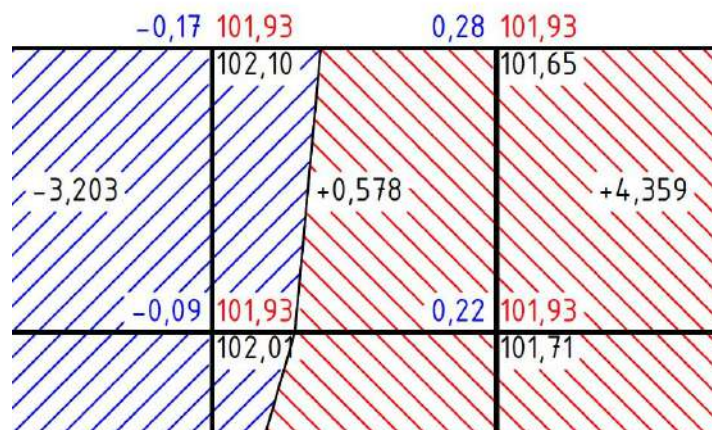


Рис. 7. Зразок квадрата з підписаними вузлами і об'ємами

На даному прикладі було використано такі параметри для форматування: висота шрифта – 0,8; масштаб заливки – 0,2.

Вставка зовнішніх таблиць в кресленик

Для фінального оформлення розрахунку об'ємів студент повинен вставити в кресленик таблицю з сумами об'ємів по рядам і стовпчикам. Для цього використовуємо команду TABLE і створюємо посилання на зовнішні дані. Перед

тим, як вставити дані варто відредагувати стиль таблиці. Введіть команду TABLESTYLE і натисніть Enter (або меню Format – Table Style).

Редагування стилю таблиці відбувається аналогічно редагуванню стилю розміру: у лівій частині вибираємо стиль (Standard) і натискаємо кнопку Modify. На що звернути увагу:

- стиль комірки для редагування – Data;
- відступи від тексту (Margins) варто зробити невеликими – 0,1-0,3;
- на вкладці Text можна налаштувати бажаний шрифт і висоту, яку рекомендовано взяти таку ж, як і висота підписів вузлів.

Вставка таблиці відбувається за допомогою команди TABLE або меню Draw – Table. Для того, щоб прив'язати таблицю до файлу, виберіть опцію From a data link і у списку виберіть Launch data link manager. Опція Create a new excel datalink дозволяє створити посилання на потрібний набір даних з таблиці. Кожен набір потрібно назвати і вказати для нього вихідний файл і діапазон даних у стандартному для табличних редакторів вигляді (наприклад, A2:B5). Таким чином ми створюємо два посилання на дані – сума об'ємів по рядах і сума об'ємів по стовпчиках сітки.

Важливе застереження! При створенні посилання (або в менеджері посилань права кнопка миші на посилання – Edit) є кнопка розширених опцій (стрілка вправо), де обов'язково треба зняти галочку з опції Use excel formatting, щоб усі вставлені таблиці містили задане форматування.

Після створення посилань вибираємо одне з них, наприклад, стовпчики і вставляємо на кресленик. Для зміни розмірів таблиці використовуйте тонкі трикутники, для переміщення – стандартні функції AutoCAD. Змініть розмір таблиці так, щоб її ширина відповідала ширині сітки і розташуйте трохи нижче або вище сітки, щоб не закривати підписи вузлів. Тепер треба вибрати саму праву комірку і через праву кнопку миші вибрати Columns – Insert right для вставлення стовпчика. Відредагуйте розмір нового стовпчика і вставте в кожному з комірок формулу суми (вкладка Insert – Formula - Sum). Аргументами вкажіть всі комірки зліва (аналогічно табличному редактору). Якщо в комірки неможливо нічого вставити, перевірте, чи не замкнена вона – вкладка Cell format – Cell locking. Після підрахунку суми перевірте формат чисел:

- три знаки після коми;
- десятковий роздільник – кома.

Формат налаштуйте через виділення комірки, права кнопка миші – Data format або через Data Format – Custom table cell format. Замінити крапку на кому можна натиснувши кнопку Additional format.

Те саме потрібно зробити з сумою рядів, але вставити справа чи зліва від сітки.

Кресленик оформити на шаблоні, створеному в лабораторній роботі №9, заповнити штамп. Зразок оформлення роботи наведено на Рис. 8.

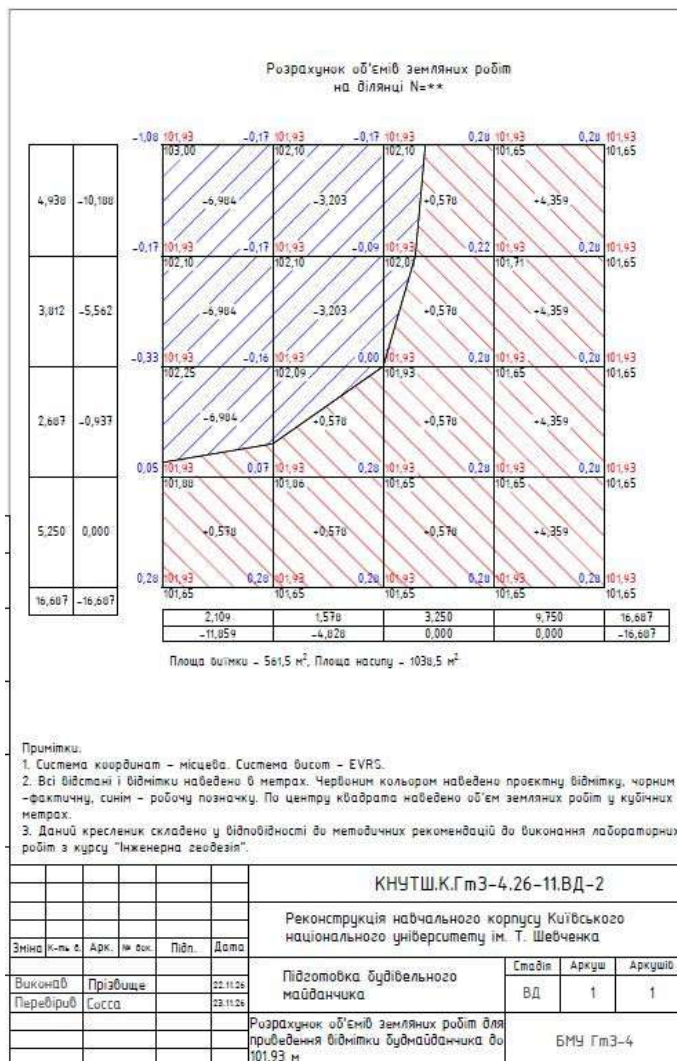


Рис. 8. Зразок оформлення лабораторної роботи №11.

Результат

1. Розрахункова частина в табличному редакторі.
2. Графічна частина в CAD зі сформованими блоками, кольоровим маркуванням та лінією нульових робіт у форматі .dwg.
3. Виконавчий кресленик у форматі .pdf.

Запитання для самоперевірки

1. Як перевірити правильність інтерполяції відміток по сітці квадратів?
2. Чому проектна відмітка, розрахована як середня арифметична «чорних» відміток, забезпечує «нульовий баланс»?
3. У яких випадках метод квадратів може давати велику похибку при розрахунку об'ємів?
4. Чому сума об'ємів по рядах має збігатися з сумою по стовпчиках, навіть якщо в розрахунках були використані різні площі?
5. Що відбудеться, якщо заштрихувати виїмку і насип до того, як підписати вузли і квадрати?

Перелік рекомендованих джерел

1. Войтенко С. П., Шульц Р. В., Самойленко О. М., Адаменко О. В, Терещук О. І., Староверов В. С., Кузьмич О. Й. Інженерна геодезія: підручник за ред. проф. С. П. Войтенка. Чернігів, НУ «Чернігівська політехніка», 2022. 700 с.
2. Баран П. І. Інженерна геодезія: монографія. Київ: ПАТ «Віпол», 2012. 617 с.
3. Schofield, W & Breach, M. (2019). Engineering Surveying (6th ed., updated). CRC Press.
4. Ogundare, J. (2015). Precision Surveying. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119147770>
5. Surveying and Geomatics Engineering: Principles, Technologies, and Applications. By Daniel T. Gillins (Editor), Michael L. Dennis (Editor), Allan Y. Ng (Editor). American Society of Civil Engineers. 2022. <https://doi.org/10.1061/9780784416037>
6. Войтенко С. П., Шульц Р. В., Кузьмич О. Й., Кравченко Ю. В. Математичне оброблення геодезичних вимірів. Київ, Знання, 2015. 654с.
7. Мороз О.І., Тревого І.С., Шевченко Т.Г. Геодезичні прилади: Навчальний посібник за редакцією Т. Г. Шевченка. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009. 484с.
8. Войтенко С. П. Інженерна геодезія. К. Знання, 2012. – 574 с.
9. Lekkerkerk, Huibert-Jan (2017). GNSS survey & engineering : handbook for surveyors and survey engineers. Lemmer, Geomares Education.
10. Електронні геодезичні прилади. Конспект лекцій /уклад. Калинич І.В., Радиш І.П., Ваш Я.І.– Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2021р. – 156 с.
11. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України. Постанова Кабінету Міністрів України від 8 червня 1998 р. №844.
12. Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII «Про метрологію та метрологічну діяльність»
13. ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 Виконання вимірювань, розрахунок та контроль точності геометричних параметрів, Київ, 2010.
14. ДБН В.1.3-2:2010 Система забезпечення точності геометричних параметрів в будівництві «Геодезичні роботи в будівництві», міністерство регіонального розвитку та будівництва України, Київ, 2010.
15. ДСТУ 8955:2019 Метрологія. Теодоліти й тахеометри. Метрологічні та технічні вимоги. – Київ. ДП «УкрНДНЦ». – 2020 р.
16. ДСТУ 8926:2019 Метрологія. Нівеліри та прилади вертикального проектування оптико-механічні, цифрові, лазерні й рейки нівелірні. Метрологічні та технічні вимоги. – Київ. ДП «УкрНДНЦ». – 2020 р.
17. Порядок топографічної зйомки у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 Затверджено Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства України 17 квітня 2025 року № 1675.