

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ І ПРОДОВОЛЬСТВА УРАЇНИ

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Факультет лісового і садово-паркового господарства

Кафедра геодезії, картографії та кадастру

Кононенко С.І., Шемякін М.В.

ГЕОДЕЗІЯ

ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ У ПОЛІГОНОМЕТРІЇ

Методичні вказівки для практичних занять та самостійної роботи студентам
спеціальності 193 геодезія та землеустрій

Кононенко С.І., Шемякін М.В. Геодезія. Вимірювання кутів у полігонометрії
// Методичні вказівки для практичних занять та самостійної роботи студентам
спеціальності 193 геодезія та землеустрій. Умань: Уманський НУС, 2023. 20 с.

Рецензенти:

Балабак А.Ф. – доктор с.-г. наук, професор (Уманський НУС)

Побережець І.І. – кандидат с.-г наук, доцент (Уманський НУС)

Рекомендовано до видання науково-методичною комісією факультету лісового і
садово-паркового господарства (протокол № 4 від 5 вересня 2023 р.)

©С.І. Кононенко

М.В. Шемякін 2023 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
1. Будова точних теодолітів, відліки.....	5
2. Перевірки теодолітів.....	10
3. Вимірювання кутів в полігонометрії 1-2 розрядів	15
3.1. Вимірювання кутів способом прийомів.....	15
3.2. Вимірювання способом кругових прийомів.....	16
Література.....	19

Вступ

Останнім часом серед методів геодезичних знімів і побудови державної геодезичної мережі застосовують полігонометрію. Полігонометричні ходи – це система ламаних ліній, у яких вимірюють віддалі між точками та кути між напрямками ліній у точках. Краще, коли кути будуть близькими до 180° .

Будову полігонометричних ходів та мереж (максимальну, середню, мінімальну відстань між пунктами, кількість ліній тощо) визначає Інструкція з топографічних знімів (ГКНТА 2.04-02-98).

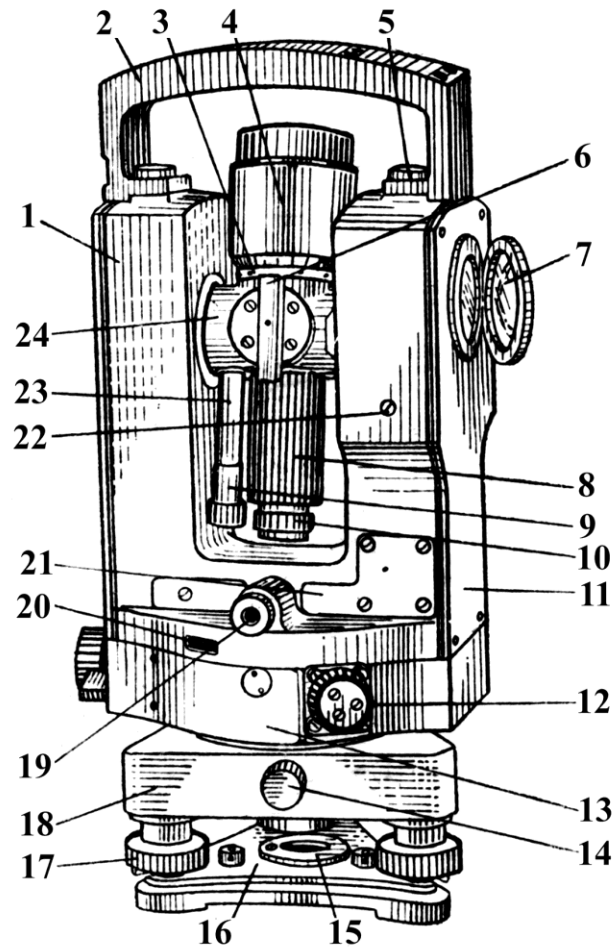
Полігонометрія може виконуватись оптичними теодолітами із лазерними віддалемірами, електронними тахеометрами.

До приладів, якими проводять вимірювання, точності вимірювань та програми роботи на станції Інструкція також пред'являє певні вимоги.

У методичних вказівках наведено будову точних теодолітів, їх відлікових пристроїв, послідовність роботи на станції при вимірювання кутів способом прийомів і кругових прийомів, контроль точності вимірювань.

Методичні вказівки призначені для практичних занять та самостійної роботи студентам спеціальності 193 геодезія та землеустрій.

1. Будова точних теодолітів, відліки



1 - колонка; 2 - ручка; 3 - клинове кільце; 4 - зорова труба; 5 - гвинт; 6 - коліimatorний візир; 7 - дзеркало; 8 - кремальєра; 9 - окуляр мікроскопа; 10 - окуляр зорової труби; 11 - бокова кришка; 12 - рукоятка; 13 - корпус низка; 14 - закріпний гвинт підставки; 15 - втулка; 16 - пружина трегера; 17 - підймальний гвинт; 18 - підставка; 19 - окуляр оптичного центрира; 20 - ілюмінатор круга-шукача; 21 - кришка; 22 - гвинт; 23 - мікроскоп; 24 - вісь

Рисунок Загальний вигляд теодоліта 2Т5К

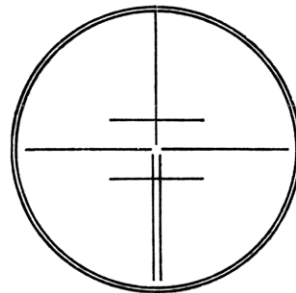


Рисунок Сітка ниток

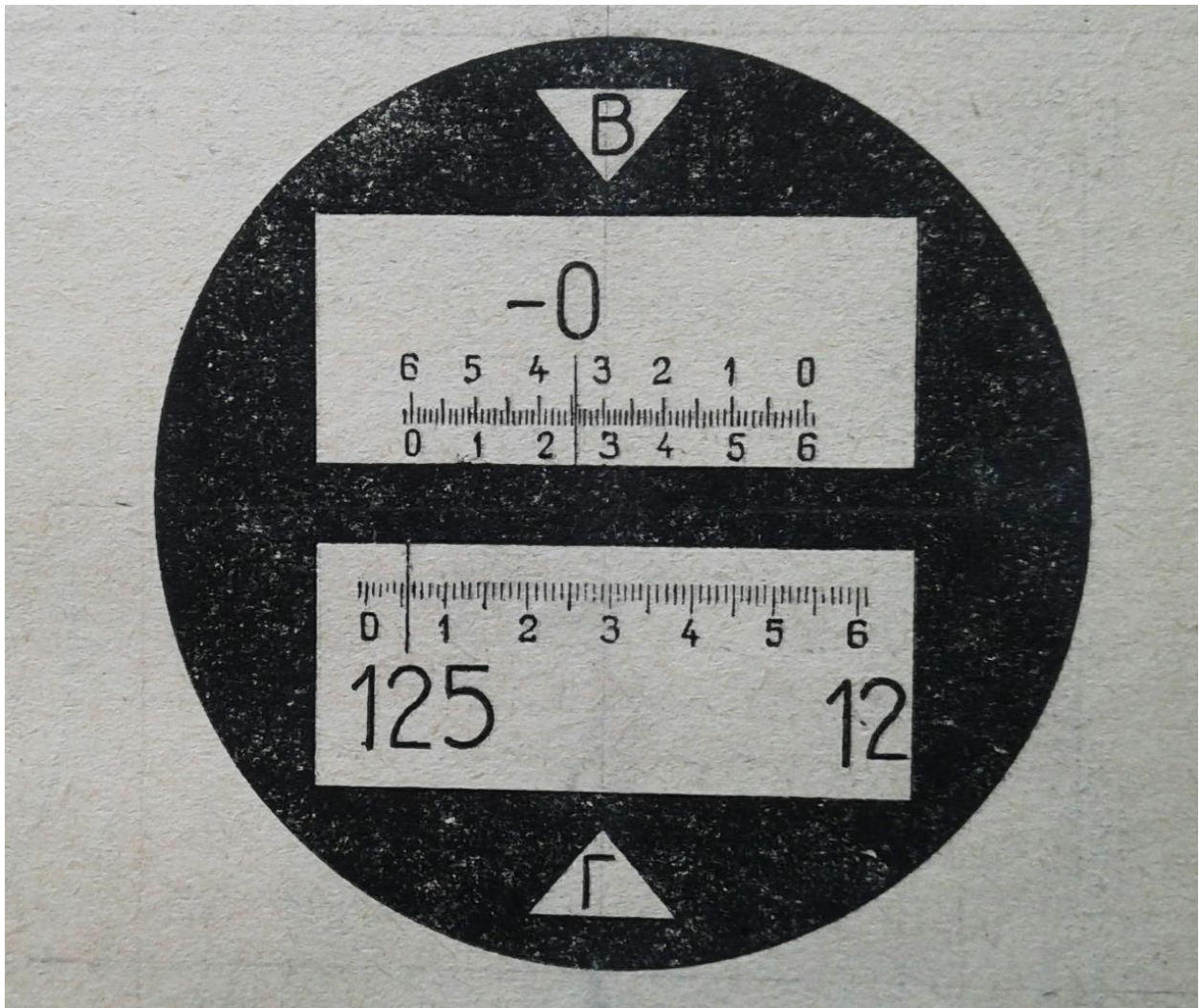


Рис. Поле зору мікроскопа теодоліта 2Т5К.

Відліки: горизонтальний круг $125^{\circ} 05,4'$, вертикальний круг $-0^{\circ} 25,5'$.

Теодоліт Т2 має двосторонній оптичний мікромір. Такий мікромір має дві плоскопаралельні пластинки й у полі зору окуляра мікроскопа видно діаметрально протилежні штрихи лімба: зверху пряме зображення, знизу – перевернуте. Під час повороту барабана мікроміра плоско-паралельні пластинки повертаються в протилежні сторони, а спостерігачу видно, що діаметрально протилежні штрихи наближаються або віддаляються. Якщо штрихи рухаються назустріч, то достатньо верхньому й нижньому штрихам пройти шлях $\lambda/2$, щоб штрихи сумістилися (стали один продовженням другого). Тому під час відлічування вважають відрізки між суміжними штрихами (в прямому та перевернутому зображенні) рівними не λ а $\lambda/2$.

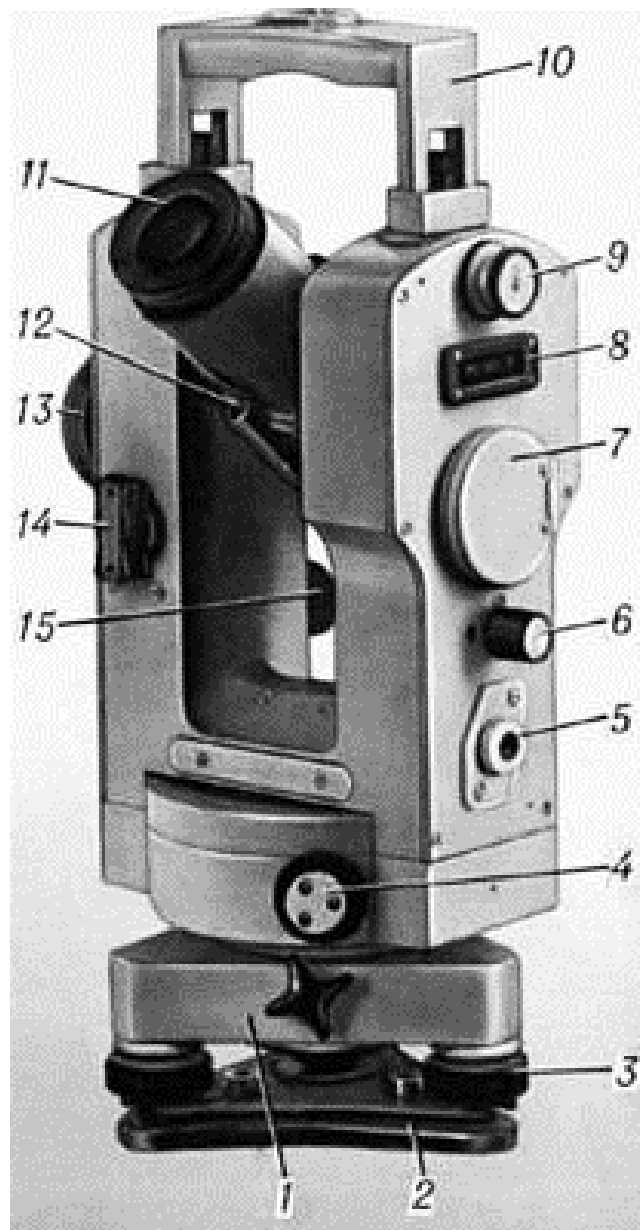


Рис. Будова теодоліта Т2

1 – триніжка, 2 – трегер, 3 – піднімальний гвинт, 4 - рукоятка перевстановлення вертикального круга, 5 – оптичний центри, 6 – рукоятка встановлення рівня при алідаді вертикального круга, 7 – освітлювальне дзеркало, 8 – вікно освітлення рівня, 9 – система спостереження за рівнем, 10 – ручка, 11 – зорова труба, 12 – візир, 13 – рукоятка оптичного мікрометра, 14 – перемикач відліків по кругах, 15 – закріпно-навідний пристрій зорової труби.

Якщо відомі значення $\lambda/2$ та ціна поділки шкали мікрометра μ , то відлік береться так (рис):

1. поворотом барабана мікрометра суміщають штрихи прямого та перевернутого зображення лімба, що видно в середині поля зору окуляра мікроскопа;
2. рахують кількість проміжків між найближчою, зліва від нуля-пункту (відлікового штриха), підписаною поділкою лімба та діаметрально протилежною

(перевернутою поділкою лімба): на рис. Це поділка 177° та 357° (перевернута). Проміжків – 5. Оскільки $\lambda/2 = 10'$, то кількість кутових мінут – $50'$;

3. відлічують кількість одиниць кутових мінут та секунд шкали мікрометра – справа: $0'22''$ »;

4. знаходять повний відлік $177^\circ 50' 22''$ ».

Штрихи лімбів часто роблять подвійними, як це показано на рис. Це зменшує похибки суміщення штрихів, тобто, підвищує точність відліків. Оскільки під час відлічування двосторонніх оптичних мікрометрів діаметрально протилежні штрихи, кожний пройшовши шлях $\lambda/2$, суміщаються, то *реном двостороннього оптичного мікрометра* називають різницю між номінальною величиною найменшої півподілки круга та його величиною, виміряною мікрометром.

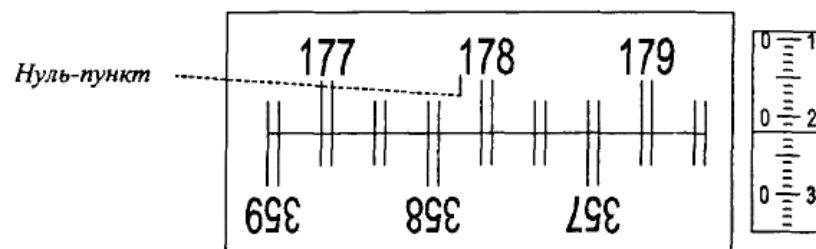


Рис. Приклад відліку двостороннього оптичного мікрометра теодоліта 2Т2: $177^\circ 50' 22''$.

У теодоліта 2Т2А відлік також знімають після суміщення штрихів прямого та протилежного кінців лімба (вікно 1). Число градусів і кількість мінут зчитують у вікні 2. Цифра розташована під числом градусів показує число десятків градусів. Одиниці мінут, десятки, одиниці і частки секунд нараховують у вікні 3. Одна поділка шкали відповідає одній секунді.

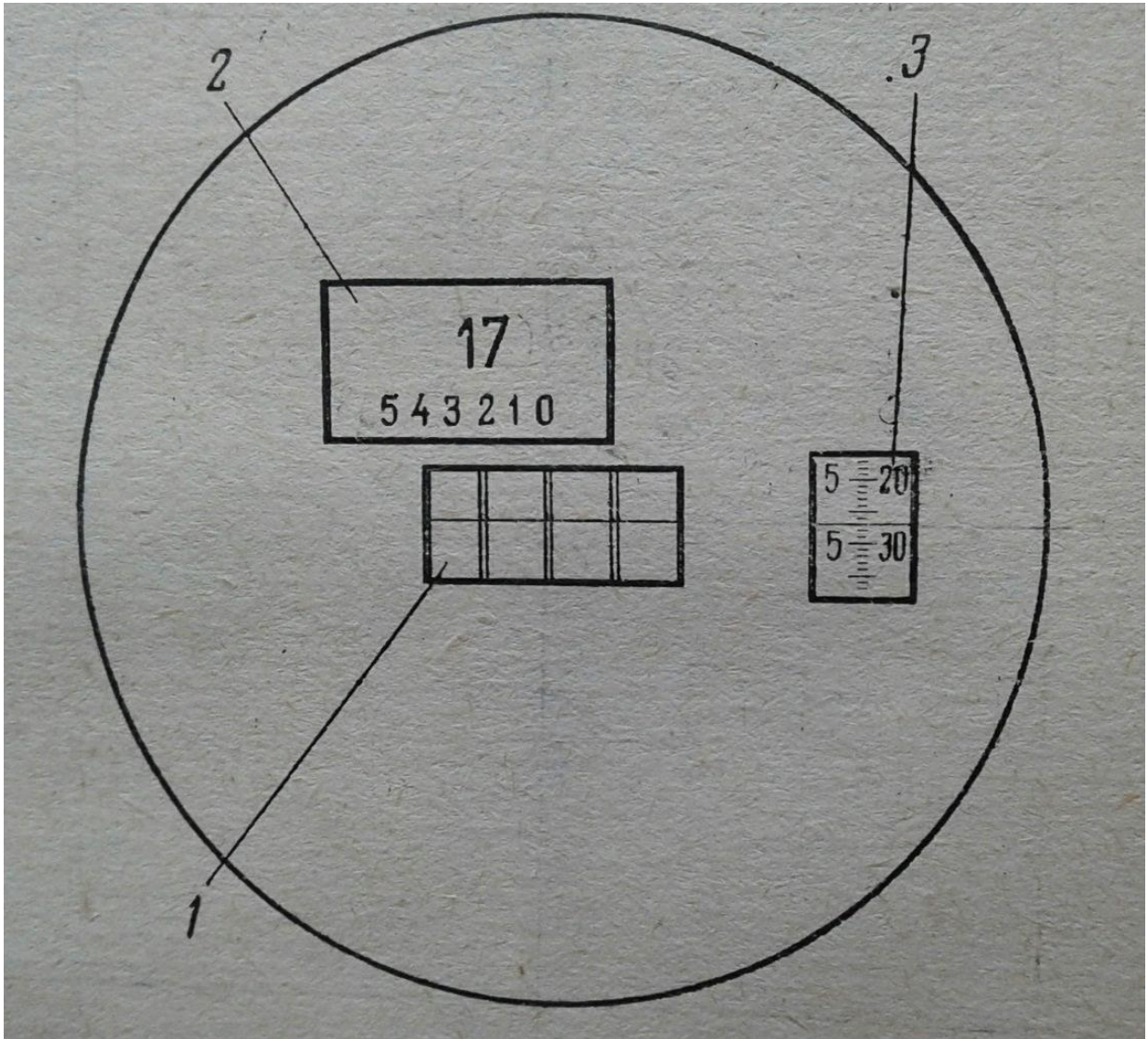


Рис. Поле зору мікроскопа теодоліта 2Т2А. Відлік $17^{\circ} 25' 27,0''$.

2. Перевірки теодолітів

Перевірка оптичного центра

Оптичний центр – це пристрій, за допомогою якого центрують геодезичний прилад (теодоліт, електротахеометр, світловіддалемір) над точкою.

Перевірка. Візирна вісь зорової трубки оптичного виска повинна бути продовженням осі обертання алідади горизонтального круга.

Виконання. На віддалі 3–4 м від стіни будинку (кімнати) прикріплюють теодоліт до столу або верстака, так щоб вісь обертання теодоліта була паралельною горизонтальній площині стола (верстака) і підставка його оберталася вільно навколо осі теодоліта. До стіни прикріплюють аркуш паперу, так щоб на нього попала проекція точки перетину ниток сітки трубки оптичного виска (рис.).

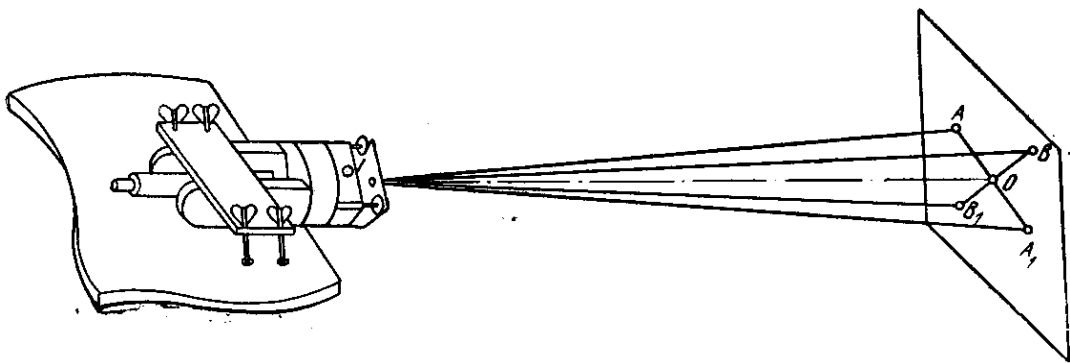


Рис. Підготовка оптичного центра для перевірки.

За допомогою закріпного гвинта лімба горизонтального круга закріплюють підставку і дивляться у трубочку оптичного виска, а помічник спостерігача фіксує проекцію точки перетину ниток оптичного виска олівцем або ручкою на аркуші паперу, прикріпленого до стіни. Нехай це буде точка A . Після цього відкріплюють закріпний гвинт лімба теодоліта і повертають підставку приблизно на 90° . Закріплюють підставку і фіксують на папері точку B . За такою методикою фіксують точки A_1 і B_1 . Нанесенні точки на папері з'єднують A з A_1 та B з B_1 і на перетині цих відрізків отримують точку O , яка лежить на продовженні осі обертання алідади горизонтального круга.

Перевірку повторюють.

Якщо віддаль між отриманими точками O і O_1 не перевищує 3 мм, то умова виконана. В інших випадках виконують виправлення.

Виправлення. За допомогою виправних гвинтів оптичного центра суміщають перетин сітки ниток трубки оптичного виска з отриманою точкою O на папері. Перевірку повторюють з метою переконання, що виправлення відбулося.

Переваги методу:

1. Виконання перевірки не залежить від пори року і погоди, тому що вона виконується в лабораторних умовах точно, надійно і швидко.
2. Перевірка виконується на фактичній “висоті приладу” 3–4 м, а в дійсності при роботі з приладом ця висота не перевищує 1,5 м. У таких

випадках точність центрування буде у 2–3 рази вищою ніж при звичайній перевірці.

Перевірки теодоліта

Для того щоб якісно виконувати геодезичні роботи теодолітом, необхідно перед початком виконати його перевірки. При їх виконанні слід добре знати де знаходяться осі відповідних елементів теодоліта (рис. 2).

Рис. 2. Схема теодоліта.

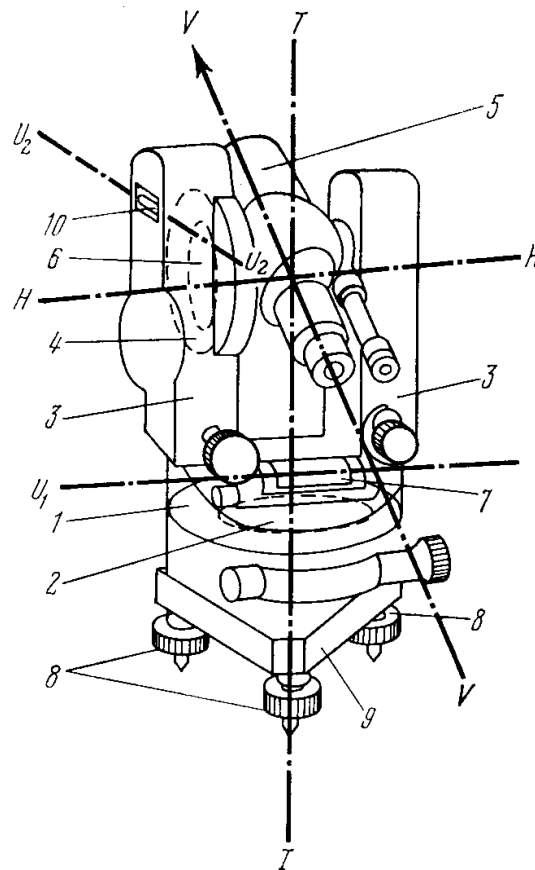


Рис. Основні осі та частини теодоліта.

Основні осі: TT – вертикальна вісь; HH – горизонтальна вісь обертання труби; VV – візирна вісь труби; U_1U_1 – вісь циліндричного рівня горизонтального круга; U_2U_2 – вісь циліндричного рівня вертикального круга.

Основні частини. Горизонтальний кутомірний круг складається із двох кругів: нижнього – лімба 1 і верхнього – алідади 2; 3 – підставка зорової труби, з якою жорстко скріплений лімба 4 вертикального круга і зорова труба 5; 6 – алідада вертикального круга; 7 – циліндричний рівень при алідаді горизонтального круга; 8 – піднімальні гвинти підставки; 9 – підставка; 10 – циліндричний рівень вертикального круга.

Перша перевірка. Вісь циліндричного рівня при алідаді горизонтального круга повинна бути перпендикулярна до осі обертання приладу.

Виконання. Теодоліт приводять в робоче положення. Встановлюють циліндричний рівень за напрямком двох піднімальних гвинтів і приводять буль-

башку рівня на середину. Повертають алідаду горизонтального круга на 180° і дивляться на бульбашку рівня. Якщо бульбашка рівня відхилилась в сторону від нуля-пункту не більше як на пів поділки, то умова виконана. В протилежному випадку виконують виправлення.

Виправлення. За допомогою шпильки повертають виправні гвинти циліндричного рівня в ту чи іншу сторону так, щоб бульбашка рівня повернулась на половину дуги відхилення до нуля-пункту. Перевірку повторюють знову.

Друга перевірка. Візирна вісь зорової труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання труби.

Виконання. На місцевості вибирають добре видиму віддалену точку (хрест церкви, телевізійна антена, громовідвід заводської труби тощо). Зорову трубу при $КП$ наводять на цю точку і беруть відлік по горизонтальному крузі $КП_1$. Переводять трубу через зеніт і при $КЛ$ зорову трубу наводять на дану точку і беруть відлік $КЛ_1$. Відкріплюють закріпний гвинт лімба горизонтального круга і повертають теодоліт приблизно на 180° .

Закріплюють закріпний гвинт лімба і відкріплюють закріпний гвинт алідади. Зорову трубу наводять при $КП$ на дану точку і беруть відлік $КП_2$. Повертають зорову трубу через зеніт і наводять її на дану точку при $КЛ$ та беруть відлік $КЛ_2$. Колімаційну похибку визначають за формулою

$$C = [(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)] / 4.$$

Якщо $C \leq 2t$ (t – точність теодоліта), то умова виконана. Якщо $C > 2t$, то виконують виправлення.

Виправлення. Спочатку знаходять вірний відлік за формулами

$$\begin{aligned} КЛ_0 &= КЛ_2 - C; \\ КП_0 &= КП_2 + C. \end{aligned}$$

За допомогою навідного гвинта алідади горизонтального круга встановлюють вирахований вірний відлік на горизонтальному крузі. Дивляться в зорову трубу. Внаслідок цієї дії центр сітки ниток переміститься з вибраної точки в ту чи іншу сторону.

Обертаючи горизонтальні виправні гвинти сітки ниток, пересувають діафрагму, до тих пір поки зображення вибраної точки не буде знаходитись точно в центрі сітки ниток.

Перевірку повторюють знову.

Третя перевірка. Одна із ниток сітки має бути горизонтальною, а друга вертикальною.

Виконання. Приводять теодоліт в робоче положення і на відстані від теодоліта 5–10 м підвішують нитковий висок. Наводять зорову трубу на нитку виска. Якщо вертикальна нитка сітки труби співпадає з ниткою виска, то умова виконана. Якщо вертикальна нитка сітки не співпадає з ниткою виска, то виконують виправлення.

Виправлення. Відкручують ковпачок в окулярній частині зорової труби і відпускають закріпні гвинти діафрагми сітки. Саму діафрагму сітки ниток обертають так, щоб вертикальна нитка сітки ниток співпала з ниткою виска. Закріплюють закріпні гвинти діафрагми сітки і закручують ковпачок. Перевірку повторюють.

Четверта перевірка. Вісь обертання труби повинна бути перпендикулярною до осі обертання приладу.

Виконання. Встановлюють теодоліт на відстані 10–15 м від стіни будівлі. На стіні вибирають точку так, щоб кут нахилу між цією точкою і горизонтальною площиною був приблизно 20° . Наводять зорову трубу на вибрану точку і проєктують її вниз стіни приблизно на горизонт приладу. Олівцем відмічають точку на стіні. Переводять зорову трубу через zenit і при другому положенні круга знову наводять на вибрану точку і проєктують на горизонт приладу. Якщо в обох випадках точки співпадають у межах бісектора, то умова виконана. Якщо ні, то потрібно виконати виправлення.

Виправлення. Таке виправлення виконують в спеціально обладнаних майстернях.

"Мертвий хід" оптичного мікрометра. Під "мертвим" ходом мікрометра розуміють нерухомість шкали мікрометра, коли на малі кути повертають барабан (ручка гвинта), хоча зміщується зображення діаметрально протилежних штрихів лімба. Особливо "мертвий" хід проявляється під час зміни напрямку руху з загвинчування на вигвинчування (під час рухів за та проти ходу годинникової стрілки). Тому дослідження "мертвого" ходу рекомендують виконувати, повертаючи алідаду на 15° (всього буде 24 встановлення алідади). Під час кожного встановлення алідади суміщають штрихи лімба два рази: повертаючи барабан за годинниковою стрілкою та проти ходу годинникової стрілки. Кожне суміщення штрихів супроводжують відліками. Всього буде 48 відліків та 24 їх різниці – Δ_i . Знаходять середню різницю. Точність визначення середньої різниці оцінюють за відхиленнями окремих різниць від середньої за формулою:

$$M = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n(n-1)}}$$

Під час нормальної роботи мікрометра окремі різниці "загвинчування" мінус "вигвинчування", для високоточних теодолітів, повинні знаходитися в межах $-1'' \dots +1''$. Вплив "мертвого" ходу на відліки знешкоджують тим, що останній рух барабана мікрометра перед відліком має бути на загвинчування.

Систематичні похибки поділок шкали мікрометра. Якщо малий кут β вимірювати в поділках мікрометра на різних частинах шкали, тоді, під час відсутності систематичних похибок мікрометра, значення кута β повинно залишатися однаковим. За наявності систематичних похибок значення кута буде різним. Це справедливо, якщо не діють інші похибки вимірювання. Тому кут β має бути стабільним і малим. Наприклад, шкала мікрометра теодоліта Т2 має 0–10'. Якщо візьмемо малий кут, що дорівнює 2', то його можна виміряти на різних п'яти частинах шкали: 0'–2'; 2'–4'; 4'–6'; 6'–8'; 8'–10'. Виконують прямий та зворотний хід. Для підвищення точності вимірювання можна на кожній з п'яти частин шкали кут виміряти 4 рази (два прямих та два зворотних ходи). Оцінюють наявність систематичних похибок за помітними систематичними змінами кута. Якщо, наприклад, під час переходу від першої частини шкали 0'–2' до п'ятої частини 8'–10' кут β весь час збільшується або зменшується, тоді вважають, що

систематичні похибки мікрометра існують. Якщо ж такої закономірності в ряді вимірювань кута β немає, тоді немає підстави говорити, що систематичні похибки поділок шкали більші за точність вимірювання.

3. Вимірювання кутів в полігонометрії 1-2 розрядів

Теоретична частина

При вимірюванні кутів теодолітом Т-2, 2-Т2 зчитування відліку по оптичному мікрометру здійснюється двічі. Після першого суміщення зображень штрихів лімба і взяття відліку a_1 , штрихи розводяться барабаном мікрометра і суміщення проводиться знову. Відлік a_2 записується у випадку, коли різниця a_1 і a_2 не перебільшує 8".

3.1. Вимірювання кутів способом прийомів

При вимірюваннях способом окремого кута алідаду обертають тільки за ходом годинникової стрілки або тільки проти ходу годинникової стрілки. Прийом складається із двох напівприймів. *Перший напівприйом* виконують при положенні вертикального круга ліворуч зорової труби (КЛ). Наводять зорову трубу на першу візирну мітку. Після того як спостережуваний знак потрапив у поле зору труби, затискають закріпний гвинт алідади і зорової труби й, діючи навідними гвинтами алідади й труби, наводять центр сітки ниток на зображення знака й беруть першу пару відліків по горизонтальному кругу. Потім, відкріпивши трубу й алідаду, наводять трубу на другу візирну мітку й беруть другу пару відліків. Різниця першого й другого відліків дає величину вимірюваного кута. Якщо перший відлік виявився менше другого, то до нього додають 360° .

Другий напівприйом виконують при положенні вертикального кола праворуч (КП), для чого переводять трубу через зеніт. Потім вимірювання виконують у тій же послідовності, як у першому напівприйомі.

Журнал вимірювання кутів способом прийомів (Спосіб Гаусса)

Дата _____ t=_____ Погода _____ Вітер _____
 Час _____ Видимість _____ Зображення _____

Точка стояння	Точка візування	Круг	Відліки				$\frac{a_1 + a_2}{2}$	2с	$\frac{Л+П}{2}$	Значення кута
			по лімбу		по мікрометру					
			°	'	a_1	a_2				
		Л								
		П								
		Л								
		П								
		Л								
		П								
		Л								
		П								
		Л								
		П								

Значення подвійної колімації $2c$ обчислюється із середніх відліків по мікрометру, взятих при КЛ і КП за формулою $2c = \text{КЛ} - \text{КП}$. Коливання подвійної колімації не повинне перебільшувати $8''$.

Середнє значення обчислюється по середніх відліках по мікрометра, взятих при КЛ і КП за формулою $\frac{I + II}{2}$. Якщо результати вимірювання кута в напівприйомах різняться не більше $8''$, обчислюють середнє, котре й приймають за остаточний результат.

3.2. Вимірювання способом кругових прийомів

Виконують для декількох напрямків, що мають спільну вершину. Один з напрямків приймають за початковий. По черзі, по ходу годинникової стрілки, при КЛ наводять трубу на всі візирні цілі й беруть відліки. Останнє наведення знову роблять на початковий напрямок. Потім, перевівши трубу через зеніт при КП, знову спостерігають всі напрямки, але у зворотному порядку – проти годинникової стрілки. З відліків при КЛ і КП знаходять середні й віднімають із них середнє значення початкового напрямку.

Кількість прийомів залежить від розряду полігонометрії і точності приладу, що застосовується. При переході від одного прийому до іншого лімба переставляється на кут $\frac{180^\circ}{n} + \sigma$, де $\sigma = 10'$, n – необхідна кількість прийомів.

Після закінчення прийому проводять контрольні обчислення і приведення значень напрямків до нуля.

Визначають незамкнення горизонту по КЛ ($\Delta_{\text{л}}$) і КП ($\Delta_{\text{п}}$), які не повинні перебільшувати $8''$. З них обчислюють середнє значення ($\Delta_{\text{сеп}}$). Поправки v у значення напрямків визначають з накопиченням за формулою $v = -\frac{\Delta_{\text{сеп}}}{n-1}$, де n – кількість вимірних напрямків. У початковий напрямок поправка не вводиться.

Напрямки приводяться до нуля послідовним відніманням значення початкового напрямку із всіх інших напрямків. Розходження між значеннями напрямків, визначеними із різних прийомів не повинне перебільшувати $8''$.

Журнал вимірювання кутів способом кругових прийомів (Спосіб Струве).

Дата _____ t= _____ Погода _____ Вітер _____ Час _____
 Видимість _____

Зображення _____ Точка стояння _____ Прийом _____

Напрямок	Круг	Відліки				$\frac{a_1 + a_2}{2}$	2с	$\frac{Л+П}{2}$	Значення напрямку	Приведені напрямки
		по лімбу		по мікрометру						
		°	'	a_1	a_2					
	Л									
	П									
	Л									
	П									
	Л									
	П									
	Л									
	П									
	Л									
	П									

Контрольні обчислення

$$\Delta_L = \quad \Delta_P = \quad \Delta_{\text{ср}} = \quad \nu = \frac{\Delta_{\text{ср}}}{n-1} =$$

Кількість прийомів при вимірюваннях залежно від розряду полігонометрії

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

Точність вимірювання окремих кутів або напрямків на пунктах полігонометрії

Елементи вимірювання	Допуски при вимірюванні кутів приладами з точністю		
	1"	2"	5"
Розходження між значеннями одного і того самого кута, що отримані з двох напівприймів	6"	8"	0.2'
Коливання значення кута, що отримане з різних прийомів	5"	8"	0.2'
Розходження між результатами спостережень на початковий напрямок на початку і в кінці напівприйому	6"	8"	0.2'
Коливання значень напрямків, що приведені до спільного нуля, в окремих прийомах	5"	8"	0.2'

Примітка. Якщо різниця зенітних відстаней на два напрямки, що вимірюються, більше 20° , то розходження між значеннями одного і того самого кута, одержані з двох напівприймів, можуть бути збільшені в 1,5 рази.

Література

1. Інструкція з топографічного знімання в масштабах 1:5000; 1:2000; 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). – Київ : ГУГК України, 1998. – 97 с.
2. Островський А.Л. Геодезія: підручник. Ч. 2 / А.Л. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський [за ред. А.Л. Островського]. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 564 с.
3. Тревого І. С. Геодезичні прилади. Практикум: навч. посіб. / І. С. Тревого, Т. Г. Шевченко, О. І. Мороз ; за заг. ред. Т.Г. Шевченка. – Львів : Вид-во національного університету „Львівська політехніка”, 2007. – 196 с.
4. Геодезія. Частина 1. Під редакцією проф. Могильного С.Г., проф. Войтенка С.П. Чернігів, 2002.
5. Селиханович В.Г. Геодезия: Учебное пособие, 2-е издание стереотипное / В.Г.Селиханович, В.П. Козлов, Г.П. Логинов . – М. ООО ИД "Альянс", 2006. – 382 с.

Методичне видання

Кононенко Сергій Іванович
Михайло Васильович Шемякін

Кононенко С.І., Шемякін М.В. Геодезія. Вимірювання кутів у полігонометрії
// Методичні вказівки для практичних занять та самостійної роботи студентам
спеціальності 193 геодезія та землеустрій. Умань: Уманський НУС, 2019. 20 с.