

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою
Кафедра геодезії та картографії

05-04-155М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни
«Геодезія»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій»
спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» всіх форм навчання

Кутові вимірювання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІАЗ
Протокол №15 від 25.03.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Геодезія» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Геодезія та землеустрій» спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій» всіх форм навчання. Кутові вимірювання. [Електронне видання] / Дмитрів О. П. – Рівне : НУВГП, 2025. – 18 с.

Укладач: Дмитрів О. П., к.т.н., доцент кафедри геодезії та картографії, доцент.

Відповідальний за випуск: Янчук Р. М., к.т.н., доцент, завідувач кафедри геодезії та картографії.

Керівник групи забезпечення спеціальності 193 «Геодезія та землеустрій»

Янчук Р. М.

© О. П. Дмитрів, 2025
© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

1. Загальні відомості.....	3
2. Лабораторна робота №1. Будова та перевірки теодоліта.....	5
4. Лабораторна робота №2. Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів. Визначення кутів нахилу.....	12
5. Лабораторна робота №3. Вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів.....	16
6. Перелік рекомендованої літератури.....	18

Загальні відомості

Прилад за допомогою якого можна виміряти як горизонтальні так і вертикальні кути на місцевості називається *теодолітом*.

Нехай потрібно виміряти горизонтальний кут ВОА (рис. 1), який утворюється лініями місцевості ОВ , ОА . Цей кут буде відповідати його проекції $b'o'a'$ на горизонтальній площині H .

Кут ВОА – горизонтальний кут, який утворений перетином двох вертикальних площин K і R , що проходять відповідно через A і B , а також через прямовисну лінію, що проходить через точку O . Такий кут можна виміряти за допомогою кутомірного круга теодоліта, який встановлено горизонтально так, щоб прямовисне ребро Oo' двогранного кута проходило через його центр o . Радіуси oa і ob знаходяться в площинах K і R . Якщо даний круг оцифрувати, то за знятими відліками a і b можна визначити горизонтальний кут β , використавши наступну формулу

$$\beta = b - a. \quad (1)$$

Вертикальним кутом називається кут між горизонтальною площиною, що проходить через вісь обертання зорової труби, і напрямком візирної осі на точку спостереження.

Принцип вимірювання вертикальних кутів (на рис.1 та 2 це кути $+V_A$ та $-V_B$) полягає у визначенні кута нахилу візирної осі кутомірного приладу відносно горизонтальної площини. Для цього після наведення на точку місцевості знімають відлік з шкали вертикального круга (рис. 2). Вертикальні кути можуть бути додатними та від'ємними. Якщо точка на місцевості знаходиться нижче горизонтальної площини, то кути будуть від'ємними і навпаки.

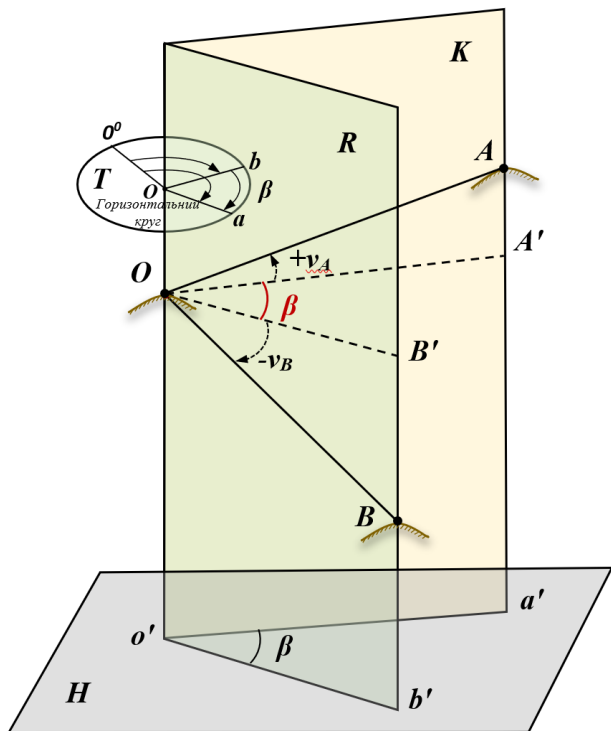


Рис. 1. Загальна схема вимірювання кутів на місцевості

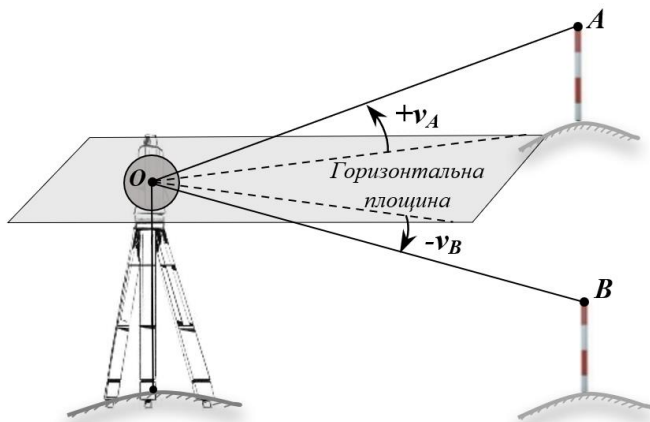


Рис. 2. Загальна схема вимірювання вертикальних кутів на місцевості

Лабораторна робота №1 Будова теодоліта та його перевірки

Мета: Вивчити основні частини теодоліта та їх взаємодію, навчитись знімати відліки з його горизонтального та вертикального кругів. Вивчити вимоги до взаємного розміщення осей теодоліта, виконати перевірку цих вимог та юстирування (виправлення) у випадку їх невиконання.

Завдання:

1. Вивчити будову теодоліта.
2. Навчитись знімати відліки з горизонтального та вертикального кругів.
3. Набути навичок приведення теодоліта в робоче положення.
4. Виконати перевірки теодоліта та юстирування (виправлення) у випадку їх невиконання.
 - 4.1. Перевірка перпендикулярності осі обертання приладу та осі циліндричного рівня.
 - 4.2. Перевірка сітки ниток.
 - 4.3. Перевірка перпендикулярності осі обертання зорової труби до візирної осі труби.
 - 4.4. Перевірка перпендикулярності осі обертання зорової труби та осі обертання приладу.

Інструменти та приладдя: теодоліт, віхи, висок, канцелярське приладдя для записів та креслень.

Будова теодоліта.

Основні елементи теодоліта (рис. 3).

За допомогою теодоліта можна вимірювати як горизонтальні, так і вертикальні кути.

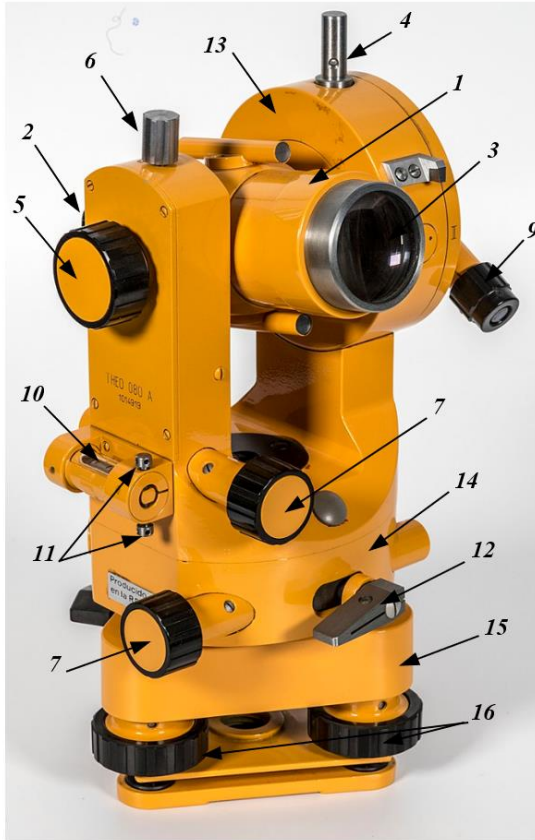


Рис. 3. Основні елементи теодоліта:

1 – зорова труба; 2 – окуляр; 3 – об’єктив; 4 – місце для закріплення бусолі; 5 – кремальєра; 6 – закріпний гвинт зорової труби; 7,8 – навідні гвинти зорової труби; 9 – відліковий пристрій; 10 – циліндричний рівень; 11 – виправні гвинти циліндричного рівня; 12 – закріпний гвинт аліади; 13 – вертикальний круг (лімб ВК); 14 – горизонтальний круг (лімб ГК); 15 – підставка; 16 – підіймальні гвинти

Основними геометричними елементами в теодоліта є (рис. 4):

- *осі:*
 - ZZ_1 – вісь обертання;
 - HH_1 – горизонтальна вісь обертання зорової труби;

- UU_1 – вісь циліндричного рівня;
- MM_1 – вісь візування;
- площини:
 - горизонтального та вертикального кутомірних кругів (лімби GK та BK);
 - колімаційна, яку описує візирна вісь, коли вона перпендикулярна до осі обертання зорової труби.

Вказані елементи повинні розміщуватись таким чином, щоб забезпечити основні геометричні умови куткових вимірювань, а саме:

- вісь циліндричного рівня UU_1 повинна бути перпендикулярна до осі обертання ZZ_1 ;
- вісь візування MM_1 перпендикулярна до горизонтальної осі HH_1 ;
- вісь обертання HH_1 перпендикулярна до осі ZZ_1 .

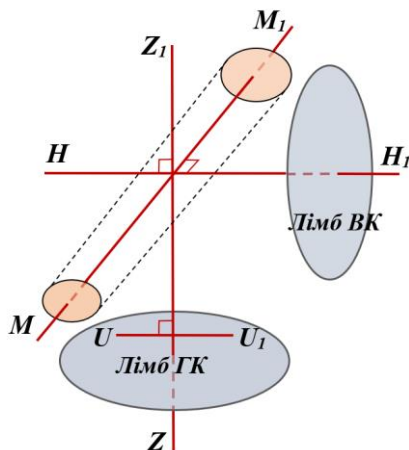


Рис. 4. Основні геометричні елементи

Технічний теодоліт складається з двох частин: рухомої (верхньої) і нерухомої (нижньої).

Піднімальні гвинти та підставка служать для приведення осі обертання приладу у вертикальне положення. Про це буде свідчити розміщення в центрі бульбашки циліндричного рівня.

Зорова труба – оптичний пристрій, призначений для візуальних спостережень віддалених предметів.

Сітка ниток – окулярна сітка змішаного типу, яка встановлена у зорових трубах у вигляді системи штрихів.

Лімб горизонтального круга (ГК) – горизонтальний кутомірний круг з поділками (рис. 4). При вимірюваннях кутів лімб є нерухомим, а верхня частина теодоліта рухається разом з *алідадою*. На алідаді нанесено початковий штрих, за допомогою якого виконується відлік за горизонтальним кругом. За таким принципом виконуються відліки і з *лімба вертикального круга (ВК)*. У теодолітах застосовуються для виконання відліків штрихові або шкалові мікроскопи.

Роботу по вимірюванню кутів виконують при двох положення вертикально круга по відношенню до зорової труби направленої на точку візування: при крузі зліва (КЛ) та крузі справа (КП). Зміна положення круга (переведення зорової труби через зеніт) відбувається почерговим повертанням зорової труби у вертикальній площині та алідади у горизонтальній площині на 180° .

Зняття відліків з горизонтального та вертикального кругів.

Для прикладу на рис. 5 показано поле зору відлікового пристрою теодоліта з шкаловим мікроскопом при двох положеннях вертикального круга справа (КП) та зліва (КЛ).

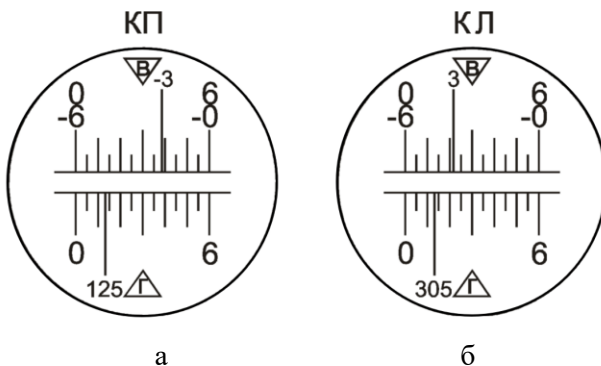


Рис. 5. Поле зору відлікового пристрою з шкаловим типом мікроскопу:

- а) відлік з ГК – $125^\circ 13'$; відлік з ВК – $-3^\circ 21'$;
- б) відлік з ГК – $305^\circ 13'$; відлік з ВК – $+3^\circ 21'$

На рис. 6 показано поле зору відлікового пристрою теодоліта з штриховим типом мікроскопу.

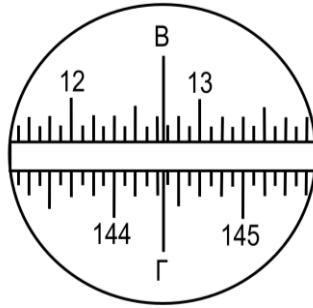


Рис. 6. Поле зору відлікового пристрою з штриховим типом мікроскопу:
- відлік з ГК – $144^{\circ}23'$;
- відлік з ВК – $12^{\circ}43'$

Встановлення теодоліта в робоче положення. Для встановлення теодоліта в робоче положення необхідно: закріпити його на штативі; встановити над точкою, з якої необхідно виміряти кут; виконати центрування; привести вісь обертання теодоліта у вертикальне положення; встановити чітке зображення сітки зорової труби; навести на предмет і добитися чіткого його зображення.

Теодоліт встановлюють над вершиною кута так, щоб верхня площина штатива була наближено горизонтальна, а висок знаходився над кілочком, який позначає вершину кута. Ніжки штатива встановлюють в ґрунт, натиснувши ногою на металеві наконечники. Переконавшись у стійкості приладу, необхідно ослабити становий гвинт і виконати більш точне центрування, переміщуючи теодоліт на штатива. Далі піднімальними гвинтами прилад приводять в горизонтальне положення. Спочатку встановлюють рівень горизонтального круга вздовж двох піднімальних гвинтів і приводять його бульбашку на середину. Потім, повернувши алідаду на 90° вздовж третього гвинта, також приводять бульбашку в нуль-пункт. Центрування приладу та приведення його у вертикальне положення перевіряють ще раз. За допомогою гвинта наведення чіткості приводять чітке зображення сітки ниток і наводять на предмет,

добиваючись його чіткого зображення за допомогою гвинта кремальєри. Після виконання таких дій прилад готовий до роботи.

Перевірки та юстирування теодолітів.

Перевірка 1. Вісь циліндричного рівня повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта (вісь UU_1 перпендикулярна до ZZ_1 , рис 4).

Виконання перевірки. Встановлюють теодоліт в робоче положення. Розташовують циліндричний рівень на горизонтальному крузі за напрямком двох піднімальних гвинтів і, обертаючи їх в необхідному, приводять бульбашку рівня на середину. Після цього обертають горизонтальний круг на 180° . Якщо бульбашка рівня змістилась від нуля-пункта не більше однієї поділки, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстирування.

Юстирування. За допомогою шпильки обертають виправний гвинт циліндричного рівня так, щоб бульбашка повернулась до нуля-пункту на половину дуги відхилення. Після цього перевірку повторюють, щоб переконатися, що умова виконується.

Перевірка 2. Візирна вісь зорової труби (MM_1) повинна бути перпендикулярною до осі обертання труби (NN_1).

Виконання перевірки. На місцевості вибирають далеку точку, яку добре видно, і наводять на неї зорову трубу при $KП$. Знімають відлік з горизонтального круга $KП_1$. Після цього відкріплюють закріпні гвинти алідади горизонтального круга та зорової труби, переводять трубу через зеніт і при KL наводять її на ту ж саму точку. З горизонтального круга знімають відлік KL_1 . Для теодолітів Т30 і 2Т30 повторюють наведення на цю ж точку і знімають відліки KL_2 і $KП_2$. При цьому горизонтальний круг відкріплюють у підставці і обертають його приблизно на 180° .

За отриманими відліками з горизонтального круга обчислюють *колімаційну похибку* за формулою

$$c = \frac{(KL_1 - KП_1 \pm 180^\circ) + (KL_2 - KП_2 \pm 180^\circ)}{4}. \quad (2)$$

Якщо $c < 1'$, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстирування.

Юстирування. Обчислюють відлік за горизонтальним кругом, коли візирна вісь зорової труби перпендикулярна до осі її обертання, за формулою

$$KL_o = KL_2 - c \quad \text{або} \quad KP_o = KP_2 + c. \quad (3)$$

За станом зорової труби, наведеної на вибрану точку, і відліком, рівним KL_2 або KP_2 , знімають ковпачок в окулярній частині труби, який закриває доступ до виправних гвинтів сітки ниток. Обертають навідний гвинт аліади горизонтального круга і встановлюють відлік KL_o (або KP_o). В цьому випадку центр сітки ниток зійде з точки. Обертаючи за чергою правий і лівий виправні гвинти (один відкручують, а другий закручують за допомогою шпильки) пересувають пластинку з візирною сіткою так, щоб центр сітки ниток співпав із зображенням точки наведення. Виконання перевірки повторюють.

Перевірка 3. Сітка ниток повинна бути встановлена правильно, тобто горизонтальна нитка повинна займати горизонтальне положення, а вертикальна – вертикальне.

Виконання перевірки. Приводять вертикальну вісь приладу в прямовисне положення і наводять центр сітки на нитку виска, закріпленого в 15-20 м від приладу. Якщо при підніманні і опусканні труби вертикальна нитка співпадає з лінією виска, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстирування.

Юстирування. Відкручують ковпачок в окулярній частині зорової труби і відпускають чотири гвинти, за допомогою яких кріпиться окуляр до труби. Після цього повертають діафрагму так, щоб вертикальна нитка співпала з лінією виска. Далі закріплюють гвинти.

Перевірка 4. Горизонтальна вісь обертання зорової труби (HH_1) повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта (ZZ_1).

Виконання перевірки. На відстані від стіни будинку 20-30 м встановлюють теодоліт. Приводять його в робоче положення і наводять центр сітки ниток на точку, яка розташована в верхній

частині стіни. За допомогою зорової труби теодоліта проєктують точку вниз на висоту приладу і позначають на стіні її проєкцію. Після цього переводять трубу через зеніт і при другому положенні круга таким же способом одержують другу проєкцію. Якщо обидві точки знаходяться в межах бісектору сітки ниток, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстирування тільки в спеціальних майстернях.

Лабораторна робота №2
**Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів.
Визначення кутів нахилу**

Мета: Вивчити методику вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів та кутів нахилу, отримати практичні навички з вимірювання кутів та виконати математичну обробку одержаних результатів.

Завдання:

1. Виконати підготовку теодоліта до виконання кутових вимірювань. Привести його в робоче положення.
2. Виміряти горизонтальний кут способом прийомів.
3. Виміряти вертикальний кут на вказану точку місцевості та визначити кут нахилу.

Інструменти та приладдя: теодоліт, віхи, висок, журнал вимірювання кутів, канцелярські приладдя для записів.

Незалежно від способу вимірювання горизонтальних чи вертикальних кутів теодоліт необхідно привести в робочий стан:

- 1) попередньо відцентрувати теодоліт над точкою, яка є вершиною кута;
- 2) привести вісь обертання теодоліта у вертикальне положення;
- 3) виконати точне центрування приладу з відхиленням на 2-4мм;
- 4) встановити чітке зображення сітки ниток та відлікових шкал;
- 5) за допомогою кремальєри добитися чіткого зображення на точку спостереження.

Вимірювання горизонтальних кутів способом прийомів. Даний спосіб застосовується у випадку, коли потрібно виміряти 1 або 2 кути (2 або 3 напрями візування) (рис. 7). Він пролягає у послідовному виконанні відліків з *ГК* при спостереженні на точки за ходом годинникової стрілки спочатку при розташуванні *ВК* зліва (відліки – *КЛ*), а потім – при крузі *ВК* праворуч (*КП*). Спостереження при обох кругах *КП*, *КЛ* називається прийомом, а при одному крузі – півприйомом.

Горизонтальний кут β знаходять як різницю відліків на праву і ліву точки (рис.7)

$$\beta = a - b. \quad (4)$$

Вимірювання записують у польовий журнал (табл. 1).

Розглянемо детально послідовність роботи при вимірюванні горизонтальних кутів способом прийомів на прикладі вимірювання кута β (рис.7).

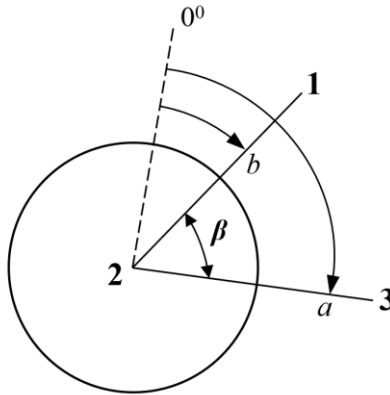


Рис. 7. Принцип вимірювання кутів способом прийомів

Теодоліт встановлюють над вершиною кута 2 і приводять його в робоче положення.

Закріпивши лімб, обертанням аліадади наводять трубу на першу точку №1, закріплюють аліададу і знімають відлік з горизонтального круга. Значення відліку записують в журнал кутових вимірювань (табл. 1). Далі відкріплюють аліададу, візують на другу точку №3 і

знімають відлік, записуючи його значення в журнал. Значення горизонтального кута одержують із даного півприйому як різницю відліків на точки №3 і №1. Для контролю і зменшення впливу систематичних помилок кут вимірюють повторно при другому положенні вертикального круга і отримують результат з другого півприйому. Два таких вимірювання складають прийом. За двома отриманими результатами вимірювань обчислюють середнє значення вимірюваного кута за умови, що обидва значення кута відрізняються між собою не більше ніж на подвійну точність відлікового пристрою.

При обчисленні горизонтального кута необхідно завжди *віднімати від відліків на праву точку відліки на ліву*. Якщо відлік на ліву точку більший за правий, то правий відлік необхідно збільшити на 360° .

Технічними інструкціями накладається вимога змінювати відлік при одному з положень круга на декілька мінут, щоб уникнути грубих похибок.

Таблиця 1

Журнал вимірювань горизонтальних кутів способом прийомів

№ ст.	№ точки візув.	Відліки з ГК		Значення кута з півприйому		Середнє значення кута	
		°	'	°	'	°	'
2		<i>КІ</i>					
	1	197	16				
				115	28		
	3	312	44				
						115	27.5
2		<i>КІІ</i>					
	1	17	16				
				115	27		
	3	132	43				

Визначення кутів нахилу

Перед виконанням робіт з вимірювання кутів нахилу обов'язковою процедурою є визначення місця нуля вертикального круга теодоліта.

Місце нуля (М0) – це відлік за вертикальним кругом, коли візирна вісь зорової труби горизонтальна і бульбашка циліндричного

рівня при вертикальному крузі знаходиться в нуль-пункті (тобто, візирна вісь зорової труби і вісь циліндричного рівня при ВК горизонтальні).

Місце нуля вертикального круга повинно бути постійним і близьким до 0° для теодолітів типу Т30 (2Т30) або близьким до 90° для теодолітів типу Theo 080.

Визначення M_0 :

1. Встановлюють теодоліт на місцевості і приводять вісь його обертання у вертикальне положення.

2. Вибирають на місцевості чітко видиму точку і наводять на неї центр сітки ниток. При двох положення ВК виконують відліки з шкали вертикального круга.

3. Маючи два відліки з ВК, а саме КЛ і КП, в залежності від конструкції теодоліта і оцифрування вертикального круга обчислюють M_0 за відповідними формулами.

Для теодолітів типу:

$$\text{- Т30 (2Т30)} \quad M_0 = (\text{КЛ} + \text{КП}) / 2. \quad (5)$$

$$\text{- Theo 080} \quad M_0 = (\text{КЛ} + \text{КП} - 180^\circ) / 2. \quad (6)$$

Порядок визначення кутів нахилу:

1. Встановлюють теодоліт над точкою і приводять його у робоче положення.

2. Наводять зорову трубу на точку, за напрямком якої потрібно визначити кут нахилу.

3. Здійснюють вимірювання вертикальних кутів за допомогою шкали вертикального круга.

4. Переводять трубу через зеніт і при другому положенні вертикального круга здійснюють всі попередні дії щодо визначення кута.

5. За формулою визначають кут нахилу v .

Залежно від конструкції теодоліта робочі формули для визначення кута нахилу v є різні. Для теодолітів типу Т30 (2Т30) вони мають такий вигляд

$$v = \text{КЛ}-\text{М0}, \quad (7)$$

$$v = \text{М0}-\text{КП}, \quad (8)$$

$$v = (\text{КЛ}-\text{КП})/2. \quad (9)$$

Для теодолітів типу Theo 080 використовують наступні формули

$$v = \text{М0}-\text{КЛ}, \quad (10)$$

$$v = \text{КП}-(\text{М0}+180^\circ), \quad (11)$$

$$v = (\text{КП}-\text{КЛ}-180^\circ)/2. \quad (12)$$

Результати вимірювань вертикальних кутів за допомогою теодоліта 2Т30 наведено в журналі вимірювання (таблиця 2).

Таблиця 2

Журнал вимірювання вертикальних кутів

Станція	Точка спостережень	Відліки за ВК		МО	Кут нахилу	Примітка
		КП	КЛ			
2	3	+4° 18'	-4° 12'	+0°03'	-4° 15'	
	4	-2° 13'	+2° 19'	+0°03'	+2°16'	

Лабораторна робота №3

Вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів

Мета: Вивчити методику вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів та отримати практичні навички з вимірювання кутів та виконати математичну обробку одержаних результатів.

Завдання:

1. Виконати підготовку теодоліта до виконання кутових вимірювань. Привести його в робоче положення.
2. Виконати всі необхідні вимірювання та обчислення.

Спосіб кругових прийомів застосовується у випадках, коли з вершини кута виходять декілька напрямків (рис. 8) і полягає у повторному (контрольному) виконанні відліків на початкову точку, як при *КЛ*, так і при *КП*.

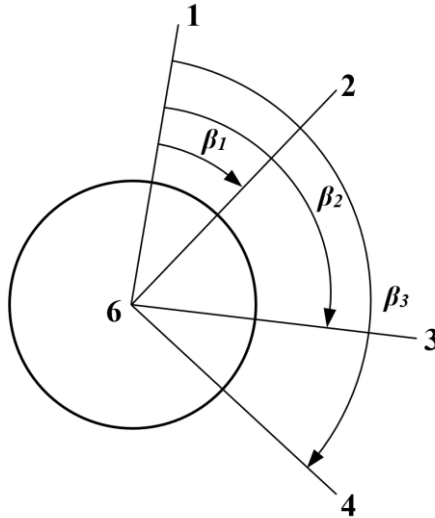


Рис. 8. Спосіб кругових прийомів

Перший півприйм: вимірювання може виконуватись при будь-якому положенні вертикального круга (*КЛ* або *КП*). Наприклад, робота розпочинають при *КЛ*. На точку №1 встановлюють відлік, близький до нуля, і за годинниковою стрілкою візують і виконують відліки на точки №2, 3, 4 та повторно на точку №1. Результати вимірювання записуються у журнал (табл. 2). Далі трубу переводять через зеніт і вертикальний круг буде знаходитись праворуч від труби.

Другий півприйм: виконують спостереження при *КП*. Спостереження ведуть проти годинникової стрілки послідовно на всі точки згідно схеми їх розміщення у журналі (на точки №1, 4, 3, 2 і повторно на точку №1). Обчислюють приведений початковий напрямок $0^{\circ}02'.1$ як середнє значення з $0^{\circ}02'.2$ і $0^{\circ}02'.0$. Значення напрямків обчислюють, віднімаючи від значень у колонці 6 приведений напрям.

Таблиця 2

Журнал вимірювання горизонтальних кутів
способом кругових прийомів

Станція	Точки спостереження	Положення ВК	Відлік з ГК	2с	$\frac{(КП+КЛ)}{2}$	Значення напрямку	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8
6	1	КЛ КП	0°02.5' 180°02.0'	+0.5'	$\frac{0°02.1'}{0°02.2'}$	0°0.0'	
	2	КЛ КП	39°18.0' 219°18.0'	0.0'	39°18.0'	39°15.9'	β_1
	3	КЛ КП	92°34.0' 272°34.5'	-0.5'	92°34.2'	92°32.1'	β_2
	4	КЛ КП	168°13.5' 348°13.5'	0.0'	168°13.5'	168°11.4'	β_3
	1	КЛ КП	0°02.0' 180°02.0'	0.0'	0°02.0'	0°0.0'	

Перелік рекомендованої літератури

1. Баран П. І., Марущак М. П. Топографія та інженерна геодезія : підручник. Київ : Знання України, 2015. 463 с.
2. Білокриницький С. М. Геодезія : навч. посіб. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2011. 576 с.
3. Дьяков Б. Н. Геодезія : підручник. Київ : Лань, 2018. 416 с.
4. Панчук Ю. М., Бялик І. М., Янчук О. Є. Інженерна геодезія. Навч. посіб. Рівне. НУВГП. 2012. 337 с.
5. Тельнов В. Г. Геодезія : навч. посіб. Дніпро : Нац. техн. ун-т «ДП», 2020. 316 с.