

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

*Присвячено 75 – їй річниці заснування
Ужгородського національного університету*

Калинич І.В., Ничвид М.Р., Калинич І.І.

НІВЕЛЮВАННЯ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

навчальний посібник

Ужгород 2020

УДК 528.48(075)

Калинич І.В., Ничвид М.Р., Калинич І.І.

Нівелювання. Лабораторний практикум: навчальний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2020. 88 с.

У навчальному посібнику наведено загальні відомості про геометричне нівелювання II, III та IV класів; прилади, що використовують для його виконання; робота на станції при виконанні нівелювання II, III та IV класів. Похибки та точність нівелювання; зрівноваження нівелірних ходів та мереж.

Всі наведені в навчальному посібнику приклади супроводжуються детальним викладенням порядку обчислень, багато практичних порад та рекомендацій, які допоможуть студентам отримати практичний досвід виконання польових та обчислювальних робіт.

Відомості і вказівки щодо виконання польових робіт, які містяться в навчальному посібнику дозволять використовувати його при виконанні навчальної геодезичної практики.

Посібник призначено для студентів ДВНЗ «УжНУ», які навчаються за спеціальностями «Геодезія та землеустрій» «Будівництво», «Лісове та садово-паркове господарство», а також може стати у нагоді для студентів, що навчаються за спеціальністю «Геодезія та землеустрій» в коледжі.

Лабораторний практикум містить рекомендації та вихідні дані з виконання восьми лабораторних робіт з курсу "Нівелювання".

Рецензенти:

Жиган М.В. – заступник директора з виробництва ЗРФ ДП «УкрДАГП»

Четверіков Б.В. – к.т.н., доцент кафедри фотограмметрії та геоінформатики Інституту геодезії НУ «Львівська політехніка»

Укладачі:

Калинич І.В. – доцент кафедри землевпорядкування та кадастру

Ничвид М.Р. – старший викладач кафедри землевпорядкування та кадастру

Калинич І.І. – старший викладач кафедри землевпорядкування та кадастру

*Рекомендовано до друку Вченою радою ДВНЗ «УжНУ»
(протокол №3 від 4 червня 2020 р.)*

*Рекомендовано до друку Редакційно-видавничою радою ДВНЗ «УжНУ»
(протокол №3 від 3 червня 2020 р.)*

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальні відомості про геометричне нівелювання.....	4
1.1.Методи визначення висот.....	4
1.2.Геометричне нівелювання.....	4
1.3.Способи геометричного нівелювання.....	4
1.4.Інструменти для геометричного нівелювання.....	7
1.5.Нівелірні рейки.....	9
1.6.Перевірки і юстування нівелірів Н-3 та Н-3К.....	10
1.7.Перевірки і юстування нівеліра з компенсатором Н-3К.....	12
1.8.Дослідження та перевірки нівелірних рейок.....	14
1.9.Класифікація державної нівелірної мережі.....	17
1.10. Нівелірні знаки.....	19
1.11.Нівелювання IV класу.....	23
1.12.Нівелювання III класу.....	28
1.13.Перерва в роботі при нівелюванні III і IV класу.....	31
1.14.Прив'язка нівелірних ходів до постійних знаків.....	32
1.15.Передача висот через перешкоди.....	33
1.16.Тригонометричне нівелювання.....	36
РОЗДІЛ 2. ВИСОКОТОЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ.....	38
2.1.Загальні відомості.....	38
2.2. Нівелювання II класу.....	41
ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	48
Лабораторна робота № 1 «Будова нівеліра з компенсатором».....	48
Лабораторна робота №2 «Визначення різниці нулів п'яток рейок».....	50
Лабораторна робота №3 «Нівелювання IV класу».....	51
Лабораторна робота №4 «Нівелювання III класу».....	52
Лабораторна робота № 5 «Зрівнювання перевищень нівелірних мереж методом еквівалентної заміни».....	54
Лабораторна робота №6 «Зрівноваження нівелірної мережі способом послідовних наближень(спосіб вузлів)».....	60
Лабораторна робота № 7 «Зрівнювання незалежної мережі нівелірних ходів способом В.В.Попова».....	72
Лабораторна робота № 8 «Зрівнювання нівелірної мережі з однією вузловою точкою.....	82

Розділ 1. Загальні відомості про геометричне нівелювання

1.1. Методи визначення висот

Нівелювання – це сукупність геодезичних вимірювань, які виконуються для визначення різниці висот точок земної поверхні – перевищень, а також висот точок відносно прийнятої вихідної відлікової поверхні. Нівелювання необхідне для створення висотної основи топографічних зніманих, для вивчення форм рельєфу і визначення різниці висот точок при топографічних зніманнях, проектуванні, будівництві і експлуатації різних споруд. Результати нівелювання мають важливе значення при розв’язанні наукових та практичних задач геодезії.

Для визначення перевищень застосовують геометричне, тригонометричне, барометричне і гідростатичне нівелювання.

1.2. Геометричне нівелювання

Геометричне нівелювання – це визначення висот точок горизонтальним променем. Воно виконується за допомогою нівеліра і нівелірних рейок. Геометричне нівелювання є основним методом побудови опорної висотної мережі.

Державну нівелірну мережу поділяють на I, II, III і IV класи.

Державна нівелірна мережа всіх класів є висотною основою топографічних зніманих всіх масштабів і геодезичних вимірювань, які виконуються для потреб народного господарства. Сукупність точок, висоти яких визначені із геометричного нівелювання і закріплені на місцевості спеціальними знаками, називається нівелірною мережею.

Нівелірні мережі I і II класів служать головною висотною основою, за допомогою якої встановлюється єдина система висот на всій території нашої країни, а також служать для наукових цілей.

Нівелірні мережі III і IV класів служать для забезпечення топографічних зніманих і розв’язання інженерних задач.

За початок відліку висот в нашій країні служать “0” Кронштадтського футштока.

Вихідними даними для розвитку знімальних мереж є точки, визначені з геометричного нівелювання.

1.3. Способи геометричного нівелювання

Розрізняють два способи геометричного нівелювання із середини і вперед.

Нівелювання із середини: при визначенні перевищення між точками А і В (рис.1) геометричним нівелюванням встановлюють інструмент (нівелір) на однакових відстанях між точками А і В, а над точками встановлюють вертикально рейки. Нівелір – це інструмент, в якого візирна вісь зорової труби після встановлення його на станції за рівнем, займає горизонтальне положення. Наводячи послідовно нівеліром на рейки беруть відліки a і b . Точка В,

перевищення якої визначається, називається передньою точкою, а точка А, відносно якої визначається перевищення, називається задньою. Так само називаються рейки.

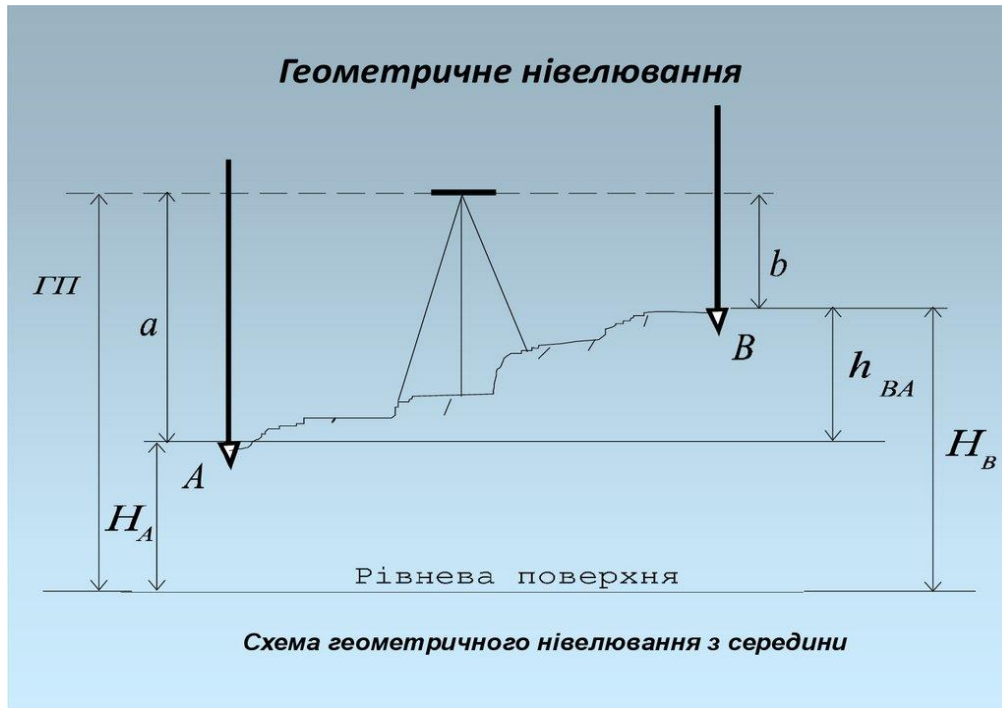


Рис.1 Нівелювання із середини

Отже, перевищення “ h ” дорівнює різниці відліків по задній і передній рейках, тобто $h=a-b$, а висота точки В дорівнює висоті точки А “ H_A ” плюс перевищення “ h ” $H_B=H_A+h$. Такий спосіб нівелювання називають нівелюванням із середини. Якщо відлік $a>b$, то перевищення буде додатним, а якщо $a<b$, то перевищення буде від’ємним. Висоту точки В можна визначити і за допомогою горизонту інструмента Γ_i (горизонту прилада ГП) “ Γ_i ” $\Gamma_i=H_A+a$; $H_B=\Gamma_i-b$.

Горизонт інструмента (прилада) – це висота горизонтального візирного променя над вихідною рівневою поверхнею і дорівнює на станції висоті задньої точки плюс відлік по рейці.

Нівелювання вперед: при геометричному нівелюванні вперед нівелір установлюють так, щоб окуляр зорової труби проектувався на точку А, а на передній точці В установлюють рейку (рис.2), беруть відлік “ b ” по рейці і міряють висоту інструмента “ i ” від центра окуляра нівеліра до точки А за допомогою рейки або рулетки. Перевищення “ h ” визначають за формулою $h=i-b$, а висота точки В визначається за формулою $H_B=H_A+h$, або за допомогою горизонту інструмента: $\Gamma_i=H_A+i$; $H_B=\Gamma_i-b$.

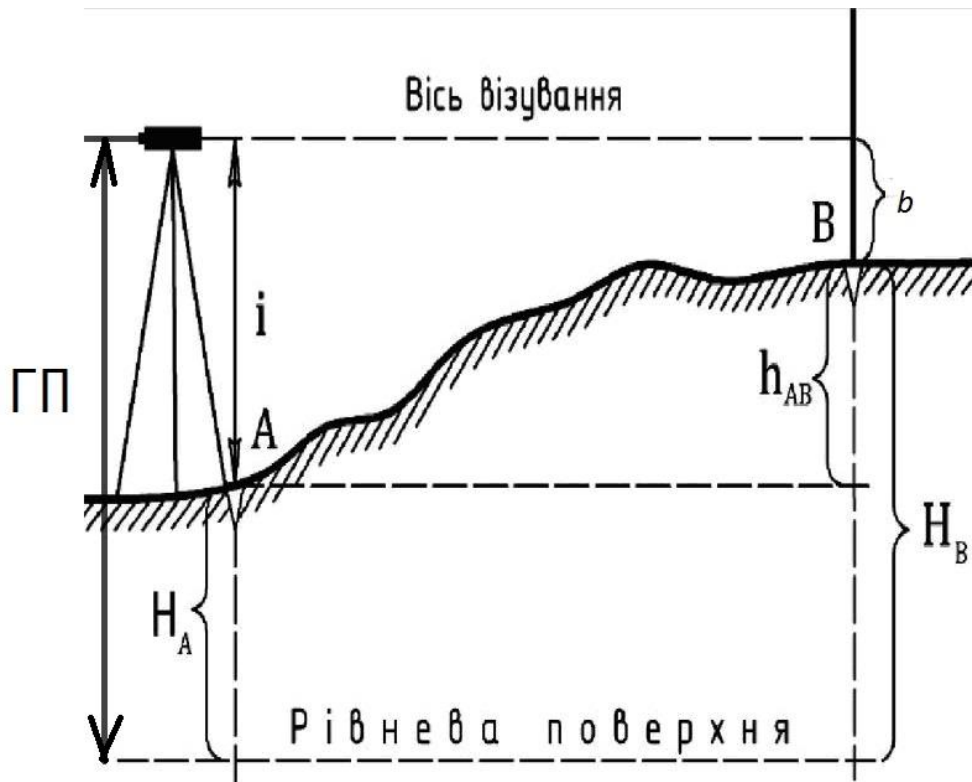


Рис.2 Нівелювання вперед

При нівелюванні переважно застосовується спосіб із середини.

Крім цього, розрізняють нівелювання просте і складне.

Якщо перевищення однієї точки над другою визначається з одного встановлення інструмента між точками; то нівелювання буде простим, а якщо необхідне багаторазове встановлення інструмента між точками для визначення перевищення між ними, то таке нівелювання називається складним. Більш всього доводиться нівелювати між точками А і D (рис.3), які знаходяться на великій віддалі одна від одної.

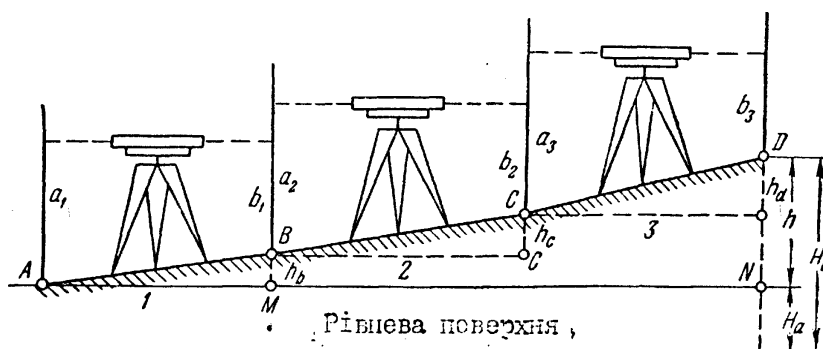


Рис.3 Послідовне (складне) нівелювання

В цьому випадку виконують послідовне нівелювання на станціях 1, 2, 3 визначають перевищення: $h_b = a_1 - b_1$; $h_c = a_2 - b_2$; $h_d = a_3 - b_3$, тоді $h = h_b + h_c + h_d$, $h = \sum a - \sum b$. При послідовному нівелюванні утворюється нівелірний хід.

1.4. Інструменти для геометричного нівелювання

При виконанні нівелювання застосовуються такі інструменти та обладнання: нівелір зі штативом; нівелірні рейки, башмаки, костилі або дерев'яні кілки; мірна стрічка, сталевий трос; металева рулетка; підвісна рейка.

Сучасні нівеліри за конструктивними особливостями (способом формування лінії візування, способом визначення відліків по рейці і ін.) можна поділити на: *оптичні, цифрові та лазерні*.

В *оптичних* нівелірах спостерігач візуально фіксує відлік по рейці і записує його в журнал вимірювань.

Особливістю *цифрових* нівелірів є наявність вбудованого програмного забезпечення, електронного пристрою для зняття відліків за спеціальною штрих - кодовою рейкою з високою точністю. Після наведення зорової труби на рейку, фокусування зображення рейки і натискання клавіші програма автоматично обробляє результати вимірювання і відображає на дисплеї значення відліку по рейці і відстань до неї.

Лазерні нівеліри засновані на використанні в нівелірі оптичного квантового генератора (лазера), що створює видиму візирну лінію або площину. При перетині видимою площиною спеціальної рейки, на ній висвітлюється горизонтальна світлова лінія, по якій беруть відлік.

Згідно з державним стандартом нівеліри за точністю діляться на три групи:

- високоточні типу Н-05, призначені для нівелювання I і II класів та дозволяють отримувати середні квадратичні похибки на 1 км ходу, що не перевищує $\pm (0,5 - 1,0)$ мм;

- точні (типу 3Н-2КЛ, 4Н-2КЛ), призначені для нівелювання III і IV класів та дозволяють отримувати середні квадратичні похибки на 1 км ходу, що не перевищує $\pm 3,0$ мм;

- технічні (типу 3Н-5Л) призначені для інженерно-технічних робіт та дозволяють виконувати нівелювання з точністю не нижче ± 5 мм на 1 км ходу.

Як правило, точність визначення перевищень залежить від виду топографо-геодезичних робіт і диктується відповідними інструкціями та може коливатися від ± 15 до ± 50 мм.

Нівелір **Н-3** (рис.4) – точний глухий нівелір, призначений для геометричного нівелювання III-IV класів. У нівеліра Н-3 збільшення зорової труби 31^{\times} , коефіцієнт віддалеміра 100, ціна поділки циліндричного рівня на 2 мм в секундах дуги $15''$, ціна поділки круглого рівня на 2 мм в мінутах дуги $5'$ і найменша віддаль візування 2 м.



Рис.4 Будова нівеліра Н-3

Основні частини нівеліра Н-3: окуляр зорової труби з діоптрійним кільцем (4), візир, (5) об'єktiv зорової труби (7), кремальєра (6), навідний гвинт (9), круглий рівень (2), елеваційний гвинт (3), закріпний гвинт (8), циліндричний рівень (10), підймальні гвинти (1), юстувальні гвинти циліндричного рівня (11).

За допомогою оптичної системи, розташованої над циліндричним рівнем, зображення кінців рівня передається в поле зору труби нівеліра (рис.5). В полі зору труби одночасно видно бульбашку рівня (1), нівелірну рейку (2), сітку ниток (3).

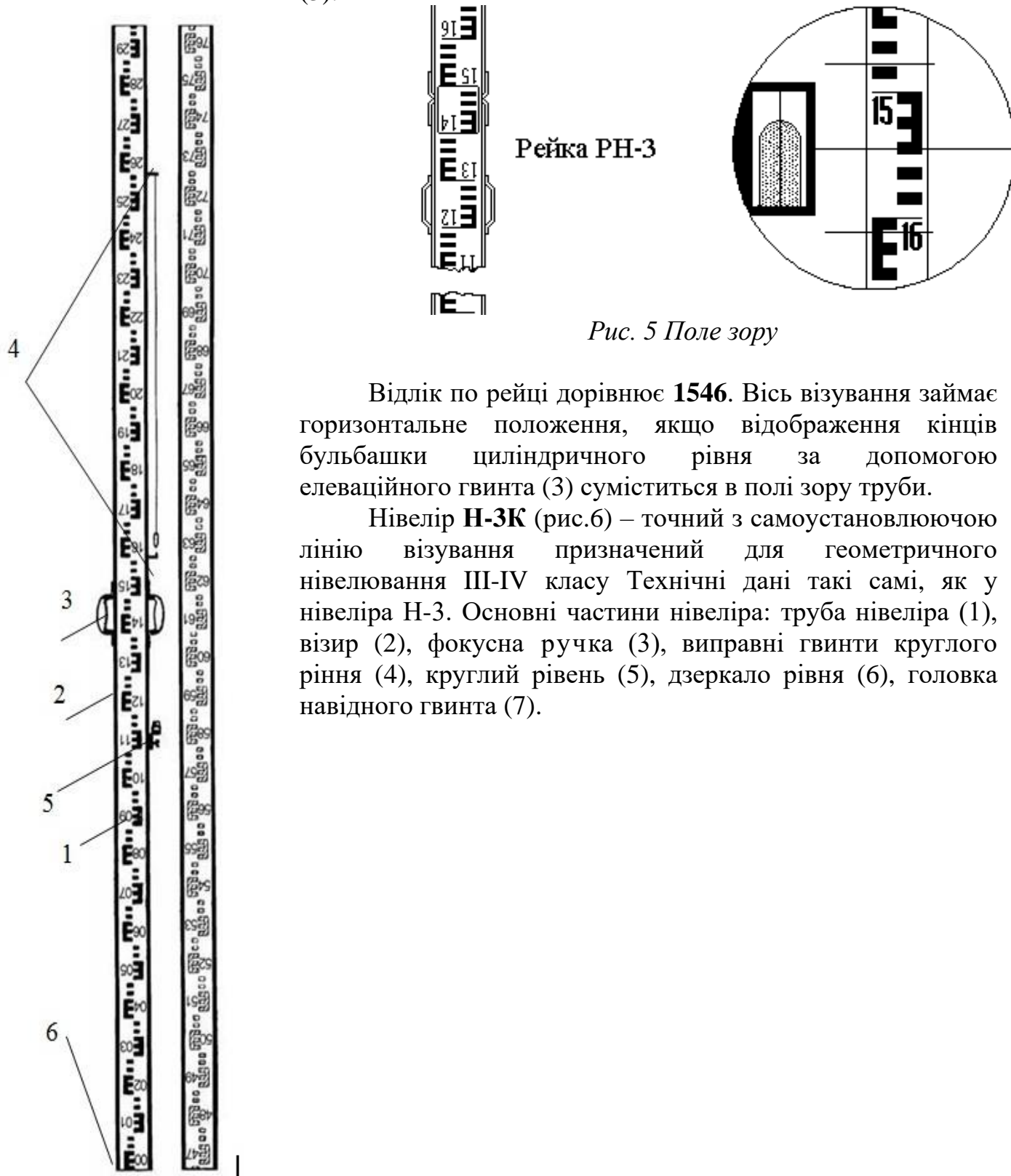


Рис. 5 Поле зору

Відлік по рейці дорівнює **1546**. Вісь візування займає горизонтальне положення, якщо відображення кінців бульбашки циліндричного рівня за допомогою елеваційного гвинта (3) суміститься в полі зору труби.

Нівелір **Н-3К** (рис.6) – точний з самоустановлюючою лінію візування призначений для геометричного нівелювання III-IV класу Технічні дані такі самі, як у нівеліра Н-3. Основні частини нівеліра: труба нівеліра (1), візир (2), фокусна ручка (3), виправні гвинти круглого ріння (4), круглий рівень (5), дзеркало рівня (6), головка навідного гвинта (7).

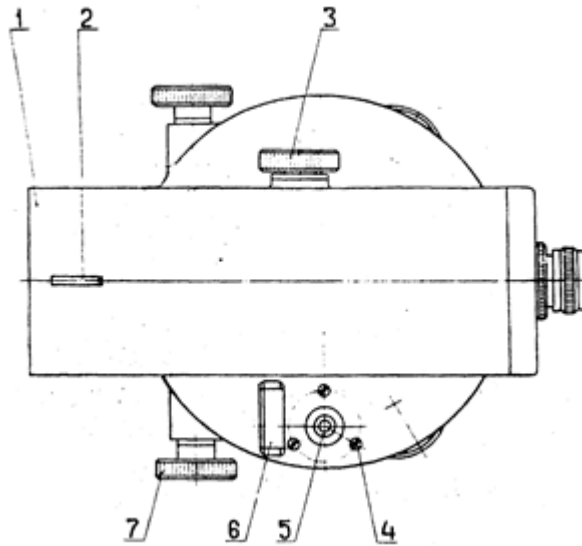


Рис.6 Будова нівеліра Н-3К

1.5.Нівелірні рейки

Для нівелювання III і IV класів застосовують шашкові рейки (рис.7). Рейки виготовляють з сухих дерев'яних брусків (1) довжиною 3 м, шириною 10 см і товщиною 2 см. Щоб рейки не деформувались, до їх бокових ребер прикручують бортики (2). Основа рейки має металеву окову (6), яка називається п'яткою. Рейки мають дві ручки (3) і круглі рівні (5). Для перевірки рівнів на рейках установлені кронштейни і цілики (4). Сторони рейок поділені сантиметровими поділками. На лицевій стороні дециметрові поділки підписують від 0 до 29. Лицева сторона має підписи і колір поділок *чорний*, а зворотня сторона – *червоний*. П'ятки на чорних сторонах рейок збігаються з початком відліку, тобто з нулем. Початок червоної сторони однієї рейки позначають довільним числом, наприклад: 4687, а початок червоної сторони другої рейки позначають іншим числом, яке відрізняється від першого на 100 мм, наприклад 4787.

Рис.7 Нівелірні рейки В комплект входить дві рейки, в яких на червоних сторонах нулі не збігаються на ± 100 мм. Написи дециметрових інтервалів робляться арабськими цифрами. Залежно від типу нівелірів, з якими буде використаний даний комплект рейок, оцифровка є пряма і обернена. Пряма оцифровка застосовується тоді, коли зорова труба нівеліра дає пряме зображення (NiB3-6, №007, Ni025 і Ni050 та інші). Зворотня оцифровка застосовується, як правило, при роботі з нівелірами з рівнем.

Рейки бувають суцільні, складні та розкладні. Їх поділяють за точністю нівелювання. Наприклад, шифр РН-10П-3000С означає, що ця рейка нівелірна зі шкалою поділу 10 мм, підпис цифр «прямо», довжина 3000 мм, складна.

При нівелюванні рейки встановлюють на башмаки або костилі (рис.8). Якщо виконується технічне нівелювання, то замість них дозволяється використовувати прості залізні костилі або дерев'яні кілки довжиною не менше

20 см. На нестійких ґрунтах, особливо в болотистих місцях, рейки і нівелір ставлять на довші кілки, забиваючи їх у ґрунт.

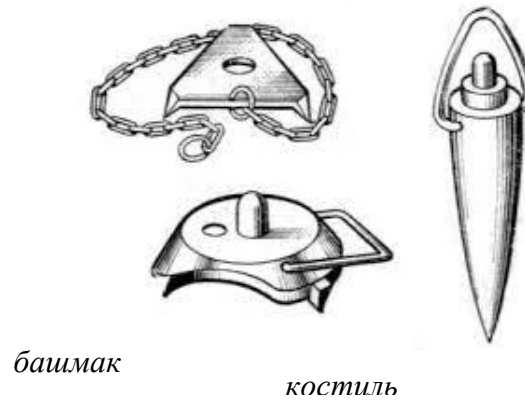


Рис.8 Переносні опори для рейок

1.6.Перевірки і юстування нівелірів Н-3 та Н-3К

Перед нівелюванням необхідно провести зовнішній огляд нівеліра, плавність обертання інструменту, відсутність помітних коливань окулярного коліна зорової труби, справність рівнів, виправних та закріпних гвинтів, відсутність окислення на металевих частинах нівеліра, міцність штатива, а також стан упаковки і комплектацію запасних частин і приладдя. Після цього в обов'язковому порядку виконують перевірки нівеліра в такій послідовності:

1.Перевірка плавного обертання нівеліра навколо вертикальної осі. Нівелір повинен обертатись навколо вертикальної осі вільно і плавно. Якщо умова не виконується, то верхню частину приладу звільняють і знімають. Після цього чистять вісь і втулку та змазують вісь.

2.Вісь круглого рівня повинна бути паралельна до осі обертання нівеліра.

Для перевірки цієї умови встановлюють круглий рівень у напрямі двох підймальних гвинтів (рис.9) і обертанням трьох підймальних гвинтів в протилежних напрямках приводять бульбашку рівня в нуль-пункт. Після цього повертають верхню частину нівеліра на 180°. Бульбашка рівня повинна залишатись в нуль-пункті, тобто умову виконано, якщо ні, то виправними гвинтами рівня зміщують бульбашку в нуль-пункт на половину її відхилення. Другу половину відхилення бульбашки рівня зміщують підймальними гвинтами. Для контролю перевірку повторюють.

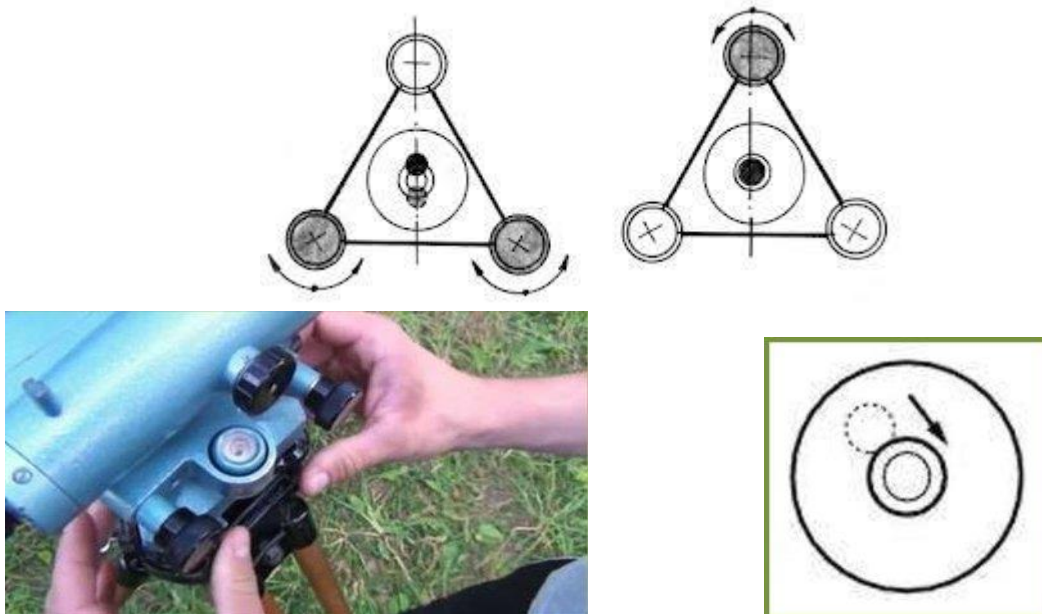


Рис. 9 Схема приведення бульбашки круглого рівня в нуль-пункт

3.Перевірка правильності встановлення сітки ниток.

Вертикальна нитка сітки повинна бути паралельною до осі обертання нівеліра. Встановлюють нівелір в робоче положення, а на віддалі 25-30 м від приладу підвішують висок і наводять на шнурок виска вертикальну нитку сітки, яка повинна збігатися з ним, тоді умова виконується. Якщо умова не виконується, то роблять юстування. Юстування рекомендується виконувати в майстерні.

4.Головна перевірка геометричної умови. Візирна вісь труби повинна бути паралельною до осі циліндричного рівня. (Визначення кута “ i ”).

Перевірка виконується подвійним нівелюванням однієї лінії методом “з середини” або “вперед” (рис.10).

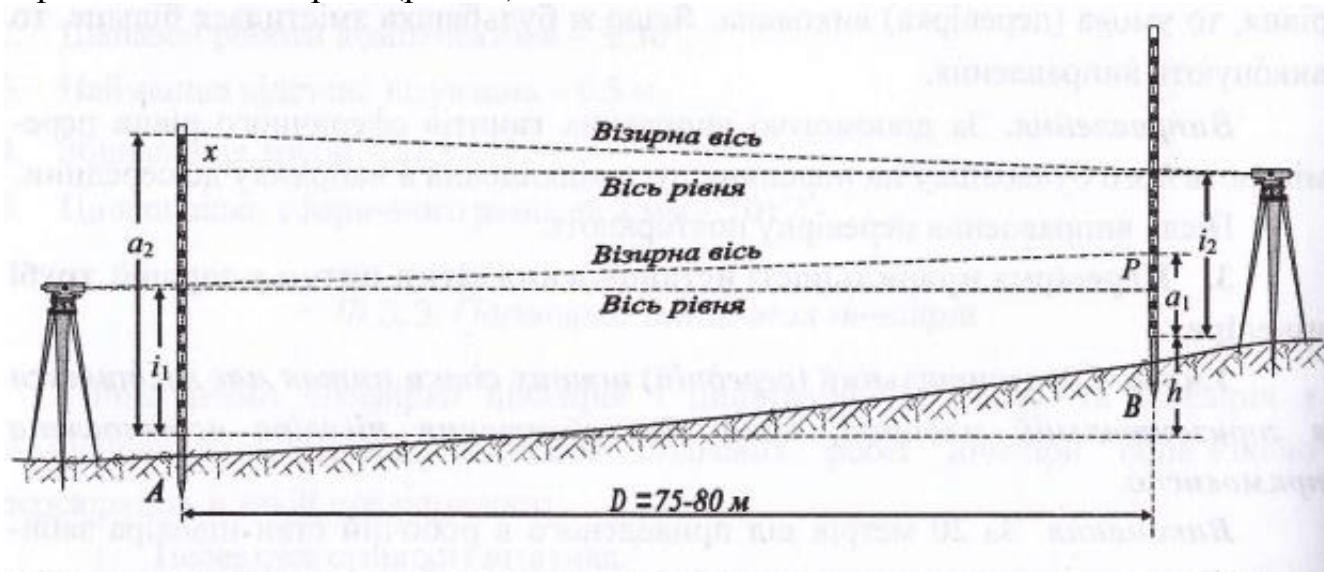


Рис.10 Основна перевірка нівеліра з циліндричним рівнем при зоровій трубі

На рівнинній місцевості на віддалі 75-80 м одна від одної закріплюють дві точки A і B , між якими нитковим віддалеміром вимірюють віддаль D .

Перевищення h між ними визначають нівелюванням вперед. Для цього встановлюють нівелір на віддалі 2-3 м від точки A і переводять його в робоче положення. Елеваційним гвинтом приводять бульбашку циліндричного рівня у нуль-пункт і відлічують чорну шкалу рейки, встановленої в точці A (відлік i_1). Спрямовують трубу на другу (віддалену) рейку, встановлену в точці B . Елеваційним гвинтом приводять бульбашку циліндричного рівня у нуль-пункт і відлічують чорну шкалу рейки (відлік a_1).

Встановлюють нівелір на віддалі 2-3 м від точки B і приводять його в робоче положення. Привівши бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт, відлічують чорну шкалу рейки, встановленої на точці B (відлік i_2). Спрямовують трубу на другу рейку, що розміщена в точці A . Знову елеваційним гвинтом переміщують бульбашку циліндричного рівня в нуль-пункт і відлічують чорну шкалу рейки (відлік a_2). Непаралельність осі рівня та візирної осі визначають за формулою:

$$x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}$$

Якщо осі паралельні то: $\frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{i_1 + i_2}{2}$; $x=0$.

Коли $x \neq 0$, то обчислюють кут непаралельності осі рівня і візирної осі " i " за формулою: $i'' = \frac{x}{D} \rho$; де $\rho = 206265''$.

Якщо значення кута $i \leq 10''$, то перевірка виконана.

Проте, коли $i > 10''$, то елеваційним гвинтом наводять середню нитку на відлік рейки a , який дорівнює $a = a_2 - x$.

В цей момент бульбашка циліндричного рівня зміститься із середини. Послаблюють один із бокових виправних гвинтів і вертикальними виправними гвинтами переміщують бульбашку рівня на середину. Гвинти закріплюють. Для контролю перевірку повторюють.

1.7. Перевірки і юстування нівеліра з компенсатором Н-ЗК

Перевірки круглого рівня і положення сітки ниток нівелірів з компенсаторами виконують так само, як і нівелірів з циліндричним рівнем. Крім цього, перевіряють міру компенсації кутів нахилу осі нівеліра і головну геометричну умову.

1. Перевірка міри компенсації кутів нахилу осі нівеліра. Компенсація кутів нахилу осі нівеліра повинна бути повною. Для визначення помилки недокомпенсації установлюють нівелір посередині створу між рейками, що розташовані на віддалі 100 м одна від одної на вбитих в землю кілках або костилях з точністю 0.1 м.

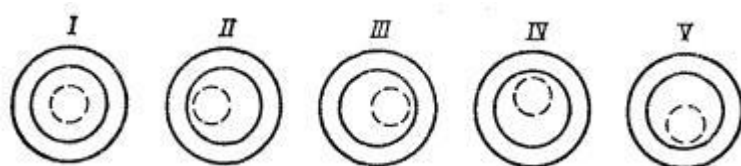


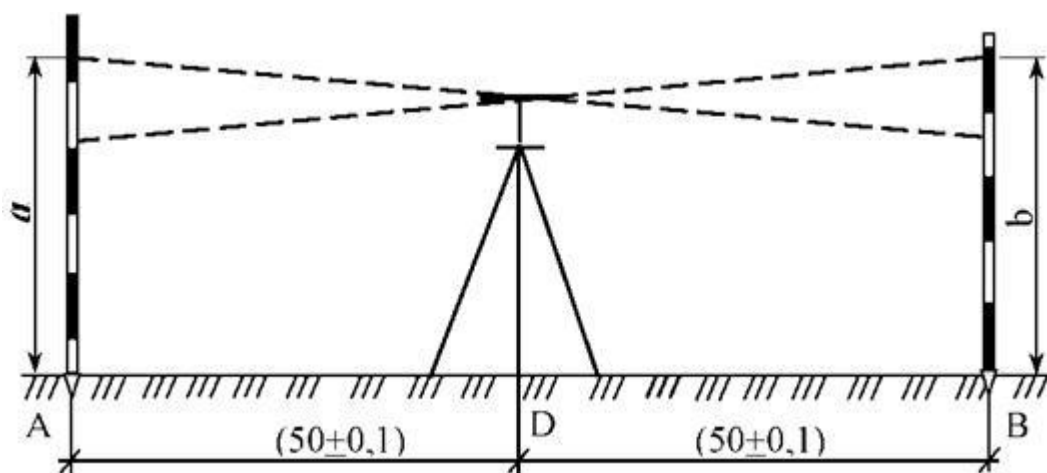
Рис.11 Положення бульбашки круглого рівня при визначенні похибки компенсації

Визначають перевищення (в мм) за чорними сторонами рейок п'ятьма прийомами при положеннях бульбашки круглого рівня, як показано на рис.11, змінюючи висоту інструмента між прийомами. Обчислюють $h_i = a_i - b_i$, де a_i , b_i – відліки відповідно по задній та передній рейках, в мм. Обчислюють середнє значення перевищення, в мм, одержане при положеннях бульбашки рівня II... ..V за формулою $h_c = \frac{\sum h_i}{4}$. Знаходять різницю між середнім значенням перевищення і перевищенням h_1 , в мм, одержаним при положенні бульбашки рівня I за формулою $f = h_c - h_1$. Різниця “ f ” допускається 3 мм для виконання нівелювання III класу і 5 мм для виконання нівелювання IV класу. Якщо умова не виконується, то юстування нівеліра виконують в оптичній майстерні.

2.Перевірка головної геометричної умови. Лінія візування повинна бути горизонтальною при нахилах осі приладу до величини допустимого кута компенсації.

На місцевості в точках А і В розташованих на віддалі 100 ± 0.2 м, забивають два кілки або костилі, на які установлюють рейки (рис.12).

У точці D на середині між рейками ($d_1 = 50 \pm 0.1$ м) встановлюють нівелір і приводять його у робоче положення. Визначають перевищення між точками h_i не менше трьох разів, змінюючи кожний раз висоту інструмента.



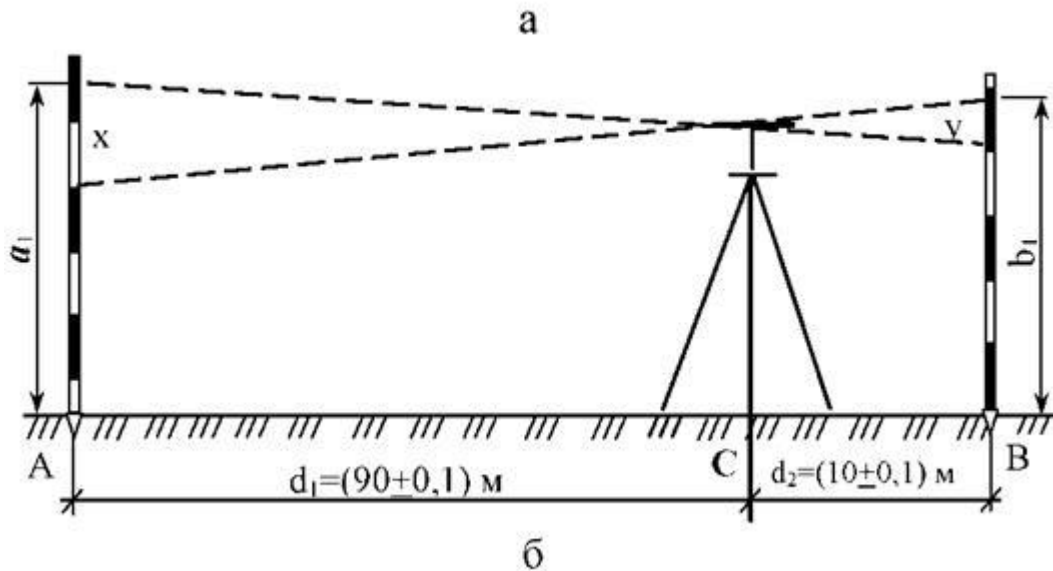


Рис.12. Перевірка головної геометричної умови нівелірів з компенсатором

Таким чином, середнє значення перевищення в мм, буде позбавлено інструментальних помилок: $h_c = \frac{\sum h_i}{4}$.

Потім нівелір переносять в точку С, що розташована на віддалі $d_2 = 10 \pm 0.1$ м від точки В і визначають перевищення в мм, $h = a_1 - b_1$. Якщо перевищення h_1 визначене з точки С, буде відрізнятись більше, ніж на 2 мм від перевищення h_c , визначене з точки D, тобто $f = h_c - h_1$, то необхідно виконати юстування.

Для цього обчислюють поправки за формулами: $x = \frac{fd_1}{(d_1 - d_2)}$; $y = \frac{fd_2}{(d_1 - d_2)}$,

де x і y – поправки відповідно на дальню і ближню рейки, в мм, а d_1 і d_2 – віддалі від нівеліра відповідно до дальньої і ближньої рейок, в м.

Для приведення лінії візування в горизонтальне положення обчислюють правильний відлік $a'_1 = a_1 + x$ і, не змінюючи положення нівеліра, знімають ковпачок, що закриває виправні гвинти сітки ниток, наводять нівелір на дальню рейку і виправними гвинтами сітки ниток наводять горизонтальну нитку на правильний відлік “ a'_1 ”. Для контролю перевірку повторюють.

1.8. Дослідження та перевірки нівелірних рейок

Під впливом зміни вологості повітря і температури довжина одного метра рейки може змінювати свою довжину.

Для зменшення деформації рейок їх просушують, грунтують і фарбують. Помилки поділок рейок будуть спотворювати вимірювання перевищень. Тому всі рейки перед виконанням і в кінці робіт підлягають дослідженню. Дослідження полягає у визначенні довжини метра пари рейок і правильності нанесення дециметрових поділок.

Для дослідження використовують контрольну лінійку з поділками 0.2 мм (рис.13).



Рис.13 Контрольна лінійка (Женевська лінійка)

Вона має дві лупи, за допомогою яких беруть відліки і термометр для визначення температури лінійки. Кожна лінійка має своє рівняння довжини для певної температури.

Досліджувану рейку вносять в приміщення або в тінь за дві години до дослідження і кладуть її горизонтально без прогину, а на неї кладуть контрольну лінійку і виконують дослідження:

1. Зовнішній огляд

Перевірку зовнішнього стану рейок здійснюють шляхом огляду, при цьому встановлюють:

- відповідність шкал і написів поділів типу рейки;
- яскравість барвистого наповнення штрихів, шашкових ділень і цифр;
- чіткість і пряmolінійність границь поділів;
- рівномірність і чистоту лакофарбових покриттів вільних полів, неробочих поверхонь і допоміжних деталей;
- відсутність дефектів, які погіршують зовнішній вигляд рейки і ускладнюють зняття відліків (на робочих поверхнях шкал рейки не повинно бути плям, тріщин, подряпин, напливів, горбів, бульбашок, відшаровування фарби), крім цього поверхня шкали не повинна давати сонячних відблисків, тобто повинна бути матова;
- правильність закріплення металевої п'яти на торці рейки.

Маркування і комплектність рейок повинна відповідати вимогам діючих стандартів і технічних умов бо паспорта рейки.

2. Дослідження точності нанесення дециметрових поділок.

Всі поділки на рейці повинні бути нанесенні правильно. Помилка нанесення дециметрових інтервалів не повинна перевищувати ± 0.5 мм для нівелювання III класу і ± 1.0 мм для нівелювання IV класу.

Дослідження виконують по інтервалах рейок: на чорних сторонах між поділками 0-10, 10-20, 20-29 дм, а на червоній стороні першої рейки: 47-56, 56-66, 66-75 дм і другої рейки: 48-57, 57-67, 67-76 дм.

Для визначення точності нанесення дециметрових поділок рейки контрольну лінійку кладуть спочатку на перший метр рейки і беруть відліки по кінцях всіх 10 дециметрах. Потім контрольну лінійку трохи зсувають і другий раз беруть відліки по кінцях всіх 10 дециметрах.

Для уточнення відліку штриха, який сумістився з початком першого дециметра, тобто з п'яткою рейки, прикладають лезо безпечної бритви.

Різниці відліків свідчать про величину зсуву нормальної лінійки і ці різниці для дециметрових поділок повинні бути однаковими незалежно від точності нанесення дециметрових поділок на рейці.

Коливання значення цих різниць, через особисті помилки спостерігача, в межах кожного метра рейки допускаються не більші 0.10 мм. Перед початком і в кінці дослідження визначають температуру контрольної лінійки.

3. Визначення середньої довжини одного метра пари рейок

Дослідження виконують по інтервалах рейок: на чорних сторонах між поділками 1-10, 10-20, 20-29 дм, а на червоній стороні першої рейки 47-66, 56-66, 66-75 дм і другої рейки 48-57, 57-67, 67-76 дм в прямому і зворотному напрямках. При зворотних вимірюваннях контрольну лінійку повертають на 180° . Перед кожним ходом записують температуру за термометром лінійки. Кожний інтервал вимірюють двічі, для цього лінійку після відліку через лупу трохи зсувають і знову беруть відліки. Різниці однойменних метрових інтервалів, одержаних при першому і другому положеннях лінійки, не повинні перевищувати ± 0.1 мм. Вимірювання виконують з точністю до 0.02 мм. У виміряні довжини вводять поправки за приведення контрольної лінійки до температури компарування рейки і поправку за довжину лінійки. Ці поправки враховуються рівнянням контрольної лінійки, яке одержують під час компарування контрольної лінійки в геодезичній лабораторії. Після визначення довжини метра пари рейок, в одержані по секціях перевищення вводять поправки за довжину метра пари рейок.

4. Визначення різниці висот нулів чорної і червоної сторін рейок

На віддалі 30 м від нівеліра забивають в землю башмак, або костиль, ставлять на нього рейку і беруть не менше чотирьох разів відліки по чорній і червоній сторонах рейки, змінюючи кожний раз висоту інструмента. Потім утворюють різниці відліків по червоній і чорній сторонах рейки і одержують різницю висот нулів даної рейки. Середнє із всіх визначень приймають за кінцевий результат. Різниці висот нулів чорної і червоної сторін кожної рейки і висот нулів червоних сторін пари рейок використовують для контролю якості спостережень і правильності обчислень на станції при нівелюванні.

5.Перевірка установки круглого рівня

При проведенні дослідження повинна бути визначена паралельність осей круглого рівня та рейки (ребра рейки), тобто при знаходженні бульбашки круглого рівня в середині ампули вісь рейки повинна бути вертикальна.

Перевірку правильності установки круглого рівня на рейці виконують за допомогою схилу, гачка і штифта з вістрям, закріплених на рейці або за допомогою вертикальної нитки нівеліра. При перевірці установки круглого рівня за допомогою схилу виконують такі операції: підвішують на гачок схил, домагаються такого положення рейки, при якому вістря схилу знаходиться точно над вістрям штифта, при цьому точка кріплення нитки схилу і вістря штифта повинні знаходитися на одній відстані від рейки. Якщо в цей час бульбашка круглого рівня не знаходиться в нуль-пункті, то виправленими гвинтами круглого рівня переміщують її на середину.

При перевірці другим способом рейку встановлюють в рейкотримач на відстані приблизно 50 м від нівеліра. Приводять вертикальну вісь нівеліра в прямовисне положення, встановлюють рейку так, щоб вісь шкали в полі зору нівеліра точно збігалася з вертикальною ниткою сітки. При цьому бульбашка круглого рівня повинна знаходитися в середині ампули. В іншому випадку виправними гвинтами круглого рівня приводять бульбашку на середину ампули. Після цього повертають рейку на 90° і повторюють перевірку. В цьому випадку домагаються співпадіння ребра рейки з вертикальною ниткою сітки.

У разі необхідності перевірка повторюється до повного виконання умови повірки.

1.9.Класифікація державної нівелірної мережі

Державну нівелірну мережу за точністю поділяють на I, II, III, і IV класи. Державна нівелірна мережа служить головною висотною основою і утворює єдину систему висот на всій території країни, а також служить висотною основою всіх топографічних зйомок і інженерно-геодезичних робіт, які виконуються для потреб народного господарства, науки і оборони країни.

Нівелірні мережі I і II класів – це головна висотна основа країни, прокладаються по всій території країни за спеціально розробленими програмами і схемами. Вони з'єднують рівні морів і вікові репери (рис.14). Нівелірні лінії I класу утворюють полігони, або окремі лінії периметром 3000-4000 км. Нівелювання I класу повинно виконуватись з найвищою точністю, яка досягається застосуванням найбільш удосконалених інструментів і методів спостереження і по можливості повним виключенням систематичних помилок.

Нівелювання II класу складається з ліній, які спираються на нівелірні знаки I класу та утворюють полігони периметром 500-600 км, а там де немає ліній нівелювання I класу, утворюють самостійні полігони II класу. Помилка нівелювання II класу не повинна перевищувати ($\pm 5\sqrt{L}$) мм, L – довжина ходу в км. Нівелювання I і II класів утворює рівномірно по всій країні точну нівелірну мережу, яка є основою для розвитку нівелювання нижчих класів. Нівелювання I і II класів повторюється через кожні 25 років.

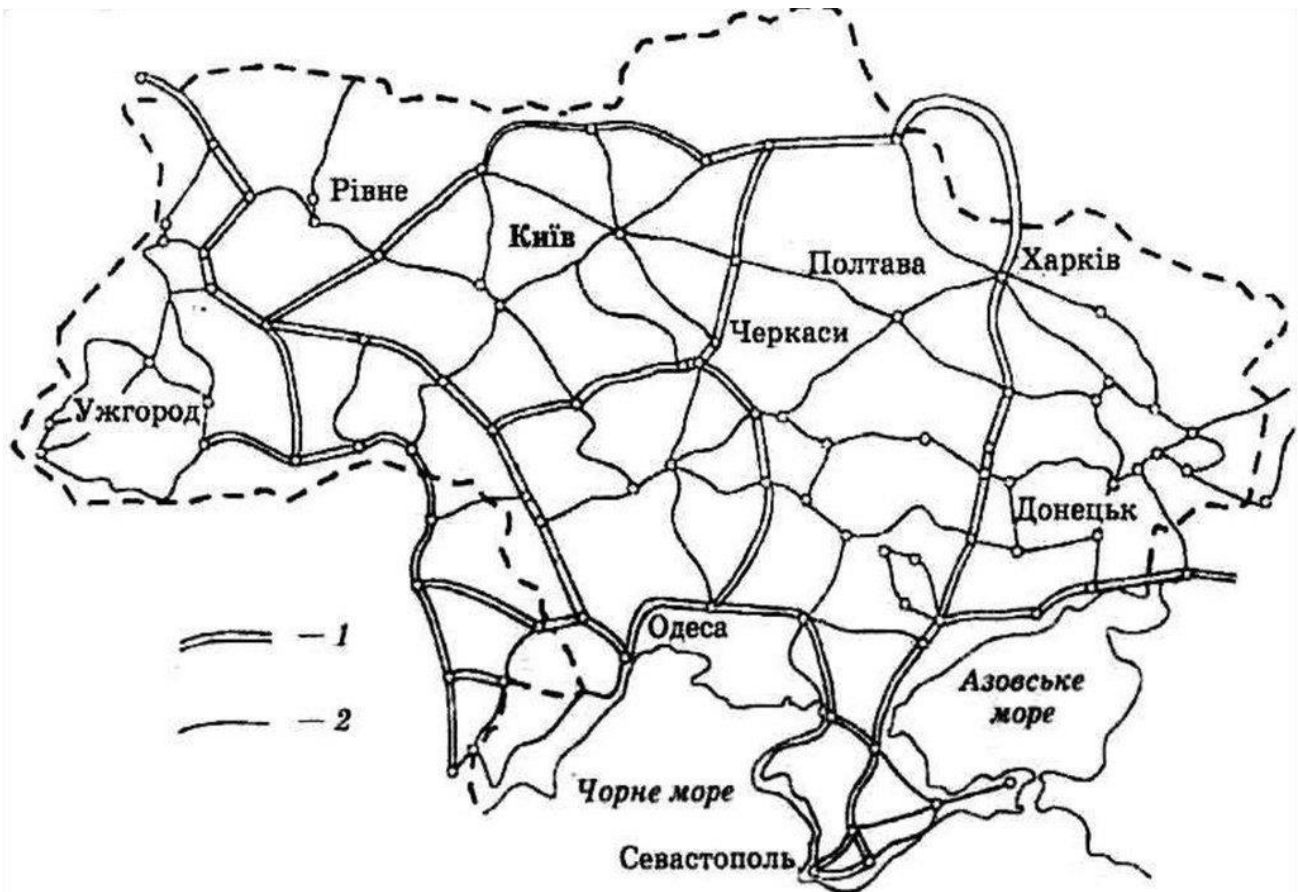


Рис.14. Державна висотна основа України:

1 – лінії нівелювання I класу, 2 – лінії нівелювання II класу

Нівелірні мережі III класу прокладаються в середині полігонів II класу так, щоб утворювались полігони з периметром 150-200 км. Помилка нівелювання не повинна перевищувати $(\pm 10\sqrt{L})$ мм.

Нівелювання I, II і III класів прокладають в прямому і зворотному напрямках.

Нівелювання IV класу виконується одностороннім нівелюванням у вигляді витягнутих ліній, або системи полігонів в середині нівелювання III класу з точністю – $(\pm 20\sqrt{L})$ мм. Довжина лінії нівелювання IV класу не повинна перевищувати 50 км (рис.15).

Технічне нівелювання прокладають з точністю $(\pm 50\sqrt{L})$ мм і довжиною ходу 15 км. Воно виконується для побудови висотної основи крупномасштабних знімачів, побудови профілів місцевості та для інших випадків.

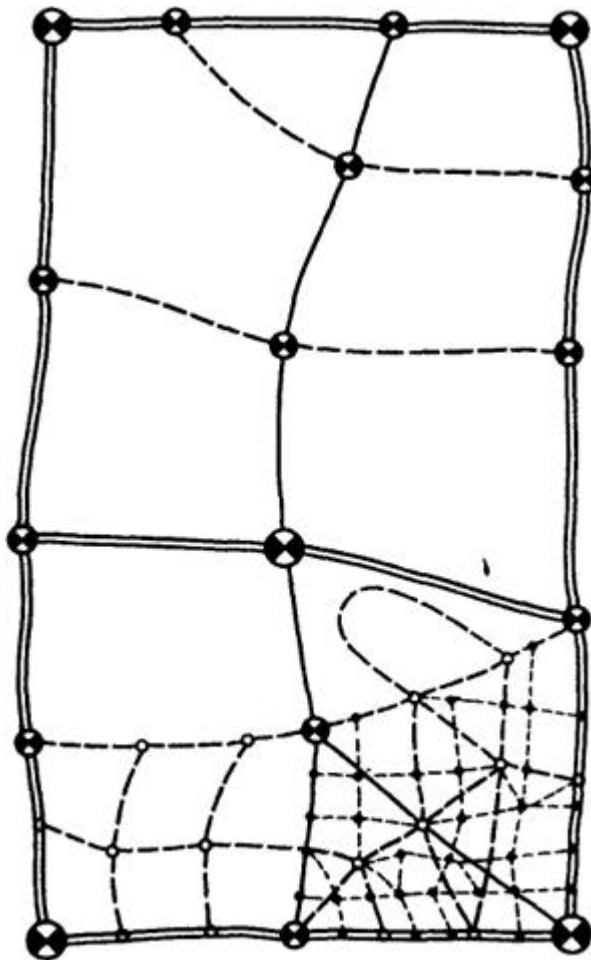


Рис. 15 Схема нівелірних мереж. Класи: ●-1-й, ●-2-й, ○-3-й, ●-4-й

1.10. Нівелірні знаки

Нівелірні мережі всіх класів закріплюються на місцевості нівелірними знаками, які служать для довготривалого закріплення на місцевості висот точок. Типи нівелірних знаків залежать від їх призначення, фізико-географічних умов району робіт, складу ґрунту і глибини його промерзання. Нівелірні знаки — це металічні або залізобетонні конструкції, які закладаються у верхній шар ґрунту, в стіну будівлі або в скелю. Їх закладаються не рідше ніж через 5 км (по трасі), у важкодоступних районах відстань між ними може бути збільшена до 7 кілометрів.

На лініях нівелювання I, II, III і IV класів закладають репери наступних типів: вікові, фундаментальні, ґрунтові, скельні, стінні і тимчасові.

Вікові репери забезпечують збереження головної висотної основи на тривалий час, дозволяють вивчати сучасні вертикальні рухи земної кори і коливання рівнів морів і океанів, зберігають повну незалежність досліджуваних явищ від екзогенних і техногенних процесів. Віковими реперами закріплюють місця перетинів ліній нівелювання I класу, головні спостереження за віковою мінливістю рівня моря, а також основні пункти нівелірної мережі геодинамічних полігонів.

Вікові репери — це найбільш капітальні споруди в висотній нівелірній мережі. Вони закладені поблизу Кронштадтського футштока, а також на кінцях

ліній нівелювання I класу, які знаходяться, як правило, на узбережжях морів (рис.16).

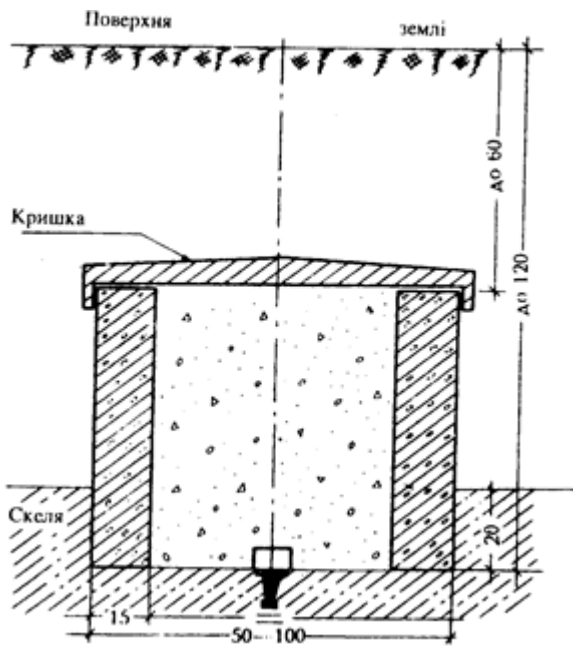


Рис.16 а. Віковий репер типу 173 застосовується при неглибокому (до 1,2 м) заляганні скельних порід

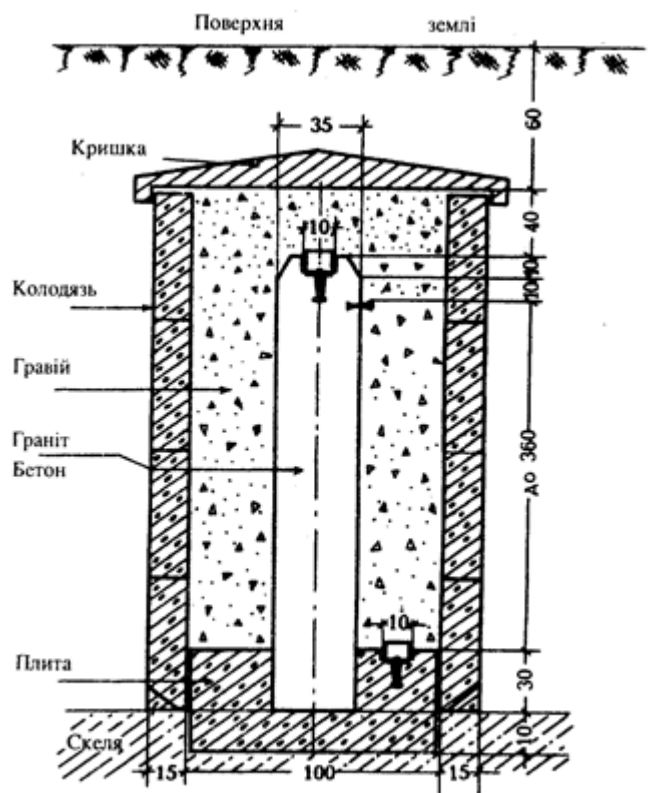


Рис.16 б. Віковий репер типу 174, застосовується при заляганні скельних порід до 5 метрів

Фундаментальні репери забезпечують збереження висотної основи на значні терміни, дозволяють вивчати сучасні рухи земної поверхні. Їх закладають на лініях нівелювання I і II класів не рідше ніж через 60 км, а також на вузлових пунктах, поблизу морських, основних річкових і озерних рівневих постів. В сейсмоактивних районах фундаментальні репери закладають не рідше ніж через 40 км. На відстані 50-150 м від фундаментального репера закладають репер-орієнтир.

Фундаментальні репери застосовуються двох типів (рис.17).

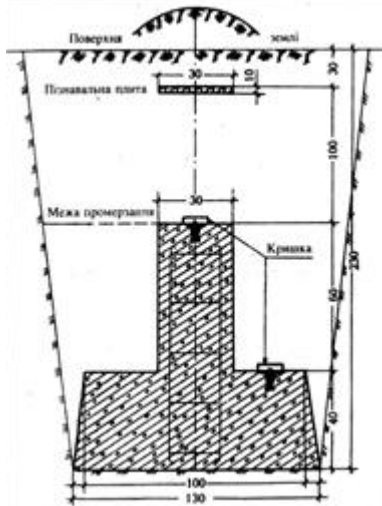


Рис.17 а. Фундаментальний репер типу 161 закладається в звичайні ґрунти Рис.17 б. Фундаментальний репер типу 114, закладається в скельні ґрунти

Крім вікових і фундаментальних реперів, лінії нівелювання усіх класів через кожних 5 км закріплюються звичайними реперами таких типів: ґрунтові, скельні та стінні. Ґрунтові, скельні, стінні репери забезпечують збереження і надійність висотної основи на тривалі терміни і використовуються для закріплення нівелірних мереж I, II, III і IV класів.

Ґрунтові репери застосовуються типу 160 для звичайних ґрунтів, а також в гірських районах, де скеля знаходиться нижче поверхні ґрунту на 70 і більше сантиметрів (рис. 18).

<p>Рис.18 а. Ґрунтовий репер типу 160</p>	<p>Рис.18 б. Ґрунтовий репер з розпізнавальним стовпом а) загальний вигляд, б) марка</p>

Скельні реperi закладаються в скельних породах, де скеля виходить до поверхні ґрунту ближче, ніж 70 см. В цьому випадку скельний репер являє собою марку, забетоновану в скелю (рис. 19).



Рис. 19. Скельний репер

Стінні реperi типу 143 закладають в лініях нівелювання усіх класів у стіни капітальних споруд, будівель та у вертикальні поверхні скель. Літера “Д” на чавунній відливці означає “державна мережа”. Стінний репер, позначений тільки номером, відноситься до мереж місцевого значення.

Стінні реperi і марки відливають із чавуну. На передньому їх торці вказується організація-виконавець нівелірних робіт і номер репера (марки). Репер вмуровується в стіну будівлі так, щоб його торцева частина виступала назовні на 5 см. Поряд прикріплюється охоронна плита. На диску репера є виступ у вигляді сектора з ребрами, висота якого над рівнем моря і вважається висотою репера. Марки відрізняються від репера тим, що у центрі диска марки є невелике заглиблення, яке і вважається основною точкою. Марки закладають у стіну рівень з її поверхнею на висоті 1,5-2,0 м над землею (рис. 20).

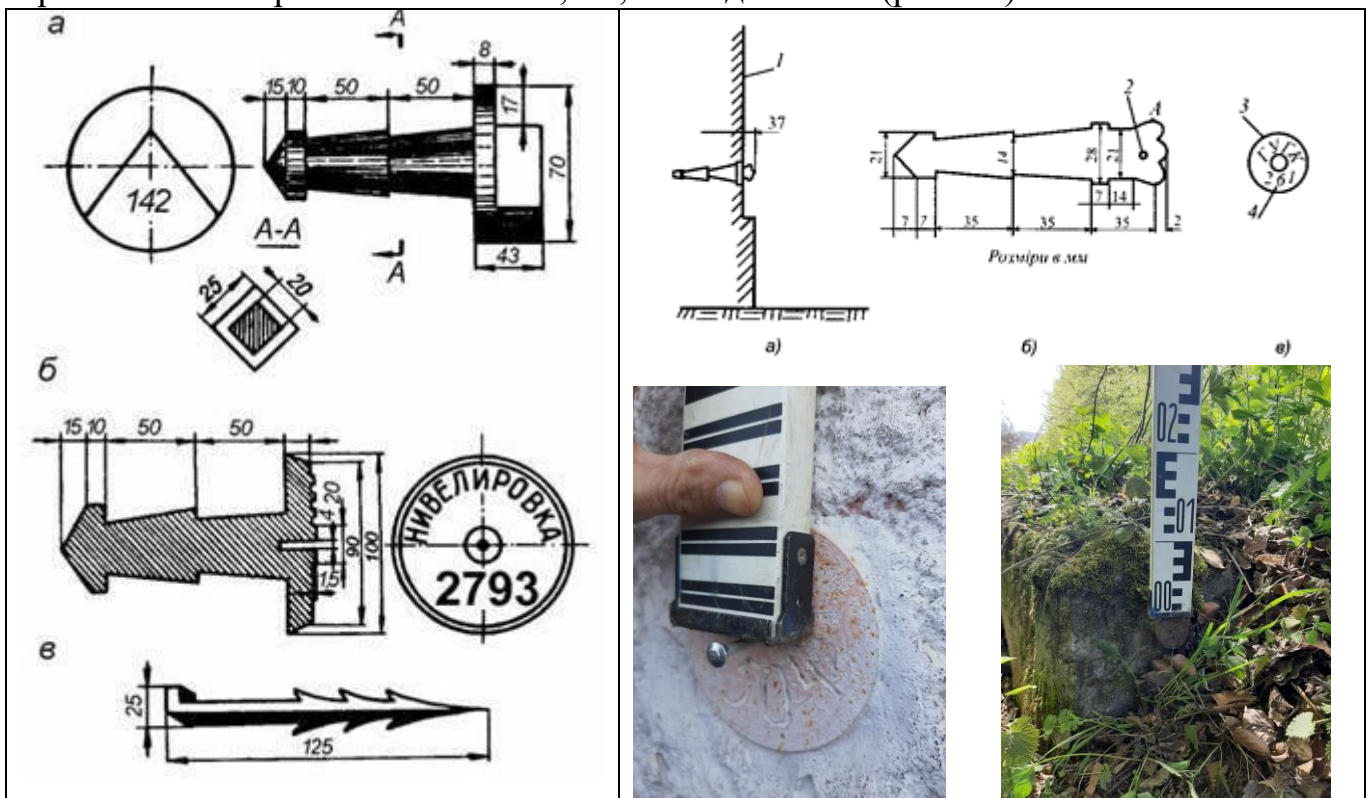


Рис.20 а. Стінні нівелірні знаки:
а) стінний репер, б) стінна марка,
в) костиль

Рис.20 б. Стінна марка
а) закріплення марки в стіні,
б) загальний вигляд, в) вигляд фронтальний

На практиці закладають і тимчасові репери. Ними можуть бути спеціально виготовлені відрізки металевих чи азбоцементних труб, відрізки залізничних рейок, костилі, забиті в дерев'яні споруди, великі камені-валуни із знаком, нанесеним масляною фарбою або позначення масляною фарбою характерних точок опор ЛЕП, фундаментів будівель і т.д.

Всі нівелірні знаки встановлюють в таких місцях, де будуть забезпечені зручність користування знаком, стійкість, міцність і збереженість.

В результаті виконання нівелірних робіт і обчислювальної обробки державних нівелірних мереж окремих районів складають каталоги нівелірних знаків, у яких вказуються номер і вид знака, його місце знаходження і значення відмітки (висоти) над рівнем моря.

1.11.Нівелювання ІV класу

Нівелювання ІV класу виконують для згущення нівелірної мережі ІІІ класу з метою створення висотної основи топографічних знімат і для розв'язання інженерних задач при будівництві і інших роботах.

При нівелюванні ІV класу застосовують нівеліри зі збільшенням зорової труби не менше 25^x і ціною поділки циліндричного рівня не більше 25" на 2 мм. Із сучасних нівелірів можуть застосовуватись нівеліри Н-3, Н-3К і інші рівноточні до них. Рейки застосовують шашкові двосторонні, у яких помилка нанесення дециметрових поділок не перевищує ± 1.0 мм. Довжина ходу не повинна перевищувати 50 км і прокладаються в одному напрямі. Помилка в ході не повинна перевищувати $(\pm 20\sqrt{L})$ мм. Довжина візирного променя 75-100 м, нерівність пліч не повинна перевищувати 5 м, а нагромадження нерівностей пліч в секції - 10 м. Висота візирного променя над поверхнею землі повинна бути не менше 0.2 м. Під час спостережень нівелір необхідно закривати від сонячних променів.

1.11.1.Послідовність роботи на станції при нівелюванні ІV класу

При нівелюванні ІV класу відліки по рейках виконують по середній нитці і одній із крайніх (віддалемірних) ниток по чорних сторонах рейок і по середній нитці по червоних сторонах рейок. Послідовність спостережень на станції:

1.Встановлюють нівелір по середині між рейками в робоче положення.

2.Наводять трубу нівеліра на чорну сторону задньої рейки, встановленої вертикально за рівнем на нівелірний башмак або костиль, виводять точно рівень на середину елеваційним гвинтом і беруть відліки по одній із віддалемірних ниток (1) і середній нитці (2), усі відліки записують в журнал (таблиця 1). В дужках відмічено послідовність відліків по рейках на станції і послідовність обчислень на станції в журналі.

3.Наводять трубу нівеліра на чорну сторону передньої рейки, виводять точно рівень елеваційним гвинтом на середину і беруть відліки по віддалемірній (3) і середній (4) нитках.

4.Повертають передню рейку червоною стороною до нівеліра, слідкують за рівнем, щоб він весь час був на середині і беруть відлік по середній нитці (5).

5.Наводять трубу на червону сторону задньої рейки, елеваційним гвинтом приводять рівень на середину і беруть відлік по середній нитці (6).

Після цього виконують обчислення і контроль на станції:

1.Обчислюють віддаль до задньої і передньої рейок (7) і (8);

$$(7)=(2)-(1) \text{ і } (8)=(4)-(3).$$

2.Обчислюють п'ятки передньої і задньої рейок (9) і (10);

$$(9)=(6)-(2) \text{ і } (10)=(5)-(4).$$

3.Обчислюють перевищення по чорній і червоній сторонах рейок (11), (12) і різницю п'яток рейок (13).

$$(11)=(2)-(4); (12)=(6)-(5) \text{ і } (13)=(10)-(9)=(11)-(12).$$

4.Обчислюють середнє перевищення (14), нерівність пліч (15) і нагромадження нерівностей пліч.

$$(14) = \frac{(11)+(12)+(13)}{2}; (15)=(7)-(8)$$

Для виведення середнього перевищення (14) різницю п'яток (13) беруть рівно 100 мм зі своїм знаком. Розходження в перевищеннях на станції, одержаних по чорній (11) і червоній (12) сторонах рейок, не повинно перевищувати ± 5 мм, з врахуванням різниці п'яток. Переконавшись в правильності обчислень і розходжень в перевищеннях, спостерігач знімає нівелір і переходить на наступну станцію. Одночасно задній реєчник з рейкою і башмаком переходить на наступну точку. Тепер передній реєчник стане заднім, він свою рейку не знімає, а акуратно повертає чорною стороною в сторону нівеліра, встановленого на наступній станції.

Якщо результати нівелювання на станції перевищують допуски, спостерігач змінює висоту нівеліра і спостереження повторює, а попередні спостереження на станції акуратно під лінійку перекреслює.

Починати і закінчувати хід на реперах потрібно однією і тією ж рейкою, додержуючись чергування рейок в ході.

1.11.2.Камеральне опрацювання матеріалів нівелювання IV класу

Камеральне опрацювання матеріалів нівелювання IV класу починається з посторінкового контролю. При посторінковому контролі обчислюють:

1. Вираховують $\Sigma (7)+(8)=(22)$, тобто всі віддалі до рейок.

2. Розраховують суми всіх відліків по середніх нитках чорної та червоної сторін задньої і передньої рейок $\Sigma(2)+(6)=(16)$ і $\Sigma(4)+(5)=(17)$.

3. Розраховують алгебраїчну суму перевищень, обчислених по чорній і червоній сторонах рейок $\Sigma(11)+(12)=(18)$.

4. Вираховують алгебраїчну суму середніх перевищень $\Sigma(14)=(19)$.

5. Перевіряють правильність одержаних сум, тобто різниця (16)-(17) повинна дорівнювати (18), а $(18):2=(19)$. В кінці секції і в кінці ходу виконують такі самі контрольні обчислення. Крім цього в кожній секції в суму середніх перевищень вводять поправку " δ_n " за довжину метра пари рейок, за формулою:

$$\delta_n = \delta_l \times h'; \quad \delta_l = l - l_0;$$

$$l_0 = 1000.00 \text{ мм}$$

l – довжина метра пари рейок, одержана при дослідженні рейок.

h' – сумарне середнє виміряне перевищення по секції.

Після цього обчислюють відмітки марок і реперів ходу. Обчислення виконують в спеціальній відомості (таблиця 2).

Дані для заповнення відомості виписують з польового журналу.

Після цього знаходять алгебраїчну суму перевищень всього нівелірного ходу $\sum h_{np}=+5.870$ і різницю висот вихідних реперів $\sum h_{теор}=H_K-H_{II}=+5.860$. Обчислюють нев'язку ходу $f_h=\sum h_{np}-\sum h_m=+10$ мм і допустиму нев'язку $f_{h\text{дон.}}=\pm 20\sqrt{L}=\pm 74$ мм, де L – довжина ходу в км ($L=12.6$ км). Якщо обчислена нев'язка ходу " f_h " не перевищує " $f_{h\text{дон.}}$ ", то її розподіляють між перевищеннями з оберненим знаком, пропорційно віддаляям між суміжними реперами. Для цього визначають поправку на 1 км ходу.

Множать цю величину на кількість кілометрів кожної секції і одержують поправку в перевищення для кожної секції (колонка 9). Після цього обчислюють висоти всіх реперів ходу за правилом: висота точки дорівнює висоті попередньої точки плюс виправлене перевищення. Для контролю правильності обчислення висот точок ходу знаходять висоту кінцевої вихідної точки.

ВЗІРЕЦЬ ЗАПОВНЕННЯ ЖУРНАЛУ НІВЕЛЮВАННЯ ІV КЛАСУ

Хід: від ґрунт. реп. 92 до ґрунт. реп. 21
 Початок: 8 год 00 хв Кінець: 8 год 40 хв
 Погода: хмарно

Дата: 30 квітня 2020 р.
 Зображення: спокійне, чітке

N станцій	Віддалемі рні віддали до задньої і передньої рейок	Відліки по рейці		Перевищення в мм	Середнє перевищення в мм
		задня	передня		
1	375 (7)	1185 (1)	1058 (3)		
Ґрунт.реп. 92 2-1	372 (8)	1560 (2)	1430 (4)	+0130 (11)	+0130 (14)
	+3/+3	6247 (3)	6217 (5)	+0030 (12)	
	(15)	4687 (6)	4787 (10)	+0100 (13)	
$\frac{2}{1-2}$	260	1005	1209	-0207	-0207
	263	1265	1472	-0107	
	-3/0	6052	6159	-0100	
$\frac{3}{1-2}$	311	0617	0798	-0183	-0183
	313	0928	1111	-0283	
	-2/-2	5615	5898	+0100	
$\frac{4}{1-2}$	267	0704	1003	-0298	-0300
	266	0971	1269	-0201	
	+1/-1	5758	5959	-0097	
Посторінковий контроль обчислення	$\Sigma(7)+(8)$	$\Sigma(2)+(6)$	$\Sigma(4)+(5)$	$\Sigma(11)+(12)$	$\Sigma(14)$
	2427 (22)	28396(16)	29515 (17)	-1119 (18)	-0560 (19)
		29517(17)		-0560 (21)	
.....
$\frac{32}{1-2}$ Ґрунт.реп. 21	380	1544	0615	+0929	+0930
	380	1924	0995	+1030	
		6711	5681	-0101	
		4787	4686		

Розрахунок по секції від ґрунт. реп. 92 до ґрунт. реп 21

	29010 $\Sigma(22)$	414580 $\Sigma(18)$	402784 $\Sigma(17)$	+11724 $\Sigma(18)$	+5862 $\Sigma(19)$
		-402784 $\Sigma(17)$		+5862 (24)	
		<hr/>			
		+11754 (23)			

$l=5,8$ км (25)

$n=32$ шт. (26)

Виміряне перевищення

$h' = +5862$ мм (27)

Поправка за середню довжину метра рейок

$\delta_n = +3$ мм (28)

Виправлене перевищення

$h = +5865$ мм (29)

$h = +5.865$ м (30)

ВЗІРЕЦЬ ВІДОМОСТІ ПЕРЕВИЩЕНЬ І ВИСОТ ПУНКТИВ НІВЕЛЮВАННЯ ІV КЛАСУ

№ секцій	Тип і номер нівелірного знаку, тип центру	Опис розташування нівелірного знаку	Віддал між суміжними знаками в км	Віддал від початкового пункту в км	Дата виконання	Кількість штативів	Виміряні перевищення в м	Поправка із зрівнювання в мм	Висота над морем в м	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Хід від ст.репера 601 до ст.репера 217</i>										
1	Стінний репер 601	с.Синява, буд.школи механізації. Висота репера над землею 0,50 м	5,1	0,0	10.IV.20	31	+7,9780	-4	230,150	
	Грунтовий репер 65	0,5 км на захід від с.Синява в 150 м від ферми, біля дороги Синява-Камянка. Центр закладено на глибині 0,52 м	7,5	5,1	11.IV.20	40	-2,1080	-6	238,124	
2	Стінний репер 217	с.Синява, млин. Висота репера над землею 0,50 м	12,6	7,5		71	+5,870	-10	236,010	
		Сума			$H_K - H_{II}$	=	+5,860			
		Різниця висот вихідних пунктів			f_h	=	+10 мм			
		Нев'язка ходу			$f_{h,доп}$	=	$\pm 20\sqrt{L}$	= ± 74 мм		
		Допустима нев'язка			$\frac{f_h}{L}$	=	-0,8 мм			
		Поправка на 1 км ходу								
		Відомість склав:								
		Відомість перевірів:								

1.12. Нівелювання III класу

Нівелювання III класу служить висотною основою топографічних зніманих та використовується при розв'язанні різних інженерних задач. Нівелірні ходи III класу прокладають в середині полігонів нівелювання I і II класів у вигляді систем ходів, що, перетинаючись, утворюють полігони периметром 150-200 км.

Для нівелювання III класу застосовують нівеліри з збільшенням зорової труби не менше 30^{\times} і ціною поділки циліндричного рівня не більше 15" на 2 мм.

Таким вимогам відповідають нівеліри Н-3, Н-3К і інші рівноточні до них.

Рейки застосовують шашкові двосторонні, у яких помилка нанесення дециметрових поділок не перевищує ± 0.5 мм. Нівелювання виконують в прямому і зворотному напрямках. При переході до зворотного ходу рейки міняють місцями.

Довжина візирного променя допускається не більше 75 м. Різниця пліч не повинна бути більше 2 м, а нагромадження нерівностей пліч в секції 5 м. Висота візирного променя над поверхнею землі повинна бути не менше 0.3 м. Різниця перевищень, одержаних по чорній і червоній сторонах рейок, не повинна перевищувати ± 3 мм.

Нівелювання виконують при хорошій видимості, чітких та спокійних зображеннях рейок. У сонячні літні дні через сильний вплив рефракції не дозволяється проводити нівелювання протягом 1-1,5 годин після сходу та перед заходом сонця. При роботі на станції нівелір з рівнем захищають від сонячних променів парасолькою. Рейки встановлюють за рівнем на костилі або башмаки. У місцях встановлення башмаків попередньо знімають траву. На заболочених ділянках рекомендується застосовувати нівеліри з компенсатором, під ніжки штатива необхідно забивати дерев'яні кілки.

Кожна секція контролюється за різницею перевищень прямого і зворотного ходів. Ця різниця не повинна перевищувати $(\pm 10\sqrt{L})$ мм, де L – довжина ходу в км.

1.12.1. Послідовність роботи на станції при нівелювання III класу

При нівелюванні III класу відліки по рейках виконують по середній нитці і по двох крайніх (віддалемірних) нитках по чорних сторонах рейок (метод "трьох ниток") і по середній нитці по червоних сторонах рейок.

Послідовність спостереження на станції:

1. Установлюють нівелір по середині між рейдами в горизонтальне положення. Віддаль від нівеліра до рейок міряють тонким сталевим тросом або шнуром.

2. Наводять зорову трубу нівеліра на чорну сторону задньої рейки, встановленої вертикально за рівнем на нівелірний башмак або костиль, виводять точно рівень на середину елеваційним гвинтом і беруть відліки по середній (1) і віддалемірних (2), (3) нитках і усі відліки записують в журнал (таблиця 3).

3. Наводять трубу нівеліра на чорну сторону передньої рейки, приводять точно рівень елеваційним гвинтом на середину і беруть відліки по середній (4) і віддалемірних (5) і (6) нитках.

4. Повертають передню рейку червоною стороною до нівеліра, слідкують за рівнем, щоб він весь час був на середині і беруть відлік по середній нитці (7).

5.Наводять трубу на червону сторону задньої рейки, елеваційним гвинтом приводять рівень на середину і беруть відлік по середній нитці (8).

Після цього виконують обчислення і контроль на станції:

1.Обчислюють віддаль до задньої і передньої рейок (9) і (10); $(9)=(3)-(2)$; $(10)=(6)-(5)$.

2.Обчислюють контрольні перевищення (11) і (12); $(11)=(2)-(5)$ і $(12)=(2)-(6)$, нерівність пліч і їх нагромадження (13) $(13)=(9)-(10)$.

3.Обчислюють перевищення по чорній (14) і червоній (15) сторонах рейок $(14)=(1)-(4)$; $(15)=(8)-(7)$, а також п'ятки передньої (16) і задньої (17) рейок. $(16)=(8)-(1)$; $(17)=(7)-(4)$ та їх різницю (18). $(18)=(17)-(16)=(14)-(15)$.

4.Якщо розбіжність перевищень, одержаних по чорній (14) і червоній (15) сторонах рейок не перевищує ± 3 мм, то виводять середнє перевищення (19); $(19) = \frac{(14)+(15)+(18)}{2}$. Для виведення середнього перевищення (19) різницю п'яток

рейок (18) беруть рівно 100 мм зі своїм знаком. Одержане середнє перевищення (19) порівнюють з середнім контрольним перевищенням $\frac{(11)+(12)}{2}$; розбіжність не повинна перевищувати ± 3 мм.

Переконавшись в правильності обчислень і розходжень в перевищеннях, спостерігач знімає нівелір і переходить на наступну станцію та повторює описану роботу. Якщо результати нівелювання на станції перевищують допуски, спостерігач змінює висоту нівеліра і спостереження виконує спочатку, а попередні спостереження на станції акуратно під лінійку перекреслює.

Отже, під час нівелюванні необхідно дотримуватися наступного:

- стежити за правильністю чергування рейок;
- не допускати однозначної нерівності плечей, чергувати знаки нерівностей плечей; накопичення нерівностей, як уже зазначалось, не повинно бути більше 5 м.
- роботу по секції закінчувати тією рейкою, якою починали роботу (робити парну кількість станцій);
- нівелювання в зворотному напрямку виконувати в іншій половині дня;
- в зворотному ході рейки поміняти місцями;
- нівелювати ділянку 20 - 30 км по ходу прямо, а потім нівелювати його в зворотному ході;
- різницю перевищень прямого та зворотного ходів в секції допускати не більше $(\pm 10\sqrt{L})$. Якщо розбіжність вийшла більше допустимого значення, то нівелювання по секції повторюють в одному з напрямків.

ВЗІРЕЦЬ ЗАПОВНЕННЯ ЖУРНАЛУ НІВЕЛЮВАННЯ ІІІ КЛАСУ

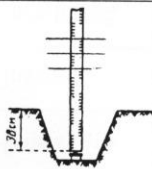
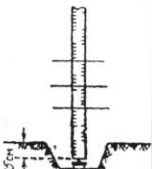
Хід: від ґрунт. реп. 5540 до ґрунт. реп. 10542

Дата: 13 червня 2020 р.

Початок: 7 год 10 хв Кінець: 8 год 40 хв

Зображення: спокійне, чітке

Погода: хмарно

№ станції № рейок	Спостереження по віддалемірних нитках		Спостереження по середній нитці					Середні перевище ння в мм
	Задня рейка	Передня рейка	Контрольні перевищення		Задня рейка	Передня рейка	Перевищ ення в мм	
1 1-2 Ґрунт реп 5540 	1572(2) 1904(3) 332(9)	1812(5) 2130(6) 318(10)	-240(11) -226(12) +14/+14(16)	чор чер	1739(1) 6430(8) 4691(16)	1971(4) 6761(7) 4790(17)	-232(14) -331(15) +99(18)	-231,5(19)
2 2-1	1170 1786 616	0631 1241 610	+539 +545 +6/+20	чор чер	1478 6269 4791	0937 5627 4690	+541 +642 -101	+541,5
3 1-2	0601 1360 759	1710 2470 760	-1109 -1110 -1/+19	чор чер	0981 5670 4689	2090 6881 4791	-1109 -1211 +102	-1110,0
4 2-1	1883 2550 667	0800 1465 665	+1083 +1085 +2/+21	чор чер	2217 7007 4790	1131 5821 4690	+1086 +1186 -100	+1086,0
5 1-2	0110 0819 709	1327 2029 702	-1217 -1210 +7/+28	чор чер	0465 5155 4690	1678 6469 4791	-1213 -1314 +101	-1213,5
6 2-1	1354 1985 631	0581 1197 616	+773 +788 +15/+43	чор чер	1670 6460 4790	0889 5579 4690	+781 +881 -100	+781,0
7 1-2	1268 1859 591	1572 2169 597	-304 -310 -6/+37	чор чер	1561 6251 4690	1870 6660 4790	-309 -409 +100	-309,0
Посторінкові контрольні обчислення	Σ(9) 4305(20)	Σ(10) 4268(21)	Σ(11)+(12) -913(22) -456,5(27)		Σ(1)+(8) 53353(23) - 54364(24) -1011(28)	Σ(4)+(7) 54364(24)	Σ(14)+(15) -1011(25) +100 -911 -455,5(29)	Σ(19) -455,5(26)
26 2-1 Ґрунт реп 10542 	2364 2450 86	1134 1218 84	+1230 +1232 +2/-2	чор чер	2409 7198 4789	1176 5867 4691	+1233 +1331 -98	+1232,0
Підрахунок по секції від ґрунт. реп. 5540 до ґрунт. реп. 10542								
	13408 (20)	13410 (21)	+2736 (27)		206756 (23) - 201289 (24) +5467 (30)	201289 (24)	+5467 (25) +2733,5 (31)	+2733,5 (26)

 $l=2,7$ км (32) $n=25$ шт. (33)

Виміряне перевищення

 $h' = +2733,5$ мм (34)

Поправка за середню довжину метра рейок

 $\delta_h = +0,3$ мм (35)

Виправлене перевищення

 $h = +2733,8$ мм (36) $h = +2,734$ м (37)

1.12.2. Камеральне опрацювання матеріалів нівелювання III класу

Камеральне опрацювання матеріалів нівелювання III класу починають з посторінкового контролю. При посторінковому контролі обчислюють:

1. Вираховують суму віддалей до задньої (20) і передньої (21) рейок $(20)=\Sigma(9)$; $(21)=\Sigma(10)$. Різниця $(20)-(21)$ повинна дорівнювати загальному нагромадженню нерівностей пліч в секції.

2. Підраховують алгебраїчну суму контрольних перевищень (22) $(22)=\Sigma(11)+(12)$.

3. Розраховують суми всіх відліків по середніх нитках чорної та червоної сторін задньої і передньої рейок $(23)=\Sigma(1)+(8)$; $(24)=(4)+(7)$, а також алгебраїчну суму перевищень $(25)=\Sigma(14)+(15)$ і алгебраїчну суму середніх перевищень (26) . $(26)=\Sigma(19)$.

4. Правильність одержаних сум контролюють: різниця сум $(23)-(24)$ повинна дорівнювати сумі (25) і сумі (22) , а сума (26) повинна бути рівною половині суми (25) , тобто $(25):2=(26)$. В кінці секції і в кінці ходу виконують такі самі контрольні обчислення. В кожній секції в суму середніх перевищень вводять поправку “ δ_h ” за довжину метра пари рейок.

Після цього, керуючись інструкцією з обчислень нівелювання складають відомість перевищень (аналогічну таблиці 2), в якій обчислюють нев’язку ходу за формулою: $f_h = \Sigma h_{\text{пр}} - (H_K - H_{\text{П}})$ і її допустиму величину $f_{h\text{доп}} = \pm 10 \sqrt{L}$ мм.

Якщо нев’язка “ f_h ” не перевищує допустимої величини, її розподіляють з оберненим знаком пропорційно довжинам секцій або кількості штативів в секціях на всі перевищення ходу. Після зрівнювання ходів обчислюють висоти марок і реперів.

1.13. Перерва в роботі при нівелюванні III і IV класу

При перерві в роботі (в кінці дня, зміна погодних умов і т.д.) нівелювання необхідно закінчувати на постійних або тимчасових знаках. Крім цього, можна використовувати надійні місцеві предмети – межові стовпи, виступи скал, виступи фундаментів кам’яних споруд. Якщо таких предметів немає, то можна використати три нівелірні башмаки або костилі.



Рис. 21 Схема нівелювання за трьома башмаками

Для цього в стороні від дороги, викопують три ямки (рис.21) глибиною 0.3 м в дно яких забивають нівелірні башмаки або костилі. Ці точки нівелюють за звичайною програмою, а після нівелювання ямки засипають землею. Після перерви ямки обережно розкопують і на очищені від землі башмаки встановлюють ті самі рейки, які були встановлені на них до перерви, повторно нівелюють і порівнюють перевищення одержані до і після перерви. Розходження допускають ± 3 мм для нівелювання III класу і ± 5 мм для нівелювання IV класу. Якщо перевищення не перевищують допуск то виводять середнє із двох його значень і продовжують хід.

Якщо розходження перевищень недопустимі то вивчають, який із башмаків змінив своє положення за висотою і хід продовжують від башмака, котрий не змінив свого положення.

1.14. Прив'язка нівелірних ходів до постійних знаків

Якщо починають і закінчують секцію на ґрунтових реперах або за ходом необхідно нівелювати ґрунтові репери, пункти триангуляції, полігонометрії і стінні репери, то рейку ставлять на марки ґрунтових реперів, пунктів триангуляції, полігонометрії (рис.22 а), або на виїмку стінного репера (рис.22,б).

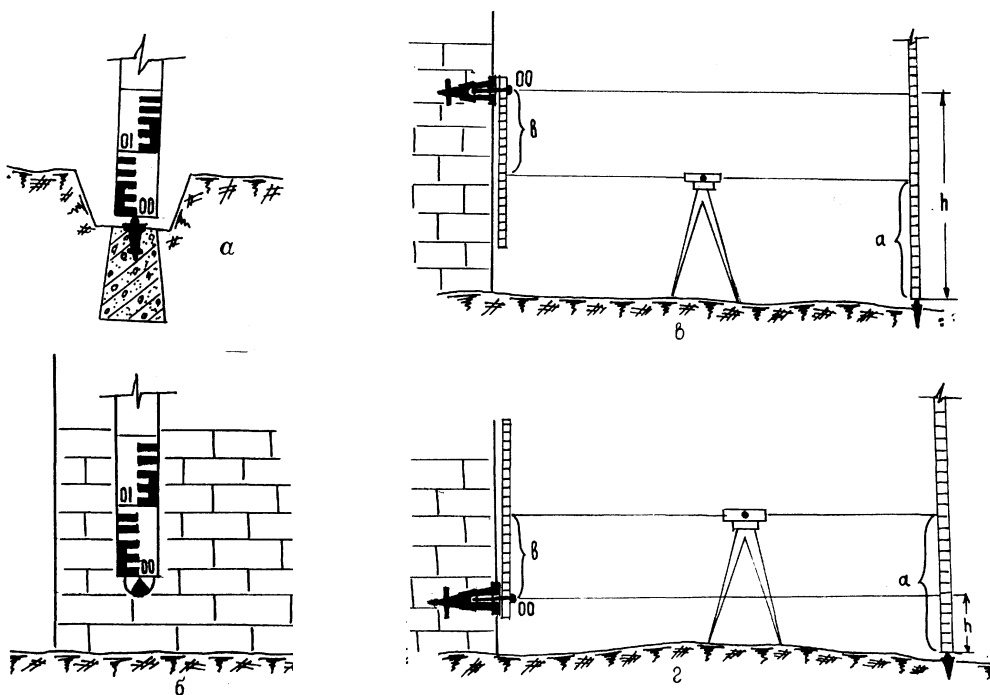


Рис. 22 Схема при в'язки нівелірних ходів до постійних знаків

У журналі нівелювання зарисовують встановлення рейки на кожному репері, записують тип, номер репера і висоту місця встановлення відносно поверхні землі; наводять відомості про стан зовнішнього оформлення репера і про його відновлення.

Для прив'язки нівелірного ходу до стінних марок використовують підвісну рейку. Довжина підвісної рейки 1 м, вона має отвір, який збігається з нулем ділень. В отвір марки вставляють штифт і на ньому підвішують підвісну рейку.

При користуванні підвісною рейкою може бути два випадки:

1. Нуль підвісної рейки розташовується вище горизонту нівеліра (рис.22,в), тоді $h=a+b$.

2. Нуль підвісної рейки розташовується нижче горизонту нівеліра (рис.22,г), тоді $h=a-b$.

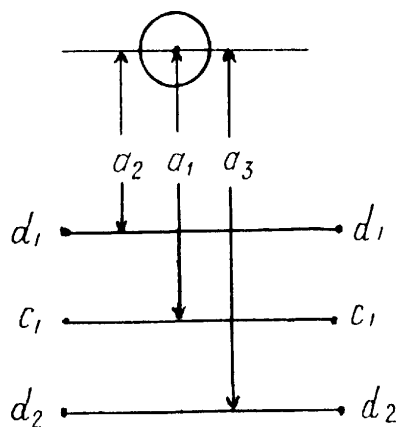


Рис.23 Проекція сітки ниток

При відсутності підвісної рейки проєктують безпосередньо на стіну (під або над стінною маркою) три горизонтальні нитки сітки зорової труби нівеліра (рис.23) і одержані точки на стіні з'єднують гострим олівцем. Потім на стіні вимірюють рулеткою з міліметровими поділками віддалі між центром стінної марки і кожною проєкцією сітки ниток a_1, a_2, a_3 .

Результати записують в журнал. Для визначання перевищення виводять середнє із трьох значень a_1, a_2, a_3 .

Спостереження на станції, що виконуються цим способом, виконують два рази. Перед повторними спостереженнями висоту нівеліра змінюють не менш, ніж на 3 см. У журналі нівелювання робиться абрис розташування отвору марки і проєкції ниток сітки на стіні будівлі.

1.15. Передача висот через перешкоди

Нівелювання виконують в найбільш вузьких місцях і по можливості використовують острова і мілини. Висота візирного променя над водою повинна бути не менше 3 м; промінь не повинен проходити над заростями, островами і мілинами.

Нівелювання через перешкоду шириною до 200 м проводиться двома способами:

1-й спосіб застосовується в тому випадку, якщо є можливість встановити нівелір і рейки таким чином, щоб обидва променя візування проходили в однакових умовах, тобто якщо є заплави, а нівелір і рейки можна розташувати так, як показано на рис.24

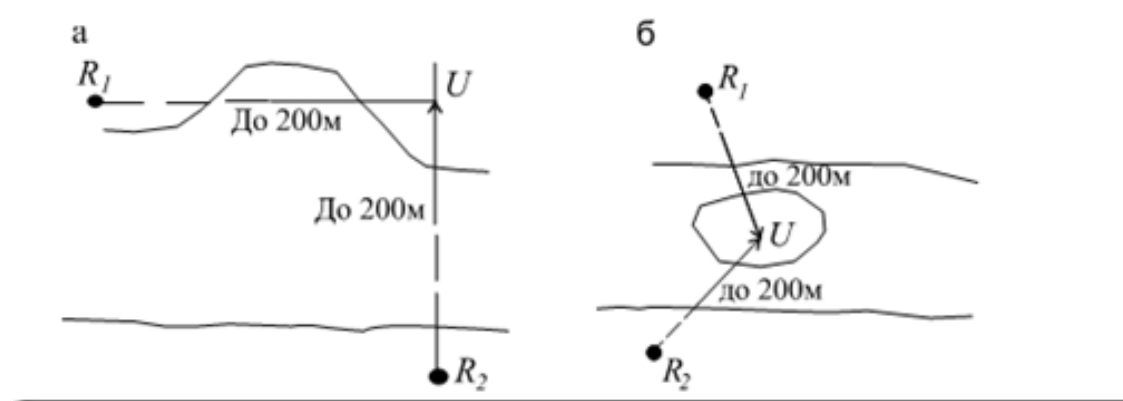


Рис.24 - Нівелювання через водні перешкоди (1-й спосіб)

На протилежних берегах закріплюються тимчасові репери R_1 і R_2 , на які встановлюють рейки, а в точці «U» встановлюється нівелір так, щоб було витримано

рівність відстаней від нівеліра до рейок (рис.24а). Нівелювання проводиться звичайним способом. Перевищення визначаються з двох прийомів. Між прийомами змінюють горизонт інструмента на 3 - 5 см. У зворотному ході нівелювання через перешкоду виконують в іншу половину дня.

Цей же спосіб застосовують і при нівелюванні через перешкоду шириною до 400 м, якщо є острови (або мілини), що дає можливість встановити інструмент так, щоб відстані до рейок були однакові і обидва візирні променя проходили в однакових умовах (як показано на рис.24б) .

Розбіжності в перевищеннях, отриманих з різних прийомів, допускаються:

- при нівелюванні III класу - 4 мм.
- при нівелюванні IV класу - 7 мм.

При допустимих розбіжностях береться середнє значення перевищення з двох прийомів.

2 - й спосіб застосовується в тому випадку, якщо не можна встановити нівелір так, щоб обидва візирні променя проходили в однакових умовах, тобто один промінь буде проходити над водою, а другий - над берегом (рис. 25, а).

В цьому випадку нівелювання виконується з обох берегів (за першим способом): двома прийомами з одного берега і двома прийомами з іншого.

Допустимі розбіжності в значеннях перевищень з різних прийомів такі ж, як і в першому способі. Перевищення, отримані з нівелювання з різних берегів, можуть розходитися до 10 мм.

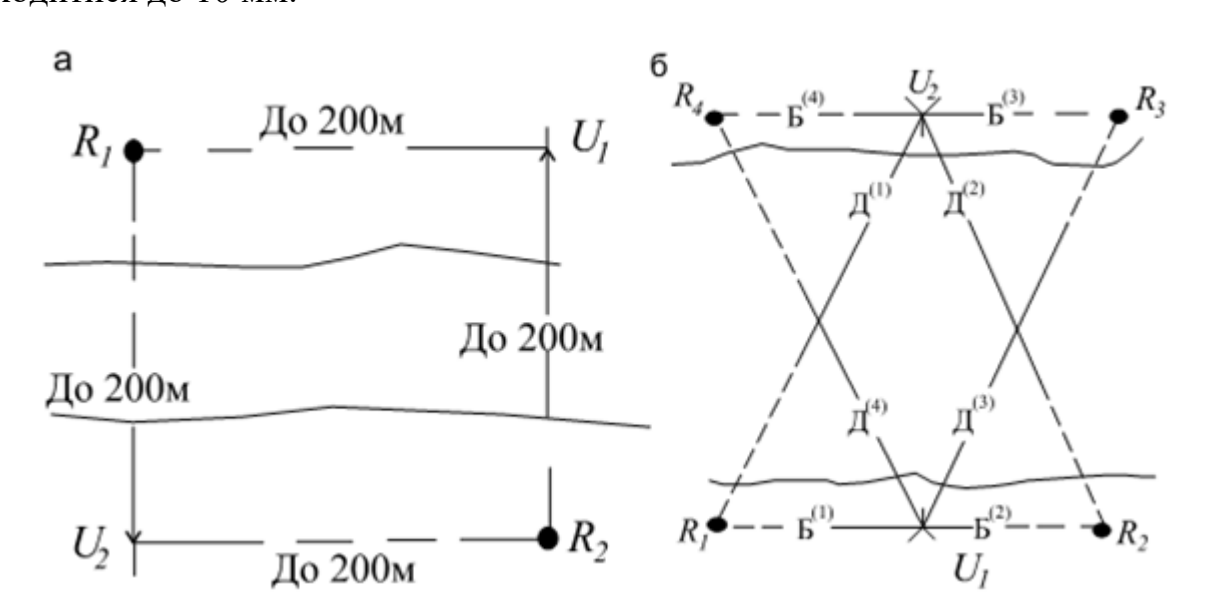


Рис.25 - Нівелювання через водні перешкоди (2 - й спосіб)

Нівелювання через перешкоду шириною 200 - 400 м виконується двома спостерігачами (рис.25, б).

У цьому випадку на протилежних берегах закріплюються реperi: постійні R_1 і R_4 , тимчасові R_2 і R_3 . відстань від нівеліра до ближніх реперів R_1 , R_2 і R_3 , R_4 , приймається рівним близько 50 м. Для нівелювання одночасно використовуються два нівеліра і два комплекти рейок. Нівеліри встановлюються в точках U_1 і U_2 , а рейки - на реперах.

Спостерігач, що знаходиться в точці U_1 , наводить трубу нівеліра на ближні рейки, встановлені на реперах R_1 і R_2 , і бере відлік по чорним і червоним сторонам рейок: $B^{(1)}$ ч, $B^{(2)}$ ч, $B^{(2)}$ чер, $B^{(1)}$ чер (або по основній і додатковим шкалами). Після

цього бере відліки по рейках, встановленим на далеких реперах R_3, R_4 : $D^{(3)}$ ч, $D^{(4)}$ ч, $D^{(4)}$ чер, $D^{(3)}$ чер.

Спостерігач, який перебуває з нівеліром в точці U_2 (на протилежному березі), одночасно з першим спостерігачем бере відліки по рейках, встановленим на ближніх для нього реперах R_3, R_4 : $B^{(3)}$ чор, $B^{(4)}$ чор, $B^{(4)}$ чер, $B^{(3)}$ чер, а потім на далеких R_1 і R_2 : $D^{(1)}$ чор, $D^{(2)}$ чор, $D^{(2)}$ чер, $D^{(1)}$ чер.

Ці дії становлять один здвоєний напівприйм. У другому здвоєному півприймості спостерігачі з нівелірами міняються місцями, спостереження починають з далеких рейок. При переїзді з одного берега на інший не змінюють фокусування труб нівелірів.

Використовуючи результати спостережень обох спостерігачів, перевищення обчислюються кожним спостерігачем по головному створу: R_1 і R_4 і по контрольному ходу: $R_1-R_2-R_3-R_4$ з відліків по чорним і червоним сторонам рейок.

Перевищення, обчислені за головним і контрольним створах, не повинні відрізнятися більш ніж на $24\text{мм}\sqrt{S}$, де S - ширина перешкоди в км.

У виняткових випадках нівелювання III і IV класів через перешкоди виконують взимку *по льоду* з дотриманням наступних умов:

- нівелювання виконують по найбільш короткому шляху в якомога коротший термін;

- на обох берегах водойми завчасно закладають по одному постійному реперу;

- перед початком нівелювання трасу очищають від снігу; в місцях для встановлення рейок пробивають в льоді отвори, в які вставляють дерев'яні кілки довжиною 20-30 см і діаметром 8-10 см з вбитими в їх торці цвяхами; в місцях встановлення нівеліра для кожної ніжки штатива вставляють кілки довжиною 10-15 см і діаметром 8-10 см;

- порядок спостережень і допуски на станціях такі ж, як і при звичайному нівелюванні.

При роботі на льоду необхідно дотримуватися запобіжних заходів. Не допускати скупчення людей на льоду і руху автотранспорту.

Нівелювання по льоду виконують двічі як в прямому, так і в зворотному напрямках. Розбіжність між середніми значеннями з двох прямих і двох зворотних ходів допускають не більше $10\text{мм}\sqrt{L}$ при нівелюванні III класу і $20\text{мм}\sqrt{L}$ для IV класу.

Нівелювання IV класу при ширині перешкоди 200 - 400 м також можна виконувати *по урізу води*.

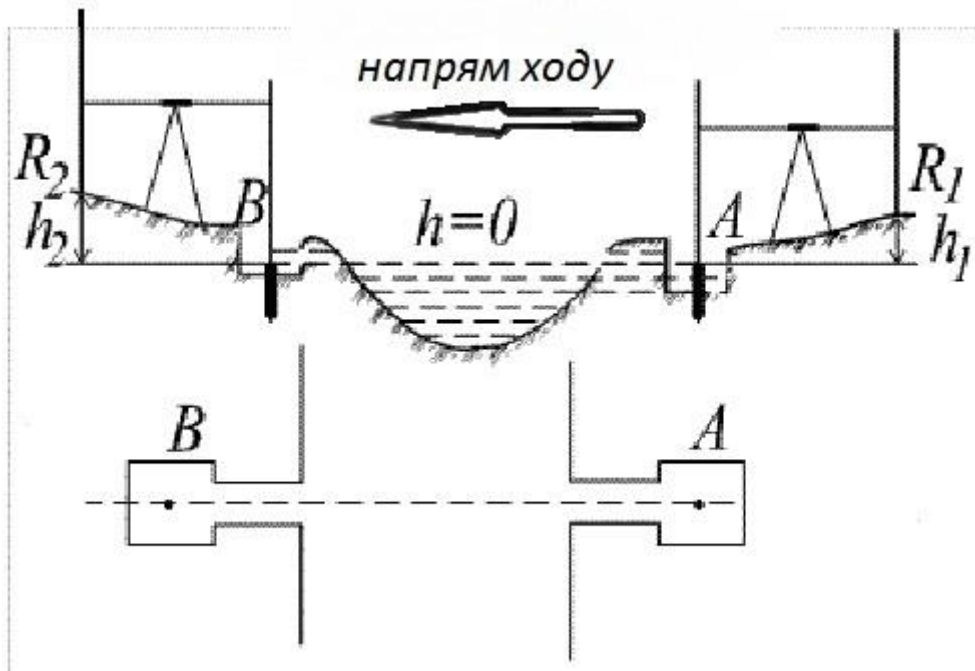


Рис.26 Нівелювання по урізу води

З цією метою на річці вибирають прямолінійний ділянку зі спокійною течією та закріплюють два репери R_1 і R_2 .

Поблизу урізу води на обох берегах викопують відповідні канали, в яких одночасно забивають по одному кілочку А і В, так щоб зрізи кілків виявилися на рівні води. Перевищення між кілками приймається рівним нулю.

Визначають перевищення h_1 між R_1 і точкою А і h_2 - між точкою В і R_2 . Перевищення між реперами R_1 і R_2 буде:

$$h_{R_1-R_2} = h_1 + h_2$$

Нівелювання по урізу води виконують двічі. Розбіжність між двома значеннями перевищення допускають до $20\sqrt{L}$ мм, де L - відстань між реперами, км.

1.16. Тригонометричне нівелювання

Тригонометричне нівелювання – це визначення перевищення нахиленим променем візування. Воно виконується за допомогою теодоліта, віхи або рейки.

Для визначення перевищення необхідно виміряти кут нахилу лінії v та відстань D (рис.27). Тригонометричне нівелювання є менш точним, ніж геометричне, але широко застосовується при топографічних зніманнях місцевості і при вирішенні різних інженерних задач, оскільки дозволяє швидко визначити перевищення довільних точок на значній відстані.

Тригонометричне нівелювання застосовують для визначення висот пунктів наприклад, в гірській місцевості, де геометричне нівелювання є трудомістким. За допомогою тригонометричного нівелювання можна передавати висоти на великі віддалі.

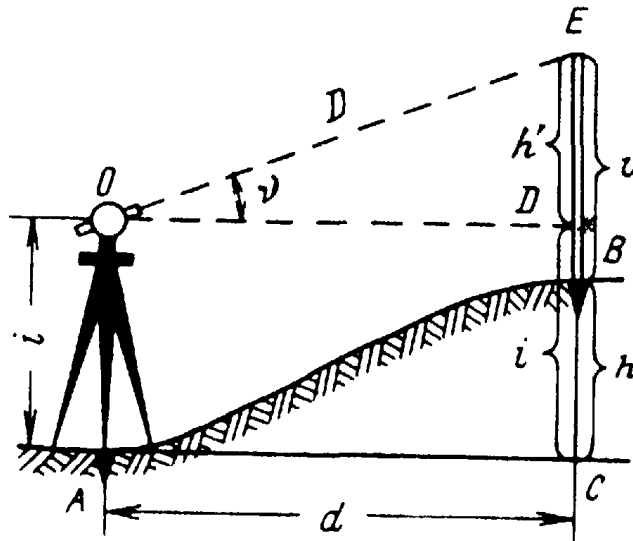


Рис. 27 Тригонометричне нівелювання

Для визначення перевищення “ h ” між точками А і В (рис.27) в точці А встановлюють теодоліт, а в точці В – рейку або віху.

Вимірюють висоту приладу (теодоліта) i за допомогою рулетки або по рейці, встановивши зорову трубу горизонтально, та висоту віхи V . Наводять візирну вісь зорової труби теодоліта на віху (рейку) на висоту V і вимірюють вертикальний кут нахилу візирної осі v . За нитковим віддалеміром або світловіддалеміром вимірюють нахилу відстань D , а потім обчислюють горизонтальне прокладення d . Горизонтальне прокладення d за рахунок неперпендикулярності рейки до візирного променя обчислюється за формулою $d = D \times \cos^2 v$.

Після цього обчислюють перевищення h :

Відповідно до рис. 27 : $h' + i = h + V$; $h = h' + i - V$; $h' = d \operatorname{tg} v$; $h = d \operatorname{tg} v + i - V$.

Якщо в точці В установа рейка і виміряна віддалемірною віддаль D , тоді

$$h' = \frac{1}{2} D \sin 2v; \quad h = \frac{1}{2} D \sin 2v + i - V.$$

При віддальях більше 300 м між точками А і В у виміряні перевищення вводять поправку за кривину Землі і рефракцію:

$$h = d \operatorname{tg} v + i + f - v; \quad f = 0.42 \frac{d^2}{R},$$

де R – радіус кривини Землі. Радіус кривини Землі – $R = 6371,11$ км.

РОЗДІЛ 2. ВИСОКОТОЧНЕ НІВЕЛЮВАННЯ

2.1. Загальні відомості

Державна нівелірна мережа України призначена для поширення єдиної системи висот на території всієї країни, вона є висотною основою топографічних зніманих та інженерно-геодезичних робіт, які виконуються для задоволення потреб економіки, науки та оборони країни.

На всій території України обчислення висот виконується в номарльній системі висот від нуля Кронштадтського футштока. Ця система називається Балтійською – 77. За нуль Кронштадтського футштока прийнята горизонтальна риска на мідній пластині футштока.

Державні нівелірні мережі I і II класів – **це головна висотна основа України**. Ці мережі створюються за спеціально розробленими програмами і схемами, які передбачають виконання нівелірних робіт I і II класів, терміни і черговість яких встановлюється Державною службою геодезії і картографії України (Держгеокадастром).

Виходячи з конкретних завдань, за затвердженими технічними проектами, проводиться нівелювання додаткових ліній.

Нівелірні мережі I і II класу використовуються для вирішення наступних наукових завдань:

- вивчення фігури Землі і її зовнішнього гравітаційного поля;
- визначення різниць висот і нахилів середньорівневої поверхні морів і океанів, що омивають територію України.

Результати повторного нівелювання I і II класів застосовують:

- ✓ для підтримки висотної мережі на сучасному рівні;
- ✓ вивчення сучасних вертикальних рухів земної поверхні;
- ✓ прогнозування впливу виробництва на навколишнє середовище, особливо при видобутку нафти, газу та інших корисних копалин;
- ✓ сейсмічного районування території України, виявлення провісників землетрусів.

У гірських районах результати повторного нівелювання використовують для вивчення будови земної кори, отримання даних про швидкості і спрямованості рухів окремих блоків, виявлення діючих розломів і розривів у земній корі.

Лінії нівелювання I і II класів прокладають переважно вздовж шосейних чи залізничних доріг, а при їх відсутності, особливо у важкодоступних районах країни, - по берегах річок.

У всіх випадках лінії нівелювання I і II класів прокладають по трасах з найбільш сприятливими для даного району ґрунтовими умовами та з найменш складним рельєфом.

Особливості створення висотних мереж в містах і на геодинамічних полігонах вказані в розділах Інструкції з нівелювання I, II, III і IV класів.

Нівелювання I класу виконують з найвищою точністю, яку можна отримати, застосовуючи сучасні прилади і методи спостережень, що дозволяють найбільш повно виключати систематичні помилки нівелювання. Отримані з обробки значення випадкових і систематичних середніх квадратичних помилок нівелювання I класу і допустимі нев'язки в полігонах I класу не повинні перевищувати значень, наведених в таблиці 4.

Випадкові і систематичні скп нівелювання

Клас нівелювання	Середня квадратична помилка		Дпустима нев'язка в полігоні або лінії, $f_{мм}$
	випадкова, η мм/км	систематична, σ мм/км	
I	0,8	0,08	3мм \sqrt{L}
II	2,0	0,20	5мм \sqrt{L}
III	5,0	-	10мм \sqrt{L}
IV	20,0	-	20мм \sqrt{L}

Нівелірна мережа України складається з 28 полігонів I класу загальною довжиною ліній 12,6 тис. км, а периметр полігонів I класу сягає 750 км. Лінії нівелювання II класу утворюють 70 полігонів загальною довжиною 10 800 км. Периметр полігонів нівелювання II класу сягає 480 км. Будь-яка точка, розташована на території України, віддалена від ліній нівелювання I і II класів не далі, ніж на 40 км. Загальна довжина ліній нівелювання III класу становить 6022 км, а IV класу — близько 300 000 км

Нівеліри, призначені для нівелювання I і II класів, повинні відповідати таким вимогам:

- 1) збільшення зорової труби не менше 40^x;
- 2) ціна ділення контактного рівня не більше 12" на 2 мм;
- 3) точність самовстановлення компенсатора менше 0,2";
- 4) ціна ділення барабана плоскопаралельної пластинки - 0,05 мм;
- 5) зображення кінців бульбашки контактного рівня передається в поле зору труби.

Із сучасних нівелірів для нівелювання I і II класів придатні нівеліри:

- з рівнем: Н05, Н-1, Ni004, НА-1 і ін.
- з компенсатором: Ni002, Ni007 і ін.
- цифрові: Trimble DiNi 0.3, Trimble DiNi 0.7 та ін.

Необхідна точність вимірювань для I і II класів досягається тільки при використанні інварних штрих-кодових рейок.

Вимоги до рейок для I класу нівелювання:

- застосовуються штрихові інварні рейки, на інварній смузі яких повинні бути нанесені дві шкали, зміщені одна відносно іншої;

- відстані між осями штрихів - 5 мм;

- помилки метрових інтервалів і всієї шкали не повинні перевищувати 0,10 мм.

У гірських районах працюють інварними рейками з термодатчиками. Помилки метрових інтервалів і всієї шкали в цьому випадку не повинні перевищувати 0,05 мм;

- рейки повинні бути забезпечені круглими рівнями з ціною поділки 10 - 12 / 2 мм;

- потібно визначати термічні коефіцієнти;

- натяг інварних смуг - 20 + 1 кг;

- для прив'язки до стінних марок застосовують підвісну рейку з такими ж шкалами, як і на основних рейках. Нуль на підвісній рейці повинен бути поєднаний з центром отвору для штифта, на який підвішують рейку до стінної марки.

Вимоги до рейок для II класу нівелювання:

- помилки метрових інтервалів шкал і всієї шкали інварної рейки при нівелюванні II класу допускають до 0,20 мм, при нівелюванні в гірських районах - до 0,10 мм.

- для прив'язки до стінних марок застосовують підвісну рейку з такими ж шкалами, як і на основних рейках. Нуль на підвісній рейці повинен бути поєднаний з центром отвору для штифта, на який підвішують рейку до стінний марці.

Нівелірні рейки при нівелюванні I класу повинні еталонуватися на компараторі МК-1 на початку, в середині і в кінці польового сезону, при нівелюванні II класу - тільки на початку і в кінці польового сезону. У польових умовах рейки щомісяця компарують за допомогою контрольних лінійок. Польове компарування рейок повинно виконуватися при температурі $20^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$, і служить для контролю за станом рейок в полі. Якщо за результатами польового компарування середня довжина метрового інтервалу комплекту рейок змінилася більше ніж на 0,1 мм, то проводять додаткове еталонування рейок на компараторі МК-1.

Перед початком польових робіт, крім виконання досліджень, описаних в Інструкції, також встановлюють, як впливають теплові впливи на юстування нівеліра та визначають якість обертання нівеліра навколо вертикальної осі.

У нівелірів, призначених для роботи в горах, зміни кута i при зміні температури на 1°C не повинні перевищувати $0,5''$.

При обертанні нівеліра навколо вертикальної осі по ходу і проти ходу годинникової стрілки відліки по рівню, при одному і тому ж положенні зорової труби по азимуту, не повинні відрізнятись між собою більше ніж на $20''$.

Відмінність ціни поділки відлікового барабана мікрометра нівеліра від номіналу не повинні перевищувати 0,0015.

Перевірку і виправлення кута i нівеліра на початку польового сезону виконують щодня, а надалі, переконавшись в його постійності, через 5 - 10 днів. Кут i повинен бути менше $10''$.

Перевірку установочного рівня (рівнів) нівеліра проводять щодня. При повороті нівеліра навколо вертикальної осі на 180° бульбашка рівня не повинна відхилятися від середини більш ніж на 0,3 поділу.

При нівелюванні бажано застосовувати штативи з довжиною ніжок 160 - 180 см, що забезпечує стійкість нівеліра під час спостережень і зручність роботи спостерігача.

При нівелюванні по твердому або сухому кам'янистому ґрунті необхідно використовувати сталеві костилі довжиною 15 - 20 см і товщиною 1,5 - 2,5 см, при нівелюванні по асфальту - сталеві цвяхи довжиною 6 - 7 см, товщиною 4 - 6 мм, що мають напівсферичну голівку у формі сегменту діаметром підстави близько 20 мм і висотою 5 - 10 мм або костилі завдовжки близько 10 см і товщиною 1,0 - 1,5 см чотиригранної форми.

При нівелюванні на залізниці застосовують звичайні костилі, які забивають у бровку полотна. Можна застосовувати костилі завдовжки 5 - 7 см, товщиною 5 - 10 мм, які забивають у шпали. Реєчник не повинен наступати на шпалу, в яку забитий або вгвинчений костиль.

На вологих м'яких ґрунтах бажано застосовувати в якості перехідних точок дерев'яні кілки з цвяхами або металеві клинки завдовжки 50 - 70 см, товщиною 3 - 4

см. Товщина і довжина кілків залежать від щільності ґрунту, але вони не повинні бути коротшими 0,25 м і довшими 0,7 м. Якщо кілки і костилі навіть завдовжки 0,7 м не забезпечують стійкості, то нівелювання даної секції потібно виконувати в інший час року, коли ґрунт буде більш надійний.

Якщо в зворотному ході використовують ті ж костилі (кілки), які були забиті в ґрунт при проекції прямого ходу, то їх перед спостереженнями в зворотному ході забивають глибше. Кожна бригада повинна бути забезпечена двома - трьома комплектами костилів різної довжини і товщини. В кожен комплект повинні входити 20 - 30 костилів.

При нівелюванні необхідно дотримуватися вимог інструкції про рівність відстаней між інструментом та задньою і передньою рейками. Також важливо зберегти незмінними кількість та місця станцій при проектуванні прямого і зворотного ходів.

В широких гірських долинах роботу потрібно починати тільки після того, як сонце освітить 40 - 50 % схилів і припиняться повільні плаваючі коливання зображень рейки; закінчують спостереження за 30 хв до заходу сонця, до початку цих коливань.

Для забезпечення правильності і точності прив'язки до нівелірних знаків, особливо до скельних реперів, закладених у горизонтальну поверхню скелі, виконують наступне: після взяття відліків по основній шкалі рейки, реєчник повинен зняти рейку з головки репера і знову поставити її, і тільки після цього можна проводити відліки по додатковій шкалі рейки. Якщо відліки по рейці, що встановлена на репері, відрізняються більше ніж на 5 поділок, то необхідно встановити і усунути причину цих змін.

2.2. Нівелювання II класу

Нівелювання II класу виконують в прямому і зворотному напрямках по костилях, спостереження на станції виконують способом «суміщення».

Нівелювання II класу виконують нівелірами з плоско-паралельною пластиною, контактним рівнем або компенсатором.

Зображення кінців бульбашки контактного рівня повинно передаватися в поле зору труби.

При нівелюванні II класу застосовують нівеліри Н-05, N1-002, N1-004, N1-007 або рівноцінні до них за точністю та штрихові інварні рейки. Можуть застосовуватися інші типи нівелірів, які пройшли сертифікацію на відповідність вимогам Інструкції по нівелюванню I, II, III та IV класів.

Помилки метрових інтервалів шкал і всієї шкали інварної рейки при нівелюванні II класу допускають до 0,20 мм, при нівелюванні в гірських районах - до 0,10 мм.

2.2.1. Робота на станції при нівелюванні II класу

При нівелюванні в прямому напрямку (прямий хід) порядок спостережень на станції наступний:

<i>непарна станція</i>	<i>парна станція</i>
1. Відлік по основній шкалі задньої рейки	1. Відлік по основній шкалі передньої рейки
2. Відлік по основній шкалі передньої рейки	2. Відлік по основній шкалі задньої рейки
3. Відлік за додатковою шкалою передньої рейки	3. Відлік за додатковою шкалою задньої рейки
4. Відлік за додатковою шкалою задньої рейки	4. Відлік за додатковою шкалою передньої рейки

При нівелюванні в зворотному напрямку (зворотний хід) спостереження на непарних станціях починають з передньої рейки, а на парних - із задньої.

У прямому і зворотному напрямках нівелювання виконують, як правило, по одній і тій же трасі і по перехідним точкам одного і того ж типу; кількість станцій в секції роблять парним і однаковим.

На час переходу спостерігача на наступну станцію передню рейку знімають з костиля.

Коли змінюється напрямок нівелювання, рейки міняють місцями. На кожній секції нівелювання в прямому та зворотному напрямках виконують, як правило, в різні частини дня. Восени, а також в похмуру погоду, цю вимогу дотримуються нестрого. Нівелювання виконують ділянками в 25-30 км схемою «вісімка». В окремих випадках довжина ділянки може бути збільшена або зменшена.

Нормальна довжина променя візування - 65 м. Якщо збільшення зорової труби не менше 44^x і умови для спостерігання сприятливі, дозволяється збільшити довжину променя до 75 м.

При роботі з нівеліром Ni-007 максимальна довжина променя візування складає 50 м.

Висота променя візування над поверхнею повинна бути не менше 0,5 м. В окремих випадках при довжині променя візування до 30 м дозволяється виконувати спостереження при висоті променя візування більше 0,3 м.

Не дозволяється виконувати спостереження:

- при коливаннях зображень, які ускладнюють точне наведення бісектора на штрих рейки, і «плаваючих» зображеннях;
- сильному і поривчастому вітрі;
- сильних і стрибкоподібних коливаннях температури повітря і аномально швидких односторонніх її змінах.

Нівелір встановлюють у тіні на штатив за 45 хв до початку спостережень.

Під час спостережень на станції нівелір ретельно захищають від сонячних променів парасолькою з білою підкладкою, а при перенесенні з одної станції на іншу - просторим чохлом з щільної білої матерії.

Через кожні дві станції вимірюють температуру повітря на висоті нівеліра.

Відстані від місця встановлення нівеліра до рейок вимірюють тонким сталевим тросом або сталеву стрічкою (рулеткою). Використовувати для цього віддалемір нівеліра забороняється.

Нерівність відстаней від нівеліра до рейок на станції допускають не більше 1 м. Накопичення цих нерівностей по секції дозволяється не більше 2 м.

Послідовність спостережень на станції *нівелірами з рівнем* наступна:

1. Направляють зорову трубу в бік тієї рейки, яка на даній станції спостерігається першою, і ретельно приводять бульбашки рівнів (рівня) на середину.

2. Наводять трубу на основну шкалу тієї рейки, яка повинна спостерігатися першою. Барабан нівеліра ставлять на відлік 50. Обертанням елеваційного гвинта наближено поєднують зображення кінців бульбашки рівня; беруть віддалемірні відліки по верхній і нижній нитках.

3. Обертанням елеваційного гвинта точно суміщають зображення кінців бульбашки рівня; обертанням барабана точно наводять бісектор на найближчий штрих основної шкали; беруть відліки по рейці і барабану (до цілих поділок його шкали).

4. Наводять трубу на основну шкалу другої рейки; виконують всі дії, зазначені в п. 2 і 3.

5. Наводять трубу навідним гвинтом на додаткову шкалу другої рейки; зміщують рівень поворотом елеваційного гвинта на чверть обороту; обертанням елеваційного гвинта точно суміщають кінці бульбашки рівня і виконують решту дій, перерахованих в п. 3.

6. Наводять трубу на додаткову шкалу першої рейки і діють відповідно до п. 3.

Відлік по рейці починають після повного заспокоєння бульбашки циліндричного рівня і не раніше ніж через півхвилини після встановлення рейки на костилі.

Результати спостережень на станції записують в журнал встановленого взірця (таблиця 5) або вводять в пристрій реєстратора. При прив'язці до реперів в журналі зазначають, в якому стані знаходиться зовнішнє оформлення репера і вказують види робіт, виконані по його відновленню.

При роботі нівеліром з *компенсатором* відліки по рейці і відліковому барабану (мікрометра) роблять відразу ж після наведення труби на рейку, яка повинна спостерігатися першою, і приведення бульбашки рівня на середину. Перед відліком необхідно переконатися, що компенсатор знаходиться в робочому стані.

На кожній станції обчислюють значення перевищення за спостереженнями основних і додаткових шкал рейок. Розбіжності між перевищеннями і різниця висот нулів рейок, обчислена і отримана з досліджень, не повинна бути більше 0,7 мм (14 ділень барабана). Якщо розбіжність вийшла більшою допустимого значення, то всі спостереження на станції переробляють, попередньо змінивши положення нівеліра по висоті не менше ніж на 3 см.

ВЗІРЕЦЬ ЗАПОВНЕННЯ ЖУРНАЛУ НІВЕЛЮВАННЯ ІІ КЛАСУ

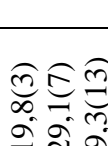
Хід: від ґрунт. реп. 92 до ґрунт. реп. 21

Дата: 30 квітня 2020 р.

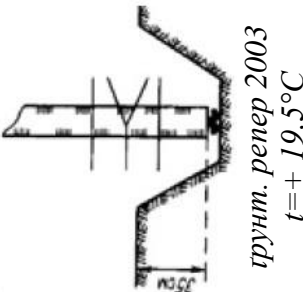
Початок: 7 год 30 хв. Кінець: 10 год. 00 хв.

Погода: хмарно

Зображення: спокійне, чітке

Номера штативів та рейок	Зарис прив'язок	Відліки по віддалемірним ниткам(1/2 мм)		Відліки по бісектору ниток (1/2 дм)				Контроль
		3	П	Основна шкала		Додаткова шкала		
				Р	Б	Р	Б	
1	2	3	П	6	7	8	9	10
$\frac{1}{1-2}$	 марка, 1687 $t=+17,3^{\circ}\text{C}$	1910(1)	2840(5)	3	58(4)	79,0(11)	102(12)	59,244(25)
		2050(2)	2980(6)	П	58(8)	88,4(9)	8(10)	59,250(26)
		140(21)	140(22)	3-П	0(14)	-9,4(16)	+94(17)	
		-9,30(24)	0/0(23)	и	-9,300 (15)	-9,306 (18)		$\frac{+6(19)}{+6(20)}$
$\frac{2}{2-1}$		2435(5)	2380(1)	3	40(8)	87,7(9)	88(10)	59,248(26)
		3260(6)	3215(2)	П	95(4)	87,3(11)	47(12)	59,252(25)
		825(21)	835(22)	3-П	55(14)	+0,4(16)	+41(17)	
		+0,50(24)	-10/-10(23)	и	+0,445 (15)	+0,441(18)		$\frac{+4(19)}{+10(20)}$
$\frac{3}{1-2}$	$t=+17,8^{\circ}\text{C}$	2050	4880	3	27	82,8	86	59,259
		2670	5500	П	28	111,1	77	59,249
		620	620	3-П	-1	-28,3	+9	
		-28,30	0/-10	и	-28,301	-28,291		$\frac{-10}{0}$
$\frac{4}{2-1}$		750	4310	3	66	69,9	16	59,250
		1370	4930	П	8	105,4	57	59,249
		620	620	3-П	+58	-35,5	-41	
		-35,60	0/-10	и	-35,542	-35,541		$\frac{-1}{-1}$

Номера штативів та рейок	Зарис прив'язок	Відліки по віддалемірним ниткам(1/2 мм)		Відліки по бісектору ниток (1/2 дм)				Контроль
		Основна шкала		Додаткова шкала				
		З	П	Р	Б	Р	Б	
$\frac{5}{1-2}$	$t = +18,0^{\circ}\text{C}$	3	П	29,7	24	89,9	75	59,251
		2560	2505	29,2	40	88,4	93	59,253
		3380	3330	+ 0,5	-16	+ 0,5	-18	
		820	825	+0,484				$\frac{+2}{+1}$
$\frac{6}{2-1}$		3	П	30,2	20	89,4	71	59,251
		2602	1945	23,6	93	82,9	42	59,249
		3432	2775	+ 6,6	-73	+ 6,5	+ 29	
		830	830	+6,527				$\frac{+2}{+1}$
$\frac{7}{1-2}$	$t = 18,0^{\circ}\text{C}$	3	П	47,7	26	106,9	85	59,259
		4480	1830	21,2	35	80,5	0	59,265
		5060	2410	+ 26,5	-9	+ 26,4	+ 85	
		580	580	+ 26,491				$\frac{+6}{+5}$
$\frac{8}{2-1}$		3	П	21,4	33	80,6	83	59,250
		2020	5686	58,1	25	117,3	78	59,253
		2270	5934	-36,7	+ 8	-36,7	+ 5	
		250	248	-36,692				$\frac{+3}{+8}$
$\frac{9}{1-2}$	$t = 18,5^{\circ}\text{C}$	3	П	21,8	34	81,0	80	59,246
		2100	5410	54,8	60	114,1	13	59,253
		2260	5550	-33,0	-26	-33,1	+ 67	
		160	140	-33,026				$\frac{+7}{+15}$
$\frac{10}{2-1}$		3	П	16,5	57	75,8	8	59,251
		1580	5455	55,1	85	114,4	39	59,254
		1720	5585	-38,6	-28	-38,6	-31	
		140	130	-38,628				$\frac{+3}{+18}$

Номера штативів та рейок	Зарис прив'язок	Відліки по віддалемірним ниткам (1/2 мм)		Відліки по бісектору ниток (1/2 дм)				Контроль
		3	П	Основна шкала		Додаткова шкала		
				Р	Б	Р	Б	
	$\sum(1-10)$	4985(27)	4968(28) +17	249,8(29) 397,2(30) -147,4(39) - 147,542(37)	385(31) 527(32) - 142(40)	842,0(38) 989,8(34) -147,8(42) - 147,560(38)	694(35) 454(36) +240(20)	+18 (20)
$\frac{11}{1-2}$		1320 1480 160 -42,40	5560 5720 160 0/+17	14,0 56,4 -42,4 -42,370	43 13 +30	73,2 115,6 -42,4 -42,371	91 62 +29	59,248 59,249 +1/+19
<i>Розрахунок по секції від марки 6187 до ґрунтового репера 2003</i>								
		5145(27)	5128(28) +17	$\sum(28)$ 263,8(29) 453,6(30) -189,8(39)	428(31) 540(32) -112(40)	915,2(33) 1105,4(34) -190,2(41)	785(35) 516(36) +269(42)	+19(20)
		$l=0,5$ км (38)	$n=11$ шт.(39)		-189,912(37)		-189,931(38) сер. -189,922 (1/2 дм)	(36)

Вимірне перевищення:

$$h' = -9496,1 \text{ мм}$$

Поправки за середню довжину метра рейок:

$$\delta h = -0,1 \text{ мм}$$

Поправка за різницю температур інварних рейок при еталонуванні

$$\delta h_t = -0,2 \text{ мм}$$

на компараторі та нівелюванні в полі:

$$h = -9496,3 \text{ мм}$$

Виправлене перевищення:

2.2.2. Камеральне опрацювання матеріалів нівелювання II класу

Після кожних десяти станцій виконуються контрольні обчислення:

1. По графам 3 й 4 знаходять суми різниці відліків по віддалемірним штрихам і записують їх ($\Sigma 21$) - ($\Sigma 22$). Різниця цих сум повинна дорівнювати останньому нагромадженню на десятій станції (23).

Штрафам 6-9, окремо по задній і передній рейках підсумовують відліки по рейці й барабану, та записують як ($\Sigma 3$) і ($\Sigma 4$), ($\Sigma 7$) і ($\Sigma 8$), ($\Sigma 11$) і ($\Sigma 12$), ($\Sigma 9$) і ($\Sigma 10$) та ($\Sigma 12$)- ($\Sigma 10$) відповідно під номерами дій (25), (26), (27) і (28).

По трьом графам обчислюють контрольні суми ($\Sigma 15$) і ($\Sigma 18$). Контрольні обчислювання:

- сумарні перевищення по основній шкалі для десяти станцій ($\Sigma 15$) повинно дорівнювати сумарним відлікам по рейці (25) і барабану (26), аналогічно по додатковій шкалі ($\Sigma 18$) = (27) + (28);
- накопичення різниць перевищень повинне погоджуватись з останньою цифрою на десятій станції, тобто ($\Sigma 15$) - ($\Sigma 18$)=(20) на останній станції.

При розрахунку наступних штативів з 11 по 20, з 21 по 30 сумарні графи записуються з наростаючими підсумками. Для одержання сумарного перевищення, по всій секції до суми перевищень останнього, повного десятка станцій, додати, як залишок, сумарні розрахунки останніх станцій, кількість яких менша 10. Із перевищень основній і додатковій шкалам, обчислений по секції, виводять середнє перевищення в нарівдециметрах і потім переводять його значення в міліметри й записують з точністю до 0.1мм.

В обчислення по секції у перевищення вводяться поправки:

- ✓ за середню довжину метрах;
- ✓ за температуру рейок;
- ✓ за різницю висот нулів шкал рейок;
- ✓ за приведення до нормальних систем и висот.

Виправлення за середню довжину метра вводиться в кожен хід, використовуючи результати контрольного визначення середньої довжини одного метра для комплекту рейок:

$$\Delta l = l_e - 1000 \text{ (мм)},$$
$$\delta h_i = \Delta l \text{ (мм)} * h \text{ (м)},$$

де l_e – довжина, отримана при дослідженні комплекту рейок.

Поправки до значень перевищень, отриманих з нівелювання в прямому та оберненому ходах, обчислюються за формулою:

$$\delta h_i = \alpha * (t_0 - t_{0e}) * h \text{ (м)},$$

де t_{0e} - температура рейок при компаруванні; t_0 - температура повітря при нівелюванні; α - коефіцієнт лінійного розширення $2 \cdot 10^{-6}$.

Якщо різниця висот нулів рейок > 0.1 мм, то її додають до перевищення. Виправлення за різницю нулів шкал рейок вводять у хід при непарній кількості штативів. Також обчислюють кілометраж по секції. Для цього складають обчислення по графах 3 та 4, тобто $5145+5128=10273$ (таблиця 5), множать на коефіцієнт віддалеміра 100, переводять в метри та округляють до 0,1 (тобто $10273 \times 100 : 2000 = 10273 \times 1/20 = 513 \text{ м} = 0,5 \text{ км}$).

Потім знаходять середнє перевищення із прямого і зворотнього ходів h_{cp} та виконують перехід до нормальних висот $h = h_{cp} + f$, де $f = -0,0110 \text{ м}$.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Лабораторна робота № 1 Будова нівеліра з компенсатором (Перевірка компенсатора нівеліра)

Мета роботи: вивчити будову нівеліра з компенсатором, навчитись виконувати перевірку роботи компенсатора.

Прилади та інструменти: нівелір з компенсатором, штатив, нівелірні рейки, бланки до лабораторної роботи.

Завдання 1. Вивчити будову нівеліра з компенсатором. Зробити загальний огляд нівеліра і скласти звіт.

Завдання 2. Перевірити встановлення лінії візування у нівелірі з компенсатором. Зробити висновки.

Завдання 3. Виконати перевірку роботи компенсатора нівеліра і зробити висновок щодо придатності приладу до роботи.

Вказівки для виконання завдання

До виконання робіт з нівелювання прилади досліджують та перевіряють з метою встановлення їх придатності для нівелювання визначеної точності, приведення в робочий стан і визначення постійних.

Огляд нівеліра. Під час огляду прилада перевіряють:

- чистоту оптики зорової труби;
- правильність і чіткість зображення сітки ниток, бульбашки рівня і поділок на ампулі;
- плавність обертання окуляра і головки труби, яка переміщає фокусуючу лінзу;
- можливість точного фокусування зорової труби;
- справність і кріплення гвинтів нівеліра, дзеркала, штативу.

Визначення та усунення **помилки встановлення лінії візування** виконують наступним чином. Нівелір встановлюють точно на середині і в створі між двома рейками, які знаходяться одна від другої на відстані 50 - 80 метрів, беруть відліки по середній нитці a_1 задньої рейки і по середній нитці b_1 передньої рейки.

Потім нівелір встановлюють за передньою рейку на відстані 3 – 5 м від неї і беруть відліки a_2 по дальній рейці і b_2 по ближній.

Попередньо обчислений відлік по дальній рейці $a_2 = (a_1 - b_1) + b_2$ не повинен відрізнятись від фактичного відліку a_2 більше ніж на 4 мм. В протилежному випадку сітку ниток зорової труби за допомогою виправних гвинтів переміщують так, щоб фактичний відлік a_2 став дорівнювати попередньо обчисленному a_2 . Перевірку повторюють після кожного виправлення.

Для перевірки роботи компенсатора прилад встановлюють строго на середині у створі між двома рейками. Вимірюють перевищення при відповідних положеннях круглого рівня, як показано до рис. 28. Спостереження виконують серіями, загальна кількість яких дорівнює п'яти прийомам. Перед новою серією змінюють висоту нівеліра.

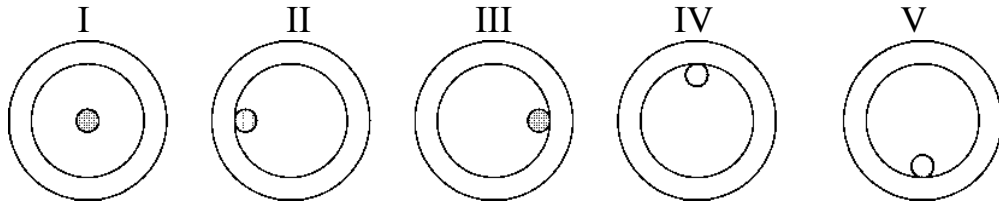


Рис. 28. Схема положення бульбашки круглого рівня при дослідженні компенсатора

Якщо середні значення перевищень, отримані при положеннях бульбашки рівня II і III, IV і V, відрізняються від середнього при положенні рівня I більше ніж на 0,5 мм (I клас), 1,0 мм (II клас), 3,0 мм (III клас) і 5,0 мм (IV клас), то прилад потребує заводського юстування, а отже, його не можна використовувати при нівелюванні відповідного класу.

При нівелюванні I і II класів перед початком польових робіт дослідження виконують на відстанях між рейками 10, 50 і 100 м, а через 2, 4 і 6 місяців після виїзду в поле на відстані 100 м. При нівелюванні III класу при відстанях між рейками 100 і 200 м, IV класу - 200 м. Після виїзду в поле цю перевірку на відстані 200 м виконують через три місяці при нівелюванні III класу.

Середню квадратичну помилку m_k самовстановлення лінії візування нівеліра знаходять за формулою:

$$m_k = \sqrt{\sum db^2 / 2n}$$

де $db = b_{\text{сер.пр.}} - b_{\text{сер.об.}}$ - різниця середніх відліків по мікрометру коліматора, що отримані в прямому і оберненому ходах, при одному встановленні гвинта екзаменатора; n - число різниць відліків.

Систематичну помилку роботи компенсатора обчислюють за формулою:

$$\sigma_k = (b_1 - b_n) / v_i$$

де b_1 і b_n - середні відліки на коліматорі при максимальних нахилах вертикальної осі нівеліра; v_i - сумарний нахил вертикальної осі нівеліра, кут. хв.

У нівелірів, призначених для нівелювання I і II класів, діапазон роботи компенсатора повинен бути більше $\pm 8'$, середня квадратична помилка самовстановлення лінії візування нівеліра менше $0,2''$, систематична помилка роботи компенсатора на $1'$ нахилу вертикальної осі нівеліра не більше $0,05''$, а для нівелірів Н-3 відповідно $15'$, $0,5''$ і $0,3''$. Якщо при дослідженнях отримані великі значення m_k і σ_k , то нівеліри необхідно юстувати в майстерні.

Література:

Практикум по геодезии / Селиханович В.Г., Козлов В.П., Логинова Г.П. - М.: Недра, 1978. - 382 с. (стор. 47-48).

Лабораторна робота №2 Визначення різниці нулів п'яток рейок

Мета роботи: оволодіти методикою визначення різниці нулів п'яток рейок.

Прилади та інструменти: нівелір, нівелірні рейки, башмаки, бланки до лабораторної роботи.

Завдання. Визначити різницю нулів п'яток рейок. Зробити висновки.

Вказівки до виконання завдання

Сутність перевірки полягає у визначенні різниці висот нулів чорної і червоної сторін кожної рейки, а також різниці висот нулів червоних сторін пари рейок. Ці різниці використовуються для контролю якості спостережень і правильності обчислень на станції.

Визначення різниці висот нулів основної та додаткової шкал рейки виконують в такій послідовності:

1. Встановлюють нівелір в робоче положення. На відстані 20 - 30 м від нівеліра забивають чотири костилі (або кілки);

2. Встановлюють першу рейку на першому костилі і привівши її у вертикальне положення, жорстко закріплюють.

3. Для нівелірних рейок типу РН-05 виконують послідовно чотири рази візування і відлік за шкалами, спочатку по основній, потім по додатковій; для нівелірних рейок типу РН-3 і РН-10 виконують послідовно візування і відлік спочатку по червоній, потім по чорній сторонам рейки;

4. Виконують описані дії для другої рейки комплекту.

Зазначений порядок визначень проводять на кожному костилі, що становить один прийом вимірювань. Виконують три таких прийоми для рейок типу РН-05 і два прийоми для рейок типу РН-3 і РН-10. Між прийомами змінюють горизонт нівеліра на 3-5 см.

Порядок запису відліків і обчислень для шашкових рейок приведений в табл. 6.

Таблиця 6

Визначення різниці висот нулів шашкових рейок

Рейки: № 41, 42.

23 березня 2020 р.

Спостерігач: Р. Петій

№ прийому	№ кілка	Відліки по рейці № 41 (1)			Відліки по рейці № 42 (2)		
		чорна	червона	різниця	чорна	червона	різниця
I	1	0363	5150	4787	0362	5051	4689
	2	0412	5200	4788	0411	5099	4688
	3	0491	5277	4786	0491	5178	4687
	4	0592	5379	4787	0591	5279	4688
II	1	0409	5196	4787	0410	5099	4689
	2	0457	5245	4788	0458	5147	4689
	3	0538	5325	4787	0539	5227	4688
	4	0638	5426	4788	0636	5325	4689
Сума відліків		3900	42198	38298	3898	41405	37507
Середнє		0487.5	5274.8	4787.3	0487.2	5175.6	4688.4

Різниця висот нулів червоної і чорної сторін рейки 1- 4787 мм, рейки 2 – 4688 мм.

Різниця висот нулів рейок (1 – 2):

- чорних сторін $0487.5 - 0487.2 = +0.3$ мм
- червоних сторін $5274.8 - 5175.6 = +99.2$ мм
- пари рейок $+0.3 - 99.2 = -98.9$ мм = 99 мм.

З величинами -99 мм у випадку (1 – 2) і +99 мм у випадку (2 – 1) порівнюють різницю значень перевищення на станції, які отримані по чорним і червоним сторонам рейок.

Література:

Практикум по геодезії / Селиханович В.Г., Козлов В.П., Логинова Г.П. – М.: Недра, 1978. – 382 с. (стор. 44-45).

Лабораторна робота №3 Нівелювання IV класу

Мета роботи: оволодіти методикою нівелювання IV класу.

Прилади та інструменти: нівелір, штатив, нівелірні рейки, бланки до лабораторної роботи.

Завдання. Прокласти хід нівелювання IV класу між пп 1 та пп 9. Скласти відомість перевищень і висот пунктів. Виконати математичну обробку матеріалів нівелювання. Скласти схему ходу.

Вказівки до виконання завдання

Відомість перевищень і висот пунктів нівелювання складається для підготовки польових вимірювань до зрівнювання. У відомості вказується назва ходу, вихідні репери (марки), типи та номери знаків нівелювання з описом їх розташування, довжини секції і кількість штативів (в прямому і в оберненому напрямках), виміряні перевищення і поправки до них за середню довжину 1 м комплекту рейок, фактичні і допустимі різниці перевищень прямого та оберненого ходів, перевищення (для нівелювання IV класу). У цю ж відомість записуються абсолютні позначки початкового та кінцевого пунктів нівелювання і нев'язки ходів: обчислену та допустиму.

Після закінчення урівнювальних обчислень у відомість вписуються урівняні перевищення і абсолютні позначки реперів.

Подальші інструкції див. лабораторну роботу №4.

Література:

1. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України, затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 8 червня 1998 р. №844
2. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-97)
3. Інструкція про типи центрів геодезичних пунктів (ГКНТА-2.01, 02-01-93)
4. Інструкція по нивелированию I, II, III и IV классов, - Москва. ЦНИИГАиК - 2004. - 382 с.
5. Нівелювання III та IV класів. Навчально –методичні вказівки/ Калинич І.В., Мельник А.В., —Ужгород, УжНУ, Вид. «Говерла» 2008—34 с.

Лабораторна робота №4 Нівелювання III класу

Мета роботи: оволодіти методикою нівелювання III класу.

Прилади та інструменти: нівелір, штатив, нівелірні рейки, бланки до лабораторної роботи.

Завдання. Прокласти хід нівелювання III класу між пп 1 та пп 9. Скласти відомість перевищень і висот пунктів. Виконати математичну обробку матеріалів нівелювання. Скласти схему ходу.

Вказівки до виконання завдання

Відомість перевищень і висот пунктів нівелювання складається для підготовки польових вимірювань до зрівнювання. У відомості вказується назва ходу, вихідні репери (марки), типи та номери знаків нівелювання з описом їх розташування, довжини секції і кількість штативів (в прямому і в оберненому напрямках), виміряні перевищення і поправки до них за середню довжину 1 м комплекту рейок, фактичні і допустимі різниці перевищень прямого та оберненого ходів, середнє перевищення (для нівелювання III класу). У цю ж відомість записуються абсолютні позначки початкового та кінцевого пунктів нівелювання і нев'язки ходів: обчислену та допустиму.

Після закінчення урівнювальних обчислень у відомість вписуються урівняні перевищення і абсолютні позначки реперів.

Оцінка якості нівелювання.

Якість нівелювання можна оцінити:

а) за різницями d_i виміряних перевищень в прямому і обернених ходах (в нівелюванні III класу) по секціях $d_i = h_{пр.} - h_{обр.}$, порівнюючи їх з допустимими значеннями $d_{дон.} = 10\text{мм}\sqrt{L}$;

б) за нев'язками ходів, що опираються на жорсткі (вихідні пункти) $f_{\bar{h}} = \sum h - (H_k - H_n)$;

б) за нев'язками замкнутих полігонів $f_{\bar{h}} = \sum h$.

Середня квадратична помилка перевищення на 1 км ходу обчислюється за формулою:

$$m_{км} = \sqrt{\frac{\left[\frac{f_h^2}{L} \right]}{N}}$$

де f_h - нев'язка ходу або полігона;

L - довжина ходу в км;

N - число ходів або полігонів, для яких обчислена нев'язка.

Якщо хід прокладений між жорсткими пунктами, то вважається що позначки вихідних пунктів безпомилкові (при обчисленні f_h).

Середня квадратична помилка визначення перевищення на станції дорівнює:

$$m_h = \sqrt{\frac{\left[\frac{f_h^2}{n} \right]}{N}}$$

де n - число станцій в ході або полігоні;

N - число ходів (полігонів).

Середня квадратична помилка визначення перевищення (середнього з прямого і оберненого ходів) по ходу довжиною в 1 км може бути обчислена за різницями подвійних вимірів за формулою:

$$m_h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\left[\frac{d^2}{L} \right]}{N}}$$

де d - різниця перевищень прямого та оберненого ходів по секції;

L - довжина секції; N - кількість різниць (секцій).

Середня квадратична помилка визначення одного перевищення (середнього) на станції може бути обчислена також за різницями подвійних вимірів за формулою:

$$m_h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\left[\frac{d^2}{n} \right]}{N}}$$

де n - число станцій в секції; N - кількість різниць.

Після польових нівелірних робіт складається робоча та остаточна *схеми* нівелірних мереж III і IV класів. Робоча схема складається на ватмані в довільно масштабі. На схему наносять всі ходи, що підлягають зрівнюванню, а також всі вихідні і вузлові репери. Під номерами вихідних пунктів записують червоним кольором їх абсолютні позначки, а внизу схеми вказують назву джерела, звідки вони виписані. Всі ходи на схемі нумерують, а напрямок ходу прямого нівелювання показують стрілками. Біля кожного ходу вказуються виміряні перевищення і довжини секції.

Література:

- 1.1. Основні положення створення Державної геодезичної мережі України, затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 8 червня 1998 р. №844
2. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-97)
3. Інструкція про типи центрів геодезичних пунктів (ГКНТА-2.01, 02-01-93)
4. Нівелювання III та IV класів. Навчально –методичні вказівки/ Калинич І.В., Мельник А.В., —Ужгород, УжНУ, Вид. «Говерла» 2008—34 с.

Лабораторна робота № 5

Зрівнювання перевищень нівелірних мереж методом еквівалентної заміни

Мета роботи: Оволодіти методикою зрівноваження нівелірної мережі з чотирма вузловими точками методом еквівалентної заміни.

Обладнання та матеріали: ПК або калькулятор, бланки відомостей зрівноваження нівелірної мережі, вихідні дані.

Завдання. Зрівноважити нівелірну мережу з чотирма вузловими точками.

Суть методу полягає в тому, що систему ходів з декількома вузловими точками зводять до системи ходів з однією вузловою точкою. На основі принципу загальної арифметичної середини замінують декілька ходів *одним* еквівалентним (рівносильним), який дає такий же результат, як і замінені дійсні ходи. Висота вузлової точки, до якої підходить еквівалентний хід, обчислюється як середнє вагове з висот цієї точки, одержаних із ходів, що заміняли.

Для засвоєння методу кожному студенту пропонується врівноважити мережу з чотирма вузловими точками (рис. 29). В ній ходи 1 і 2 та 4 і 5 замінують еквівалентними ходами E_1 і E_2 . Тоді мережа перетвориться в звичайний замкнутий нівелірний хід, який складається з чотирьох частин E_1 , AB , E_2 , CD . Зрівноваження такого ходу виконують розподілом нев'язки в перевищення пропорційно до кількості станцій.

Вихідні дані виписують згідно зі своїм варіантом з додатку 3. Знаки перевищень відповідають напрямкам стрілок на схемі мережі (рис. 29). Обчислення виконують в спеціальній відомості (додаток 2, табл.2) в зошиті для лабораторних робіт.

Вказівки до виконання завдання

Візьмемо нівелірну мережу, що показана на рис.29. Мережа має чотири вузлові точки А, В, С, D. Висоти цих точок невідомі. Між вузловими точками прокладено 6 ходів. В ходах виміряні перевищення h_1, h_2, \dots, h_6 . Відомо число станцій ходів n_1, n_2, \dots, n_6 . Це дає можливість обчислити ваги всіх ходів, тобто міру їх надійності $P_i = \frac{1}{n_i}$.

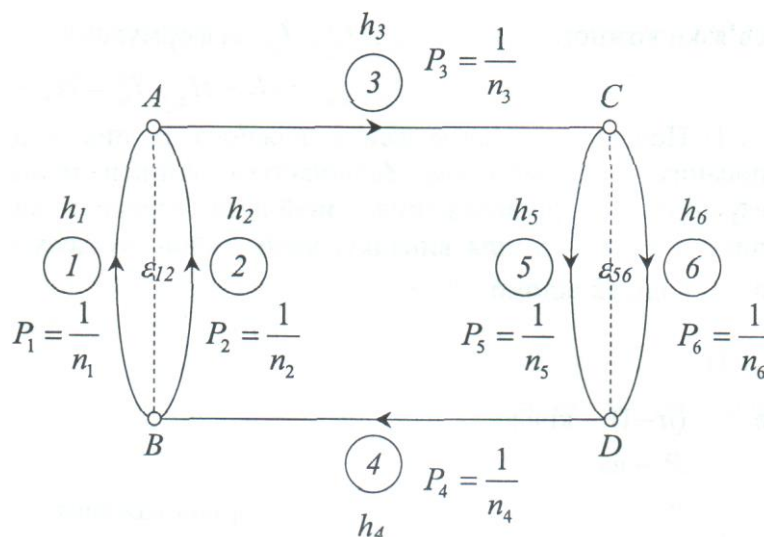


Рис.29. Зрівноваження перевищень нівелірної мережі методом еквівалентної заміни

Введемо поняття *еквівалентного* нівелірного ходу. Еквівалентним ходом називають такий уявний хід, вага якого дорівнює сумі ваг існуючих ходів, які замінені еквівалентним.

1.1. Замінімо ходи 1 і 2 еквівалентними ходами ε_{12} та ходи 5 і 6 еквівалентним ходом ε_{56}

1.2. Обчислимо ваги еквівалентних ходів :

$$\left. \begin{aligned} P_{12} &= P_1 + P_2 \\ P_{56} &= P_5 + P_6 \end{aligned} \right\}$$

1.3. Знайдемо число станцій еквівалентних ходів. Оскільки $P_i = \frac{1}{n_i}$, то $n_i = \frac{1}{P_i}$.

Оскільки ми знаємо ваги еквівалентних ходів, то можемо знайти число

станцій у цих ходах:

$$\left. \begin{aligned} n_{12} &= \frac{1}{P_{12}} \\ n_{56} &= \frac{1}{P_{56}} \end{aligned} \right\}$$

1.4. Визначимо перевищення еквівалентних ходів, як середні вагові:

$$h_{12} = \frac{h_1 P_1 + h_2 P_2}{P_1 + P_2}; \quad h_{56} = \frac{h_5 P_5 + h_6 P_6}{P_5 + P_6};$$

Після заміни ходів 1,2 – еквівалентним ходом ε_{12} , та ходів 5,6 - еквівалентним ходом ε_{56} , мережа перетворилася у зімкнений хід - полігон.

1.5. Знайдемо нев'язку полігону f_h та число станцій полігону - n :

$$f_h = h_{12} + h_3 + h_{56} + h_4,$$

$$n = n_{12} + n_3 + n_{56} + n_4.$$

1.6. Визначимо нев'язки чотирьох ходів, що залишилися після заміни: еквівалентних ε_{12} , ε_{56} та існуючих - 3 і 4:

$$\left. \begin{aligned} f_{h_{12}} &= \frac{f_h}{n} n_{12}; f_{h_{56}} = \frac{f_h}{n} n_{56} \\ f_{h_3} &= \frac{f_h}{n} n_3; f_{h_4} = \frac{f_h}{n} n_4 \end{aligned} \right\}$$

1.7. Знаючи нев'язки ходів 3 і 4, знайдемо їх зрівноважені перевищення як поодиноких ходів:

$$\left. \begin{aligned} h_{33B} &= h_3 - f_{h_3} \\ h_{43B} &= h_4 - f_{h_4} \end{aligned} \right\}$$

1.8. Аналогічно знайдемо зрівноважені перевищення еквівалентних ходів:

$$\left. \begin{aligned} h_{123B} &= h_{12} - f_{h_{12}} \\ h_{563B} &= h_{56} - f_{h_{56}} \end{aligned} \right\}$$

1.9. Визначимо нев'язки ходів 1 і 2 та 5 і 6:

$$\left. \begin{aligned} f_{h1} &= h_1 - h_{123B} \\ f_{h2} &= h_2 - h_{123B} \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} f_{h5} &= h_5 - h_{563B} \\ f_{h6} &= h_6 - h_{563B} \end{aligned} \right\}.$$

1.10. На рисунку не показано, але в кожному із шести ходів є репери. Тепер, коли дана мережа поділена на шість незалежних ходів і відомі нев'язки цих ходів, то в подальшому врівноважують перевищення між цими реперами, пропорційно вагам частин ходів між суміжними реперами. Ці ваги обернено пропорційні числу станцій у секціях. Зрівноваження завершують оцінкою точності результатів.

Оцінка точності

Похибку одиниці ваги знаходять за формулою:

$$\mu = \sqrt{\frac{[Pf_{hi}^2]}{n-k}},$$

де n - число всіх ходів; k - число вузлових точок.

Різниця $r = (n - k)$ дає кількість надлишкових ходів. У нашому випадку: $r = 6 - 4 = 2$, тобто мережа має два надлишкових ходи.

Обчислюють середню квадратичну помилку на 1 км ходу:

$$m_{\text{км}} = \frac{\mu}{\sqrt{10}}.$$

Результати оцінки точності записують під відомістю.

Оформлення і здача роботи

Загальне оформлення роботи виконують відповідно до додатку 1. Числа в колонках записують так, щоб цифри відповідних розрядів були розміщені одні під другими без зсуву.

Оцінювання результатів роботи

Лабораторну роботу студент захищає після перевірки якості обчислень. На оцінку виконаної роботи впливають: акуратність і вчасність її виконання. Під час захисту роботи студент повинен знати мету роботи, послідовність її виконання, а також відповідний теоретичний матеріал.

Література:

1. Селиханович В.Г. Геодезія. Ч. П. - : Недра, 1981. –с.117 -122.
2. Селиханович В.Г., Логинова Г.П. Задачник по геодезії. М: Недра, 1970 с.59-65.
3. Ассур В.Л., Филатов А.М. Практикум по геодезії. - М: Недра, 1985 с.333 – 336.
4. Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія. Львів- 2007 с.81 – 85.
5. Перій С.С., Рій І.Ф. Зрівноваження нівелірної мережі методом еквівалентної заміни. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи, - Львів: ЛНАУ – 2010 24с.

Питання для самоконтролю

1. Поняття еквівалентного нівелірного ходу.
2. Що таке вага ходу?
3. Як обчислити вагу ходу?
4. Як обчислити ув'язані суми перевищень еквівалентних ходів?
5. Який хід називається зімкнутим?
6. За якою формулою обчислюють середню квадратичну помилку одиниці ваги ?

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Географічний
факультет

Кафедра землевпорядкування
та кадастру

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА
*Зрівноваження нівелірної мережі
методом еквівалентної заміни*

ВАРІАНТ № 1

Виконав:
студент гр. ЗВК 2
Ткаченко І.І.

Перевірив:
доц. Калинич І.В.

Ужгород 2020

Зрівноваження нівелірної мережі методом еквівалентної заміни

Вихідні дані

Таблиця 1

№№ ходів	Сума перевищень $\sum h_i$, мм	Число станцій, n_i
1	+3854	25
2	+3836	19
3	+2636	38
4	-9252	16
5	+2805	21
6	+2793	15

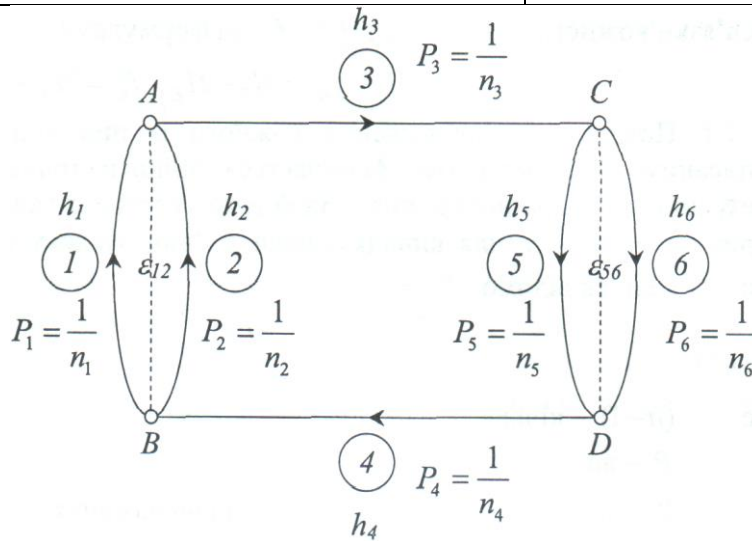


Рис.1 Схема мережі: 1,2,3,4,5,6 – номери ходів; A, B, C, D – вузлові точки

Відомість обчислення зрівноваження нівелірної мережі методом еквівалентної заміни

Таблиця 2

№№ ходів	$\sum h_i$, мм	n_i	p_i	№№ ходів	$\sum h_{Ei}$	n_{Ei}	σ'_{hi}	$\sum h_{YBi}$	V_{hi} мм	$\sum h_{YBi}$ мм	VV мм ²	PVV мм ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	+3854	25	4.0	E ₁	+3844	11	-4	+3840	-14	+3840	196	748,0
2	+3836	19	5.3		-			-	+4	+3840	16	84,8
3	+2636	38	2.6	3	+2636	38	-14	+2622	-14	+2622	196	509,6
4	+2793	16	6.3	E ₂	+2798	9	-3	+2795	+2	+2795	4	25,2
5	+2805	21	4.8		-			-	-10	+2795	100	480,0
6	-9252	15	6.7	6	-9252	15	-5	-9257	-5	-9257	25	

$$f_h = +0026 \quad 73 \quad -26 \quad 0 \quad [pvv] = 1883,6$$

$$\mu = \sqrt{\frac{1883,6}{6-3}} = 25,0 \text{ мм}; \quad m_{\text{км}} = \frac{25,0}{\sqrt{10}} = 7,9 \text{ мм}.$$

Виконав _____ студ. Ткаченко І.І.
Перевірив _____ доц. Калинич І.В.
Оцінка _____

ВИХІДНІ ДАНІ

Таблиця 3

Ва- іант	№ ходів	$\sum h_1$ в мм	Число станцій	Ва- іант	№ходів	$\sum h_1$ в мм	Число станцій	Ва- іант	№ ходів	$\sum h_1$ в мм	Число станцій
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1	+7318	42		1	+7422	46		1	+9316	51
	2	+7336	29		2	+7438	33		2	+9340	32
1	3	+1488	24	6	3	+2216	29	11	3	-2413	27
	4	-5551	28		4	-4316	37		4	-1559	35
	5	-3283	21		5	-5315	51		5	-5376	48
	6	-3284	37		6	-5329	52		6	-5367	25
	1	-8503	64		1	+5843	47		1	-8493	54
	2	-8466	43		2	+5857	32		2	-8466	43
2	3	+1482	33	7	3	-1744	27	12	3	+1482	33
	4	+1059	45		4	+0103	23		4	+1059	35
	5	+5943	38		5	-4217	28		5	+5933	38
	6	+5944	46		6	-4229	39		6	+5944	46
	1	+5445	47		1	-6843	37		1	+5841	43
	2	+5430	34		2	-6855	26		2	+5856	33
3	3	+1267	28	8	3	+1848	19	13	3	-2364	29
	4	+2234	32		4	-0394	21		4	+3275	24
	5	-8927	44		5	+5384	23		5	-6752	33
	6	-8916	59		6	+5399	44		6	-6734	47
	1	-4386	38		1	+8437	46		1	+6438	58
	2	-4378	17		2	+8428	34		2	+6428	47
4	3	+0916	24	9	3	+2203	27	14	3	-1713	32
	4	-3984	21		4	-6932	29		4	-0895	40
	5	+7459	34		5	-3673	40		5	-3828	50
	6	+7481	44		6	-3687	57		6	-3847	63
	1	+6391	51		1				1	+1492	87
	2	+6412	33		2	-6935	36		2	+1508	48
5	3	+2829	28	10	3	-2461	27	15	3	+14863	52
	4	-4383	25		4	+5033	31		4	-9085	85
	5	-4839	36		5	+4358	33		5	-7282	54
	6	-4822	48		6	+4367	51		6	-7296	72
	1	-4384	46		1	+7316	48		1	+6403	51
	2	-4375	26		2	+7333	37		2	+6418	36
16	3	+0914	33	18	3	+1485	32	20	3	+2211	37
	4	+7457	43		4	-3280	36		4	-4301	42
	5	+7480	53		5	-3284	31		5	-4310	53
	6	-3982	31		6	-5548	46		6	-4316	58
	1	-8500	53		1	+3242	51		1	+6471	67
17	2	-8463	30	19	2	+3266	36	21	2	+6442	46
	3	+1480	22		3	+1623	31		3	-1481	37
	4	+1057	33		4	-0271	27		4	-1056	49
	5	+5940	26		5	-4619	32		5	-3930	42
	6	+5943	35		6	-4605	41		6	-3933	51
	1	-8531	62		1	-6865	51		1	+5746	57
	2	-8516	53		2	-6856	38		2	+5756	29
22	3	+1212	37	23	3	+1343	43	24	3	-2264	32
	4	+1611	45		4	-0269	48		4	+3175	39
	5	+5716	51		5	+5781	40		5	-6657	43
	6	+5736	66		6	+5773	63		6	-6634	45
	1	-8643	57								
	2	-8628	47								
25	3	+1213	32								
	4	+1612	41								
	5	+5814	48								
	6	+5841	63								

Лабораторна робота №6

Зрівноваження нівелірної мережі способом послідовних наближень (спосіб вузлів)

Мета роботи: Оволодіти методикою зрівноваження нівелірної мережі з трьома вузловими точками методом послідовних наближень.

Обладнання та матеріали: ПК або калькулятор, бланки відомості зрівноваження нівелірної мережі, вихідні дані.

Завдання. Зрівноважити нівелірну мережу з трьома вузловими точками.

Суть методу полягає у тому, що для одержання зрівноважених висот вузлових точок спочатку згідно з методом найменших квадратів для мережі з z нівелірних ходів і k вузловими точками складають z параметричних рівнянь поправок v , де невідомими виступають висоти вузлових точок. Потім на їх основі через умову мінімуму $[pvv] = 0$ отримують k нормальних рівнянь, розв'язуючи які методом послідовних наближень, і отримують висоти вузлових точок. Друга назва методу – метод вузлів. Потім кожен хід зрівнюють окремо.

Для засвоєння методу кожному студенту пропонується зрівноважити нівелірну мережу з трьома вузловими точками (див.рис.30).

Вихідні дані виписують безпосередньо на схему мережі згідно з своїм варіантом (додаток 5). Знаки перевищень відповідають напрямкам стрілок на схемі мережі. Обчислення виконують у спеціальному зошиті для лабораторних робіт.

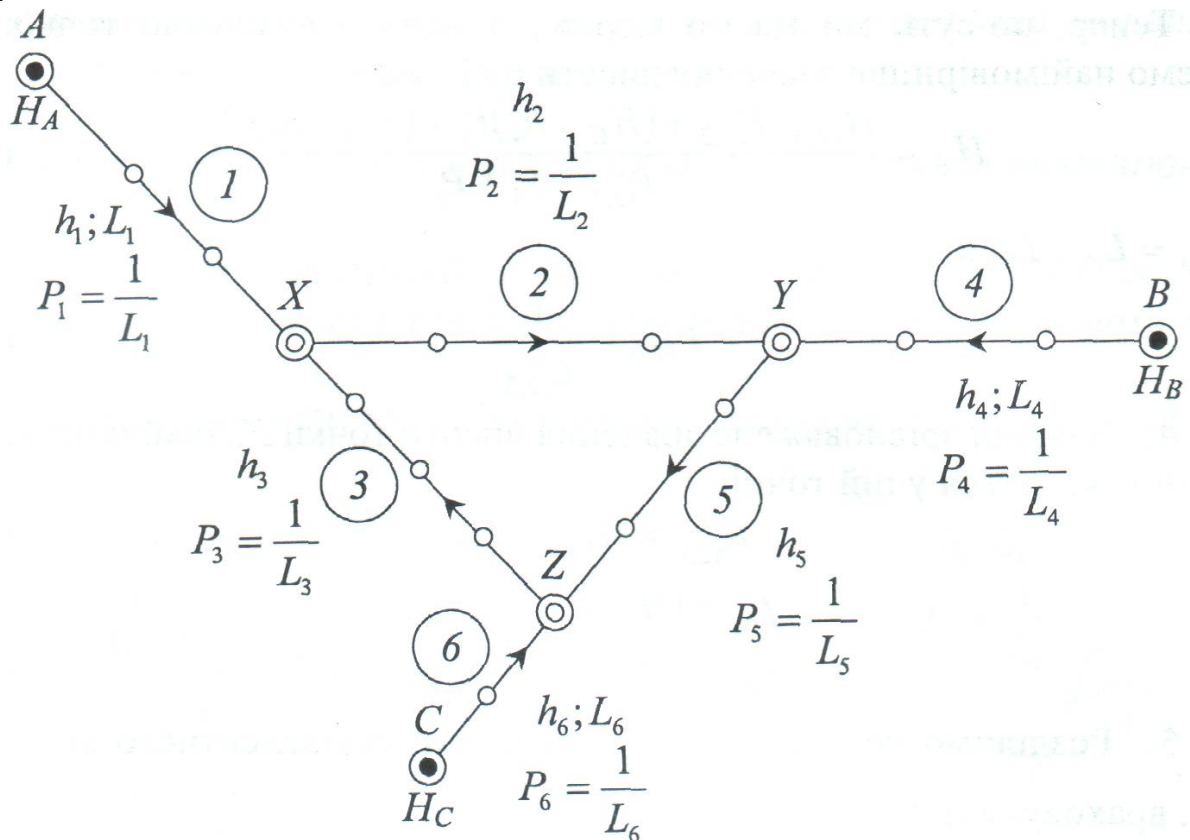


Рис.30. Нівелірна мережа з трьома вузловими точками

Основні теоретичні відомості

Розглянемо застосування цього способу для мережі, що складається із шести ходів, які утворюють три вузлових точки. Відомі перевищення та довжини ходів, висоти трьох реперів, обчислені ваги ходів.

Припустимо, що якимось чином, знайдені висоти вузлових точок X, Y, Z . Але, якщо знайдені висоти цих точок, то для кожного ходу можна скласти рівняння похибок, враховуючи, що кожен хід має свою вагу. Тому припишемо цим рівнянням ваги ходів – P_i :

$$\left. \begin{aligned} X - (H_A + h_1) &= V_1 P_1 \\ X - (Y - h_2) &= V_2 P_2 \\ X - (Z + h_3) &= V_3 P_3 \\ Y - (H_B + h_4) &= V_4 P_4 \\ Y - (Z - h_5) &= V_5 P_5 \\ Z - (H_C + h_6) &= V_6 P_6 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Як відомо з методу найменших квадратів, якщо рівняння похибок розв'язувати згідно умови $[pvv] = \min$, то отримаємо нормальні рівняння, яких буде стільки, скільки невідомих. Невідомими фактично є висоти вузлових точок X, Y, Z . У загальному випадку нормальні рівняння для мережі запишуться так:

$$\left. \begin{aligned} [Paa]X + [Pal] &= 0 \\ [Pbb]Y + [Pbl] &= 0 \\ [Pcc]Z + [Pcl] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

У нормальних рівняннях прийнято позначати: a_i – коефіцієнти в рівняннях похибок при першому невідомому (перше невідоме X), b_i – відповідні коефіцієнти при другому невідомому – Y ; c_i – при третьому невідомому – Z . Як видно з (1), коефіцієнти при X, Y, Z – одиниці, тобто:

$$a_i = b_i = c_i = 1;$$

l_i – вільні члени, відомі частини рівнянь:

$$l_i = - (H_A + h_1); l_2 = - (Y - h_2); \dots l_6 = - (H_C + h_6);$$

Перше нормальне рівняння системи (2) у розгорнутому вигляді запишеться так:

$$P_1 X + P_2 X + P_3 X - (H_A + h_1)P_1 - (Y - h_2)P_2 - (Z + h_3)P_3 = 0 \quad (3)$$

Розв'яжемо це рівняння відносно невідомого X :

$$X = \frac{(H_A + h_1)P_1 + (Y - h_2)P_2 + (Z + h_3)P_3}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (4)$$

Аналізуючи (4), зауважимо, що невідоме X визначається як середнє вагове з трьох ходів, що сходяться у вузлову точку. Тепер, не записуючи інші два нормальні рівняння в розгорнутому вигляді, можемо, за аналогією з (4), записати формули для знаходження невідомих Y та Z :

$$Y = \frac{(X + h_2)P_1 + (H_B + h_4)P_4 + (Z - h_5)P_5}{P_2 + P_4 + P_5} \quad (5)$$

$$Z = \frac{(X - h_3)P_3 + (Y + h_5)P_5 + (H_C + h_6)P_6}{P_3 + P_5 + P_6} \quad (6)$$

Оскільки в рівняннях (4), (5), (6) є невідомі, як у правій, так і в лівій частині, то безпосереднє розв'язання цих рівнянь неможливе. Дійсно, наприклад, у (4), в лівій частині невідоме – X , а в правій – невідомі Y та Z . Те саме у двох інших рівняннях. Але ці рівняння можна розв'язати способом послідовних наближень, тобто способом ітерацій. Для цього спочатку знайдемо наближені значення невідомих висот вузлових точок, використовуючи відомі репери, що розташовані найближче до шуканих:

$$X_{np} = H_A + h_1; \quad Y_{np} = H_B + h_4; \quad Z_{np} = H_C + h_6.$$

У рівняння (4) підставимо наближені значення Y_{np} та Z_{np} . Знайдемо X_1 із першого наближення. Далі, під час розв'язання рівняння (5), підставляємо не X_{np} , а значення X_1 – із першого наближення. Знайдемо Y_1 . Визначаючи Z з рівняння (6), будемо підставляти не X_{np} , Y_{np} , а X_1 та Y_1 . Тоді знайдемо з першого наближення Z_1 .

Переходимо до другого наближення: визнаючи X , підставляємо в (4) значення Y_1 , Z_1 і так далі.

Зазвичай, достатньо зробити 3 – 4 наближення. Процес ітерації закінчують, якщо в останньому й передостанньому наближеннях значення невідомих однакові. Зрозуміло, що такий метод придатний для мережі зі значною кількістю ходів та вузлових точок. Рівняння для визначення невідомих висот реперів складають безпосередньо зі схеми нівелірної мережі. Тому цей спосіб знайшов широке застосування у виробництві.

Вказівки до виконання завдання

1. З додатку 5 перекреслюють схему мережі (рис.2) і виписують на ній вихідні дані по кожному ходу: перевищення h в міліметрах, довжину ходу L до 0,1 км і кількість станцій (штативів) n . Крім того, біля початкових пунктів червоним кольором виписують їх висоти.

2. Встановлюють послідовність зрівноваження вузлових точок, взявши за початкову ту, яка має найбільше зв'язків з початковими пунктами.

3. Зі схеми мережі виписують у графу 1 відомості (табл.4) номери вузлових точок (згідно з п.2), до графи 2 – назви ходів, що сходяться у даній вузловій точці, до графи 3 – назви або номери початкових пунктів, до графи 4 – висоти початкових пунктів, у графу 5 - суми перевищень по кожному ходу, причому особливу увагу звертають на написання їх знаків, до графи 6 - кількість штативів.

4. У графі 5 у вільному рядку під кожною вузловою точкою знаходять суму перевищень $\sum h$, а під відомістю їх суму $[\sum h]$.

5. У графі 6 під відомістю знаходять загальну суму штативів у мережі $[n]$.

6. У графі 7 обчислюють ваги ходів P_i

$$P_i = \frac{C}{n_i} \quad (7)$$

де $C = 100$. Крім того, у цій же графі обчислюють суми ваг $[P_i]$ окремо для кожної вузлової точки і записують під ними у вільному рядку.

7. У графі 8 обчислюють зведені ваги ходів P_i'

$$P_i' = \frac{P_i}{[P_i]} \quad (8)$$

Контроль. Для кожної вузлової точки перевіряють рівність $[P_i'] = 1$.

8. У графі 9 обчислюють висоти вузлових точок, наприклад, для I-ї вузлової точки:

$$\begin{aligned} H_I &= H_A + h_{A-1} = 251.763; \\ H_I &= H_B + h_{B-1} = 251.783; \\ H_I &= H_2 + h_{2-1} = 251.774; \\ H_I &= H_3 + h_{3-1} = 251.747. \end{aligned} \quad (9)$$

Примітка. Висоти вузлових точок H_2 і H_3 обчислюють як середнє арифметичне з ходів, які мають прямий зв'язок з початковими пунктами.

9. З одержаних висот вузлової точки обчислюють її середньовагове значення у першому наближенні.

$$H_I' = H_1 \cdot P_1' + H_2 \cdot P_2' + H_3 \cdot P_3' \quad (10)$$

Оскільки цифри висоти H_I однакові, то при обчисленні за формулою (10) беруть участь тільки їх соті і тисячні частки, наприклад $63 \times 0.25 + 83 \times 0.21 + 74 \times 0.30 + 47 \times 0.23 = 67$. Звідси $H_I' = 251.767$., яку записують у графу 9 у вільному рядку під вузловою точкою I. Це значення висоти використовують для обчислення висот другої і наступних вузлових точок.

Аналогічно за формулою (10) обчислюють середньовагові значення висот другої і наступних вузлових точок у першому наближенні. Ці значення беруть участь при обчисленні за формулами (9) висот вузлової точки I у другому наближенні (графа 10). З них за формулою (10) обчислюємо середньовагове значення висоти першої вузлової точки у другому наближенні. Так продовжується доти, доки сусідні значення висот вузлових точок у двох останніх наближеннях не будуть однаковими або відрізнятяться не більше, ніж на 1 мм при нівелюванні III класу і на 2 мм – при нівелюванні IV класу.

10. У графі 13 обчислюють ϑ_i в міліметрах у виміряні перевищення по кожному ходу за формулою

$$\vartheta_i = H_{изп}^{IY} - H_i^{IY} \quad (11)$$

де $H_{изп}^{IY}$ - середньовагова висота вузлової точки в останньому наближенні (у даному випадку – в четвертому); H_i^{IY} - висота вузлової точки, одержана по кожному ходу при останньому наближенні (див.п. 8).

11. У графі 14 для кожного ходу обчислюють величини $P' \vartheta$.

Контроль. Для кожної вузлової точки $[P' \vartheta] = 0$.

Оцінка точності

Обчислюють середню квадратичну помилку одиниці ваги:

$$\mu = \sqrt{\frac{[p\vartheta\vartheta]}{Z - k}}, \quad k = 4; Z = 2. \quad (12)$$

де Z – кількість ходів у мережі; k - кількість вузлових точок. Значення $p\vartheta\vartheta$ і $[p\vartheta\vartheta]$ обчислюють у графі 15.

Обчислюють середню квадратичну помилку нівелювання на I км ходу.

$$m_{км} = \frac{\mu [n]}{\sqrt{c [L]}} \quad (13)$$

Де $[n]$ - загальне число штативів у мережі (див.п.5); $[L]$ - сума довжин ходів у мережі в км, по величині $m_{км}$ - роблять висновок про відповідність даної мережі

вимогам точності для нівелювання відповідного класу. Результати оцінки точності записують під відомістю.

Література:

1. Селиханович В.Г. Геодезія. Ч. П. - : Недра, 1981. –с.117 -122.
2. Селиханович В.Г., Логинова Г.П. Задачник по геодезии. М: Недра, 1970 с.59-65.
3. Ассур В.Л., Филатов А.М. Практикум по геодезии. - М: Недра, 1985 с.333 – 336.
4. Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія. Львів- 2007 с.81 – 85.
5. Перій С.С., Рій І.Ф. Зрівноваження нівелірної мережі методом послідовних наближень(метод вузлів). Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи, - Львів: ЛНАУ – 2011 – 32 с.
6. Геодезичний енциклопедичний словник / За ред. В.Літинського. – Львів: Євросвіт, 2001. - 668 с.: іл.
7. Сидорик Р.С., Дрбал О.Й. Зрівноваження нівелірної мережі методом послідовних наближень (метод вузлів). Інструкція до виконання розрахункової роботи для студентів II курсу геодезичних спеціальностей - Львів:ЛПІ, 1993.-33 с.

Питання для самоконтролю

1. Суть способу найменших квадратів.
2. Суть принципу арифметичної середини.
3. Що таке вага ходу?
4. Як обчислити вагу ходу?
5. Середнє вагове значення вимірів.
6. За якою формулою обчислюють середню квадратичну помилку одиниці ваги?
7. Як обчислити поправки у виміряні перевищення за кожним ходом?
8. Як обчислюють висоти вузлових точок?
9. Оцінка точності.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Географічний
факультет

Кафедра землевпорядкування
та кадастру

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

*Зрівноваження нівелірної мережі методом послідовних
наближень (метод вузлів)*

ВАРІАНТ № 1

Виконав:
студент гр. ЗВК 2
Ткаченко І.І.

Перевірив:
доц. Калинич І.В.

Ужгород 2020

Зрівноваження нівелірної мережі методом наближень (метод вузлів)

Вихідні дані

Таблиця 1

Варіант	Репер	H	Ходи	h_i	n_i	L , км
1	А	284,322	А-1	4,251	51	8,1
			В-2	3,368	61	9,1
	В	290,998	С-3	5,680	49	5,1
			1-2	5,796	71	10,1
	С	291,472	1-3	8,569	45	5,1
			2-3	2,785	50	7,6

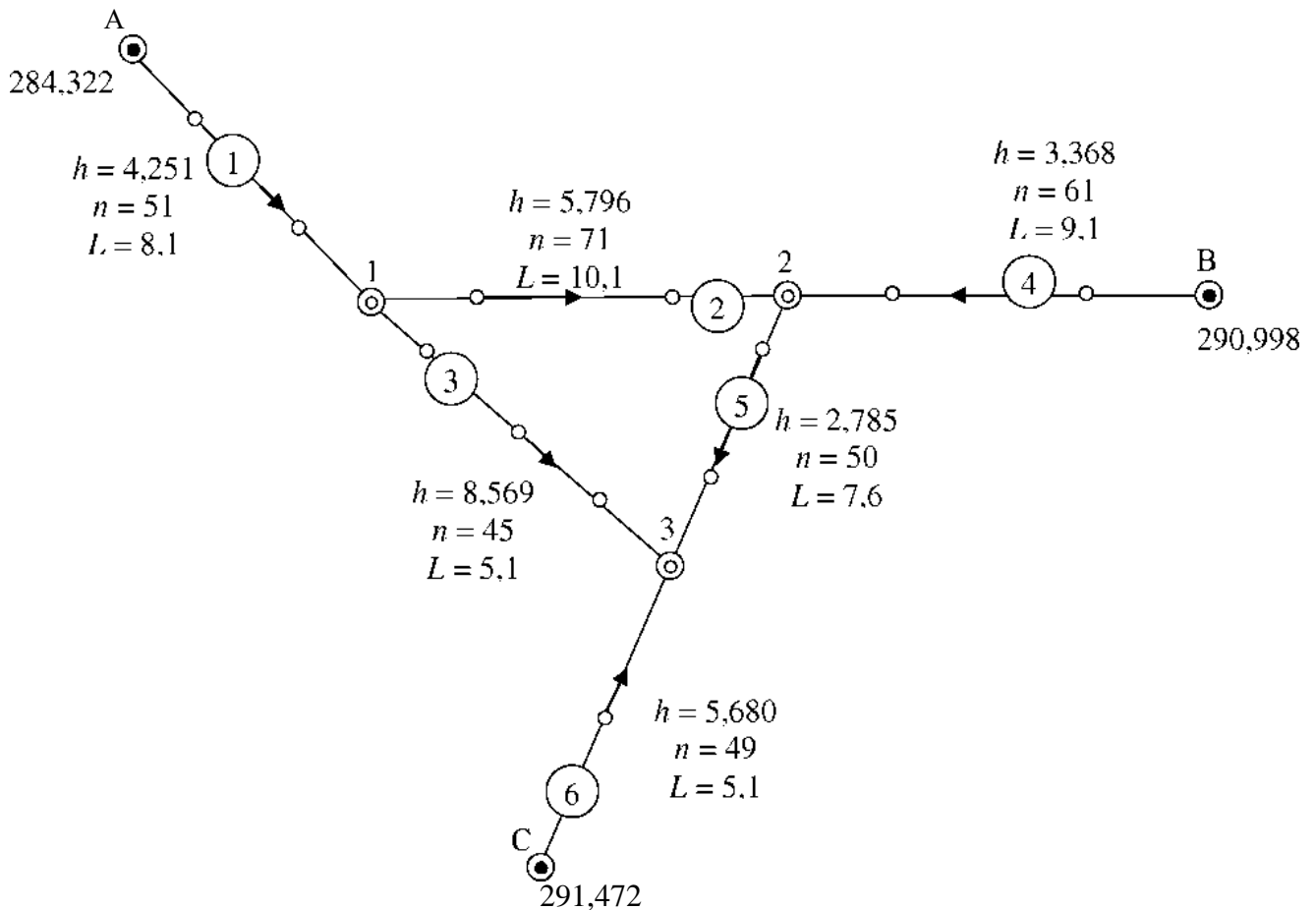


Рис.2. Нівелірна мережа з трьома вузловими точками

(А, В, С – вихідні пункти; 1,2,3 - вузлові точки; © номери ходів)

Відомість зрівноваження

Таблиця 2

Номер вузлових точки	Ходи, що сходяться у вузлових точках	Вихідні пункти	Вихідні висоти	Суми перевищень по ходу	Кількість штаптивів	Ваги		І-ше наближення	II-ге наближення	III-ге наближення	IV-ге наближення	g	P _s g	P _i g g
						P _i	P _i							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	A-1	A	284,322	+4,251	51	1,96	0,39	288,573	288,573	288,573	288,573	1	1,9	1,7
	2-1	2	294,366	-5,796	61	1,64	0,33	288,570	288,572	288,571	288,570	4	6,1	22,8
	3-1	3	297,152	-8,569	71	1,41	0,28	288,583	288,580	288,580	288,580	-6	-8,0	45,1
			∑h	-10,114		5,01	1,00	288,575	288,575	288,574	288,574		0,0	
2	B-2	B	290,998	+3,368	61	1,64	0,31	294,366	294,366	294,366	294,366	0	0,1	0,0
	1-2	1	288,575	+5,796	71	1,41	0,27	294,371	294,371	294,370	294,370	-4	-5,5	21,4
	3-2	3	297,152	-2,785	45	2,22	0,42	294,367	294,364	294,364	294,364	2	5,4	13,2
			∑h	+6,379		5,27	1,00	294,368	294,367	294,366	294,366		0,0	
3	C-3	C	291,472	+5,680	49	2,04	0,33	297,152	297,152	297,152	297,152	-4	-7,2	25,3
	1-3	1	288,575	+8,569	45	2,22	0,35	297,144	297,144	297,143	297,143	6	12,3	68,1
	2-3	2	294,368	+2,785	50	2,00	0,32	297,153	297,152	297,151	297,151	-3	-5,1	13,1
			∑h	+17,034		6,26	1,00	297,149	297,149	297,149	297,148		0,0	
			[∑h]	+13,299		0,0								
	Контроль:		[∑h]	+13,299									[PVV]	210,9

$$\mu = \sqrt{\frac{[PVV]}{z-k}} = \sqrt{\frac{210,9}{6-3}} = 8,4_{мм}$$

Середня квадратична помилка одиниці ваги:

$$m_{кр} = \frac{\mu}{10} = \frac{8,4}{10} \sqrt{\frac{493}{67,9}} = 2,3_{мм}$$

Середня квадратична помилка одиниці нівелювання на 1 км ходу:

Виконав _____ студ. Гкаченко І.І.
 Перевірив _____ доц.Калинич І.В.

Оцінка _____

ВИХІДНІ ДАНІ

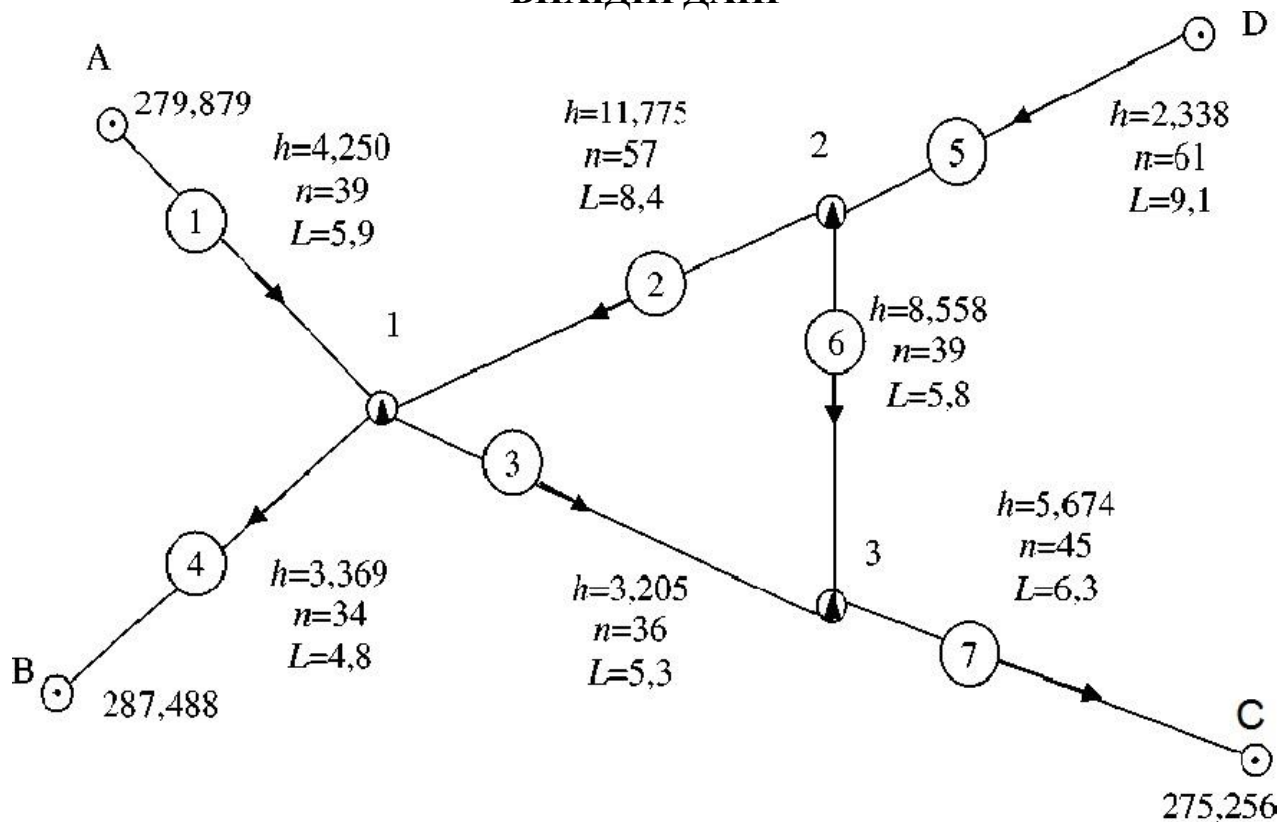


Рис.3 Схема мережі

Таблиця 3

Номер варіанта	Номер релера	Висота Н (м)	Назви ходів	Перевищення (h _i)	Кількість штативів n	Довжини ходів L (км)	Номер варіанта	Номер релера	Висота Н(м)	Назви ходів	Перевищення (h _i)	Кількість штативів n	Довжини ходів L (км)		
1	A	279.879	A-1	4.250	39	5.9	2	A	282.119	A-1	4.254	62	9.2		
	B	287.488	B-1	3.369	34	4.8		B	289.733	B-1	3.365	27	3.7		
	C	275.256	C-3	5.674	45	6.3		C	277.501	C-3	5.675	38	5.9		
	D	274.697	D-2	2.338	61	9.1		D	276.917	D-2	2.342	65	9.6		
				1-2	11.775	57		8.4				1-2	11.762	68	9.8
				2-3	8.558	39		5.8				2-3	8.561	35	5.5
				3-1	3.205	36		5.3				3-1	3.203	46	6.3
3	A	285.699	A-1	4.262	61	9.1	4	A	284.445	A-1	4.270	35	4.1		
	B	293.520	B-1	3.365	44	6.3		B	292.076	B-1	3.396	55	7.7		
	C	281.275	C-3	5.663	48	6.6		C	279.836	C-3	5.707	77	10.6		
	D	280.717	D-2	2.337	49	7.4		D	279.283	D-2	2.365	51	6.6		
				1-2	11.751	83		12.3				1-2	11.780	67	11.2
				2-3	8.559	36		5.6				2-3	8.583	55	7.3
				3-1	3.215	56		8.4				3-1	3.236	45	6.6
5	A	284.412	A-1	4.293	51	10.4	6	A	286.791	A-1	4.264	53	7.9		
	B	292.034	B-1	3.401	38	4.3		B	294.412	B-1	3.358	57	8.7		
	C	279.811	C-3	5.717	39	6.5		C	282.168	C-3	5.664	61	9.6		
	D	279.246	D-2	2.383	62	10.4		D	281.608	D-2	2.357	53	7.6		
				1-2	11.803	74		10.3				1-2	11.739	92	13.7
				2-3	8.605	41		6.3				2-3	8.562	35	5.6
				3-1	3.249	51		6.9				3-1	3.205	62	9.1

Номер варіанга	Номер репера	Висота Н (м)	Назви ходів	Перевіщення (h_i)	Кількість штативів n	Довжини ходів L (км)	Номер варіанга	Номер репера	Висота Н(м)	Назви ходів	Перевіщення (h_i)	Кількість штативів n	Довжини ходів L (км)	
7	A	276.219	A-1	6.195	51	6,9	8	A	309.013	A-1	4.266	55	8.1	
	B	266.358	B-1	3.674	58	7,9		B	316.634	B-1	3.360	59	8.9	
	C	277.598	C-3	4.287	48	6,3		C	304.390	C-3	5.667	62	8.6	
	D	270.919	D-2	4.783	67	9,4		D	303.831	D-2	2.359	55	7.8	
				1-2	5.665	88		12,5			1-2	11.791	94	13.9
				2-3	2.393	69		9,8			2-3	8.565	37	5.8
				3-1	3.281	33		4,5			3-1	3.207	64	9.3
9	A	268,768	A-1	4,249	38	5,8	10	A	262,087	A-1	4,255	54	8,4	
	B	276,377	B-1	3,368	33	4,7		B	269,702	B-1	3,369	63	9,4	
	C	264,145	C-3	5,673	44	6,2		C	257,458	C-3	5,678	54	8,2	
	D	263,586	D-2	2,337	62	9,1		D	256,910	D-2	2,338	38	5,5	
				1-2	11,774	56		5,3			1-2	11,791	73	10,7
				2-3	8,557	38		5,7			2-3	8,563	38	5,5
				3-1	3,204	35		5,2			3-1	3,205	51	7,4
11	A	253,458	A-1	4,261	51	7,6	12	A	317.642	A-1	4.260	59	8.9	
	B	261,073	B-1	3,355	54	8,4		B	325.265	B-1	3.374	68	9.0	
	C	248,835	C-3	5,682	56	8,1		C	313.014	C-3	5.683	59	8.7	
	D	248,275	D-2	2,354	52	7,3		D	312.465	D-2	2.342	52	7.5	
				1-2	11,786	89		13,4			1-2	11,795	78	11.2
				2-3	8,561	32		5,3			2-3	8.568	43	6.0
				3-1	3,202	59		8,8			3-1	3.209	55	7.9
13	A	286,563	A-1	4,258	66	9,6	14	A	285.434	A-1	4.256	44	6.4	
	B	294,174	B-1	3,371	31	4,1		B	293.050	B-1	3.375	39	5.3	
	C	281,945	C-3	5,679	42	6,3		C	280.811	C-3	5.680	49	6.9	
	D	281,391	D-2	2,346	69	10,1		D	280.252	D-2	2.343	68	9.5	
				1-2	11,766	72		10,2			1-2	11.781	62	8.9
				2-3	8,565	39		5,9			2-3	8.564	44	6.3
				3-1	3,213	49		6,7			3-1	3.210	41	5.8
15	A	282,201	A-1	6,350	54	7,6	16	A	285.450	A-1	4.265	41	4.3	
	B	290,729	B-1	2,170	53	8,4		B	293.082	B-1	3.393	54	7.4	
	C	278,780	C-3	4,320	56	10,4		C	280.445	C-3	5.694	68	11.4	
	D	280,749	D-2	4,542	49	8,4		D	280.288	D-2	2.369	43	6.1	
				1-2	12,336	84		11,3			1-2	11.784	75	10.1
				2-3	6,885	41		5,5			2-3	8.590	51	6.3
				3-1	5,443	59		8,1			3-1	3.239	39	6.3
17	A	284,300	A-1	4,251	51	8,1	18	A	283.315	A-1	4.248	51	10.1	
	B	291,919	B-1	3,368	61	9,1		B	290.929	B-1	3.365	43	2.9	
	C	279,681	C-3	5,680	49	5,1		C	278.710	C-3	5.679	38	5.8	
	D	279,138	D-2	2,333	41	7,8		D	278.144	D-2	2.343	69	10.3	
				1-2	11,796	71		10,1			1-2	11.765	71	10.0
				2-3	8,569	45		5,1			2-3	3.263	38	7.9
				3-1	3,210	50		7,6			3-1	8.569	39	5.9
19	A	283,324	A-1	4,256	36	3,6	20	A	283.246	A-1	4.232	33	5.4	
	B	290,955	B-1	3,361	46	6,9		B	290.862	B-1	3.345	31	4.6	
	C	278,706	C-3	5,671	61	9,3		C	278.640	C-3	5.660	39	5.9	
	D	278,153	D-2	2,341	36	5,5		D	278.070	D-2	2.331	58	8.5	
				1-2	11,755	61		9,4			1-2	11.744	73	8.3
				2-3	8,554	41		6,1			2-3	8.540	38	6.3
				3-1	3,218	42		5,9			3-1	3.183	46	5.9

Номер варіанга	Номер репера	Висота Н (м)	Назви ходів	Перевіщення (h_i)	Кількість штативів n	Довжини ходів L (км)	Номер варіанга	Номер репера	Висота Н(м)	Назви ходів	Перевіщення (h_i)	Кількість штативів n	Довжини ходів L (км)		
21	A	282.711	A-1	6.361	56	8.3	22	A	252.687	A-1	6.213	29	3.6		
	B	291.236	B-1	2.168	61	8.9		B	242.818	B-1	3.688	45	6.1		
	C	279.291	C-3	4.318	52	10.1		C	254.049	C-3	4.316	53	7.5		
	D	281.260	D-2	4.538	52	7.8		D	247.370	D-2	4.799	58	8.7		
				1-2	12.341	75		10.6				1-2	5.697	55	7.8
				2-3	6.879	49		5.8				2-3	2.406	53	3.9
				3-1	5.458	67		8.9				3-1	3.295	35	4.5
23	A	253.755	A-1	6.194	18	2.5	24	A	287.330	A-1	6.196	53	7.0		
	B	243.889	B-1	3.669	52	7.6		B	277.469	B-1	3.675	59	8.1		
	C	255.130	C-3	4.292	46	6.9		C	288.709	C-3	4.288	49	6.4		
	D	248.151	D-2	4.775	63	9.3		D	282.030	D-2	4.784	68	9.5		
				1-2	5.385	57		8.3				1-2	5.676	89	12.6
				2-3	2.384	36		5.6				2-3	2.394	71	9.9
				3-1	3.269	46		6.9				3-1	3.282	34	4.6
25	A	250.515	A-1	6.187	53	7.4	26	A	284,300	A-1	4,251	51	8,1		
	B	240.647	B-1	3.672	27	3.6		B	291,919	B-1	3,368	61	9,1		
	C	251.895	C-3	4.287	34	3.7		C	279,681	C-3	5,680	49	5,1		
	D	245.216	D-2	4.778	56	8.3		D	279,138	D-2	2,333	41	7,8		
				1-2	5.678	52		7.3				1-2	11,796	71	10,1
				2-3	2.386	39		5.7				2-3	8,569	45	5,1
				3-1	3.270	43		6.2				3-1	3,210	50	7,6

Приклад розрахунку відомості зрівноваження (до додатка 5)

Таблиця 4

Номер вузлової точки	Ходи, які сходяться у вузлових точках	Вихідні пункти	Вихідні висоти	Суми переміщень по ходу	Кількість штаптивів	Ваги		I-ше наближення	II-ге наближення	III-тє наближення	IV-те наближення	g	P _g	P _i g
						P _i	P _i							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	A-1	A	238.744	+13.019	134	0.75	0.26	251.763	251.763	251.763	251.763	+5	+1.3	8.8
	B-1	B	258.732	-6.949	166	0.60	0.21	83	83	83	83	-15	-3.2	135.0
	2-1	2	248.682	+3.092	114	0.88	0.30	74	38	70	70	-2	-0.6	3.5
	3-1	3	253.922	-2.175	152	0.66	0.23	47	55	56	56	+12	+2.8	95.0
2	C-2	C	241.431	+7.251	112	2.89	1.00	251.767	251.767	251.768	251.768		+0.3	
	1-2	1	251.767	-3.092	114	0.89	0.39	248.682	248.682	248.682	248.682	-4	-1.6	14.2
	3-2	3	253.922	-5.255	192	0.88	0.38	75	75	76	76	+2	+0.8	3.5
				-1.096		0.52	0.23	67	75	76	76	+2	+0.5	2.1
3	D-3		262.160	8.236	106	2.29	1.00	248.676	248.678	248.678	248.678		-0.3	
	1-3	1	251.767	+2.175	152	0.94	0.44	253.922	253.922	253.922	253.922	+9	+4.0	76.1
	2-3	2	248.676	+5.255	192	0.66	0.31	42	42	43	43	-12	-3.7	95.0
						0.52	0.25	31	33	33	33	+2	-0.5	2.1
			$\sum h$ -0.808			2.12	1.00	253.930	253.931	253.931	253.931		-0.2	
			$[\sum h] = +5.083$											$[p_{99}] = 344.7$

Контроль: $[\sum h] = +5.083$

Середня квадратична помилка одиниці ваги:

$$\mu = \sqrt{\frac{[p_{99}]}{Z-k}} = \sqrt{\frac{345}{7-3}} = 9.3_{\text{мм}}$$

Середня квадратична помилка одиниці нівелювання на 1 км ходу: $m_{\text{км}} = \frac{\mu}{10} \sqrt{\frac{[n]}{[L]}} = \frac{9.3}{10} \sqrt{\frac{976}{138.1}} = 2.5$

Виконав _____ студ. Ткаченко І.І.
 Перевірив _____ доц. Калинич І.В.

Оцінка _____

Лабораторна робота № 7

Зрівнювання незалежної мережі нівелірних ходів способом В.В.Попова

Мета роботи: оволодіти методикою зрівнювання незалежної мережі нівелірних ходів способом В.В.Попова.

Обладнання та матеріали: ПК або калькулятор, бланки відомості зрівнювання нівелірної мережі, вихідні дані.

Завдання. Зрівноважити нівелірну мережу з трьома вузловими точками.

Суть способу: спосіб базується на строгому врівноваженні способом найменших квадратів. Він дозволяє складати нормальні рівняння корелат безпосередньо за схемою мережі. Рішення нормальних рівнянь проводиться послідовними наближеннями. Практично це зводиться до послідовного розподілу нев'язок в кожному замкнутому ході пропорційно до довжини ходів або числу станцій в ході (пропорційно до обернених ваг окремих ходів). Спосіб запропонований професором Поповим В.В.

Для цього складають схематичний рисунок мережі полігонів з зазначенням номерів вузлових точок і полігонів, довжин ходів (в кілометрах), сум перевищень і числа штативів (станцій) кожної ланки.

На рис. 31 *A* – вихідна нівелірна марка; *B, C, D* – вузлові точки, які не мають відміток; *L* – довжина ланок в кілометрах; *n* – число штативів; стрілками показано напрями з додатними перевищеннями.

Безпосередньо, згідно з рисунком, обчислюють нев'язки в сумах перевищень по кожному полігону, визначаючи знаки нев'язок для напрямів, що збігаються за ходом годинникової стрілки. Визначають якість виміряних перевищень шляхом порівняння одержаних нев'язок з допустимими, обчисленими згідно вимог нівелювання IV класу за формулою: $f_h \text{ доп} = \pm 20 \text{ мм} \sqrt{L}$.

В наведеній формулі *L* – довжина ходу, виражена в кілометрах.

Обчислені і допустимі нев'язки записують на рисунку в середині відповідних полігонів (рис.31).

При зрівнювання нівелірної мережі за способом полігонів В.В. Попова всі обчислення проводяться безпосередньо на схемі (кресленні) мережі.

Недоліком цього способу зрівнювання є складність оцінки точності за результатами зрівнювання.

Вихідні дані виписують безпосередньо на схему мережі згідно з своїм варіантом (додаток 8, табл.4). Знаки перевищень відповідають напрямкам стрілок на схемі мережі. Обчислення виконують у спеціальному зошиті для лабораторних робіт.

Вказівки до виконання завдання

Складають схему полігонів для зрівнювання перевищень (рис. 32) і вказують на ній номери вузлових точок і полігонів. У кожному полігоні суцільними лініями викреслюються рамки, в які записуються нев'язки полігонів. Біля кожної ланки викреслюється рамка поправок (пунктирною лінією) поза кожним полігоном.

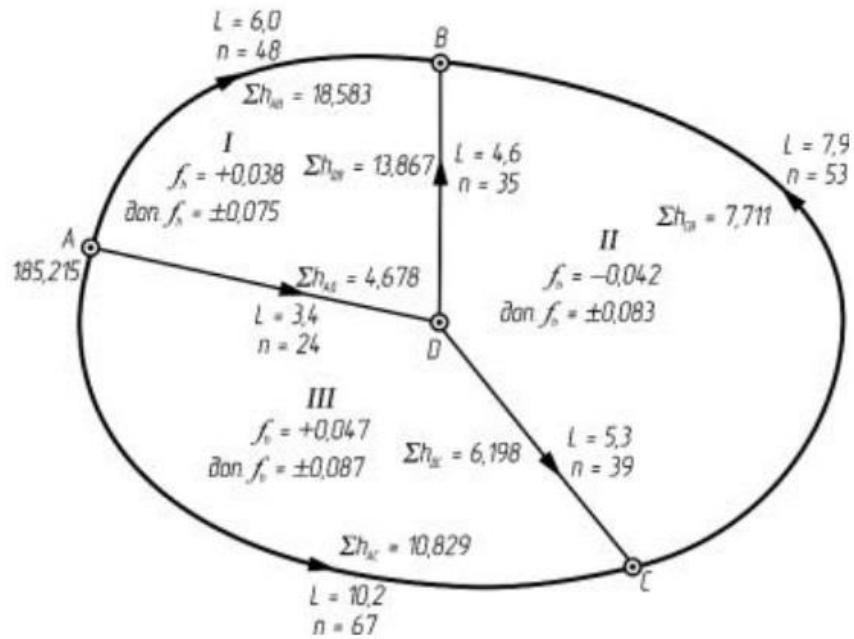


Рис.31 Схема мережі

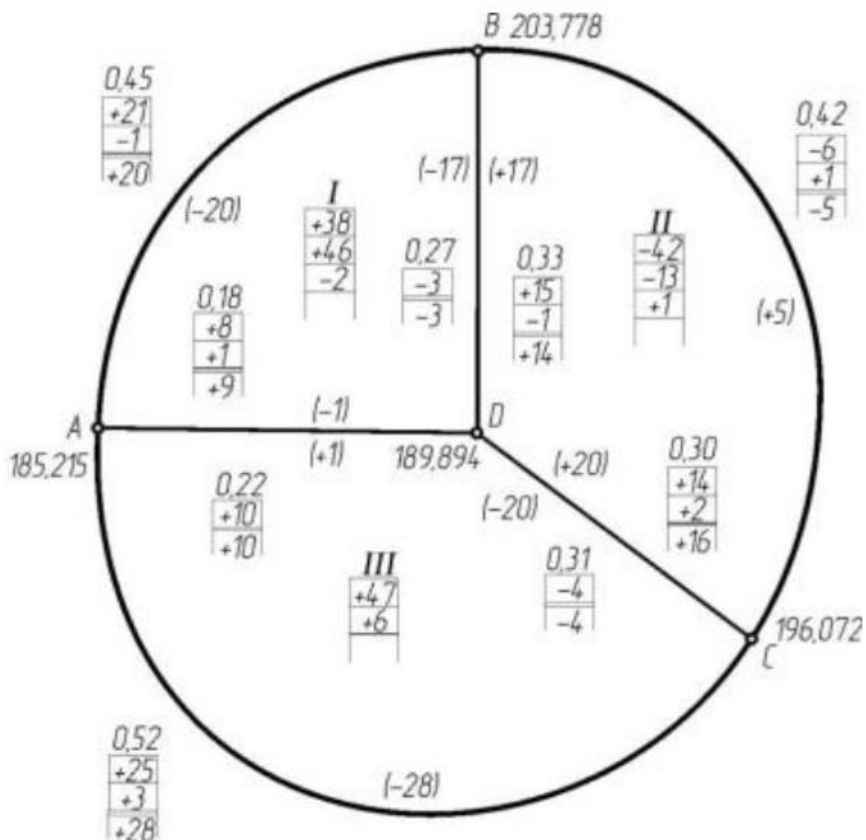


Рис.32 Схема зрівнювання перевищень нівелірної мережі способом полігонів

На схемі в середині кожного полігона, під його номером, рисують таблицку нев'язок (в міліметрах), а біля кожної ланки – таблицку поправок, при цьому по зовнішніх ланках – по одній таблицці з зовнішньої сторони, а по внутрішніх ланках – по дві таблицки з обох сторін кожної ланки.

Після цього обчислюють з точністю до 0.01 червоні числа для кожної ланки кожного полігона за правилом: червоне число ланки дорівнює числу штативів ланки, поділеному на число штативів всього полігона (або довжині ланки в км поділеній на периметр всього полігона).

Для ланок AB, BD і DA першого полігона (рис.32) відповідно будемо мати такі червоні числа: 0.45, 0.33 і 0.22. Сума червоних чисел в кожному полігоні повинна дорівнювати 1. Червоні числа виписують над відповідними табличками червоним кольором. Безпосередньо на схемі розподіляють нев'язки, починаючи з найбільшої за абсолютною величиною в такій послідовності: множать нев'язку даного полігона послідовно на кожне червоне число його ланки. (в прикладі для III полігона, з якого почали зрівнювання, поправки будуть +25, +8, +14). Одержані добутки записують в зовнішні таблички поправок під відповідними червоними числами зі знаком нев'язки і сума всіх добутків повинна дорівнювати величині нев'язки, тобто нев'язці III полігона. На схемі розподілену нев'язку підкреслюють. Переходять до сусіднього полігона I. В табличці нев'язок записують під нев'язкою полігона нову, одержану, як алгебраїчну суму нев'язки з поправкою, винесеною за рахунок спільної ланки з сусіднього полігона $(+38)+(+8)=(+46)$. Нову нев'язку множать послідовно на червоні числа кожної ланки даного полігона, і одержані добутки записують у відповідні таблички поправок, контролюючи їх суму, яка повинна дорівнювати величині нев'язки.

Після цього переходять до наступного II полігону, обчислюють нову нев'язку, в якій враховані внесені за рахунок спільних ланок поправки з сусідніх полігонів $(-42)+(+15)+(+14)=(-13)$. Вона записується в рамку нев'язок цього полігону і розподіляється множенням її на «червоні» числа ланок полігону.

Ці обчислення складають перше коло зрівнювання (перше наближення). У другому колі обчислення повторюються, але з новими нев'язками полігонів з врахуванням поправок з першого кола обчислень: розраховують нову нев'язку початкового полігону, яка складається з алгебраїчної суми поправок, внесених з спільних ланок сусідніх полігонів $(+10)+(-4)=(+6)$. Записують її в табличку нев'язок, множать послідовно на червоні числа ланок. Одержані добутки записують в відповідні таблички поправок і контролюють суми добутків. Потім, переходячи послідовно від полігона до полігона, поступають аналогічно до тих пір, поки нев'язки всіх полігонів будуть дорівнювати нулю, тобто будуть винесені за зовнішні межі полігонів.

Після закінчення розподілу нев'язок обчислюють алгебраїчну суму поправок в кожній табличці і записують її під подвійною лінією. Обчислюють поправки в сумах перевищень по кожній ланці і записують їх на схемі, в дужках, біля відповідної ланки з внутрішньої сторони полігону.

Поправка в суму перевищень внутрішньої ланки дорівнює алгебраїчній сумі чисел зовнішньої таблички поправок, взятої з протилежним знаком, плюс алгебраїчна сума чисел внутрішньої таблички поправок.

Наприклад, в II полігоні:

$$\text{для ходу CD поправка буде: } -(-4)+(+16)=(+20)$$

$$\text{для ходу DB поправка буде: } -(-3)+(+14)=(+17)$$

$$\text{для ходу BC поправка буде: } -(-5)+0=(+5)$$

Обчислені поправки записують в таблицю зрівнювання полігонів (таблиця 7). Алгебраїчна сума поправок по кожному полігону повинна дорівнювати величині нев'язки з протилежним знаком.

Після обчислення поправок в перевищення виконують оцінку точності нівелювання, тобто обчислюють середню квадратичну помилку одиниці ваги і середню квадратичну помилку нівелювання на 1 км ходу $\mu = \sqrt{\frac{pV^2}{r}}$,

де V – поправка в суму перевищень ланки

$p = \frac{1}{n}$ – число, обернене кількості штативів ланки; r – число полігонів.

$$m_{км} = \mu \sqrt{\frac{[n]}{[L]}}$$

де $\frac{[n]}{[L]}$ – середнє число штативів на 1 км ходу.

$$\mu = \sqrt{\frac{[pV^2]}{r}} = \sqrt{\frac{38.8}{3}} = \pm 3.6 \text{ мм} \quad m_{км} = \mu \sqrt{\frac{[n]}{[L]}} = 3.6 \sqrt{\frac{266}{37.4}} = \pm 9.6 \text{ мм}$$

Таблиця 7

Зрівнювання полігонів

№ полігонів	ланки	L , км	n	$p = \frac{1}{n}$	Нев'язки полігонів, мм	Червоні числа	V	V^2	pV^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	AB	6,0	48	0,02		0,45	-20	400	8,0
	BD	4,6	65	0,03		0,33	-17	289	8,3
	DA	3,4	24	0,04		0,22	-1	1	0,0
		14,0	107		+38	1,00	-38		
II	CD	5,3	39	0,03		0,31	+20	400	10,3
	DB	4,6	35	0,03		0,27	+17	-	-
	BC	7,9	53	0,02		0,42	+5	25	0,5
		17,8	127		-42	1,00	+42		
III	CA	10,2	67	0,01		0,52	-28	784	11,7
	AD	3,4	24	0,04		0,18	+1	-	-
	DC	5,3	39	0,03		0,30	-20	-	-
		18,9	130		+47		-47		
		[37.4]	[266]						[38.8]

За вихідною відміткою марки A і відповідних сум перевищень з урахуванням поправок обчислюють відмітки вузлових точок B , C , D , контролюючи їх за всіма наявними напрямками:

$$h_{AB} = +18.583 + (-20) = +18.563 \quad H_A = 185.215$$

$$h_{BC} = -7.711 + (+5) = -7.706 \quad H_B = 203.778$$

$$h_{CA} = -10.829 + (-28) = -10.857 \quad H_C = 196.072$$

$$\Sigma_h = 0.000 \quad H_A = 185.215$$

$$h_{BD} = -13.867 + (-17) = -13.884 \quad H_D = 203.778 - 13.884 = 189.894$$

$$h_{AD} = +4.678 + (-1) = +4.679 \quad H_D = 185.215 + 4.679 = 189.894$$

$$h_{CD} = -6.198 + (-20) = -6.178 \quad H_D = 196.072 - 6.178 = 189.894$$

Обчислення відміток можна виконувати безпосередньо на схемі, або в відомості обчислення відміток.

Література:

1. Селиханович В.Г. Геодезія. Ч. П. - : Недра, 1981. –с.117 -122.
2. Селиханович В.Г., Логинова Г.П. Задачник по геодезии. М: Недра, 1970 с.59-65.
3. Ассур В.Л., Филатов А.М. Практикум по геодезии. - М: Недра, 1985 с.333 – 336.
4. Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія. Львів- 2007 с.81 – 85.

Питання для самоконтролю

1. Суть зрівноваження мережі нівелірних ходів способом Попова
2. Що таке вага ходу?
3. Як обчислити вагу ходу?
4. Як обчислити нев'язки у полігоні?
5. Як обчислюють перевищення та висоти точок?
6. Оцінка точності.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Географічний
факультет

Кафедра землевпорядкування
та кадастру

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

Зрівноваження нівелірної мережі способом В.В.Попова

ВАРІАНТ № 1

Виконав:
студент гр. ЗВК 2
Ткаченко І.І.

Перевірив:
доц. Калинич І.В.

Ужгород 2020

Зрівноваження нівелірної мережі способом В.В.Попова

Вихідні дані

Таблиця 1

№ ходу	Перевищення по ходу, h_i (м)	Довжина ходу, L_i (км)	№№ точок	Висота точки
1	+5,371	3,412	H _A	86,334
2	-13,492	3,889		
3	+7,721	4,653		
4	+,378	2,018		
5	-2,343	4,227		
6	+11,122	2,986		

Визначають обернену вагу перевищень по ходах:

$$q = \frac{1}{p_i} = L_i; \quad q_1 = 3,412 \quad q_2 = 3,889; \quad q_3 = 4,653;$$

$$q_4 = 2,018 \quad q_5 = 4,227; \quad q_6 = 2,986;$$

Складають за схемою мережі нормальні рівняння корелат (значення w_i визначають мм)

$$+9,657k_1 - 4,227k_2 - 2,018k_3 + 10,0 = 0$$

$$-4,227k_1 + 11,102k_2 - 2,986k_3 - 27,0 = 0$$

$$-2,018k_1 - 2,986k_2 + 9,657k_3 - 23,0 = 0$$

Вирішують систему рівнянь за схемою Гаусса (табл. 2)

Таблиця 2

№ рівнянь	k_1	k_2	k_3	w_i	S
N_1	+9,657	-4,227	-2,018	+10,000	+13,412
E_1	-1	+0,438	+0,209	-1,036	-1,389
N_2		+11,102	-2,986	-27,000	-23,111
$N_1 E_1$		-1,851	-0,884	+4,380	+5,874
N_2		+9,251	-3,870	-22,620	-17,237
E_2		-1	+0,418	+2,445	-1,863
N_3			+9,657	-23,000	-18,347
$N_1 E_1$			-0,422	+2,090	+2,803
$N_2 E_2$			-1,618	-9,455	-7,205
N_3			+7,617	-30,365	-22,749
E_3			-1	+3,986	- 2,986
	- 1,036	+2,445	+3,986		
	+0,833	+1,666	k_3		
	+1,801	+4,111			
	+1,598	k_2			
	k_1				

Обчислення корелат контролюють, підставляючи у нормальні рівняння:

$$\begin{aligned}
 &+15,432 - 17,377 - 8,044 + 10,0 = +0,011 \\
 &- 6,755 + 45,640 - 11,902 - 27,0 = - 0,017 \\
 &- 3,225 - 12,275 + 38,493 - 23,0 = -0,007
 \end{aligned}$$

Отримують поправки до перевищень(із заокругленням до мм):

$$\begin{aligned}
 v_1 = +5; & & v_2 = +16; & & v_3 = +18; & & v_4 = +5; \\
 v_5 = - 10; & & v_6 = +1.
 \end{aligned}$$

Висоти точок з метою контролю якості вирівнювання обчислюють за всіма можливими варіантами ходів, після чого складають каталог висот (табл.3)

Каталог висот

Таблиця 3

№№ точок	Висота над рівнем моря
A	86,334
B	92,070
C	78,594
D	89,717

За результатами зрівнювання виконують оцінку точності:

1. Обчислюють середню квадратичну помилку одиниці ваги

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{q}} = 7.73 \text{ мм.}$$

2. Обчислюють середню квадратичну помилку нівелювання на 1 км ходу.

$$m_{\text{км}} = \frac{\mu [n]}{\sqrt{c} [L]}$$

де - $[n]$ - загальне число штативів у мережі ; $[L]$ - сума довжин ходів у мережі в км, за значенням величини $m_{\text{км}}$ - роблять висновок про відповідність даної мережі вимогам точності для нівелювання відповідного класу.

Результати оцінки точності записують під відомістю.

Виконав _____ студ.Ткаченко І.І.
 Перевірив _____ доц.Калинич І.В.
 Оцінка _____

ВИХІДНІ ДАНІ

 $H_A = 105,9856 \text{ м}$

Таблиця 4

№№ варіантів	№№ ходів	Сума перевищень $\sum h_i$, мм	Числ станцій, n_i	Довжина ходів, L_i в км	№№ варіантів	№№ ходів	Сума перевищень $\sum h_i$, мм	Число станцій, n_i	Довжина ходів, L_i в км
1	1	+7318	21	2,121	8	1	-2413	22	2,897
	2	+5756	23	3,134		2	-5376	53	6,569
	3	-13058	43	6,237		3	+7780	17	2,330
	4	+0921	11	1,098		4	-1203	21	2,984
	5	-6403	15	2,341		5	+1210	29	3,789
	6	-12130	32	4,278		6	+6590	19	2,786
2	1	+0914	33	3,234	9	1	-5367	32	3,234
	2	+7457	31	3,148		2	-1559	31	3,148
	3	-8361	58	4,567		3	+6930	58	4,567
	4	-2090	21	2,111		4	-6370	21	2,111
	5	-3010	13	1,980		5	-1010	13	1,980
	6	-10461	24	1,789		6	+0559	24	1,789
3	1	-8500	24	1,798	10	1	+7420	33	4,011
	2	+5940	17	1,980		2	+7440	27	3,809
	3	+2571	11	0,988		3	-14869	19	3,540
	4	-2760	23	2,011		4	+3050	10	1,856
	5	+5746	10	0,898		5	-4380	21	2,347
	6	-0200	9	0,786		6	-11832	16	2,012
4	1	+2211	23	1,345	11	1	+2216	26	3,707
	2	+2571	21	1,654		2	-5315	22	3,209
	3	-4790	18	1,345		3	+3090	34	3,608
	4	-0059	20	0,589		4	-2160	42	5,678
	5	-2264	11	0,787		5	-4370	35	4,123
	6	-4845	19	0,988		6	+0959	21	2,765
5	1	+3175	27	2,234	12	1	-5359	38	4,567
	2	+5841	31	3,156		2	-4316	35	3,098
	3	-9005	28	3,098		3	+9681	48	5,478
	4	-0748	16	2,345		4	-4450	43	4,398
	5	-3933	14	1,349		5	+0914	36	4,670
	6	-9768	17	2,345		6	+5230	23	2,568
6	1	-8463	15	2,341	13	1	+5840	19	2,006
	2	-1100	11	1,043		2	+5867	34	3,945
	3	+9569	26	2,979		3	-11607	58	6,895
	4	-15080	29	3,569		4	+13287	67	7,556
	5	-6630	15	1,789		5	+7457	56	6,448
	6	-5548	18	2,876		6	+1590	19	2,654
7	1	+9316	15	2,043	14	1	-1744	53	5,740
	2	+9340	18	1,908		2	-4217	34	2,908
	3	-18650	32	4,236		3	+5961	67	5,450
	4	+10939	34	4,056		4	+5756	56	3,564
	5	+1623	12	1,345		5	+7480	69	5,687
	6	-7720	10	1,245		6	+11705	34	2,654

№№ варіантів	№№ ходів	Сума перевищення $\sum h_i$, мм	Числ станцій, n_i	Довжина ходів, L_i в км	№№ варіантів	№№ ходів	Сума перевищення $\sum h_i$, мм	Числ станцій, n_i	Довжина ходів, L_i в км
15	1	-4229	38	2,874	22	1	-1203	21	2,984
	2	+0103	66	4,456		2	-5376	53	6,569
	3	+4137	54	4,235		3	+7780	17	2,330
	4	-8220	37	2,764		4	-1203	21	2,984
	5	-3982	87	5,987		5	+1210	29	3,789
	6	-4085	65	5,234		6	+6590	19	2,786
16	1	+6403	45	2,982	23	1			
	2	+6420	45	2,385		2	-1559	31	3,148
	3	-12830	38	2,456		3	+6930	58	4,567
	4	+8625	12	0,956		4	-6370	21	2,111
	5	+2211	45	6,879		5	-1010	13	1,980
	6	-4216	38	6,563		6	+0559	24	1,789
17	1	-4301	29	5,430	24	1			
	2	-4310	36	5,346		2	+7440	27	3,809
	3	+8620	75	9,890		3	-14869	19	3,540
	4	+8620	67	12,303		4	+3050	10	1,856
	5	-4316	48	8,106		5	-4380	21	2,347
	6	-0025	33	5,207		6	-11832	16	2,012
18	1	+6471	25	4,208	25	1			
	2	+6442	29	4,359		2	-5315	22	3,209
	3	-12924	87	13,065		3	+3090	34	3,608
	4	+4980	54	8,308		4	-2160	42	5,678
	5	-1481	37	5,556		5	-4370	35	4,123
	6	-7930	89	13,345		6	+0959	21	2,765
19	1								
	2	+5841	31	3,156					
	3	-9005	28	3,098					
	4	-0748	16	2,345					
	5	-3933	14	1,349					
	6	-9768	17	2,345					
20	1								
	2	+9340	18	1,908					
	3	-18650	32	4,236					
	4	+10939	34	4,056					
	5	+1623	12	1,345					
	6	-7720	10	1,245					
21	1								
	2	-1100	11	1,043					
	3	+9569	26	2,979					
	4	-15080	29	3,569					
	5	-6630	15	1,789					
	6	-5548	18	2,876					

Лабораторна робота № 8

Зрівнювання нівелірної мережі з однією вузловою точкою

Мета роботи: оволодіти методикою зрівнювання нівелірної мережі з однією вузловою точкою.

Обладнання та матеріали: ПК або калькулятор, бланки відомості зрівнювання нівелірної мережі, вихідні дані.

Завдання. Зрівнювати нівелірну мережу з однією вузловою точкою.

Вихідні дані виписують згідно зі своїм варіантом з додатку 11. Вихідні дані студент вибирає із таблиці 4 за своїм варіантом, що відповідає шифру студента або порядковому номеру в журналі. До довжин ходів кожен студент додає свій порядковий номер (5,121+ 0.001), де 5,121 – довжина ходу в км, а 0,001- порядковий номер у журналі. До кількості штативів у ході кожен студент додає свій порядковий номер (23 +2), де 23 – кількість штативів в ході, а 2 – порядковий номер студента у журналі. Знаки перевищень відповідають напрямкам стрілок на схемі мережі (рис. 33). Обчислення виконують в спеціальній відомості (додаток 10, табл.2) в зошиті для лабораторних робіт. У відомості вписують висоти вихідних пунктів червоним кольором.

Вказівки до виконання завдання

Мережа складається з трьох ходів $A - E - 1$, $B - E - 2$ та $C - E - 3$, які опираються на вихідні пункти III класу A , B і C , висоти яких відомі – H_a , H_b та H_c і сходяться в пункт E – вузловий (рис.33). Ходи мають виміряні перевищення h_1 , h_2 , h_3 відповідно. Відома також довжина кожного ходу L_1 , L_2 та L_3 і кількість штативів – n_1 , n_2 та n_3 .

По кожному ходу вузловий репер отримує свою висоту.

$$H'_d = H_a + h_1, \quad H''_d = H_b + h_2; \quad H'''_d = H_c + h_3$$

Так як отримані висоти з огляду на наявність похибок при визначенні перевищень будуть різними, виникає питання визначення найбільш ймовірного значення H_d . З цією метою визначають вагу виміряного перевищення по кожному ходу. Найбільш простою формою утворення ваги ходу є використання залежності накопичення похибок від довжини ходу L_i , або кількості штативів n_i у ході (якщо довжини пліч на станціях різко відмінні). Для того, щоб кожна вага не дуже відрізнялася від одиниці, використовують спільний множник C , як правило, менший (більший) за найменше (найбільше) значення L_i (n_i).

$$\text{Тоді: } p_i = \frac{C}{L_i} \text{ або } p_i = \frac{c}{n_i}. \quad p_1 = \frac{c}{L_1}; \quad p_2 = \frac{c}{L_2}; \quad p_3 = \frac{c}{L_3}.$$

Найбільш ймовірне значення висоти вузлового репера D визначають за формулою:

$$H_d = \frac{H'_d p_1 + H''_d p_2 + H'''_d p_3}{p_1 + p_2 + p_3}.$$

Визначають поправки до кожного ходу: $v_1 = H_d - H'_d$; $v_2 = H_d - H''_d$; $v_3 = H_d - H'''_d$, які контролюють $[pv] = 0$, а також обчислюють $[pv^2]$ для оцінки точності через

середню квадратичну похибку μ одиниці ваги $\mu = \sqrt{\frac{pv^2}{k-f}}$, де k - кількість нівелірних ходів, а f - число вузлових пунктів.

Ця похибка характеризує хід в S км, тому визначають також середню квадратичну похибку перевищень по ходу в 1 км: $m_{км} = \frac{\mu}{\sqrt{S}}$,

Визначають також середню квадратичну похибку найбільш ймовірного значення висоти вузлового репера: $M_{Hd} = \frac{\mu}{\sqrt{p_{Hd}}}$, де $p_{Hd} = p_1 + p_2 + p_3$,

Виправлені значення перевищень використовують для зрівнювання кожного ходу мережі, як окремого. Нижче наведено приклад зрівнювання мережі з однією вузловою точкою.

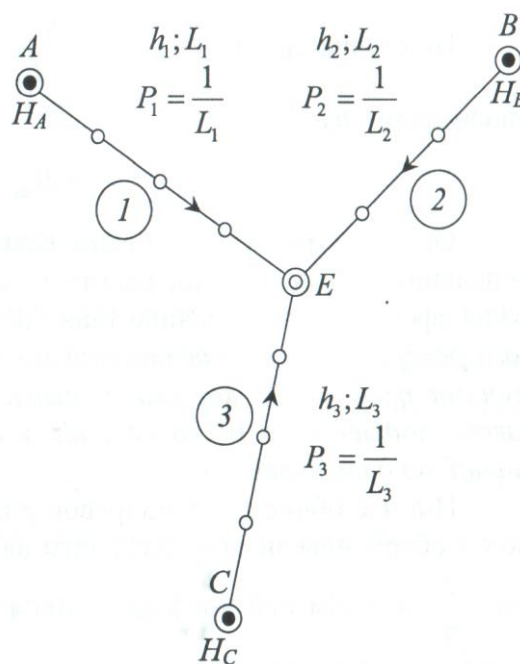


Рис. 33 Схема нівелірної мережі з однією вузловою точкою

Література:

1. Селиханович В.Г. Геодезия. Ч. П. - : Недра, 1981. –с.117 -122.
2. Селиханович В.Г., Логинова Г.П. Задачник по геодезии. М: Недра, 1970 с.59-65.
3. Ассур В.Л., Филатов А.М. Практикум по геодезии. - М: Недра, 1985 с.333 – 336.
4. Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія. Львів- 2007 с.81 – 85.

Питання для самоконтролю

1. Суть способу зрівнювання з однією вузловою точкою.
2. Що таке вага ходу? Як обчислити вагу ходу?
3. Яку точку називають вузловою?
4. Як обчислити поправки у виміряні перевищення?
5. Як обчислюють висоту вузлової точки?
6. Оцінка точності.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Географічний
факультет

Кафедра землевпорядкування
та кадастру

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА

Зрівноваження нівелірної мережі з однією вузловою точкою

ВАРІАНТ № 1

Виконав:
студент гр. ЗВК 2
Ткаченко І.І.

Перевірив:
доц. Калинич І.В.

Ужгород 2020

Зрівноваження нівелірної мережі з однією вузловою точкою

Вихідні дані

Таблиця 1

№ ходу	Назва вихідного пункту	Висота над рівнем моря.(м)	Перевищення в (м)	Довжина ходу в (м)	Кількість штативів у ходу
1	H_a	86,334	+ 3,378	2,018	23
2	H_b	92,076	- 2,343	4,227	41
3	H_c	78,605	+11,122	2,986	26

Відомість зрівноваження

Таблиця 2

№ ходу	Вихідний пункт, $H(м)$	Висота вихідного пункту, $H_i(м)$	Перевищення по ходу, $h_i(м)$	Висота вузлового пункту $H'_i(м)$	Довжина ходу $L_i(м)$	Кількість штативів, n_i	Вага ходу $p_i = \frac{c}{L_i}, \left(\frac{c}{n_i}\right)$ $C=2$	Найбільш ймовірне значення висоти вузлового пункту, $H_d(м)$	Поправка в перевищення по ходу i , $v_i(мм)$	pv	pv^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	H_a	86,334	+ 3,378	89,712	2,018	23	0,991		-9	-8,919	80,721
2	H_b	92,076	- 2,343	89,733	4,227	41	0,473		+12	+5,676	68,112
3	H_c	78,605	+11,122	89,727	2,986	26	0,670	89,721	+6	4,020	24,120
								[2,134]	[+0,777]	[172,503]	

$\mu = 9,287 м; m_{км} = 6,567; M_{Hd} = 6,357 мм.$

За результатами вирівнювання складають каталог висот пунктів нівелювання.

Каталог висот пунктів

Таблиця 3

Тип та номер нівелірного знаку	Клас нівелювання	Висота над рівнем моря, м
Грунт.реп. А	ІІІ	86,334
Грунт.реп. В	ІІІ	92,076
Грунт.реп. С	ІІІ	78,605
Грунт.реп. Е	ІУ	89,721

Виконав _____ студ.Ткаченко І.І.
Перевірив _____ доц.Калинич І.В.
Оцінка _____

ВИХІДНІ ДАНІ

Таблиця 4

№ варіанту	№ ходу	Назва вихідного пункту	Висота над рівнем моря (м)	Перевіщення в (м)	Довжина ходу в (км)	Кількість штативів в ході	№ варіанту	№ ходу	Назва вихідного пункту	Висота над рівнем моря (м)	Перевіщення в (м)	Довжина ходу в (км)	Кількість штативів в ході
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	1	H_a	189.164	+66.554	2,018	23		1	H_a	182.811	+15.397	2,018	23
1	2	H_b	188.189	+67.529	4,227	41	15	2	H_b	192.529	+5.679	4,227	41
	3	H_c	181.448	+74.270	2,986	26		3	H_c	196.847	+1.350	2,986	26
	1	H_a	189.977	+65.741	2,018	23		1	H_a	193.781	+4.425	2,018	23
2	2	H_b	189.011	+66.702	4,227	41	16	2	H_b	190.988	+7.218	4,227	41
	3	H_c	182.260	+73.458	2,986	26		3	H_c	191.065	+7.145	2,986	26
	1	H_a	190.791	+64.921	2,018	23		1	H_a	191.926	+6.278	2,018	23
3	2	H_b	189.830	+65.894	4,227	41	17	2	H_b	190.804	+7.399	4,227	41
	3	H_c	183.075	+72.649	2,986	26		3	H_c	191.487	+6.710	2,986	26
	1	H_a	190.424	+65.290	182,018	23		1	H_a	191.594	+6.601	2,018	23
	2	H_b	189.471	+66.241	4,227	41	18	2	H_b	192.535	+5.661	4,227	41
4	3	H_c	182.712	+73.000	2,986	26		3	H_c	188.177	+10.035	2,986	26
	1	H_a	190.717	+65.006	2,018	23		1	H_a	199.804	-1.609	2,018	23
5	2	H_b	189.766	+65.958	4,227	41	19	2	H_b	202.930	-4.723	4,227	41
	3	H_c	183.002	+72.716	2,986	26		3	H_c	200.626	-2.423	2,986	26
	1	H_a	190.841	-0.937	2,018	23		1	H_a	201.446	-3.236	2,018	23
6	2	H_b	189.884	+0.020	4,227	41	20	2	H_b	201.089	-2.881	4,227	41
	3	H_c	183.122	+6.782	2,986	26		3	H_c	201.384	-3.178	2,986	26
	1	H_a	190.581	-0.677	2,018	23		1	H_a	201.510	-3.309	2,018	23
7	2	H_b	189.638	+0.266	4,227	41	21	2	H_b	183.122	+15.067	4,227	41
	3	H_c	182.864	+7.042	2,986	26		3	H_c	201.510	-3.301	2,986	26
	1	H_a	194.504	-4.612	2,018	23		1	H_a	197.254	+0.947	2,018	23
8	2	H_b	195.439	-5.531	4,227	41	22	2	H_b	182.864	+15.330	4,227	41
	3	H_c	187.725	+2.179	2,986	26		3	H_c	201.257	-3.059	2,986	26
	1	H_a	193.625	-3.717	2,018	23		1	H_a	196.700	+1.509	2,018	23
9	2	H_b	192.695	-2.789	4,227	41	23	2	H_b	187.725	+10.489	4,227	41

№ варіанту	№ ходу	Назва вихідного пункту	Висота над рівнем моря (м)	Перевіщення в (м)	Довжина ходу в (км)	Кількість штативів в ході	№ варіанту	№ ходу	Назва вихідного пункту	Висота над рівнем моря (м)	Перевіщення в (м)	Довжина ходу в (км)	Кількість штативів в ході
	3	H_c	185.909	+3.990	2,986	26		3	H_c	206.125	-7.936	2,986	26
	1	H_a	196.427	-6.520	2,018	23		1	H_a	201.867	-3.661	2,018	23
10	2	H_b	195.504	-5.606	4,227	41	24	2	H_b	200.058	-1.853	4,227	41
	3	H_c	188.721	+1.189	2,986	26		3	H_c	204.318	-6.112	2,986	26
	1	H_a	192.783	-2.870	2,018	23		1	H_a	188.713	+9.492	2,018	23
11	2	H_b	191.861	-1.961	4,227	41	25	2	H_b	207.127	-8.930	4,227	41
	3	H_c	185.064	+4.845	2,986	26		3	H_c	202.866	-4.660	2,986	26
	1	H_a	194.139	-4.231	2,018	23		1	H_a	199.219	-1.023	2,018	23
12	2	H_b	193.209	-3.301	4,227	41	26	2	H_b	200.574	-2.379	4,227	41
	3	H_c	186.415	+3.479	2,986	26		3	H_c	190.176	+8.034	2,986	26
	1	H_a	194.139	-4.230	2,018	23							
13	2	H_b	183.742	+6.158	4,227	41							
	3	H_c	193.467	-3.567	2,986	26							
	1	H_a	197.790	-7.881	2,018	23							
14	2	H_b	194.729	-4.821	4,227	41							
	3	H_c	191.941	-2.045	2,986	26							

Навчальне видання

Нівелювання. Лабораторний практикум

Навчальний посібник

Укладачі:

Калинич І.В., Ничвид М.Р., Калинич І.І.

Коректор: Калинич Н.Ф.

Гарнітура Times New Roman.

Формат 60x84/16. Ум.друк.арк. 4,9. Обл.вид.арк. 3,4.

Зам. №43. Наклад 100 прим.

Видавництво УжНУ «Говерла»

88000, м. Ужгород, вул. Капітульна, 18.

E-mail: goverla-print@uzhnu.edu.ua

*Свідоцтво про внесення до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів продукції Серія 3т № 32 від 31 травня 2006 рок*