

**Міністерство освіти і науки України
Чернігівський національний технологічний університет
Навчально-науковий інститут технологій
Кафедра геодезії, картографії та землеустрою**

ГЕОДЕЗІЯ

Методичні вказівки

до проведення навчальної геодезичної практики
для бакалаврів спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Чернігів-2017

**Геодезія. Методичні вказівки до проведення навчальної
геодезичної практики для бакалаврів спеціальності 193
«Геодезія та землеустрій»**

/Укл. Крячок С.Д., Мамонтова Л.С. – Чернігів: ННІТ
ЧНТУ, 2017 - 46 с.

**Укладачі: Крячок С.Д. к.т.н., доцент кафедри геодезії,
картографії та землеустрою, Мамонтова Л.С. ст.
викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою**

Рецензент: Терещук О.І., к.т.н., доцент.

Відповідальний за випуск: Корнієнко І.В., к.т.н., завідувач
кафедри геодезії, картографії та землеустрою

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 4 |
| 1. ЗАГАЛЬНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ | 4 |
| 2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО РОБОТИ В МЕРЕЖАХ ЗГУЩЕННЯ | 5 |
| 2.1. Проведення перевірок та виправлень геодезичних інструментів та обладнання..... | 6 |
| 2.2. Полігонометрія згущення (1,2 розрядів)..... | 12 |
| 2.3. Нівелювання III класу..... | 18 |
| 2.4. Прив'язувальні роботи у полігонометрії..... | 30 |
| 2.5. Робота над звітом..... | 43 |
| 3. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА | 45 |

ВСТУП

Навчальна геодезична практика, що проводиться для студентів другого курсу спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій», спрямована на оволодіння методами геодезичних вимірювань в умовах близьких до виробничих.

1. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Мета і завдання геодезичної практики

Метою практики є закріплення та поглиблення знань, набутих у процесі вивчення дисципліни “Геодезія”, а також отримання навичок самостійного виконання геодезичних робіт, запланованих в даній програмі та ознайомлення з правилами охорони праці та навколишнього середовища.

Завданням геодезичної практики є практичне освоєння методів геодезичних робіт з побудови мереж згущення, нівелювання III класу і прив’язувальних робіт у полігонометрії.

Склад і зміст геодезичної практики

Програма геодезичної практики складається з наступних розділів:

1. Загальні методичні рекомендації.
2. Полігонометрія згущення (1, 2 розрядів).
3. Нівелювання III класу.
4. Прив’язувальні роботи у полігонометрії.

Завдання на проведення геодезичної практики

Завдання та вихідні дані до проведення геодезичних робіт, які включені у програму геодезичної практики, видаються студентам керівником практики згідно з планом-графіком виконання геодезичної практики. На проведення геодезичної практики відводиться 125 годин (25 п’ятигодинних робочих днів) або п’ять тижнів.

Для виконання геодезичних робіт керівник практики кожній бригаді показує на місцевості полігон та вихідні точки з відомими координатами, висотами.

Контроль за ходом виконання завдань з геодезичної практики та захист звіту.

До початку виконання конкретного виду геодезичних робіт практиканти повинні вивчити рекомендовану літературу, а в процесі роботи виконувати вказівки керівника практики.

Виробничою одиницею є бригада на чолі з бригадиром. В склад академічної групи входить кілька учбових бригад чисельністю 5-6 чоловік. Формування бригад та призначення бригадира проводиться за участю керівника практики.

Кожне нове завдання видається бригаді тільки після правильного виконання попереднього та задовільного оформлення відповідних польових і камеральних матеріалів.

Постійний щоденний контроль за проходженням практики студентів виконує її керівник. Він приймає всі польові роботи практикантів, візує їх камеральні матеріали, розрахунки і креслення.

Загальний контроль за проходженням геодезичної практики здійснює завідувач кафедри.

Захист звіту є модульним контролем, здійснюється в комісії, яку очолює керівник практики від університету та за присутності усіх членів бригади.

Під час захисту звіту виставляється диференційована оцінка, яка враховує:

якість оформлення графічного матеріалу і пояснювальної записки;

повноту і правильність відповідей студента на поставлені викладачем запитання;

своєчасність виконання етапів роботи та її захисту.

Студент, що запізнився на початок практики, допускаються до її проходження в бригаді тільки за розпорядженням керівника практики.

2. МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО РОБОТИ В МЕРЕЖАХ ЗГУЩЕННЯ

До початку практики студенти повинні ознайомитися з її програмою, пройти на кафедрі інструктаж з техніки безпеки та з охорони праці і попередження нещасних випадків, одержати від керівника практики всі необхідні документи (методичні рекомендації, відомості про необхідну літературу, нормативні документи, тощо).

Першого дня практики студенти поділяються на бригади та призначаються бригадири. Після формування бригад кожна бригада отримує в геокамері геодезичні інструменти та обладнання.

Під час отримання геодезичних інструментів викладачі кафедри виконують загальний огляд та перевіряють роботу окремих вузлів приладів, фіксують увагу студентів на особливості їх роботи та зовнішнього вигляду, а також фіксують ці особливості у розписці про отримання інструментів даної бригади. Виконуються перевірки отриманих приладів.

2.1. Проведення перевірок та виправлень геодезичних інструментів та обладнання

Перевірки теодоліта

Для проведення перевірок теодоліта необхідно виконати його горизонтування. Для цього теодоліт встановлюють на штатив, закріплюють його становим гвинтом до штативу та проводять горизонтування. Обертають алідаду горизонтального круга (ГК), встановлюють циліндричний рівень на алідаді ГК у перше положення: паралельно двом підйомним гвинтам та ними ж приводять бульбашку рівня до нуля-пункту (середини ампули) (рис.1). Обертаючи алідаду ГК, встановлюють рівень у друге положення: в напрямку третього підйомного гвинта і приводять ним же рівень до нуля-пункту. Знову повертають алідаду ГК у перше та друге положення та за необхідністю відповідними підйомними гвинтами приводять рівень до нуля-пункту. Горизонтування виконують до тих пір поки в обох положеннях бульбашка рівня не буде в нуля-пункті.

Далі виконують перевірки.

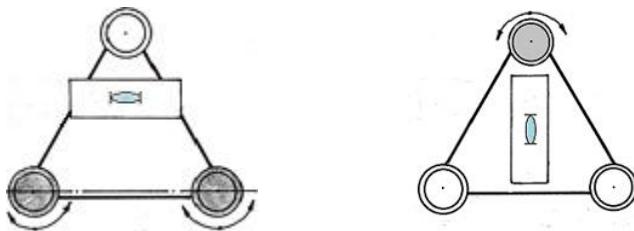


Рис. 1. Горизонтування теодоліта

Перша перевірка: вісь циліндричного рівня на алідаді ГК повинна бути перпендикулярною до вертикальної вісі обертання (головної) осі теодоліта.

Встановлюють циліндричний рівень паралельно двох підйомних гвинтів підставки і приводять бульбашку рівня на середину (рис.2). Потім обертають алідаду на 180° і спостерігають за положенням бульбашки рівня. Якщо бульбашка рівня відійшла з середини більше, ніж на одну поділку рівня, то виправними гвинтами рівня повертають бульбашку на половину дуги відхилення назад до середини ампули. На іншу половину дуги бульбашку встановлюють на середину за допомогою підйомних гвинтів.

Після виконання виправлень рівня повторюють горизонтування приладу.

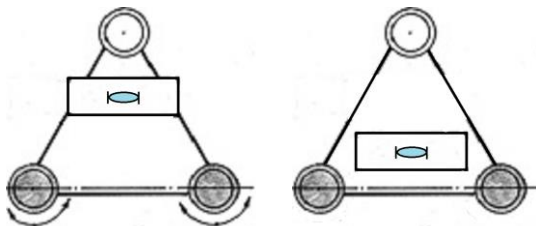


Рис. 2. До перевірки циліндричного рівня

Друга перевірка: горизонтальна нитка сітки ниток повинна бути перпендикулярною осі обертання теодоліта.

Встановлюють за рівнем вісь обертання теодоліта у прямовисне положення і наводять горизонтальну нитку сітки зорової труби на віддалену точку у крайнє ліве положення. За допомогою навідного гвинта ГК переміщують зображення точки у крайнє праве положення горизонтальної нитки сітки. Зображення точки не повинно зійти з горизонтальної нитки більше ніж на три ширини штриха сітки ниток (рис. 3).

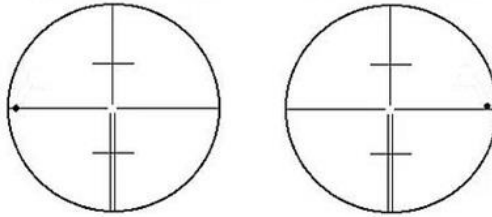


Рис. 3. Використання точки для перевірки сітки ниток

Третя перевірка: Візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярною осі обертання зорової труби. Неперпендикулярність називається *колімаційною похибкою*.

Встановлюють візирну вісь зорової труби наближено в горизонтальне положення та наводять хрест ниток на віддалену візирну ціль (рис. 4). Беруть відлік L по ГК при крузі ліво (КЛ). Повторюють наведення на візирну ціль при крузі право (КП) та беруть відлік Π . Визначають колімаційну похибку c за формулою

$$c = 0,5(L - \Pi) \pm 180^\circ$$

Величина колімаційної похибки не повинна перевищувати $10''$ для теодолітів серії Т2 та $0,2$ для теодолітів серії Т5.

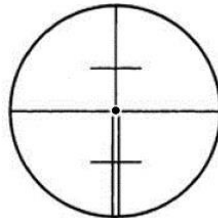


Рис. 4. До визначення колімаційної похибки

Четверта перевірка: місце нуля - MO повинно бути відомим або приведеним до нуля (для теодолітів серії Т5). Для теодолітів серії Т2 визначають місце зеніту MZ .

Перевірку виконують аналогічно перевірці колімаційної похибки наведенням на віддалену візирну ціль, але беруть відліки L та Π по вертикальному кругу (ВК). У теодолітах серії Т2 перед взяттям відліку по ВК необхідно навідним гвинтом

виводити бульбашку рівня при алідаді ВК у нуль-пункт. Тоді для 2Т5, 2Т5К

$$MO = 0,5(L + П)$$

Для теодолітів Т2 і 2Т2

$$MZ = 0,5(L - П + 360^\circ)$$

Допускається для теодолітів серії Т5 $MO \leq 0,2'$, а для теодолітів серії Т2 $MZ \leq 10''$.

П'ята перевірка: вісь обертання зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання інструменту.

Теодоліт встановлюють поблизу стіни на відстані 2 - 3 метри від неї та горизонтують його. На стінці закріплюють марку під кутом $\nu = 25 - 30^\circ$ відносно горизонту інструменту – точка А. Наводять сітку ниток зорової труби при КЛ на марку та беруть відліки L_B по ГК та L' по ВК. Опускають зорову трубу нижче на кут 1° та закріплюють другу марку на стінці так, щоб її зображення співпало чи розташувалось поблизу перехрестя ниток. Наводять зорову трубу на другу марку та беруть відліки L_H по ГК. Повертають алідаду ГК на 180° та наводять сітку ниток зорової труби на верхню марку та беруть відлік P_B по ГК. Наводять сітку ниток зорової труби на нижню марку та деруть відлік P_H по ГК.

Обчислюють нахил i осі обертання зорової труби

$$i = 0,25[(L_H - L_B) - (P_H - P_B)] / \text{ctg}\nu,$$

де $\nu = L' - MO$ - для теодоліта серії Т5,

$\nu = L' - MZ$ - для теодолітів серії Т2.

Для теодолітів серії Т5 $\nu \leq 0,3'$, а для Т2 $\nu \leq 15''$.

Якщо вимірювання горизонтальних кутів буде виконуватись при КЛ та КП (повними прийоми), то нахил осі обертання теодоліта не пливатиме на точність вимірювання горизонтальних кутів. У цьому випадку допускається $i \leq 40''$.

Шоста перевірка: візирні осі колімаційного візира та зорової труби повинні бути паралельними.

Наводять колімаційний візир на віддалену точку та оцінюють зміщення цієї точки від вертикальної нитки сітки зорової труби. Зміщення не повинно перевищувати $\frac{1}{5}$ діаметра поля зору труби.

Сьома перевірка: візирна вісь оптичного виска повинна бути паралельною осі обертання інструмента.

Під штатив кладеться марка у вигляді чіткої точки. Встановлюють теодоліт на штатив та підйомними гвинтами сполучають зображення точки з центром малого кола в полі зору виска. Повертають алідаду ГК на 180° та оцінюють візуально зміщення зображення точки, яке не повинно перевищувати 0,5 радіуса малого кола.

Студенти фіксують результати перевірок для оформлення звіту.

Необхідні виправлення теодоліта в разі перевищення допусків за перевітками виконує викладач у присутності членів бригади.

Виконується визначення рена оптичного мікрометра теодоліта згідно з [8].

Перевірка візирної марки

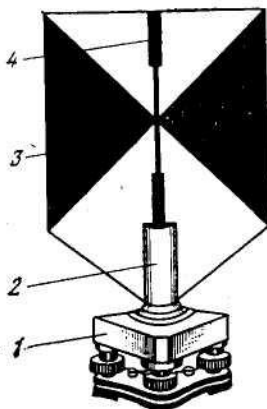


Рис.5. Візирна марка

Візирна марка (рис. 5) є металевим щитком 3, що скріплений з втулкою 2, яка встановлюється в підставку 1, забарвлений в два контрастні кольори з обох боків. По осі симетрії марки нанесена

смужка 4, яка є візирною ціллю. Кольори і форма розфарбовування марок різноманітні.

Марки, що входять в комплект візирних цілей для теодоліта Т2, забарвлені яскравою флуоресцентною фарбою і забезпечують спостереження напрямів до 5 км. Марки мають круглий рівень і підсвічуванням для візування в нічних умовах. Під час кутових вимірюваннях площина марки повинна бути встановлена перпендикулярно до лінії візування.

Перша перевірка: *вісь круглого рівня повинна бути паралельна осі обертання марки.*

Перевірка виконується аналогічно першій перевірці теодоліту.

Друга перевірка: *осі симетрії і обертання марки повинні бути суміщені.*

Теодоліт і марку розташовують на відстані $S \approx 5$ м і приводять в робоче положення. За допомогою теодоліта визначають вісь її обертання марки. Для цього наводять хрест ниток зорової труби теодоліта, наприклад, на правий верхній край марки та беруть відлік n_1 по ГК. Обертають марку на 180° та беруть відлік n_2 по ГК потому ж краю марки (тепер лівому) та відлік n_3 по іншому, правому краю.

Величину l асиметрії марки можна визначити за формулою

$$l = \delta \frac{S}{\rho},$$

$$\text{де } \delta = (n_3 - n_{CP}) - (n_{CP} - n_2), \quad n_{CP} = \frac{n_1 + n_2}{2}$$

Величина δ не повинна перевищувати 1 мм. Інакше марку не можна застосовувати для кутових вимірювань.

Способи центрування теодоліта з використанням оптичного виска

Перший спосіб: встановлюють теодоліт на штатив та підйомними гвинтами сполучають зображення марки геодезичного пункту з центром малого кола в полі зору оптичного виска. Повертають алідаду ГК так, щоб торець циліндричного рівня був направлений на середину однієї з ніжок штативу. Притримуючи рукою місце з'єднання верхньої та нижньої частин розсувної ніжки штативу, запобігаючи осіданню штатива, викручують закріпний гвинт цієї ніжки. Вільною рукою

починають повільно піднімати чи опускати верхню частину розсувної ніжки до тих пір, поки бульбашка рівня при алідаді ГК досягне нуля-пункту. В момент знаходження бульбашки в нуля-пункті акуратно загвинчують закріпний гвинт ніжки. Повертають алідаду ГК рівнем в напрямку середини іншої ніжки та виконують дії, аналогічні вказаним вище. Використовують як правило дві ніжки. Горизонтування теодоліту за допомогою двох ніжок виконують доти, доки бульбашка рівня буде відхилятися від середини ампули на одну – дві поділки під час орієнтуванні торця рівня відносно обох ніжок. Кінцеве проведення бульбашки до нуля-пункту виконують підйомними гвинтами. Для цього обертанням алідади орієнтують циліндричний рівень паралельно двом підйомним гвинтам та ними ж встановлюють рівень в нуля-пункт. Повертають алідаду на 90° і третім підйомним гвинтом приводять бульбашку у нуля-пункт. Після горизонтування перевіряють розташування зображення марки відносно центра малого кола в полі зору оптичного виска. Зображення марки повинно знаходитись в межах малого кола. У випадку виходу його за межі малого кола можна послабити становий гвинт та переміщенням теодоліта відносно головки штативу ввести зображення марки в межі малого кола та закріпити становим гвинтом теодоліт. Після цього перевіряють горизонтування теодоліту.

Другий спосіб: Теодоліт центрують та горизонтують за допомогою ниткового виска. Відкріплюють нитковий висок від дужки станового гвинта. Перевіряють сполучення зображення марки геодезичного пункту з центром малого кола в полі зору оптичного виска. У випадку виходу його за межі малого кола можна послабити становий гвинт та переміщенням теодоліта відносно головки штативу ввести зображення марки в межі малого кола та закріпити становим гвинтом теодоліт. Після цього перевіряють горизонтування теодоліту.

2.2. Полігонометрія згущення (1,2 розрядів)

Завдання 1. Реконстрування ходів та закріплення точок

Геодезичний полігон, який знаходиться по вул. генерала Белова, необхідно закріпити на місцевості дубелями, забитими в розщілини асфальтового покриття тротуарів та проїздів. Відстані між точками полігону повинні відповідати відстаням полігонометрії першого розряду. Кожна бригада отримує від

керівника практики свою ділянку полігону та закріплює її на місцевості з використанням дюбелів, а номери точок наносяться на асфальтному покритті за допомогою фарби. На всі точки ходу необхідно виготовити картки прив'язки. На картках прив'язки схематично зображають ситуацію навкруги точки та не менш ніж трьома лінійними промірами, виконаними рулеткою відносно постійних місцевих предметів, фіксують планове положення точки. Під час проведення рекогносцирування користуються параметрами ходів, наведених у табл. 1

Завдання 2. Кутові вимірювання, контрольні обчислення

Вимірювання кутів на точках полігонометричних ходів виконують способом прийомів, коли число напрямків на сусідні точки два та способом кругових прийомів, якщо число напрямків більше двох. Під час вимірювань кутів в залежності від розряду полігонометрії і точності наявних у бригади теодолітів необхідно дотримуватись кількості прийомів, наведених у табл. 1. Між прийомами лімба переставляють на кут

$$\frac{180^\circ}{n} + \sigma,$$

де n – число прийомів, σ - 5' або 10'.

Результати вимірювання кутів та напрямків мають бути в межах, наведених в табл. 1.

За наявності в групі вимірювань кутів в окремих прийомах, результати яких не відповідають наведеним допуском, вимірювання повторюють на тих же установках лімба. Повторні вимірювання виконують після закінчення спостережень за основною програмою.

Центрування марок та теодолітів над точкам полігонометрії виконують оптичним виском з точністю 1 мм, що відповідає розташуванню зображенню точки в полі зору оптичного виска в межах малого кола його марки.

Технологія вимірювання горизонтальних кутів у способі прийомів відома студентам з топографічної практики

Таблиця 1

Основні характеристики полігонометрії згущення

| ПАРАМЕТРИ | 1 р. | 2 р. |
|--|--------------|--------------|
| Довжина ходу, км | | |
| а) окремого | 7,0 | 4,0 |
| б) між вихідною й вузловою точками | 5,0 | 3,0 |
| в) між вузловими точками | 4,0 | 2,0 |
| Граничний периметр полігону, км | 20 | 12 |
| Довжина сторін ходу, км: | | |
| максимальна | 0,80 | 0,50 |
| оптимальна | 0,30 | 0,20 |
| мінімальна | 0,12 | 0,08 |
| Гранична відносна похибка ходу 1:Т | 1:10000 | 1:5000 |
| Максимальна кількість сторін у ході, n | 15 | 15 |
| Середня квадратична похибка вимірювання кутів, m_β (кут. Сек.) | 5 | 10 |
| Кутова нев'язка, f_β (кут. Сек.), де n_T – кількість кутів у ході | $10\sqrt{n}$ | $20\sqrt{n}$ |
| Середня квадратична похибка вимірювання довжини сторони, см: | | |
| до 500м | 1 | 1 |
| від 500м до 1000м | 2 | - |
| понад 1000м | - | - |

Таблиця 2

Число прийомів в залежності від точності теодолітів

| Прилади з точністю вимірювання кутів | Кількість прийомів | | |
|--------------------------------------|--------------------|----------|----------|
| | 4 клас | 1 розряд | 2 розряд |
| 1" | 4 | - | - |
| 2" | 6 | 2 | 2 |
| 5" | - | 3 | 2 |

Таблиця 3

Допуски на вимірювання кутів та напрямків

| Елементи вимірювання | Допуски для приладів з СКП вимірювань кута | | |
|--|--|----|------|
| | 1" | 2" | 5" |
| Розходження значення кута в напівприйомах | 6" | 8" | 0,2' |
| Коливання значення кута в різних прийомах | 5" | 8" | 0,2' |
| Розходження між результатами спостережень на початковий напрямок у напівприйомі (не замикання горизонту) | 6" | 8" | 0,2' |
| Коливання значень напрямків, що | 5" | 8" | 0,2' |

Технологія вимірювань горизонтального кута способом кругових прийомів має наступні особливості.

1. За початковий напрямок вибирають той, візирна марка якого дає найчіткіше зображення в полі зору теодоліту.

2. У першому півприйомі аліададу обертають тільки за ходом годинної стрілки, а в другому, після перекладення труби через zenit, - тільки у зворотному напрямку.

3. У першому півприйомі перехрестя сітки ниток зорової труби дещо переводити через центр марки, а в другому - дещо не доводять до нього. Це роблять для того, щоб точне наведення зорової труби завжди здійснювалося при обертанні навідного

гвинта алідади ГК тільки за ходом годинної стрілки (на гвинчування).

В журналі вимірювання кутів способом кутових прийомів обчислюють подвійну колімаційну похибку $2c$

$$2c = L - P,$$

де L та P – відліки по ГК на одну і ту ж візирну марку для КЛ та КП. Величина $2c$ повинна мати постійне значення.

Обчислюють середнє значення з відліку для КЛ та КП з приведенням числа градусів для КЛ за формулою

$$\frac{L + P}{2} = \frac{L + (P - 180^\circ)}{2}.$$

Визначають незамикання горизонту Δ_L для КЛ та Δ_P для КП як різниці відліків на початковий напрямок в кінці та на початку півприйому для відповідного круга. Знаходять середнє незамикання Δ_{CP}

$$\Delta_{CP} = \frac{\Delta_L + \Delta_P}{2}$$

та вводять значення Δ_{CP} з протилежним знаком у початковий напрямок, приведений до КЛ, у кінці спостережень у прийомі. Після цього обчислюють напрямки, приведені до спільного нуля шляхом віднімання від кожного наступного напрямку, що йдуть за початковим значення початкового напрямку.

Кутові вимірювання у полігонометричному ході конкретної бригади виконують за програмою 1 розряду полігонометрії.

Завдання 3. Лінійні вимірювання, контрольні обчислення

Лінійні вимірювання у полігонометрії 1 та 2 розрядів виконують з використанням світловіддалемірів, електронних тахеометрів та іншими приладами, які забезпечують точність вимірювань, що наведена в табл. 1. Порядок роботи під час вимірювання ліній конкретним типом приладу наведено в інструкції з експлуатації даного приладу.

Центрування віддалемірів над точками полігонометрії виконують з точністю 1 мм.

Під час вимірювання ліній світловіддалемірами і електронними тахеометрами у полігонометрії 1 та 2 розрядів слід виконувати два прийоми спостережень, з обчисленням середнього значення. Під прийомом спостережень у цьому випадку розуміють одне наведення на відбивач і три відліки по табло приладу. Коливання результатів вимірювань у прийомах не повинні перевищувати $2m$, де m – середня квадратична похибка вимірювання відстані, яка взята з паспорта приладу.

Під час вимірювання ліній світловіддалемірами і електронними тахеометрами один раз під час вимірювання на одному кінці визначається температура повітря з точністю 1°C і тиск повітря – барометром з точністю 5 мм рт. ст. Для ліній більших 2 км або у випадку значного перепаду висот між точками стояння віддалеміра та відбивача метеодані визначають на обох кінцях лінії.

Перед початком робіт необхідно визначити середню квадратичну похибку вимірювання відстані одним прийомом шляхом вимірювання інтервалів взірцевого базису 2 розряду точності довжиною 100, 300, 500, 1000, 2000, 3000 м або близьких до них інтервалів.

Лінійні вимірювання у полігонометричних ходах кожною бригадою виконуються з використання електронного тахеометра у присутності всіх членів бригади.

Поправки у виміряні відстані вводяться згідно паспорта конкретного електронного тахеометра. У підсумку отримують лінії, приведені до горизонту.

Після проведення польових робіт у полігонометрії необхідно мати такі матеріали:

основні технічні показники полігонометрії згущення IV кл., 1 і 2 розрядів;

перевірки теодоліта;

перевірки марок;

абриси місцеположення пунктів полігонометрії та типи їх центрів;

журнал вимірювання горизонтальних кутів;

журнал вимірювання ліній;

схема ходу з нанесеними кутами та лініями.

Наступним кроком у обробці результатів вимірювань є зрівноваження полігонометричного ходу та розрахунок координат його точок полігонометрії. В результаті зрівноваження необхідно мати такі дані:

матеріали зрівнювання;
відомість координат точок полігонометричного ходу.

2.3. Нівелювання III класу

Завдання 1. Дослідження нівелірів і комплектів рейок

Перевірка круглого рівня. Вісь круглого рівня повинна бути паралельною основній осі нівеліра.

Для перевірки цієї умови встановлюють круглий рівень у напрямку двох підйомних гвинтів (Рис 6). Обертанням трьох гвинтів 1 в протилежних напрямках бульбашку 2 виводять в нуль-пункт. Якщо після повертання верхньої частини нівеліра на 180° бульбашка залишається в нуль-пункті - умову виконано. Якщо ж ні, то виправними гвинтами рівня зміщують бульбашку в нуль-пункт на половину її відхилення. На частину відхилення, що залишилося, бульбашку рівня зміщують до нуль-пункту піднімальними гвинтами. Для контролю перевірку повторюють і виконують доти, доки не буде виконана умова.

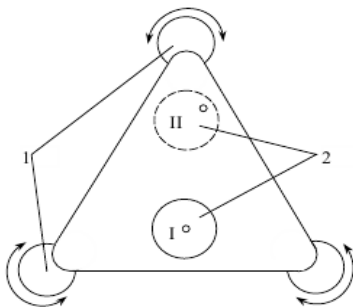


Рис.6. Перевірка круглого рівня:
1 – підйомні гвинти; 2 – бульбашка рівня

Перевірка правильності встановлення сітки ниток.
Вертикальна нитка сітки повинна бути паралельною вертикальній (основній) осі нівеліра.

При робочому положенні нівеліра зорову трубу наводять на віддалену на 5...10 м рейку так, щоб її зображення було біля краю поля зору, і роблять відлік. Навідним гвинтом поволі повертають трубу, щоб зображення рейки перемістилося до

другого краю поля зору. Якщо після цього відлік не зміниться, умову виконано.

Перевірку можна виконати також з допомогою важкого виска, підвешеного на відстані 25...30 м від нівеліра. Якщо після наведення на шнурок виска вертикальна нитка сітки суміститься з ним, то умову виконано. В іншому випадку виконують юстування.

Для виконання юстування знімають кришку сітки ниток, що прикриває юстувальні гвинти на окулярній частині зорової труби. Ослаблюють гвинти, що скріплюють окулярну частину труби з об'єктивною, і повертають сітку ниток до досягнення умов перевірки. Після закінчення перевірки гвинти закріплюють юстирувальні гвинти і ставлять кришку на місце.

Перевірка головної геометричної умови. *Візорна вісь зорової труби повинна бути паралельною осі циліндричного рівня.* Основну геометричну умову перевіряють нівелюванням однієї лінії довжиною 50...70 м способами «з середини» або «вперед» (рис 7). На рівній місцевості вибирають і закріплюють кілочками або дюбелями дві точки А та В на відстані 50...70 м одна від одної. Під час перевірки способом «вперед» установлюють над точкою А нівелір так, щоб окуляр зорової труби нівеліра знаходився на відстані не більше 3...5 см від рейки, що розміщена на точці А (рис 3).

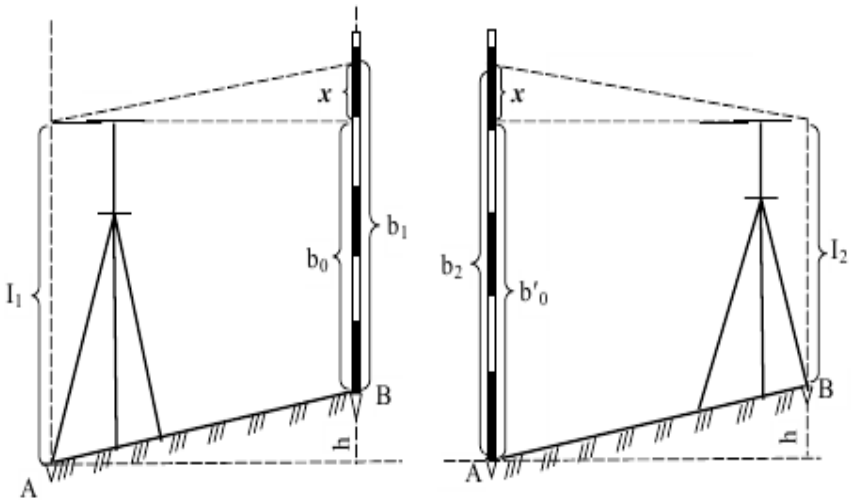


Рис. 7. Перевірка головної геометричної умови нівелірів з циліндричним рівнем

З допомогою круглого рівня, а потім циліндричного виводять вісь обертання нівеліра піднімальними гвинтами в прямовисне положення. З допомогою сталеві рулетки або рейки вимірюють висоту нівеліра i_1 з точністю 1 мм. Візують зорову трубу на рейку, яку встановлюють у точці В. За допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня і беруть відлік b_1 .

Перевищення між точками А та В дорівнює

$$h = i_1 - b_1 + x,$$

де x - похибка відліку b_0 , обумовлена невиконанням головної геометричної умови.

Переставляють місцями нівелір і рейку (див. рис. 7). Вимірюють висоту нівеліра i_2 в точці В. Візують зорову трубу на рейку, що встановлена у точці А. З допомогою елеваційного гвинта суміщають кінці бульбашки циліндричного рівня і беруть відлік b_2 . Перевищення між точками А та В дорівнює

$$h = b_2 - i_2 - x.$$

Якщо головна геометрична умова виконується ($x=0$), то значення перевищень, що обчислені за наведеними формулами, повинні бути однакові. За розбіжності між перевищеннями обчислюють похибку

$$x = 0,5(b_1 + b_2) - 0,5(i_1 + i_2).$$

Якщо похибка $x > 2$ мм (для відстані між рейками 50 м), то виконують юстування у такій послідовності. Обчислюють правильний відлік за рейкою b'_0 за формулою

$$b'_0 = b_2 - x.$$

Наводять середню нитку сітки елеваційним гвинтом на відлік на рейці b'_0 . При цьому бульбашка циліндричного рівня зійде з нуля-пункту. Відводять у бік захисну кришку виправних гвинтів циліндричного рівня. Відкручують горизонтальні юстувальні гвинти, а вертикальними гвинтами суміщають кінці бульбашки рівня. Для контролю перевірку повторюють. Результати перевірки головної геометричної умови представлені у табл.4.

Вказану перевірку можна дещо модифікувати, якщо нівелір встановити на першій станції зовні відрізка АВ на відстані 2 м – 3м від точки А та рейку на точці А, а на другій станції теж зовні, але на цій же відстані від точки В та рейку на цій же точці. Це

дозволить точніше визначити висоти інструментів i_1 та i_2 , які в цьому випадку будуть визначені за рейкою.

Таблиця 4

Перевірка головної геометричної умови нівеліра Н-3

| № прийому | У прямому напрямі, мм | | У зворотному напрямі, мм | | Похибка x , мм | Примітка |
|-----------|-----------------------|-------|--------------------------|-------|------------------|---|
| | i_1 | b_2 | i_2 | b_2 | | |
| 1 | 1341 | 1192 | 1438 | 1612 | 12 | Умову не виконано. Необхідно виконати юстирування |
| 2 | 1373 | 1213 | 1419 | 1583 | 2 | Умову виконано |

Перевірки нівелірних рейок

1. (Для рейок, що мають круглий рівень). Вісь круглого рівня повинна бути паралельна осі рейки. На відстані 40...50 м від нівеліра, приведеного в робочий стан, ставлять рейку на тверду основу. З допомогою нівеліра рейку встановлюють так, щоб одне ребро її було паралельне вертикальній нитці сітки зорової труби. Якщо при цьому бульбашка рівня на рейці залишиться у нуль-пункті, то умову виконано. Якщо бульбашка рівня зійде з середини, то виправними гвинтами її повертають у нуль-пункт. Рейку повертають на 90° і повторюють вказані дії.

2. Похибки в дециметрових поділках не повинні перевищувати для рейок $\pm 0,5$ мм. Умову перевіряють, компаруванням рейки нормальним штриховим метром або контрольною лінійкою з міліметровими поділками з урахуванням температури. Контрольні проміри виконують у прямому і зворотному напрямках та беруть середні значення.

Завдання 2. Вимірювання перевищень між точками полігонометричних ходів

Нівелювання виконують ділянками. Перехід від нівелювання в прямому напрямку до нівелювання у зворотному виконують тільки на постійних знаках, при цьому рейки змінюють місцями.

Віддалі від нівеліра до рейок вимірюють нитковим віддалеміром нівеліра.

Нівелювання виконують у хорошу видимість, чітких та спокійних зображеннях поділок рейок. В сонячні дні не слід нівелювати в обідню пору.

Під час роботи на станції нівелір захищають від сонячних променів парасолем.

Рейки становлять на костилі або підкладні. В місцях установлення підкладних попередньо знімають дерен. Для зручності рекомендується користуватися не менше ніж трьома костиллями або підкладними.

На ділянках із пухким (сипким) або болотяним ґрунтом рейки встановлюють на дерев'яні кілки, в торець яких вбивають цвяхи з напівсферичною головкою. Довжина та діаметр кілків повинні бути такими, щоб забезпечувалася їх стійкість.

На болотяних ділянках рекомендується застосовувати нівеліри з компенсаторами, під ніжки штатива яких необхідно забивати дерев'яні кілки.

За перерви в роботі (в кінці дня, зміна погодних умов і т.п.) нівелювання слід закінчувати на постійних, або тимчасових знаках. Крім цього можна використовувати надійні місцеві предмети – межові стовпи на межах господарств, виступи скель, виступи фундаментів кам'яних споруд і т.п.

Якщо таких предметів немає, то можна використати три нівелірні підкладні або костилі. Для цього в стороні від дороги, викопують три ямки (рис.8) глибиною 0.3 м в дно яких забивають нівелірні костилі. Ці точки нівелюють за звичайною програмою, а після нівелювання ямки засипають землею. Після перерви ямки обережно розкопують і на очищені від землі костилі 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 кл. Якщо перевищення не перевищують допуск то виводять середнє і продовжують хід.

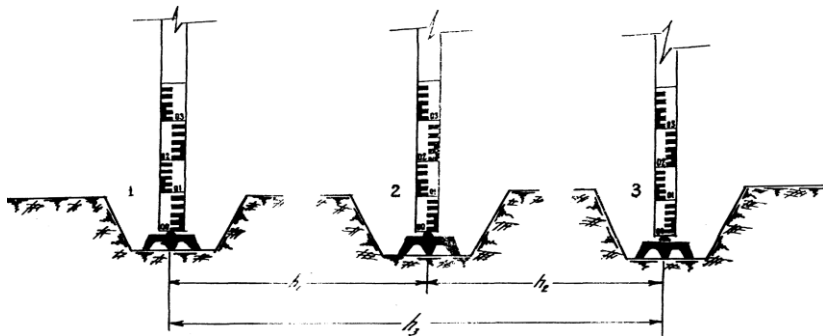


Рис.8. Дії під час перерви у роботі

Якщо розходження перевищень недопустимі то аналізують, який із костилів змінив своє положення за висотою і хід продовжують від костиля, котрий не змінив свого положення.

Спостереження на станції способом "середньої нитки" виконують у такому порядку:

1. Приводять нівелір у робоче положення за допомогою сферичного рівня.

2. Спрямовують трубу на чорну шкалу задньої рейки, приводять бульбашку циліндричного рівня елевацийним гвинтом точно на середину, і після заспокоєння бульбашки беруть відлік (1) середньої та віддалемірних (2), (3) ниток.

3. Спрямовують трубу на чорну шкалу передньої рейки і виконують дії, які вказані в пункті 2. Беруть відліки середньої (4) та віддалемірних (5), (6) нитках.

4. Спрямовують трубу на червону шкалу передньої рейки і беруть тільки відлік (7) середньої нитки.

5. Спрямовують трубу на червону шкалу задньої рейки і діють згідно з пунктом 2. Беруть відлік (8) середньої нитки.

За різницями віддалемірних відліків (2)-(3) та (5)-(6) знаходять величини плечей відповідно:

$$(9) = (2) - (3),$$

$$(10) = (5) - (6)$$

Контрольні перевищення обчислюють як різниці відліків віддалемірних ниток задньої й передньої рейок:

$$(11) = (2) - (5);$$

$$(12) = (3) - (6).$$

Різницю плечей обчислюють, використовуючи величини плечей "заднє" (9) мінус "переднє" (10);

$$(13) = (9) - (10),$$

$$(13) = (12) - (11).$$

Різниці (13) - це різниці віддалей до задньої та передньої рейок у поділках рейки (мм), вони повинні бути рівні між собою і не перевищувати 20 мм. Величину різниці записують до похилої риски. Накопичення різниць у ході підраховують у цій же графі, що і (13) і записують після похилої риски. Накопичення плечей обчислюють із врахуванням знаків суми накопичень та різниці плеч. Накопичення різниць плечей у секції не

повинно перевищувати 50 мм. Перевищення на станції обчислюють тільки з віддіків середньої нитки чорних та червоних шкал рейок за формулами:

$$(14) = (1) - (4), \\ (15) = (8) - (7).$$

Обчислюють різниці висот нулів шкал (п'яток рейок) передньої та задньої рейок:

$$(16) = (8) - (1), \\ (17) = (7) - (4).$$

Обчислюють різницю перевищень і різницю нулів червоних шкал пари рейок (18) за формулами: $(18) = (14) - (15)$; $(18) = (17) - (16)$.

Величини (18), обраховані за вище наведеними формулами, повинні давати однакові результати, що свідчить про правильність обчислень на станції. Середнє перевищення обчислюють за формулою:

$$(19) = \frac{(14) + (15) \pm 100 \text{ мм}}{2}$$

Для контролю, отримане перевищення (19) порівнюють із двома контрольними перевищеннями $\frac{(11) + (12)}{2}$. Розходження між ними не повинно бути більшим за 3 мм. Якщо величина перевищує допустиме значення, то повторюють всі спостереження на станції.

При обчисленнях на наступних станціях слідкують за чергуванням величин різниць (16) і (17) та за чергуванням знаків при різницях (18), що вказує на правильність записів і обчислень у журналі.

По закінченні робіт з нівелювання секції приступають до контрольних обчислень, виконаних на кожній сторінці і наприкінці ходу в такому порядку:

1. Обчислюють сумарні віддалі (20) і (21) від нівеліра до задньої й передньої рейок (плечі) за формулами:

$$(20) = \sum(9), (21) = \sum(10).$$

Різниця між величинами (20) і (21) повинна дорівнювати сумі різниць плеч усіх станцій на даній сторінці, ця величина повинна відповідати величині (13) після похилої риси на останній станції даної сторінки.

2. Обчислюють суму усіх відліків задньої рейки (23) за формулою

$$(23) = \sum(1) + \sum(8).$$

3. Обчислюють суму усіх відліків передньої рейки (24) за формулою

$$(24) = \sum(4) + \sum(7).$$

4. Обчислюють суму перевищень (25), обчислених за чорними і червоними шкалами рейок, за формулою

$$(25) = \sum(14) + \sum(15).$$

5. Обчислюють суму середніх перевищень (26) за формулою

$$(26) = \sum(19).$$

Під час роботи нівеліром із компенсатором відліки за рейкою беруть відразу після приведення приладу в робоче положення. Результати спостережень на станціях записують у журнал установленної форми або вводять у запам'ятовувальний пристрій реєстратора електронного нівеліра.

В журналі нівелювання замальовують встановлення рейки на репері, де показують положення відносно рівня землі, знімають відтиск із номерів марок та реперів, приводять відомості про стан зовнішнього оформлення репера і роблять відмітку щодо його поновлення.

На кожній станції виконують контроль спостережень. При цьому необхідно дотримуватись таких допусків:

1. Відлік середньої нитки чорної шкали кожної рейки не повинен розходитися більше ніж на 3 мм із відповідною півсумою відліків віддалемірних ниток.

2. Розходження між значеннями перевищень, отриманими по чорних і червоних шкалах рейки, не повинні бути більшими за 3 мм із врахуванням різниці п'яток пари рейок.

Якщо розходження перевищують вказані допуски, то спостереження на станції повторюють, попередньо змінивши висоту нівеліра не менше, як на 3 см.

Після виконання нівелювання секції порівнюють між собою значення перевищень, отриманих із прямого та зворотного ходів.

Розходження між цими значеннями не повинно перевищувати $10\text{мм}\sqrt{L(\text{км})}$, де $L(\text{км})$ – довжина ходу, записана в кілометрах.

Якщо розходження перевищень більше за допустиме, то нівелювання повторюють в одному з напрямків. Явно незадовільні значення перевищення вилучають із опрацювання.

До опрацювання беруть три значення перевищень тоді, коли початкові не розходяться між собою більше як на $15\text{мм}\sqrt{L(\text{км})}$, а повторне не відрізняється від кожного початкового більше ніж на $10\text{мм}\sqrt{L(\text{км})}$.

Опрацювання починають із знаходження середніх значень перевищень із ходів одного напрямку, а потім із ходів прямого та зворотного напрямків.

Якщо повторні значення перевищення не відповідають вимогам, то початкові вилучають і виконують ще одне повторне нівелювання у зворотному напрямку.

У випадку, коли у різницях значень перевищень із прямого та зворотного ходів у декількох секціях накопичуються з одним знаком, необхідно проаналізувати методику нівелювання і якість юстування нівеліра та рейок. Загальне накопичення різниць перевищень на лінії, як правило, не повинно перевищувати $10\text{мм}\sqrt{L(\text{км})}$.

Нев'язку в полігонах і по лініях допускають не більше $10\text{мм}\sqrt{L(\text{км})}$. Завершивши нівелювання у секції, заповнюють відомість перевищень встановленої форми.

Польові журнали

Журнали нівелювання є документами звітності, які реєструються на виробництві інспектором відділу технічного контролю. Сторінки в журналі повинні бути обов'язково пронумеровані.

Записи в журналі роблять чітким почерком чорнилом, кульковою ручкою або простим олівцем. Забороняється користуватися хімічним і кольоровим олівцями.

Незадовільні або невірно записані спостереження на станції акуратно закреслюють і записують причину переробки. Номер станції під час повторних спостережень зберігається з припискою слова "повторна".

Виправлення записів відліків у журналі забороняється. Помилкові записи в розрахунках акуратно закреслюють (не затемнюючи попередньо написаних) і зверху записують вірні.

В журналі нівелювання акуратно замальовують встановлення рейки на кожному репері і записують висоту її місця встановлення відносно поверхні землі.

В журналі обов'язковим є заповнення титульного аркуша, замальовування схеми ходів і опису місця розташування реперів. На зворотній стороні титульного аркуша записують технічні дані нівеліра та рейок, розміщення написів на рейках, знаки (плюс та мінус) до відліків підвісної рейки.

На початковій сторінці запису ходу вказують назви або номери початкових та кінцевих реперів. Записують відомості про стан зовнішнього оформлення репера і роблять запис про його поновлення. На кожній сторінці журналу вказують початок та кінець спостережень, метеорологічні умови.

Нумерацію станцій у кожній секції починають із першого номера. В кінці журналу вказують кількість заповнених і незаповнених сторінок.

Польові обчислення

- складання польових відомостей перевищень;
- обчислення нев'язок ходів.

До початку польових робіт ведеться підготовка та перевірка наступних даних:

- рівняння взірцевого метра;
- матеріалів лабораторних досліджень нівеліра та рейок.

Рівняння довжини взірцевого метра та матеріали досліджень видаються як копія, завірена ВТК, або метрологічною службою.

Порядок та точність обчислень наведені у зразках польових документів.

Польову відомість перевищень складають у дві руки. На кожній відомості повинні бути підписи тих, хто їх склав та зчитував.

В середні перевищення секцій вводять поправки за середню довжину метра пари рейок.

Перелік польових матеріалів

Після закінченні польових робіт виконавець подає наступні матеріали:

- оформлені та перевірені польові журнали;

- пояснювальну записку про польові роботи, яка містить усі відомості, які необхідні для складання технічного звіту;
- результати лабораторних (завірені "копії") та польові обстеження нівеліра та рейок;
- витяг з рівнянням інварних рейок та взірцевого метру, завірену лабораторією, яка виконувала еталонування;
- польові відомості перевишень;
- схему нівелювання;
- відомість перевишень та висот реперів нівелювання III класу;
- кориговані описи та зариси реперів або топографічні карти масштабу 1:25000 та більших масштабів з нанесеними реперами;
- копії актів від тих, хто інспектував та приймав роботи.

Схему нівелювання викреслюють чорними кольором на креслярському папері.

На схемі вказують вихідні дані, прокладені лінії, всі закладені реperi та реperi, які включені або прив'язані, пункти триангуляції та полігонометрії, рівневі пости.

На схемі вказують зв'язок нових ліній з уже прокладеними. Схему складають згідно з встановленими умовними знаками. До матеріалів прикладають опис усіх документів, які здаються із записом кількості аркушів.

На всіх матеріалах подається дата виконання та підписи виконавця й помічника.

Завдання 3. Зрівнювання нівелірних та полігонометричних ходів

Зрівнювання нівелірного ходу виконують у відомості перевишень та висот реперів нівелювання III класу [3]. У першій колонці відомості вказують номери секцій (секція - частина ходу від репера до репера); у другій колонці - вид і номер репера, тип центру; у третьій колонці вказують місцезнаходження нівелірного репера; у четвертій колонці - відстань у кілометрах: у чисельнику від початкового репера, у знаменнику від даного репера до наступного та в кінці колонки загальну довжину ходу; у п'ятій колонці вказують число штативів у ході: у чисельнику в прямому ході, у знаменнику у зворотному ході та в низу колонки вказують суму середніх значень з числа штативів у прямому та зворотному ходах в кожній секції; у шостій та сьомій колонках визначають суму перевишень у прямому та зворотному ходах у кожній секції, виправлені за середню довжину метра пари рейок

та в низу колонок обчислюють алгебраїчну суму перевищень у прямому та зворотному ходах; у восьмій колонці заходять різницю перевищень з прямого та зворотного ходів по секціях, яка обчислюється як алгебраїчна сума перевищень прямого та зворотного ходів у секції та в кінці колонки визначають алгебраїчну суму різниць перевищень, яка повинна дорівнювати алгебраїчній сумі сум перевищень прямого та зворотного ходів колонок №6 та №7; у дев'ятій колонці обчислюють середні значення перевищень з прямого та зворотного ходів у кожній секції, причому середнє визначають з абсолютних величин перевищень прямого та зворотного ходів, а знак середнього беруть від прямого перевищення, в низу колонки визначають алгебраїчну суму середніх перевищень в ході, причому ця сума повинна дорівнювати середньому із сум перевищень прямого та зворотного ходів, наведених у низу колонок №6 та №7, обчислених по абсолютним величинам та взятого із знаком прямого ходу. Нев'язку в окремому ході обчислюють за формулою

$$V_{обч} = \sum h_{cp} - (H_k - H_n)$$

де H_k, H_n - відмітки кінцевої та початкової точок ходу, відповідно,

$\sum h_{cp}$ - сума середніх перевищень.

Для полігону як замкненого ходу

$$H_k = H_n,$$

$$V_{обч} = \sum h_{cp}.$$

$\sum h_{cp}$ вибирають з кінця колонки №9.

Обчислюють припустиму невязку на довжину входу $L_{км}$

$$V_{пуст} = 10 мм \sqrt{L_{км}}.$$

Якщо

$$|V_{обч}| \leq |V_{пуст}|,$$

то продовжують обчислення. Якщо вказана нерівність не виконується, то необхідно виконати повторне нівелювання в

першу чергу тих секцій де помічені виправлення в польових журналах нівелювання.

Наступним кроком є обчислення поправок v_i в перевищення

$$v_i = -\frac{V_{обч}}{\sum n_i} \cdot n_i,$$

де n_i - середнє з числа штативів прямого та зворотного ходів у $i^{ми}$ секції.

Контролем є обов'язкове виконання рівності

$$\sum v_i = -V_{обч}.$$

У десятій колонці проведено обчислення поправок у перевищення та у кінці колонки обчислена їх сума.

В одинадцятій колонці визначені виправлені перевищення як сума середніх перевищень та поправок по секціях. Контролем є рівність нулю суми виправлених перевищень у полігоні та рівність $H_k - H_n$ сумі виправлених перевищень у окремому ході.

У дванадцятій колонці обчислюють відмітки реперів як суму відміток попереднього репера та виправленого перевищення. Контролем є співпадання відмітки кінцевого репера з обчисленою.

2.4. Прив'язочні роботи у полігонометрії

Завдання 1. Компарування мірних приладів

Під час виконання робіт з прив'язки полігонометричних ходів до пунктів старших класів кутові та лінійні вимірювання виконують на полігоні з точністю полігонометрії 1 розряду. В якості вихідних пунктів в нашому випадку пункти полігонометрії та стінні знаки з відомим координатами.

Для лінійних вимірювань під час передачі координат з вершини знаку на землю, виконанні прямої кутової та лінійної засічок, прив'язки до стінних знаків використовується сталевя

рулетка довжиною 30 - 50 метрів з міліметровими поділками. Компарування рулетки необхідно провести на взірцевому базисі у присутності керівника практики.

Відомо, що довжина рулетки дорівнює

$$l = l_0 + \Delta l_k + \Delta l_t,$$

де l_0 - номінальна довжина рулетки (50м), Δl_k - поправка за компарування, Δl_t - поправка за температуру.

Номінальна довжина дається для температури +20°C. Тому і поправка за температуру, точніше за відмінність температури вимірювань від +20°C, дорівнює

$$\Delta l_t = \alpha(t - 20^\circ)l_0,$$

де t - температура компарування, α - температурний коефіцієнт лінійного розширення сталі, який дорівнює $12,5 \times 10^{-6}$.

Компарування виконують наступним чином. Вказаний взірцевий базис має відрізки відомої довжини, які кратні 24м та закріплені на місцевості постійними знаками, що розміщені в одному створі. Тому рулетку, довжиною 50 м, компанують на інтервалах 0м – 48 м та 2 м – 50 м.

Рулетку розмотують та кладуть вздовж компаратора. За допомогою пружинного динамометра рулетці надають натяг 100 Н (10 кг). Спостерігачі на кінцях інтервалів підводять штрихи рулетки до метрових міток 0 та 48. Бригадир вимірює температуру повітря t з точністю до 1°C та за його командою спостерігачі беруть одночасно відліки до міліметрів поблизу метрових міток 0 та 48 відносно марок компаратора. Керівник записує відліки у журнал. Роблять кілька пар відліків, зсовуючи рулетку вздовж створу на 1 – 2 см. Визначають різниці пар відліків. Різниці пар відліків можуть відрізнятися не більше ніж на 2 мм. Якщо різниця більша то повторюють вимірювання. Знаходять середнє з різниць пар відліків до якого додають поправку за температуру з своїм знаком, приводячи середнє до +20°C, отримують l_{48} .

Поправку за температуру визначають за формулою

$$\Delta l_t = \alpha(t - 20^\circ) B_{48},$$

де B_{48} - відома довжина 48

метрового відрізка компаратора. Обчислюють поправку за компарування в довжину рулетки 48 м для $t = +20^\circ\text{C}$ та натягу рулетки 100 Н.

$$\Delta l_k = l_{48} - B_{48}.$$

Визначають поправку за компарування на 1 м рулетки

$$\Delta l_k^1 = \frac{\Delta l_k}{l_{48}}.$$

Аналогічно проводять компарування наступних інтервалів 2 м та 50 м. У підсумку отримують ще одну поправку за компарування на 1 м рулетки. З обох поправок беруть середнє значення, отримують Δl_k^{CP} . Визначають поправку за компарування Δl_k на всі 50 м довжини мірної стрічки

$$\Delta l_k = 50 \times \Delta l_k^{CP}.$$

Записують рівняння рулетки у вигляді

$$l_{50} = 50 + \Delta l_k, \text{ для } t = +20^\circ\text{C}.$$

Для проведення прив'язок необхідно вибирати лінійні елементи засічок та базисів, які потрібно виміряти, не більшими 50м (одне укладання рулетки). Щоб отримати горизонтальне прокладення D та врахувати систематичні похибки, у виміряну на місцевості похилу лінію S вводяться наступні поправки

$$D = S + \Delta S_t + \Delta S_k + \Delta S_h,$$

де $\Delta S_t = \alpha(t - 20^\circ\text{C})S$ - поправка за температуру,

$$\Delta S_k = S \frac{\Delta l_k}{50m} - \text{поправка за компарування рулетки,}$$

$$\Delta S_h = -\frac{h^2}{2S} - \frac{h^4}{8S^3} - \text{поправка за перевищення } h \text{ на кінцях лінії.}$$

Перевищення h визначається нівелюванням відрізка S .

Визначення елементів приведення до центрів знаків

На пункті триангуляції необхідно (рис.9) визначити елементи приведення до центрів знаків, а саме лінійні елементи центрування e і редукації e' , утворені відстанями між проєкціями на горизонтальну площину: точки C – центра пункту триангуляції; точки I – осі обертання теодоліту; точки V – осі візирного циліндру пункту триангуляції. Крім того необхідно визначити кутові елементи центрування θ_A та редукації θ_A' в напрямку на суміжний пункт триангуляції A , на який вимірювався напрямок для прив'язки полігонометричного ходу.

Для визначення елементів приведення встановлюють над центром знаку мензулу, горизонтують мензульний столик з прикріпленим до нього планшетом та орієнтують планшет відносно магнітного меридіану. На відстані приблизно висоти сигналу забивають три кілочки навкруги пункту триангуляції. Кілочки розташовують так, щоб між напрямками з кілочків на центр пункту було близько 120° . Над кілочком центрують та горизонтують допоміжний теодоліт і проєктують колімаційною площиною центр візирного циліндра V , центр C пункту триангуляції та вісь обертання теодоліту I на площину столика. Кожний спроєктований напрямок фіксують біля протилежних крайок планшету двома точками за допомогою олівця. Проєктування виконують для КП та КЛ, отримуючи по два зафіксовані на планшеті напрямки на кожний з центрів та вісь обертання. Між парою близьких точок, що фіксують напрямки при КЛ та КП на один і той же центр чи вісь обертання, заходять середину, яку теж фіксують точкою та проводять через ці точки лінію, яка відповідатиме положенню колімаційної площини на планшеті, вільної від колімаційної похибки.

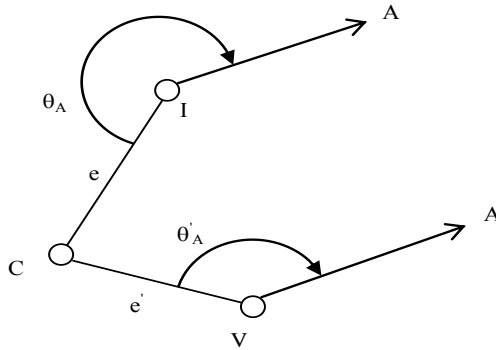


Рис.9. Елементи центрування та редуції

Таке проектування виконують на кожному з кілочків. У підсумку отримуємо на столику по три середні напрямки на кожний з центрів, які перетинаючись, утворять три трикутники похибок. Сторони трикутника похибок для точки С не повинні перевищувати 3 мм, точки І - 5 мм, точки V – 10 мм. Від точок І та V за допомогою кіпрегеля проводять напрямки на суміжний пункт А. Лінійкою з точністю до 1 міліметра вимірюють лінійні елементи та за допомогою геодезичного транспортиру визначають кутові елементи та випишують їх на планшеті.

Завдання 2. Пряма кутова та зворотна засічки

Визначення координат пунктів прямою кутвою засічкою застосовують в відкритій місцевості і в тих випадках, коли на пункті Р неможливо установити інструмент. Пряма засічка

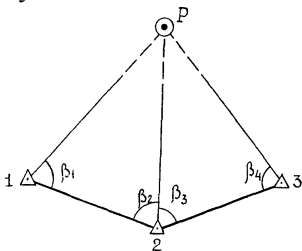


Рис.10. Пряма кутова засічка

виконується не менше ніж з трьох вихідних пунктів.

В трикутниках 12Р і 23Р (Рис.10) теодолітом на пунктах триангуляції, координати яких відомі ($X_1, Y_1; X_2, Y_2$ і X_3, Y_3) міряють кути $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$. Використовуючи виміряні кути і координати пунктів триангуляції, користуючись формулами

котангенсів кутів трикутника (формули Юнга), двічі обчислюють координати пункту Р.

$$x_p = \frac{x_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + x_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + y_2 - y_1}{\operatorname{ctg} \beta_2 + \operatorname{ctg} \beta_1} \quad y_p = \frac{y_1 \operatorname{ctg} \beta_2 + y_2 \operatorname{ctg} \beta_1 + x_1 - x_2}{\operatorname{ctg} \beta_2 + \operatorname{ctg} \beta_1}$$

Розходження координат не повинно перевищувати точності положення пунктів даного розряду полігонометрії (1 розряду в нашому випадку). Для користування формулами Юнга нумерація кутів і пунктів триангуляції виконується за правилом: якщо стати на сторону між вихідними пунктами триангуляції (1,2) обличчям до пункту Р, то пункт і кут з лівого боку будуть 1, а з правого боку 2.

Спосіб зворотної засічки. Визначення координат пунктів зворотною засічкою є найбільш економічне і швидке у польових умовах. Зворотна засічка застосовується у відкритій місцевості, якщо з пункту Р є видимість на три пункти триангуляції (Рис.11), а відстань між пунктом Р і будь-яким вихідним пунктом повинна бути не менша 0.8-1.0 км, а два суміжних кути на пункті Р повинні бути не менше 30° і не більше 150° .

За допомогою виміряних горизонтальних кутів β_1, β_2 і координат пунктів триангуляції, між якими виміряли кути, обчислюють координати пункту Р. Обчислення ведуть в такій послідовності:

1. Вихідні пункти триангуляції нумеруються за ходом годинникової стрілки, починаючи від напрямку, який вибрали за початковий і відповідно позначають кути, від початкового напрямку через β_1, β_2 .

2. За формулою Делаамбра обчислюють румб напрямку 1-Р

$$\operatorname{tgr}_{1-p} = \frac{(y_2 - y_1) \operatorname{ctg} \beta + (y_1 - y_3) \operatorname{ctg} \gamma + x_3 - x_2}{(x_2 - x_1) \operatorname{ctg} \beta + (x_1 - x_3) \operatorname{ctg} \gamma + y_2 - y_3} = \frac{C_y}{C_x}$$

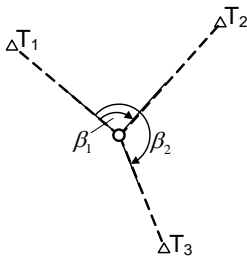


Рис. 11. Зворотна кутова засічка

3. Визначають дирекційний кут напрямку 1-Р. Відповідно до знаків чисельника C_y та знаменника C_x визначають чверть і від румба переходять до дирекційного кута α_{1-P} .

4. Обчислюють дирекційні кути всіх напрямків:

$$\alpha_{2-P} = \alpha_{1-P} + \beta_1, \quad \alpha_{3-P} = \alpha_{1-P} + \beta_2.$$

За формулами Гаусса двічі обчислюють координати пункту Р.

$$x_P = x_1 + \Delta x_{1-P}, \quad y_P = y_1 + \Delta y_{1-P}, \quad \text{де}$$

$$\Delta x_{1-P} = \frac{(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{2-P}}{\operatorname{tg} \alpha_{1-P} - \operatorname{tg} \alpha_{2-P}}, \quad \Delta y_{1-P} = \Delta x_{1-P} \operatorname{tg} \alpha_{1-P},$$

$$x_P = x_1 + \Delta x_{1-P}, \quad y_P = y_1 + \Delta y_{1-P}. \quad \text{Контроль:}$$

$$x_P = x_2 + \Delta x_{2-P}, \quad y_P = y_2 + \Delta y_{2-P} \quad \text{де}$$

$$\Delta x_{2-P} = \frac{(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_{1-P}}{\operatorname{tg} \alpha_{1-P} - \operatorname{tg} \alpha_{2-P}}, \quad \Delta y_{2-P} = \Delta x_{2-P} \operatorname{tg} \alpha_{2-P},$$

$$x_P = x_2 + \Delta x_{2-P}, \quad y_P = y_2 + \Delta y_{2-P}.$$

Розходження між значеннями координат не повинно перевищувати 1 - 2 мм. Комбінації пар слід підбирати так, щоб кути біля пункту Р були по можливості близькі до 90° і не менше 30° , але не більше 150° .

Завдання 3. Передача координат з вершин знака на землю

Спосіб знесення координат застосовують в тих випадках коли пункт Р знаходиться поблизу точки, координати якої відомі (водонапірна башта, фабрична труба і т.п.), але на ній неможливо виміряти теодолітом прилеглі кути і віддаль від точки до пункт Ра (Рис.8).

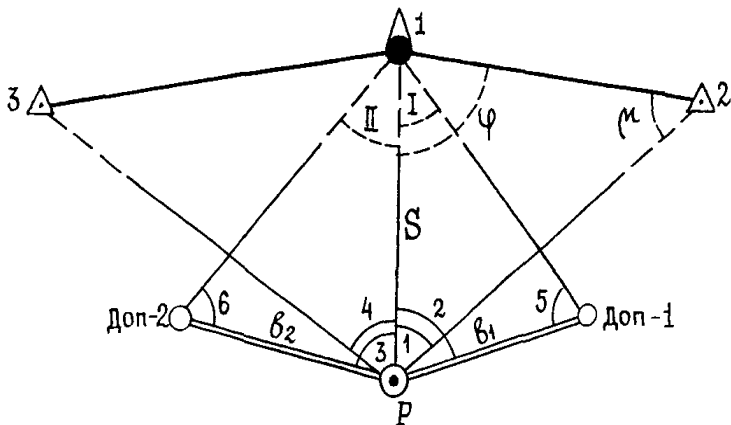


Рис.8 Передача координат з вершин знака на землю

В таких випадках на місцевості міряють базили b_1 і b_2 , а теодолітом кути 1, 2, 3, 4, 5, 6. Обчислення координат пункту Р виконують в такій послідовності:

1. В трикутниках 1РДоп-1 і 1РДоп-2 визначають кути I і II. $I=180^\circ-(2+5)$; $II=180^\circ-(3+6)$ і за теоремою синусів двічі визначають сторону 1-Р=S

2.

$$S_1 = \frac{b_1 \sin 5}{\sin I}; \quad S_2 = \frac{b_2 \sin 6}{\sin II} \quad S = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

Розходження $S_1-S_2=f_{абс}$ не повинно перевищувати точності вимірювання відстаней для даного розряду полігонометрії.

3. Розв'язуючи обернену геодезичну задачу, визначають дирекційний кут і горизонтальну проекцію лінії 1-2

4.

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad d_{1-2} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha_{1-2}} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha_{1-2}}$$

5. В трикутнику 1 2 Р визначають кути μ і φ

$$\sin \mu = \frac{S \sin 1}{d_{1-2}} \quad \varphi = 180^\circ - (1 + \mu)$$

6. Обчислюють дирекційний кут лінії 1-Р:

$$\alpha_{1-p} = \alpha_{1-2} + \varphi$$

7. Маючи дирекційний кут лінії 1-Р і її довжину S , обчислюють координати пункту Р

$$\begin{aligned} \Delta x &= S \cos \alpha_{1-p}; & \Delta y &= S \sin \alpha_{1-p} \\ x_p &= x_1 + \Delta x; & y_p &= y_1 + \Delta y \end{aligned}$$

Контроль правильності обчислення координат одержують з обчислення кута 4, який не використовувався в обчисленні координат пункту Р. Для цього за допомогою координат пункту Р і пункту триангуляції “3” обчислюють дирекційний кут α_{3-p} . Після цього обчислюють кут 4, як різницю дирекційних кутів $\alpha_{1-p} - \alpha_{3-p} = 4_{обч}$. Одержане значення кута $4_{обч}$ порівнюють з значенням кута $4_{вим}$. Розходження не повинно перевищувати допусків вимірювання кутів у даному розряді полігонометрії.

Завдання 4. Лінійна засічка

Із застосуванням в геодезичній практиці фазових віддалемірів, стало можливим визначати координати пунктів лінійними засічками. Виміряють віддалі між пунктом Р і пунктами триангуляції А та В (Рис.9). Можна використати і компаровану рулетку.

По вимірних лініях a і b і координатах пунктів триангуляції А та В обчислюють координати пункту Р. За допомогою координат пунктів триангуляції А та В з використанням оберненої геодезичної задачі обчислюють дирекційний кут лінії α_{AB} і її довжину $AB=p$. Таким чином в трикутнику АРВ відомі всі три сторони a , b , p . Можна обчислити всі три кути користуючись теоремою косинусів:

$$a^2 = b^2 + p^2 - 2bp \cos A \qquad \cos A = \frac{b^2 + p^2 - a^2}{2bp}$$

Якщо кути обчислені вірно, то сума всіх трьох кутів трикутника повинна дорівнювати 180° .

Обчисливши всі кути в трикутнику АРВ, визначають дирекційні кути ліній АР і ВР

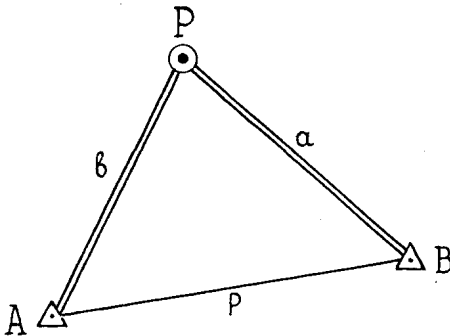


Рис.10. Лінійна засічка

$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} - \angle A, \quad \alpha_{BP} = \alpha_{AB} \pm 180^\circ + \angle B$$

і маючи виміряні сторони $AP=b$ і $BP=a$, двічі обчислюють координати пункту P

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= b \cos \alpha_{AP} & \Delta y_1 &= b \sin \alpha_{AP} \\ \Delta x_2 &= a \cos \alpha_{BP} & \Delta y_2 &= a \sin \alpha_{BP} \\ x_p &= x_A + \Delta x_1 & y_p &= y_A + \Delta y_1 \\ x_p &= x_B + \Delta x_2 & y_p &= y_B + \Delta y_2 \end{aligned}$$

Якщо розходження обчислених координат пункту P не перевищує 1-2 мм, то обчислюють середнє з двох визначених значень.

Завдання 5. Прив'язка до стінних знаків

Пункти полігонометрії закріплюють окремими, подвійними і потрійними стінними знаками. Залежно від цього існують і способи прив'язки пунктів до стінних знаків. В результаті прив'язки визначаються координати пункту полігонометрії і передається дирекційний кут на сторону ходу.

Прив'язка до одинарного стінного знаку за умови видимості на найближчий знак.

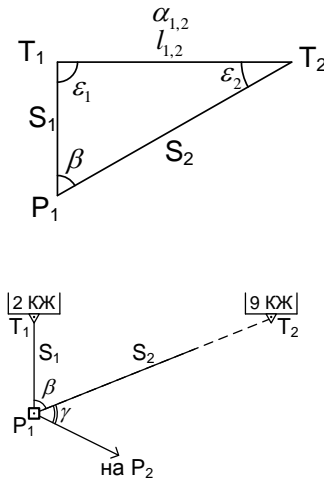


Рис. 10. Прив'язка до одинарних стінних знаків

$$\alpha_{1,2} = \arctg\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right), \quad l_{1,2} = \frac{x_2 - x_1}{\cos \alpha_{1,2}} = \frac{y_2 - y_1}{\sin \alpha_{1,2}}$$

$$\varepsilon_2 = \arcsin \frac{S_1 \cdot \sin \beta}{l_{1,2}}; \quad \varepsilon_1 = 180^\circ - (\beta + \varepsilon_2);$$

$$\alpha_{1,p_1} = \alpha_{1,2} \pm \varepsilon_1 \quad (\varepsilon \pm \text{--- вибирають згідно схеми прив'язки})$$

$$\begin{cases} \Delta x_{1,p_1} = S_1 \cdot \cos \alpha_{1,p_1} \\ \Delta y_{1,p_1} = S_1 \cdot \sin \alpha_{1,p_1} \end{cases} \quad \alpha_{p_1,p_2} = \arctg\left(\frac{y_2 - y_{p_1}}{x_2 - x_{p_1}}\right);$$

$$x_p = x_A + \Delta x_{1,p_1}, \quad y_p = y_A + \Delta y_{1,p_1}, \quad \alpha_{p_1,p_2} = \alpha_{p_1,2} + \gamma.$$

Прив'язка до подвійних стінових знаків. На місцевості вимірюють компарованою рулеткою відстані D_1 та D_2 , між пунктом Р та стінними знаками, а також горизонтальний кут β (Рис.11). Виміряні сторони приводять до горизонту (нівелюванням обох стінних знаків та пункту Р з визначенням перевищень h_1 h_2) за формулою

$$S_i = \sqrt{D_i^2 - h_i^2}.$$

З вирішення зворотної геодезичної задачі знаходять $S_{A,B}$ та $\alpha_{A,B}$. За теоремою косинусів знаходять ще раз $S_{A,B}$ із трикутника АВР

$$S'_{A,B} = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 - 2S_1 \cdot S_2 \cdot \cos \beta}.$$

Обчислюють поправки до вимірних довжин $\delta_{S_1} = kaS_1$,

$$\delta_{S_2} = kbS_2, \quad \text{де } a = \frac{1}{S_{A,B}}(S_1 - S_2 \cdot \cos \beta), \quad b = \frac{1}{S_{A,B}}(S_2 - S_1 \cdot \cos \beta),$$

$$k = \frac{S_{A,B} - S'_{A,B}}{a^2 \cdot S_1 + b^2 \cdot S_2} \quad \text{та} \quad \text{виправлені} \quad \text{довжини} \quad S'_1 = S_1 + \delta S_1,$$

$$S'_2 = S_2 + \delta S_2.$$

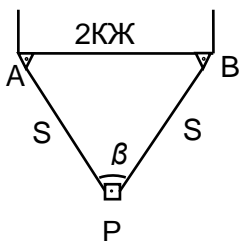


Рис. 11. Подвійний стінний знак (кох десятків кут. секунд).

За виправленими сторонами і теоремою синусів знаходять кути ε_1 та ε_2 (див. прив'язку до одинарних стінних знаків). Контроль: $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \beta = 180^0$ (через короткі лінії, які вимірюються до міліметрів, сума цих кутів може відрізнятись від 180^0 до кількох десятків кут. секунд).

Обчислюють дирекційний кут, прирости координат

$$\Delta x_{A,P} = S'_1 \cos \alpha_{A,P}, \quad \Delta y_{A,P} = S'_1 \sin \alpha_{A,P}$$

та координати X_P, Y_P (аналогічно прив'язці до одинарних стінних знаків) з контролем, розв'язаним прямої геодезичної задачі між пунктами P та A.

Завдання 6. Вимірювання зенітних відстаней та висоти знаку

Теодоліти серії Т2 призначені як для геодезичних робіт так і для астрономічних спостережень, за результатами яких визначались істинні (справжні) азимути напрямків, астрономічні координати пунктів. Так особливість вплинула на оцифровку вертикального круга, нуль градусів якого направлений до зеніту.

Оскільки об'єкти астрономічних спостережень знаходяться високо над горизонтом то вказаний спосіб оцифровки дозволяє зменшити значення відліку по ВК в порівнянні з традиційною оцифровкою, наприклад у теодолітів серії Т5.

Зенітні відстані Z обчислюються за формулою

$$Z = 0,5(\mathcal{I} - \mathcal{I} + 360^\circ),$$

$$Z = \mathcal{I} - MZ,$$

$$Z = MZ - \mathcal{I} + 360^\circ,$$

де L , Π – відліки по ВК під час наведення зорової труби на візирну ціль та положенні ВК ліворуч та праворуч від труби,
 MZ – місце zenіту ВК.

Перед кожним відліком по вертикальному кругу у теодолітів Т2 необхідно привести до нуля-пункту циліндричний рівень ВК.

Для переходу від zenітних відстаней до кутів нахилу ν застосовують формулу

$$\nu = 90^\circ - Z.$$

Для визначення висоти знаку (рис. 12) використовують теодоліт, який встановлюють відносно знаку на відстані, що дорівнює приблизно висоті сигналу. Станцію В закріплюють на місцевості кілочком, а під сигналом в точці А теж забивають кілочок. Рулеткою вимірюють відстань АВ, яку позначено літерою S . Над точкою В центрують і горизонтують теодоліт та беруть відліки по ГК після наведення зорової труби на верх візирного циліндра – точку V та верх кілочка – тачку А. Такі відліки беруть для КЛ та КП. Для проведення розрахунків необхідно похилу відстань S привести до горизонту. Для цього на станції В вимірюють висоту інструменту i , на кілочок А встановлюють вертикально рейку та наводять зорову трубу теодоліту на відлік, який дорівнює висоті інструменту i . Беруть відлік по ВК для КЛ та КП.

Переходять до обчислень. У випадку використання приладів серії Т2 за наведеними вище формулами визначають zenітні відстані (див. рис.3) Z_1 , Z_2 , та Z - на відлік за рейкою на висоту інструменту, яка встановлена під сигналом та обчислюють відповідні кути нахилу ν_1 , ν_2 , ν .

Горизонтальне прокладення D визначають за формулою

$$D = S \cos \nu.$$

Висота сигналу H

$$H = D(\operatorname{tg} \nu_1 + \operatorname{tg} \nu_2),$$

У випадку використання теодолітів серії Т5 кути нахилу обчислюють за формулами

$$\nu = 0,5(L - \Pi),$$

$$\nu = L - MO,$$

$$\nu = MO - \Pi$$

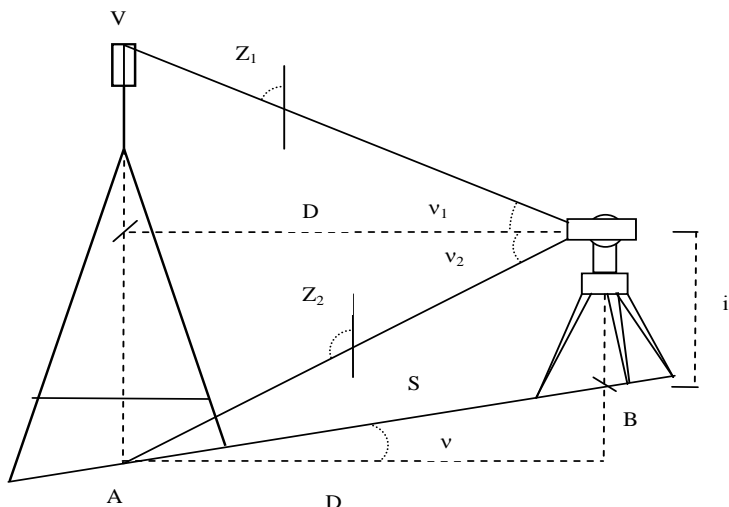


Рис. 12. Визначення висоти знаку

2.5. Робота над звітом

У кінці терміну практики бригада оформлює письмовий звіт про виконання її програми. Звіт з практики перевіряється та затверджується керівником практики і повертається бригадирові для підготовки до захисту.

Звіт з практики захищається студентом (з диференційною оцінкою) в комісії, призначеною завідувачем кафедри. До складу комісії входять керівники практики та викладачі, які викладали дисципліни за програмою практики. Комісія працює в останні дні проходження практики або протягом перших 10 днів семестру, який починається після практики.

Орієнтовний обсяг звіту складає 30 – 40 сторінок. Звіт оформлюється на аркушах паперу формату А4. Текстовий матеріал повинен бути написаний чорними чорнилами або надрукований, креслення виконані чорними чорнилами.

Зміст звіту з геодезичної практики

Розписка з геокамери про задачу справних приладів після практики.

Календарний графік проходження практики.

Табель присутності членів бригади в робочі дні.

Вступ

1. Фізико-географічна характеристика району робіт та його топографо-геодезична вивченість
2. Полігонометрія згущення
 - 2.1. Основні технічні показники полігонометрії згущення IV кл., 1 і 2 розрядів
 - 2.2. Перевірки теодоліта
 - 2.3. Перевірки марок
 - 2.4. Абриси точок ходу (закладених пунктів)
 - 2.5. Журнал вимірювання кутів
 - 2.6. Схема вимірювання кутів
3. Нівелювання III класу
 - 3.1. Перевірки та дослідження нівеліра та рейок
 - 3.2. Журнал нівелювання
 - 3.3. Схема нівелірного ходу
 - 3.4. Матеріали зрівнювання нівелірного ходу
 - 3.5. Відомість обчислення висот
4. Прив'язочні роботи в полігонометрії
 - 4.1. Схема прямої багаторазової кутової засічки
 - 4.2. Журнал кутових вимірювань
 - 4.3. Матеріали зрівнювання
 - 4.4. Схема зворотної однократної кутової засічки
 - 4.5. Журнал кутових вимірювань
 - 4.6. Матеріали обчислень координат
 - 4.6. Схема знесення координат з вершини знака на землю
 - 4.7. Журнал кутових та лінійних вимірювань
 - 4.8 Матеріали обчислень координат
 - 4.8 Схема лінійної засічки
 - 4.9 Матеріали обчислень координат
 - 4.10 Схема прив'язки до стінних знаків
 - 4.11 Матеріали обчислень координат
5. Визначення елементів приведення до центрів знаків
 - 5.1 Аркуш ватману з елементами приведення
 - 5.2 Вимірювання зенітних відстаней та висоти знаку
 - 5.3 Схема визначення висоти знаку

- 5.4 Матеріали розрахунків висоти знаку
- 5.5 Журнал вимірювання zenітних відстаней
6. Електронний тахеометр
- 6.1 Результати вимірювання ліній
- 6.2 Матеріали дослідження параметрів приладу
7. Матеріали зрівнювання полігонометричного ходу
8. Відомість координат пунктів полігонометрії
9. Основні вимоги з охорони праці та навколишнього середовища
10. Список використаних джерел.

Вступ коротко висвітлює мету та задачі геодезичної практики. Розділ "Фізико-географічна характеристика району робіт та його топографо-геодезична вивченість" наводиться за планом: населені пункти району робіт; шляхи сполучення; характеристики рельєфу (рівнинний, горбистий, пересічений, гірський, наявність ярів та балок); гідрографію (річки, озера, болота, канали); рослинність (чагарники, ліси, луки та їх характеристики); кліматичні умови та глибина промерзання ґрунту, а також характеристика наявної геодезичної основи і топографічних матеріалів на район робіт. Зміст інших розділів впливає безпосередньо з їх назв.

3. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1.Методичні вказівки до проведення навчальної геодезичної практики для бакалаврів спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» /Укл. Крячок С.Д., Мамонтова Л.С. – Чернігів: ННІТ ЧНТУ, 2017 - 46 с.

2.Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. (ГКНТА – 2.04 - 02 - 98)

3.Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов / И 57 Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М.: Недра, 1990. – 167 с.

4.Островський А.Л., Мороз О.І., Тарнавський В.Л. Геодезія, частина II: Підручник для вузів / Заг. ред. А.Л.Островського. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007.–508 с.

5.Селиханович В.Г., Козлов В.П., Логинова Г.П. Практикум по геодезії. – М.: Недра, 1978. – 382 с.

6. Тревого И. С., Шевчук П.М. Городская полигонометрия. – М.: Недра, 1986. – 199 с.

7. Шевченко Т.Г., Мороз О.І., Тревого І.С. Геодезичні прилади: Підручник / Заг. ред.. Т.Г.Шевченка. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006.–464 с.