



Вимірювання кутів на місцевості

Доповідач: кандидат с.-г. наук, доцент
Цицюра Ярослав Григорович

План лекційного заняття:

- ***1. Загальний принцип вимірювання горизонтального кута. Принцип дії найпростіших кутомірних приладів.***
- ***2. Класифікація теодолітів та їх будова.***
- ***3. Основні юстировки теодоліта.***
- ***4. Вимірювання горизонтальних та вертикальних кутів способом прийомів.***
- ***5. Теодолітний хід. Математична обробка результатів вимірювань у теодолітному ході.***

Рекомендована література:

- Геодезія / Загальна ред. С. Г. Могильного і С.П. Войтенка. – Донецьк, 2003. – 458 с.
- Геодезия. Учебно-практическое пособие / Куштин И.Ф. – М.: Издательство ПРИОР, 2001. – 448 с.
- Геодезія / Грабовий В.М. – Київ: ДНВП «Аерогеодезія», 2004. – 293 с.
- Дубов С.Д., Поляков А.Н. Практикум по геодезии. – М.: Агропромиздат, 1990. – 223 с.
- Кравченко В.П., Герасименко П.І., Порицький Г.О. Меліорація з основами геодезії. – К. 1988. – 203 с.

Питання на самотійне вивчення

- 1. Формування математичних методів кутових вимірювань місцевості*
- 2. Сучасні конструктивні особливості сучасних теодолітів*
- 3. Інтерпритація результатів теодолітної зйомки в геодезії*
- 4. Вплив кривизни земної поверхні на значення кутових вимірювань в геодезії*
- 5. Точність теодолітного знімання та чинники, що її визначають*

*1. Загальний принцип вимірювання
горизонтального кута. Принцип дії
найпростіших кутомірних приладів*

Кутові вимірювання виконують з метою визначення у просторі або на горизонтальній площині взаємного розташування точок місцевості. Для визначення положення точок на плані вимірюють **горизонтальні кути**. Для визначення їх положення за висотою вимірюють **вертикальні кути (кути нахилу)**. Вимірювання горизонтальних і вертикальних кутів на місцевості виконується спеціальним приладом – **теодолітом**.

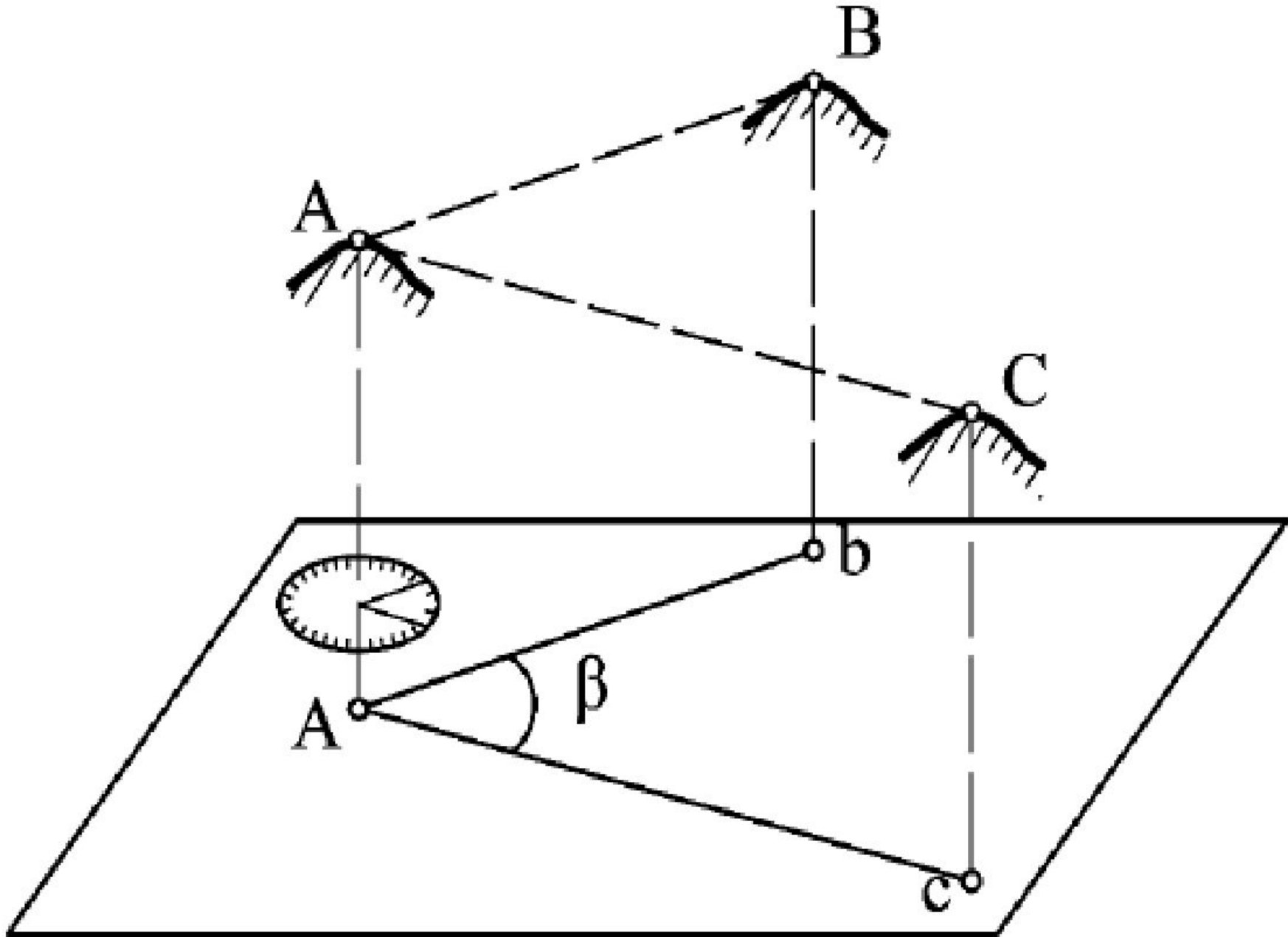


Схема вимірювання горизонтального кута

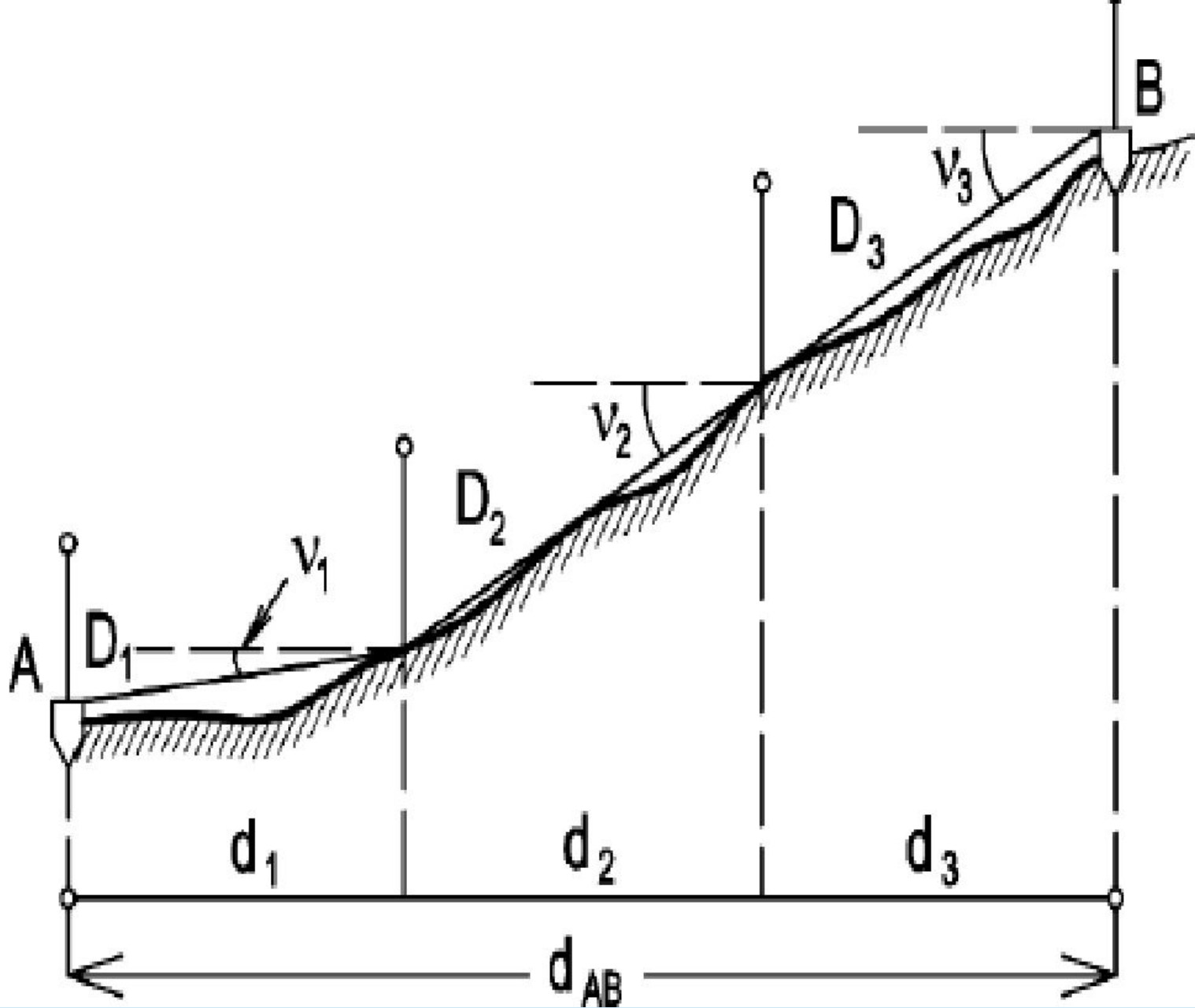
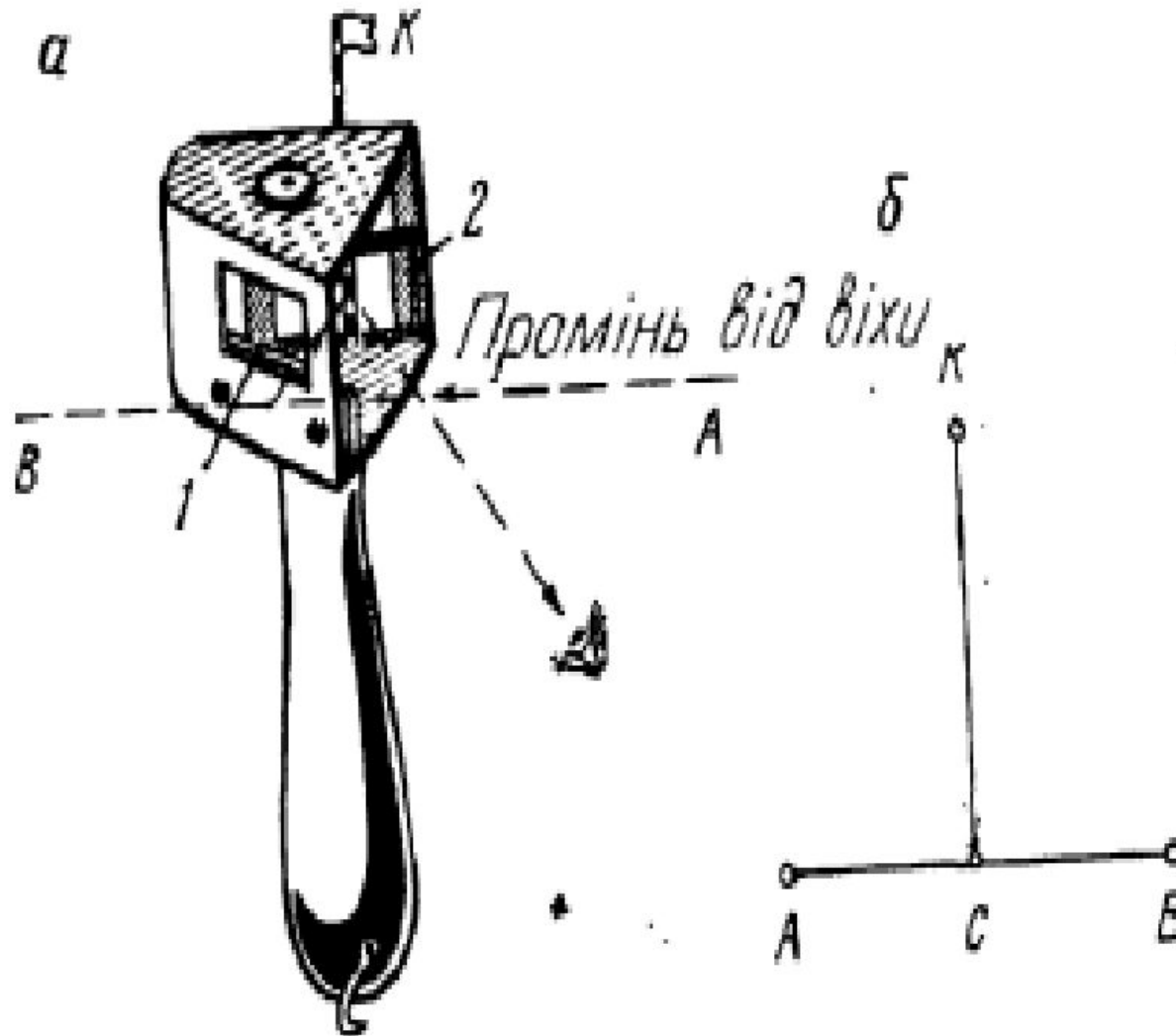
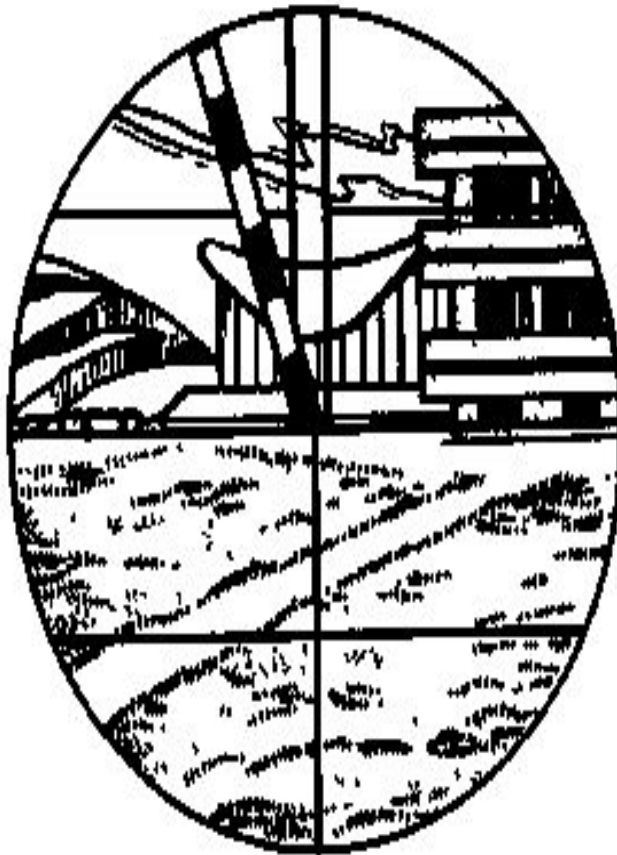


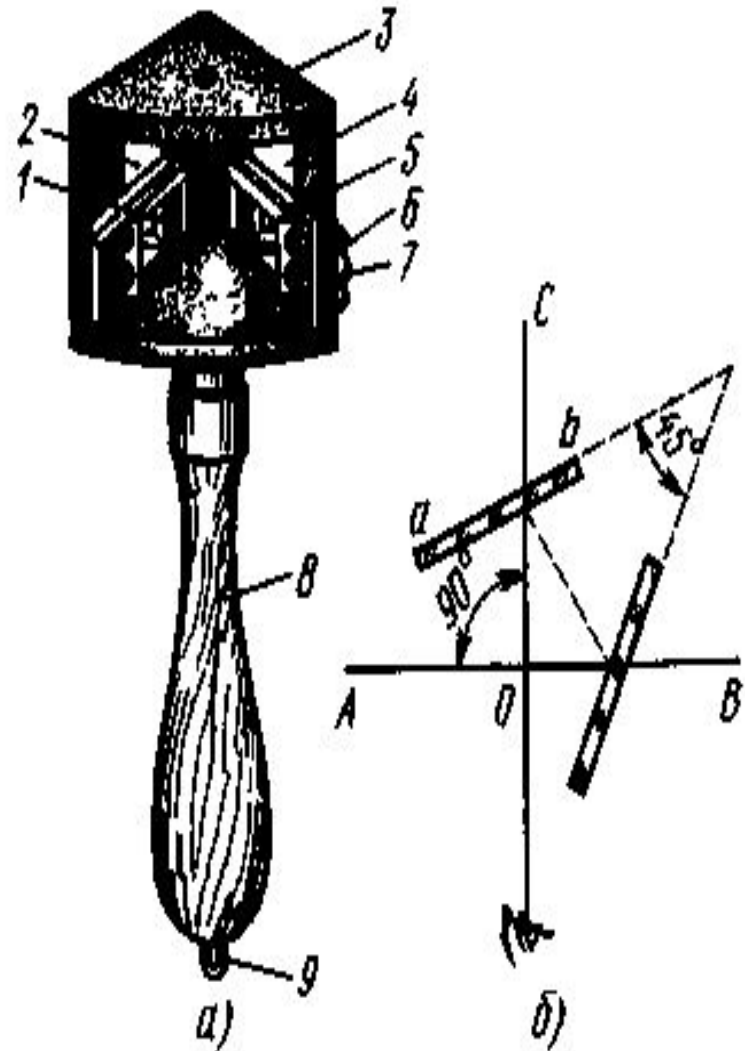
Схема вимірювання вертикального кута



Принцип роботи екера побудовано на законі відбиття променів світла від плоских дзеркал. Промінь світла, який падає від віхи А на дзеркало 1, відбивається від нього, попадає на дзеркало 2, відбивається повторно і утворює з першим променем кут 90° .

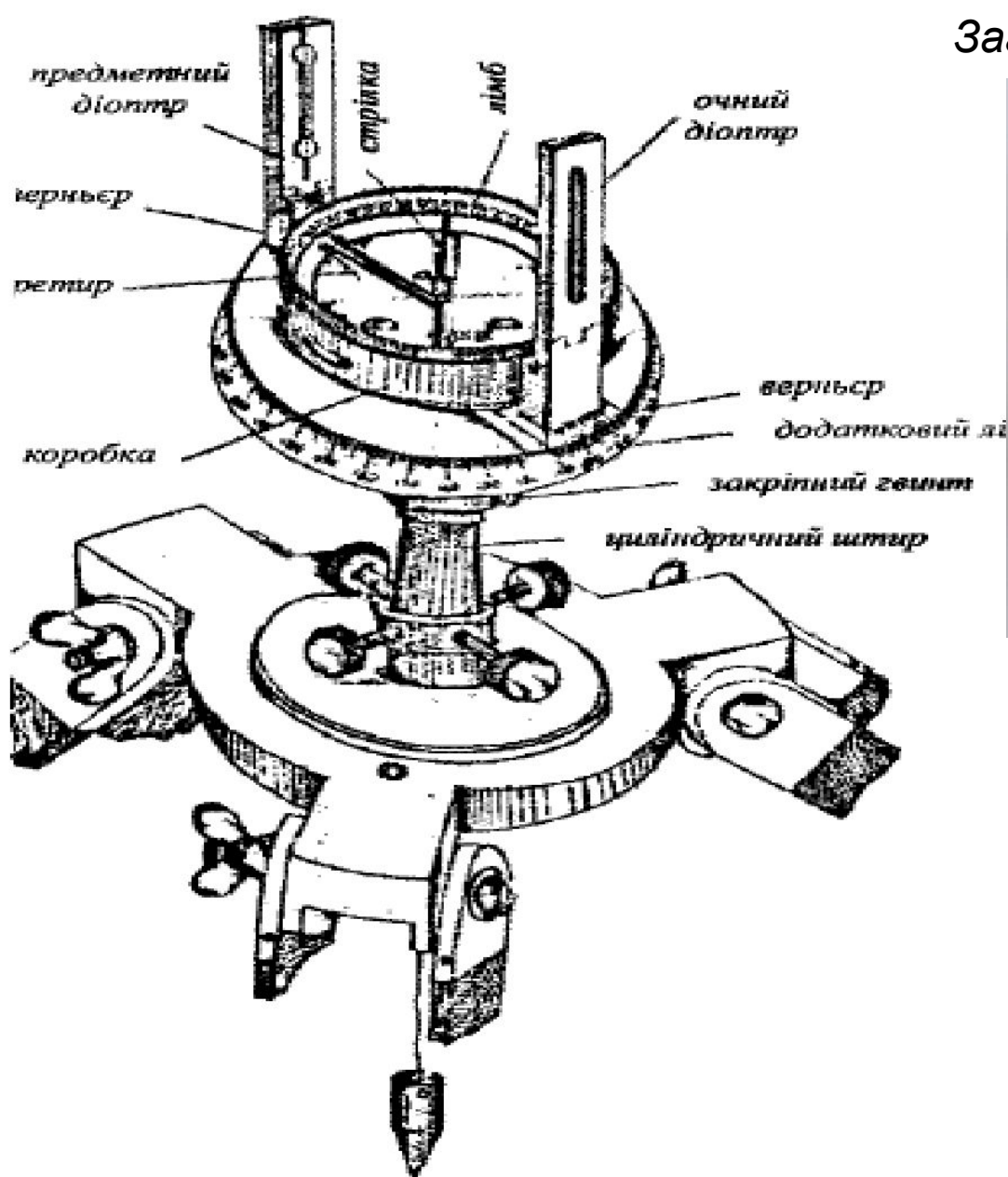


Поле зору труби при наведенні на віху (зображення перевернено)



Двозеркальний екер ЕГ (а) і побудова прямого кута екером над точкою 0 (б):
1, 5 – дзеркала, 2,4 – вікна, 6,7 – гвинти, 8 - ручка, 9 - кільце

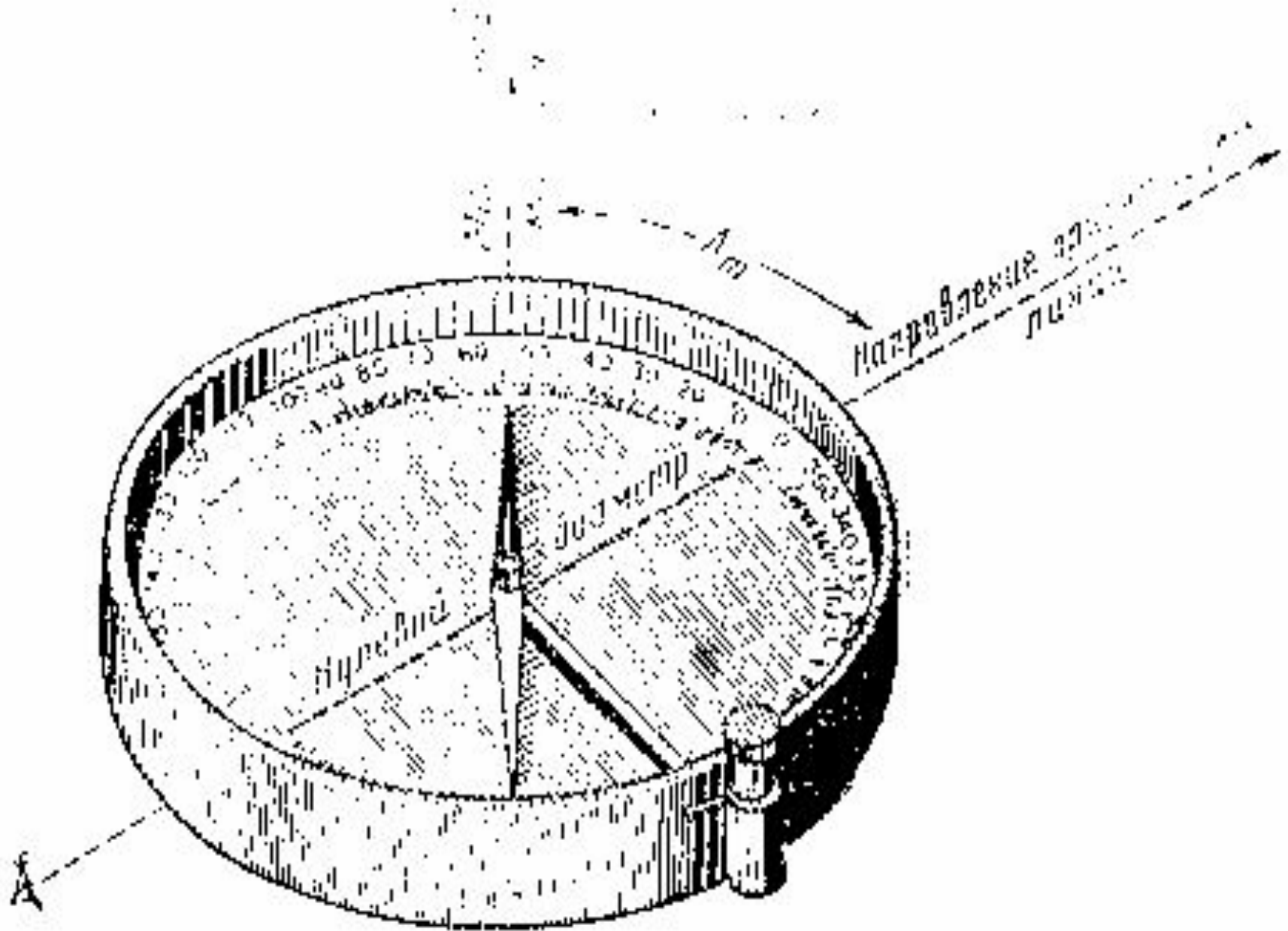
Загальний вигляд польової бусолі



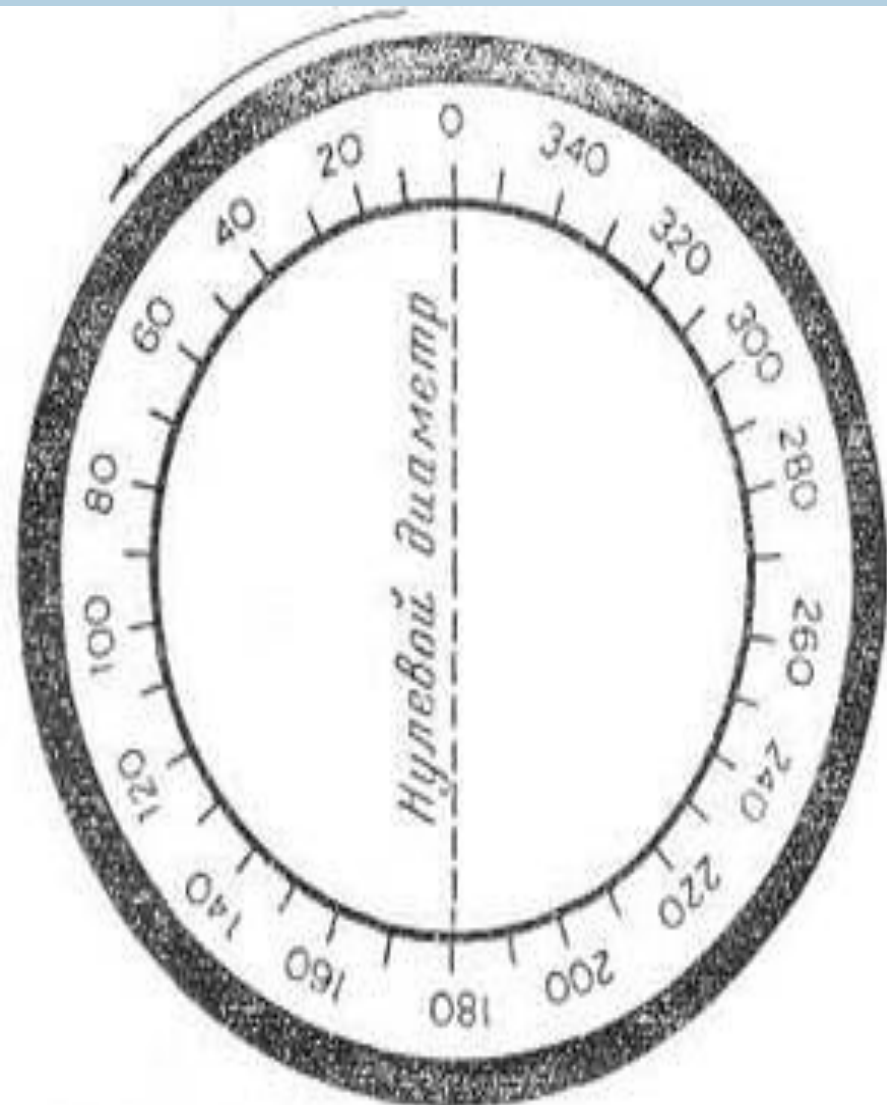
Бусоль БГ-1



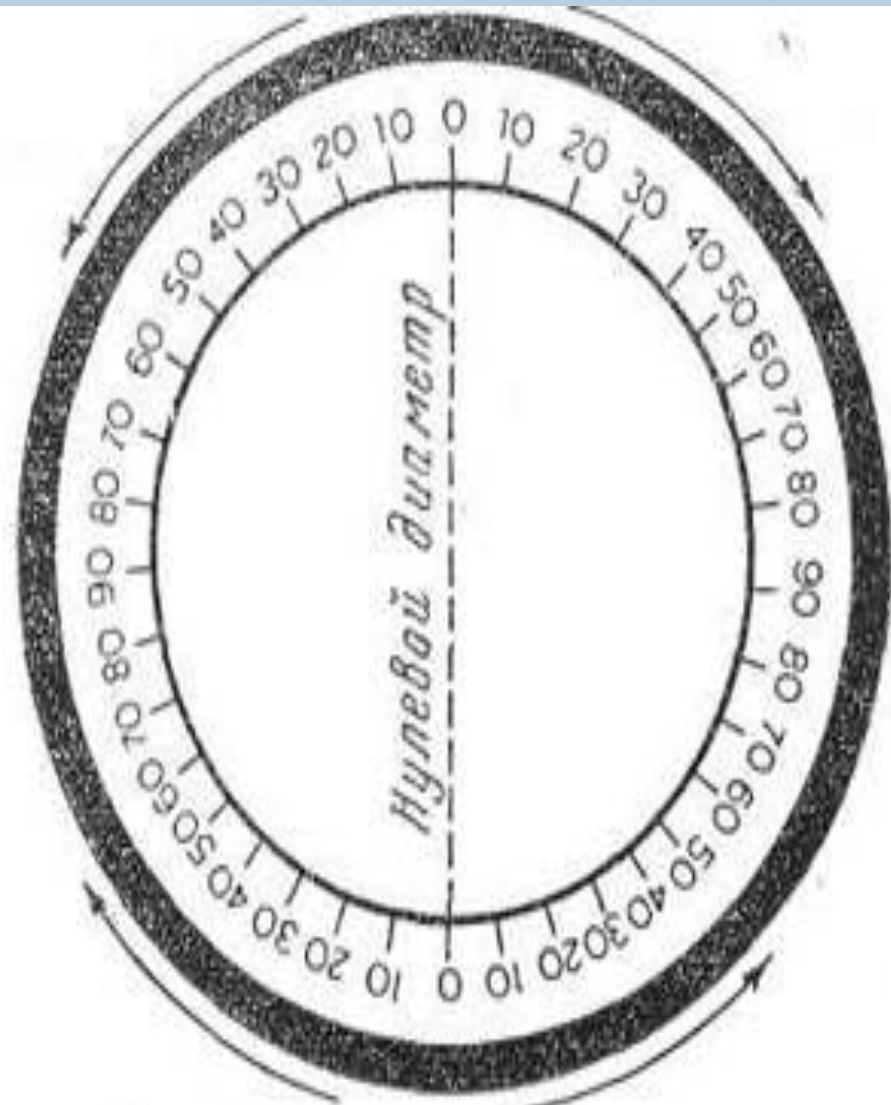
Бусоль KV-20



Вимірювання азимутів бусоллю.



Азимутальне кільце бусолі.



Румбичне кільце бусолі.

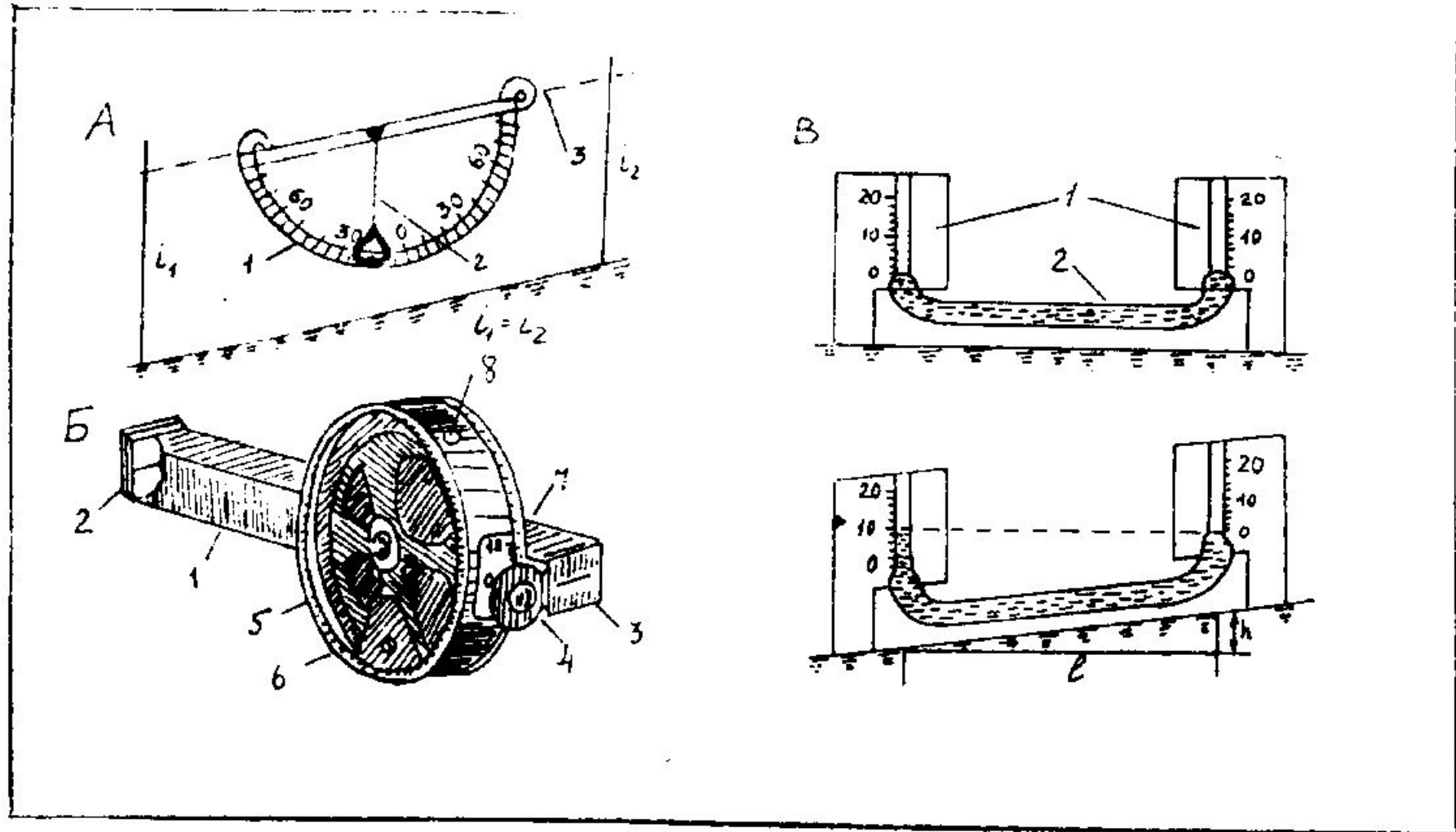
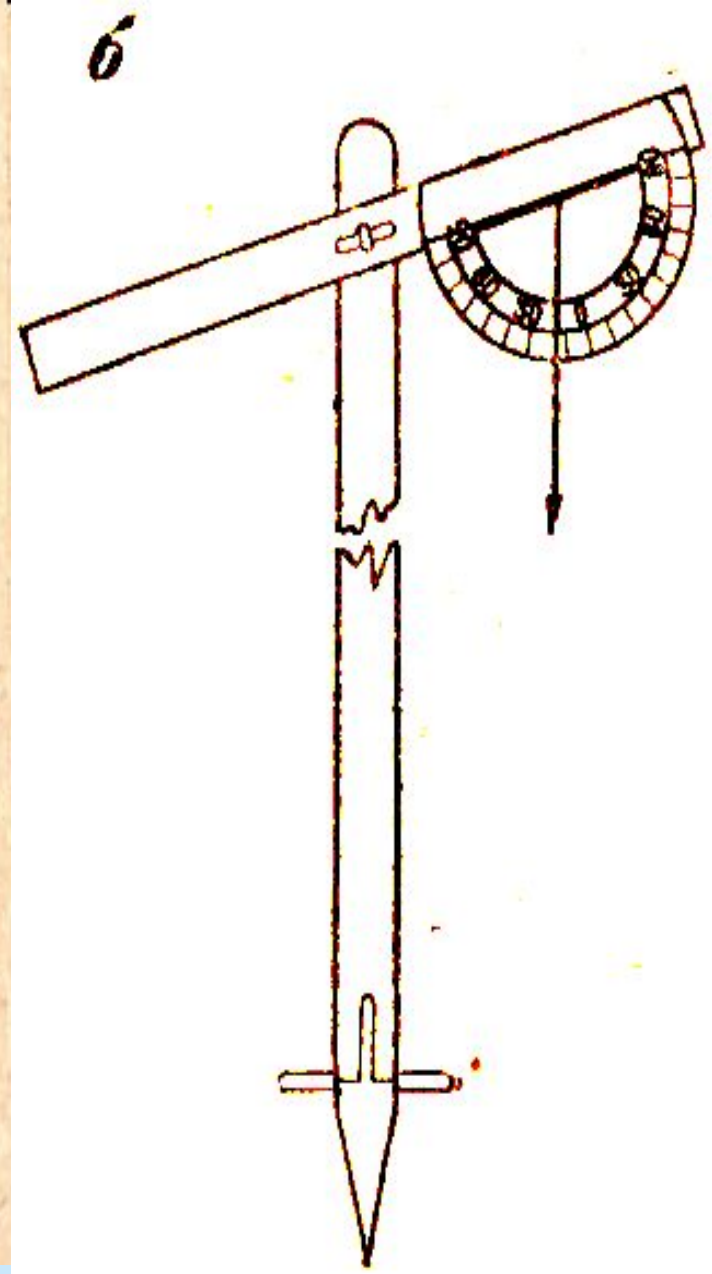
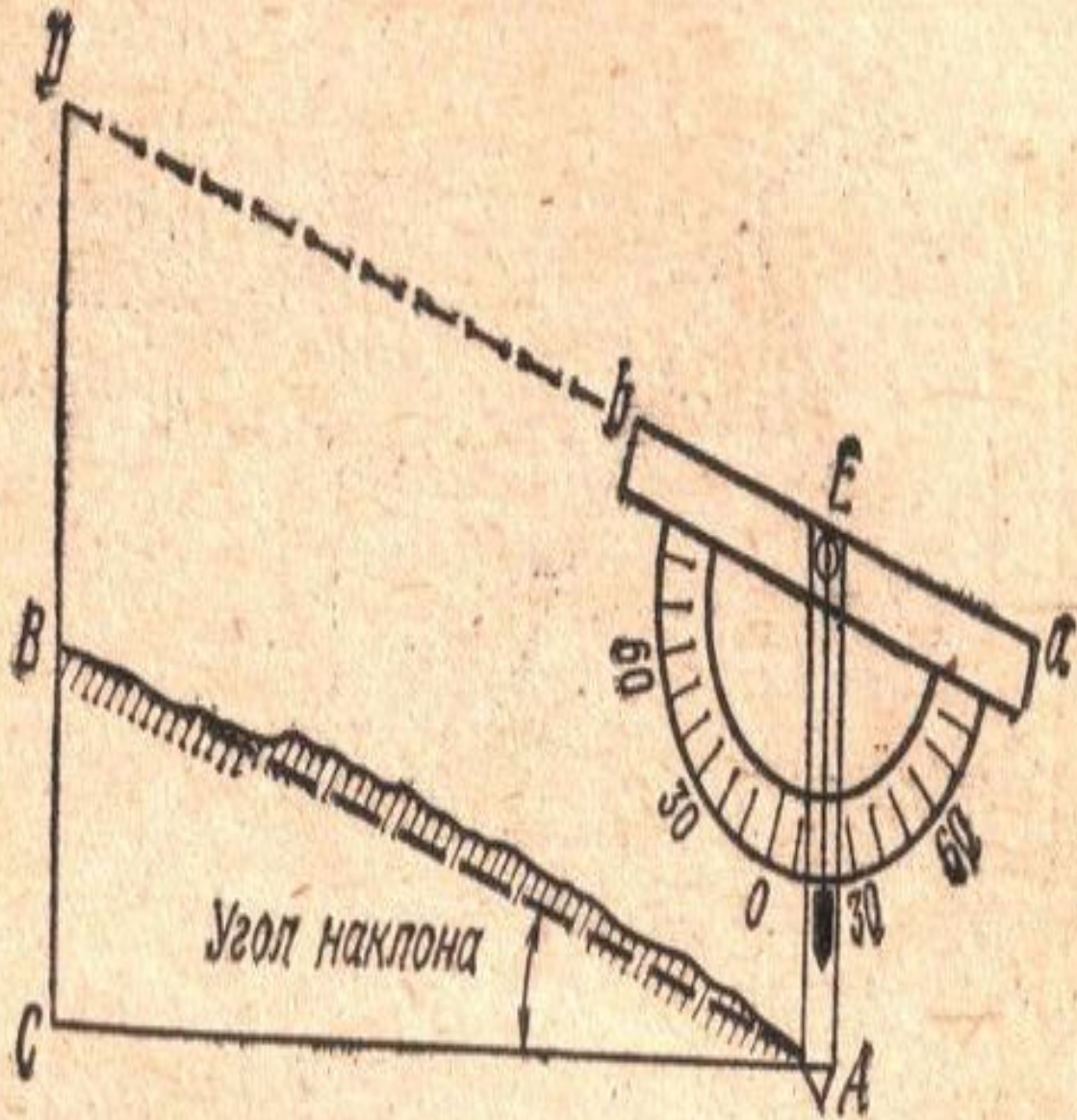


Рис. 2. Приборы для определения вертикальных углов и относительных превышений:

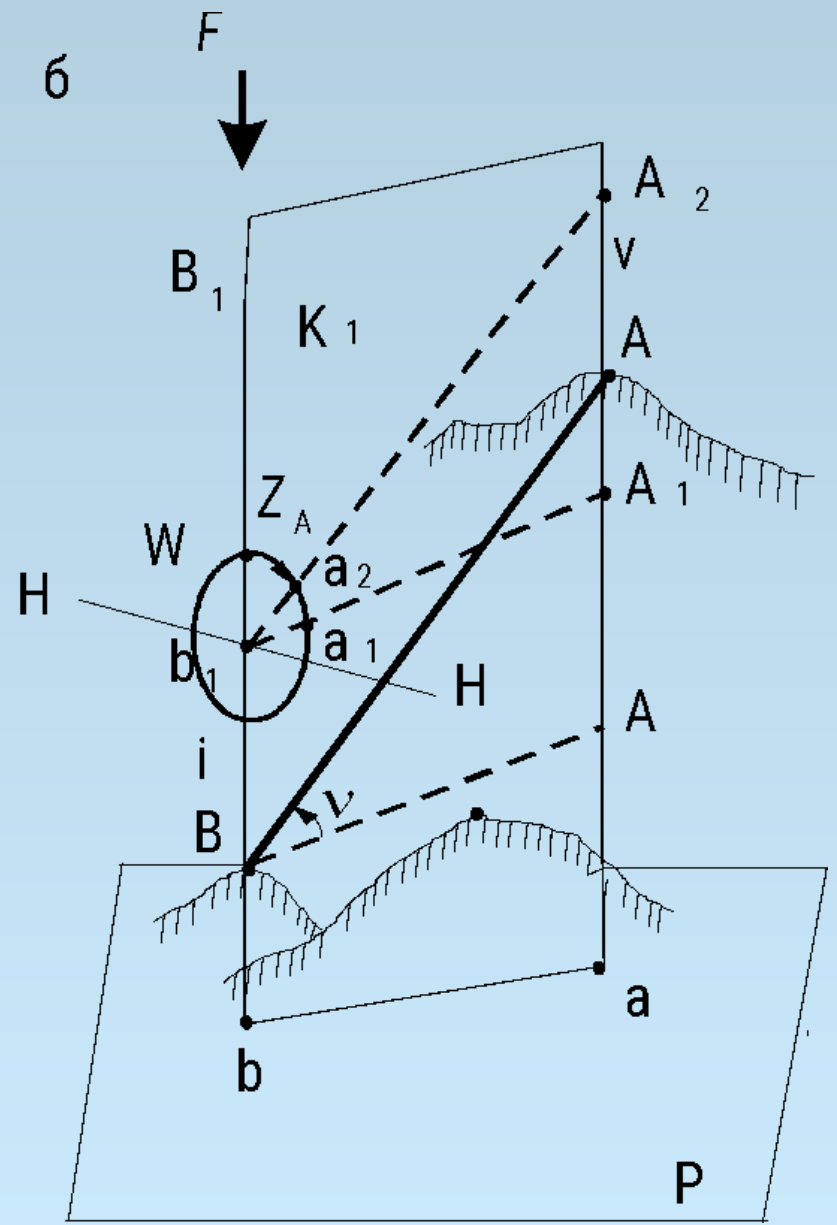
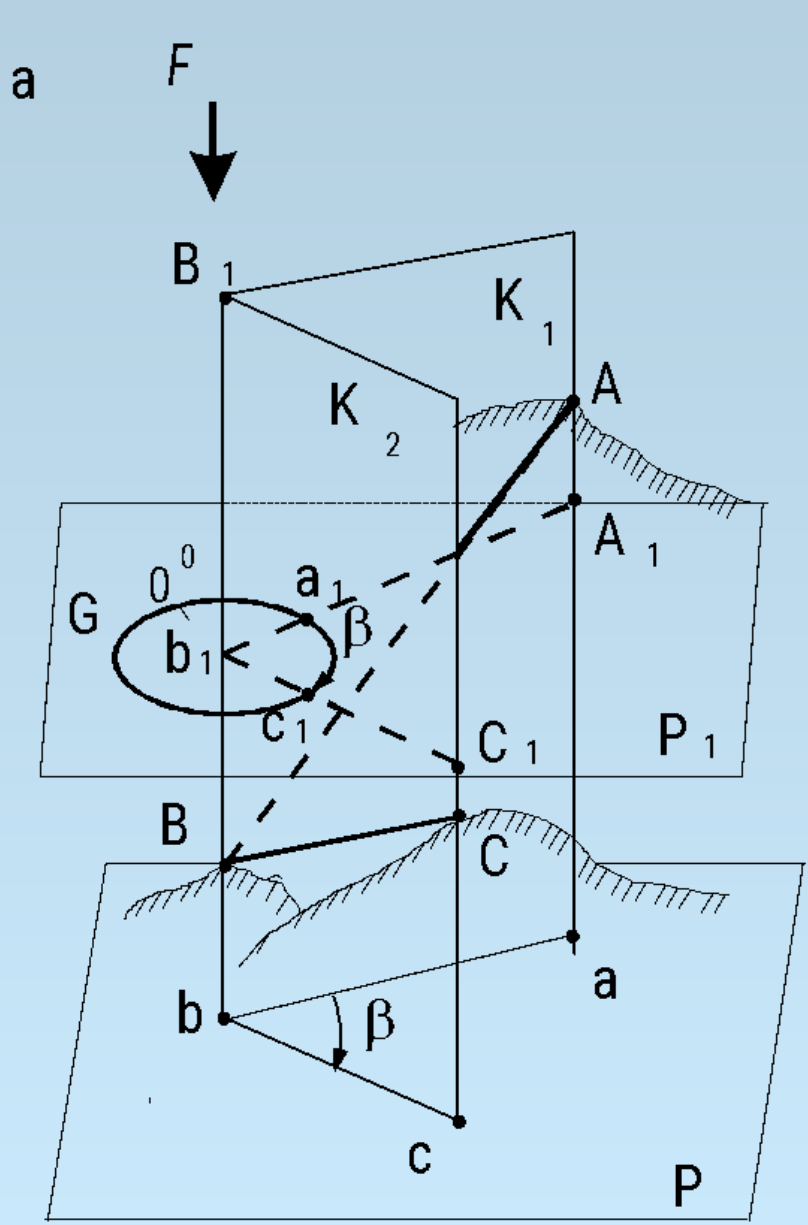
А — простейший эклиметр. 1 — лимб, 2 — указательная стрелка, 3 — мерная лента. Б — эклиметр Брандиса (боковая стенка снята). 1 — визирная трубка с визирной лентой 2, глазной щелью — 3 и лупой 4, 5 — вращающийся барабан с отвесом 6, градусной шкалой — 7 и тормозным устройством. В — гидравлический высотомер; 1 — опорные кронштейны с закрепленными стеклянными трубками и шкалами, 2 — резиновая трубка с водой.





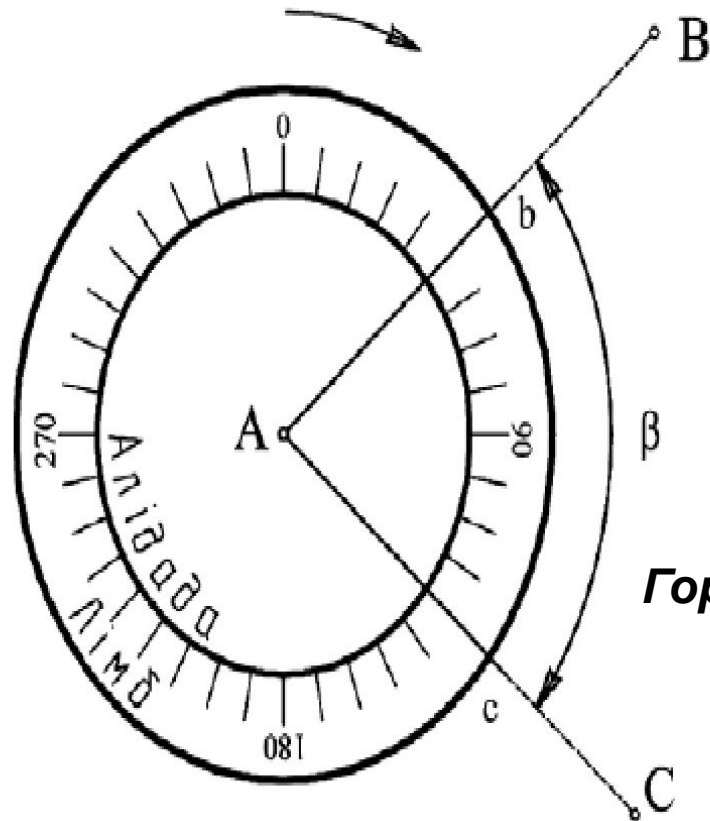


Саморобний екліметр



Геометрична схема куткових вимірювань

При вимірюванні горизонтального кута між напрямками AB і AC , які виходять з вершини вимірюваного кута – точки A , дані напрямки проєктують на горизонтальну площину, і між їх проєкціями Ab і Ac утворюється горизонтальний кут β , який вимірюють теодолітом. Роль горизонтальної площини у теодоліта виконує круг, який називають лімбом. На нього нанесена шкала градусних поділок. Градусні поділки лімба підписані від 0° до 360° за годинн



Горизонтальний круг теодоліт

2. Класифікація теодолітів та їх будова

Теодоліти класифікують за видом матеріалу з якого виготовлений лімб, та за точністю вимірювання кута.

Теодоліти з металевими лімбами відносять до групи **механічних**, теодоліти з скляними лімбами називають **оптичними**.

Сучасні прилади, в яких широко застосовується мікропроцесорна техніка і які обладнані кодовими лімбами, відносяться до **електронно-оптичних** теодолітів.

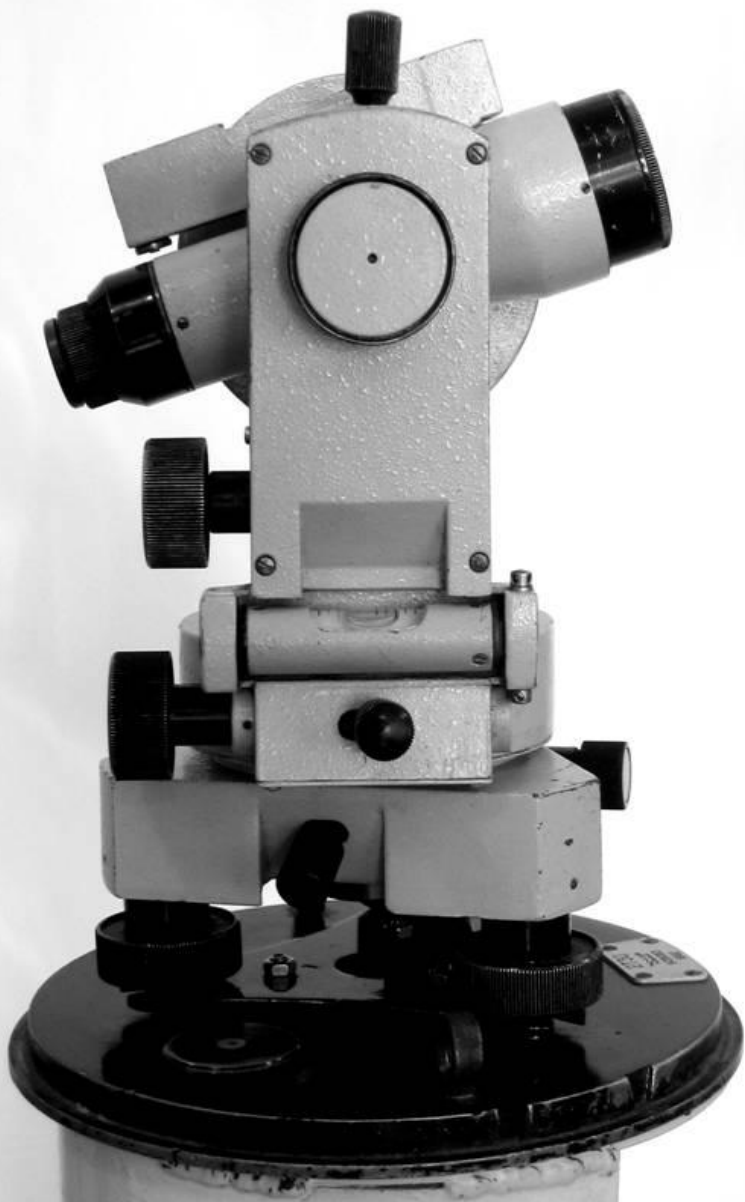
В залежності від точності вимірювання кута, теодоліти ділять на:

- **1) високоточні**, середня квадратична похибка вимірювання кута складає $m\beta = \pm(0,5'' - 1'')$. Сюди відносять теодоліти типу Т1, Т0,5;
- **2) точні**, середня квадратична похибка вимірювання кута складає $= \pm(2'' - 5'') \beta m$. Сюди відносять теодоліти типу Т2, Т5.
- **3) технічні**, середня квадратична похибка вимірювання кута складає $= \pm(15'' - 60'') \beta m$. Сюди відносять теодоліти типу Т15, Т30, Т60.

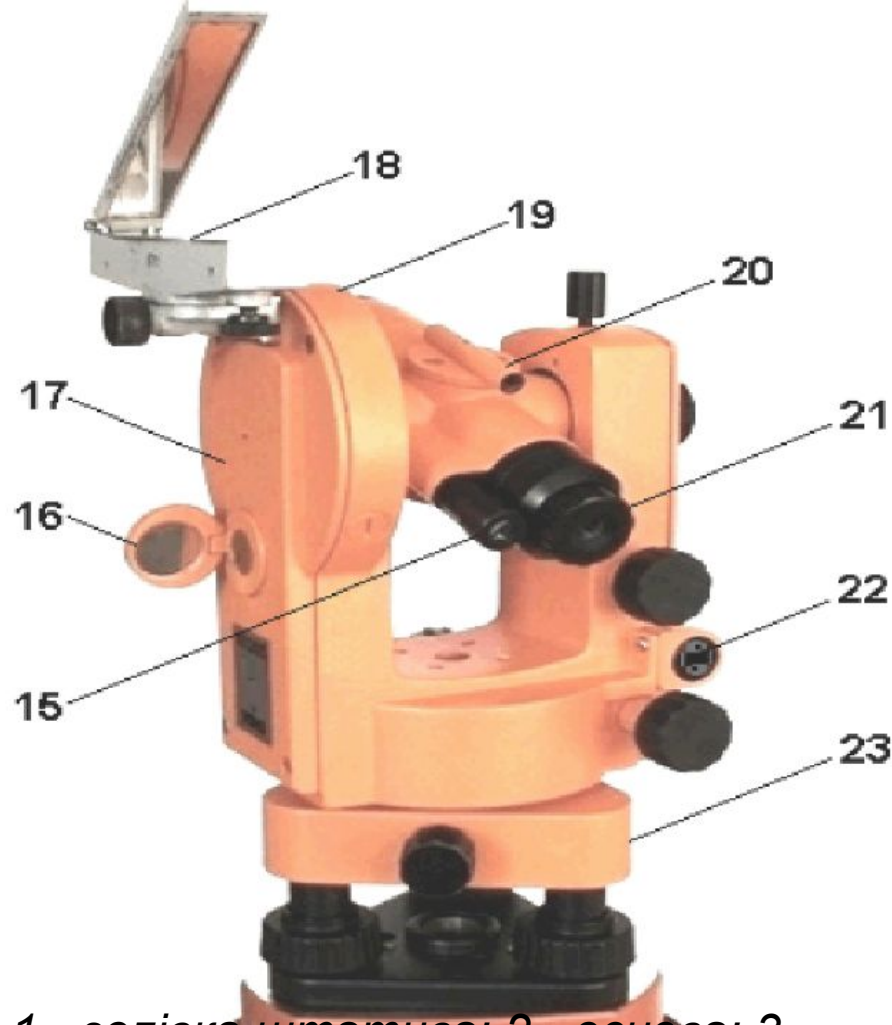
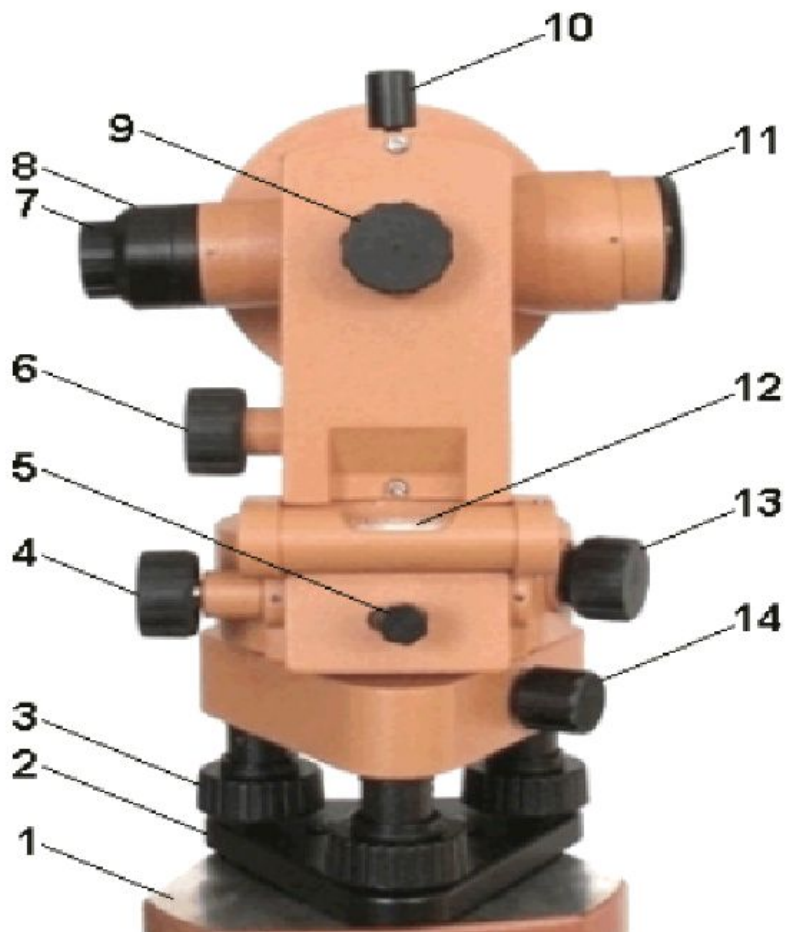
Теодоліти з вертикальним кругом називають **тахеометрами**

Технічні характеристики сучасних теодолітів технічної точності

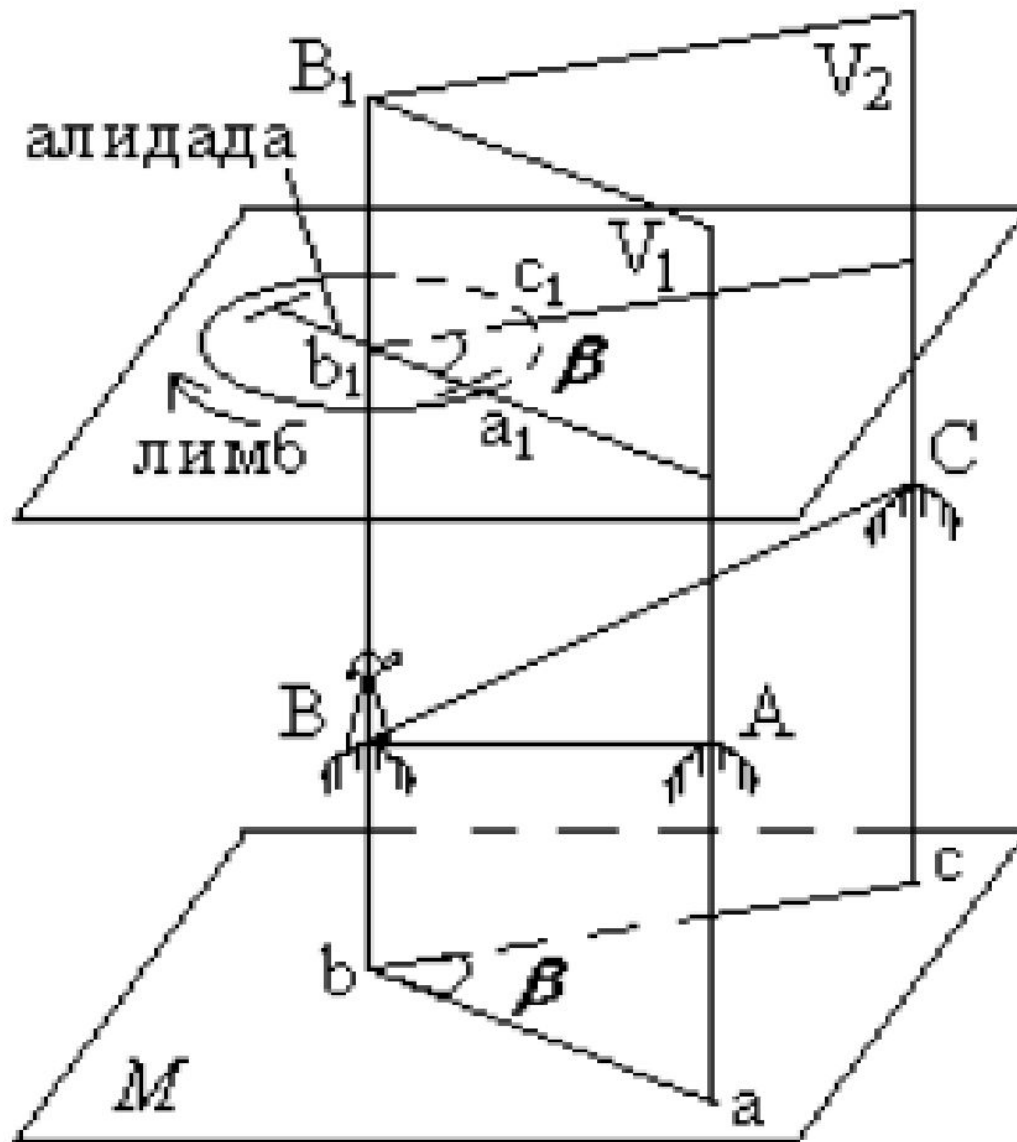
№	Характеристики	T 30	2T30M	4T30П	4T15П
1	Ціна поділки горизонтального та вертикального кругів	10′	1°	1°	10′
2	Діаметр горизонтального круга, мм	72	72	72	72
3	Діаметр вертикального круга	72	72	72	72
4	Тип відлікового пристрою	Штриховий мікроскоп	Шкаловий мікроскоп	Шкаловий мікроскоп	Мікроскоп мікрометр
5	Збільшення зорової труби	18 [×]	21 [×]	20 [×]	20 [×]
6	Ціна поділки рівня горизонтального круга	60″	60″	60″	60″
7	Коефіцієнт ниткового віддалеміра	100	100	100	100
8	Межі фокусування, м	1,2 - ∞	1,0 - ∞	1,2 - ∞	1,2 - ∞
9	Середня квадратична похибка вимірювання горизонтального кута	30″	30″	20″	15″
10	Середня квадратична похибка вимірювання вертикального кута	30″	45″	30″	30″
11	Маса, кг	2,2	3,0	3,5	2,4



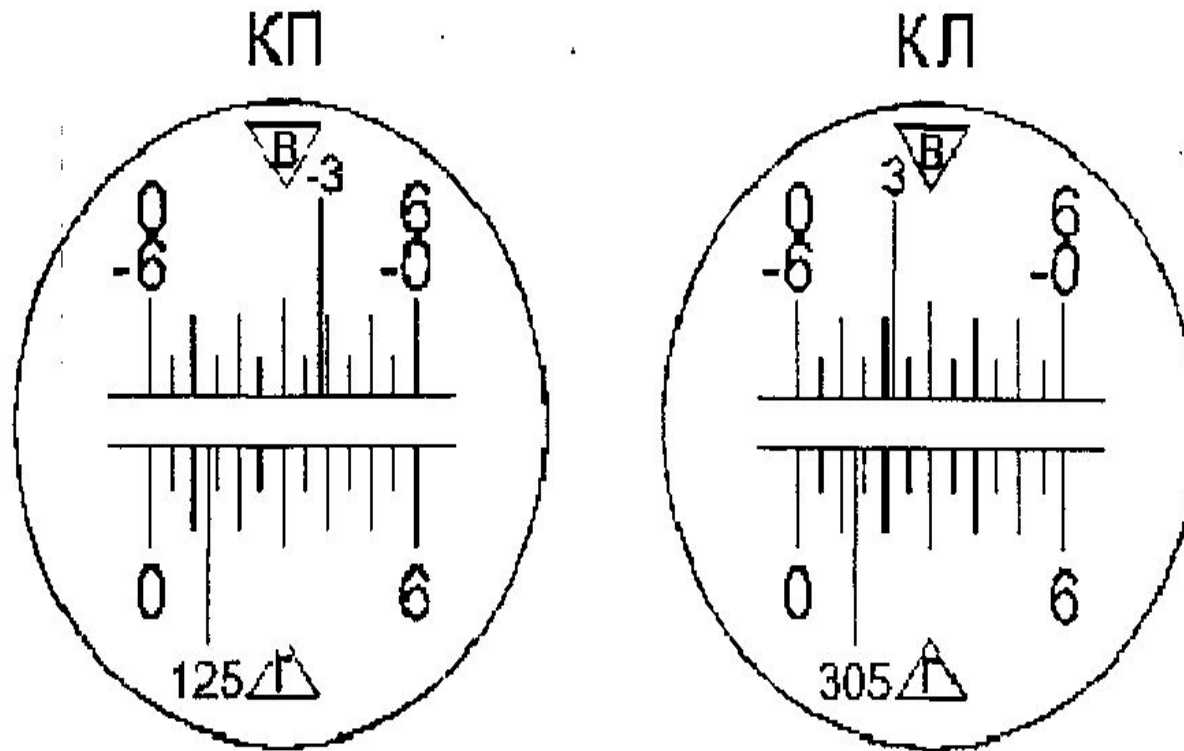
Теодоліт 2Т30



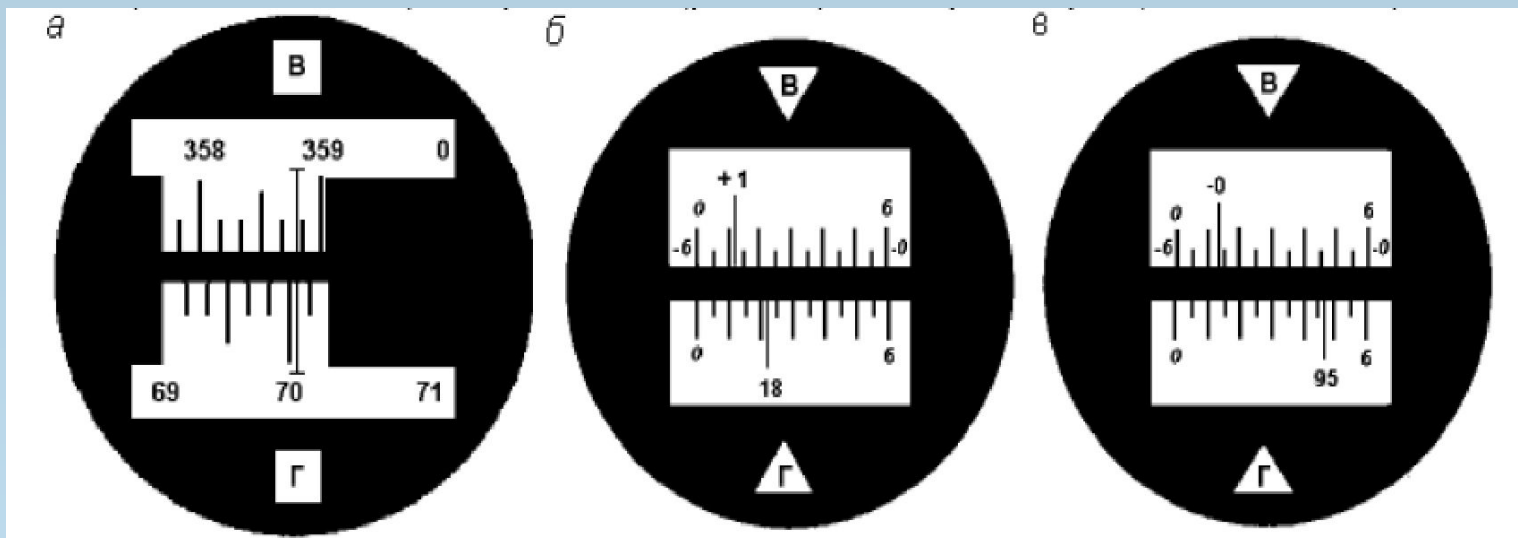
Облаштування теодоліта 4Т30П : 1 - голівка штатива; 2 - основа; 3 - підйомний гвинт; 4 - навідний гвинт алідади; 5 – закріпний гвинт алідади; 6 - навідний гвинт зорової труби; 7 - окуляр зорової труби; 8 - запобіжний ковпачок сітки ниток зорової труби; 9 - кремальєра; 10 - закріпний гвинт зорової труби; 11 – об’єктив зорової труби; 12 - циліндричний рівень; 13 - навідний гвинт лімба; 14 - закріпний гвинт лімба; 15 - окуляр відлікового мікроскопа з діоптрійним кільцем; 16 - люстерко для підсвічування штрихів відрахункового мікроскопа; 17 - колонка; 18 - орієнтир-бусоль; 19 - вертикальний круг; 20 - візир; 21 - діоптрійне кільце окуляра зорової труби; 22 - виправні гвинти циліндричного рівня; 23 – підставка



Принцип вимірювання горизонтальних кутів теодолітом



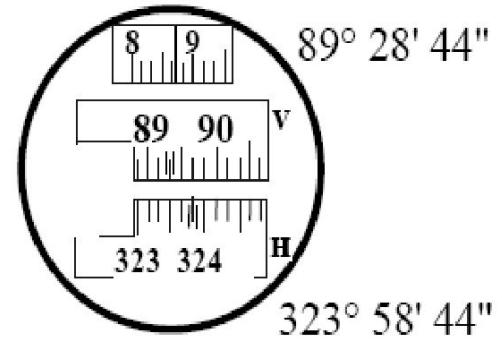
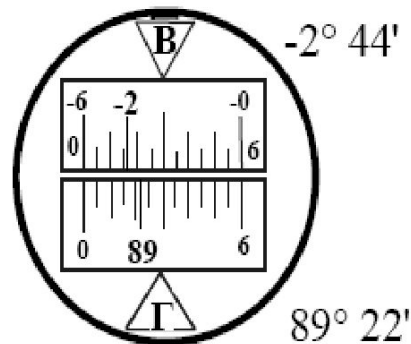
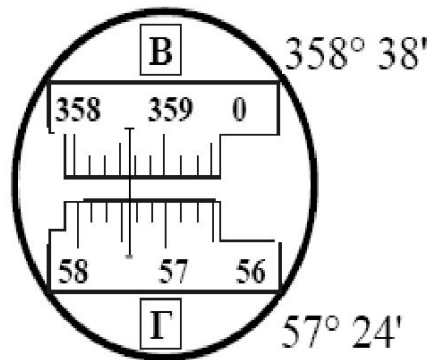
Поле зору теодоліта 2Т30. а) горизонтальний - $125^{\circ}13,5'$; б) горизонтальний - $305^{\circ}13,5'$



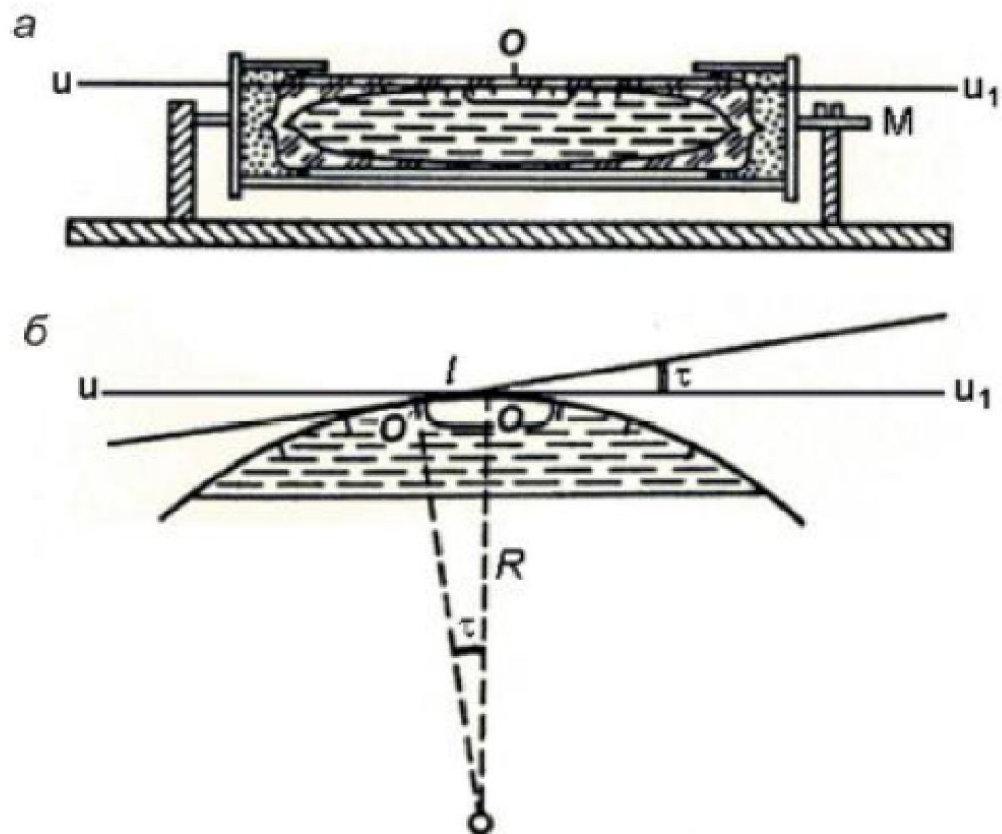
Т30

2Т30П

4Т15П

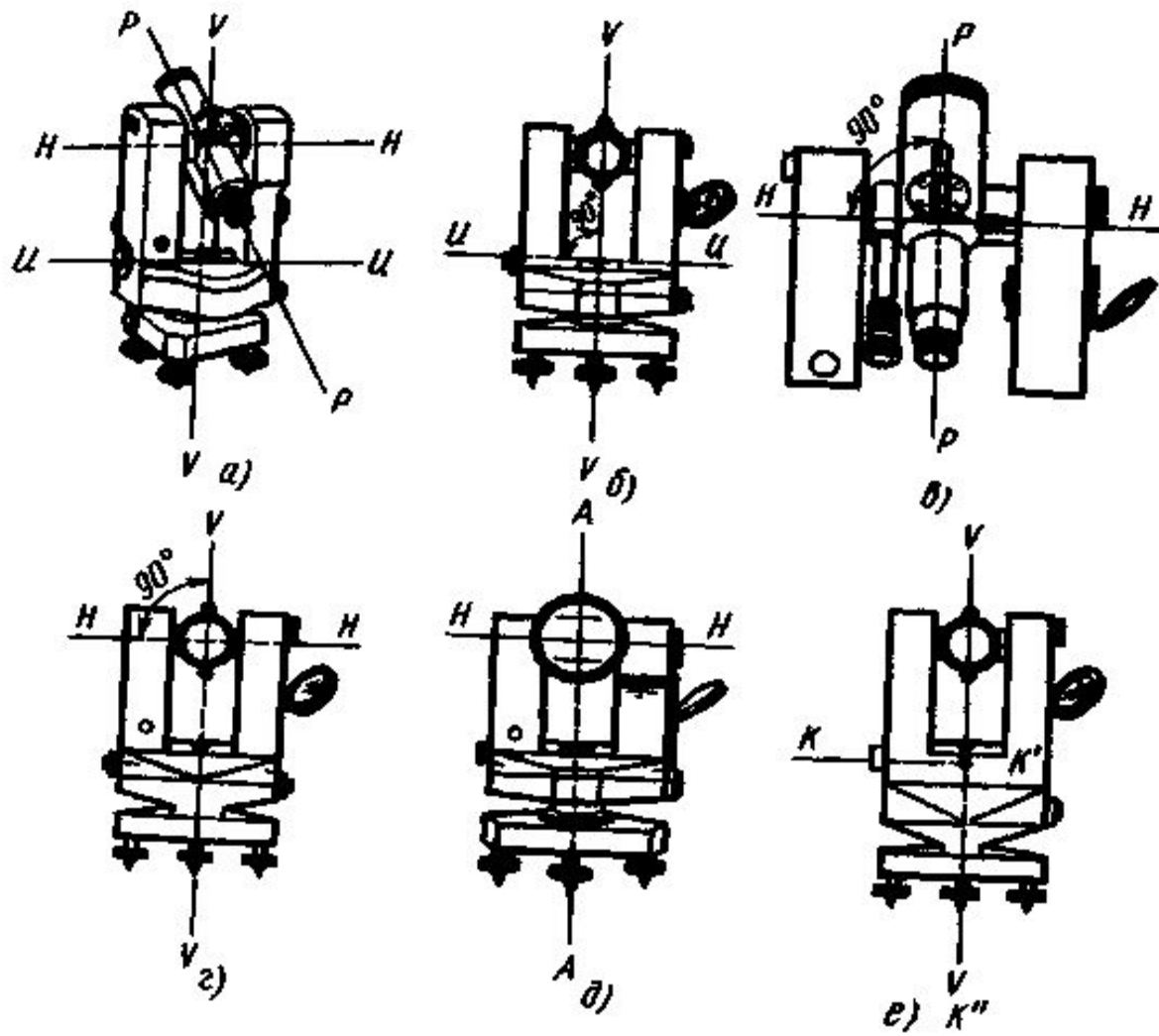


Поля зору відлікових пристроїв : а - штрихового мікроскопа з відліками по вертикальному колу $358^{\circ}48'$, по горизонтальному $70^{\circ}04'$; б - шкалового мікроскопа з відліками: по вертикальному колу $1^{\circ}11,5'$, по горизонтальному $18^{\circ}22'$; по вертикальному колу - $0^{\circ}46,5'$ по горизонтальному - $95^{\circ}47'$

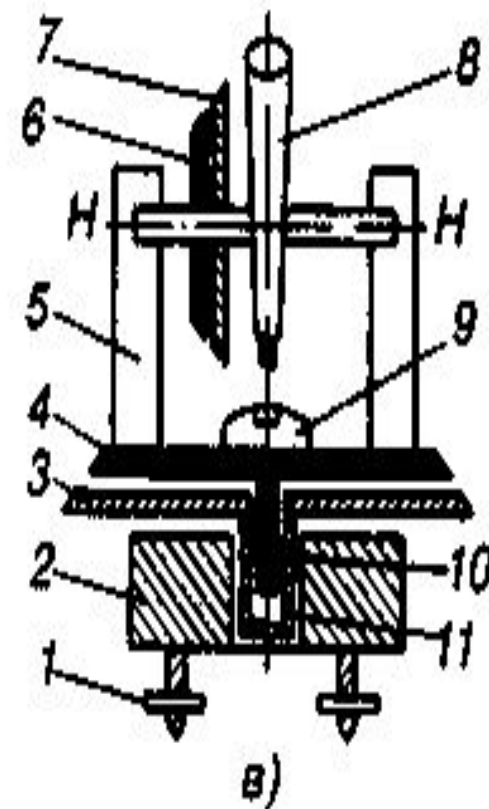
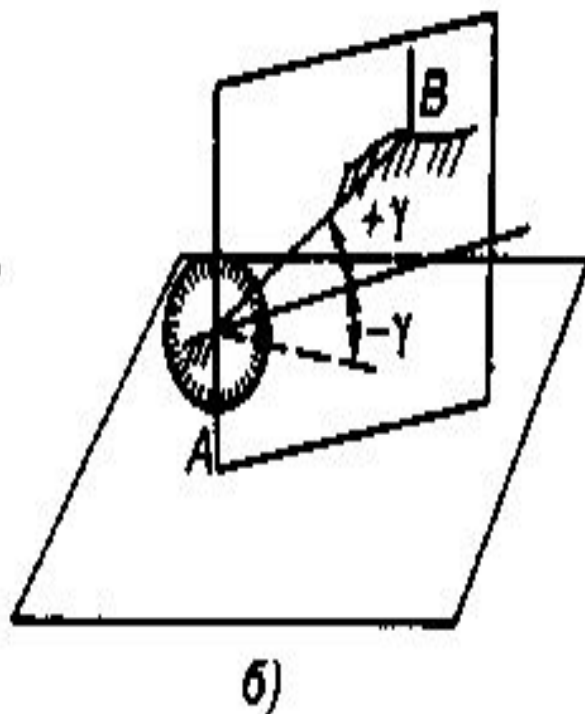
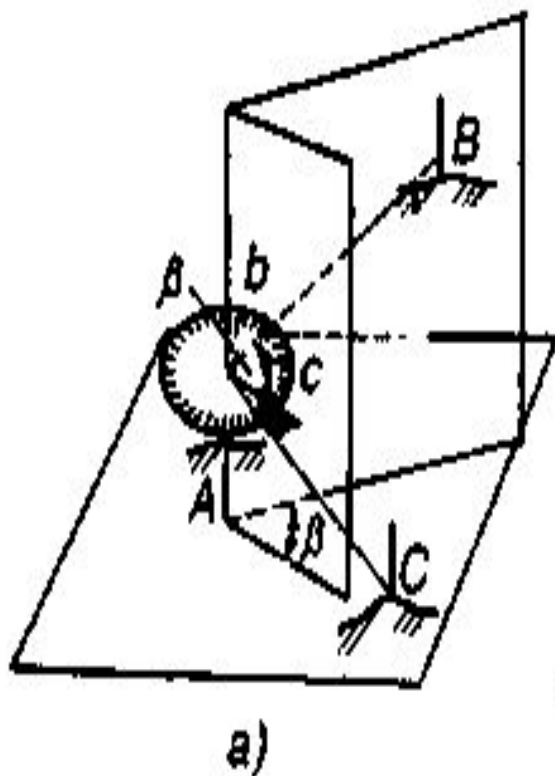


Циліндричний рівень теодоліта

3. Основні юстировки теодоліта



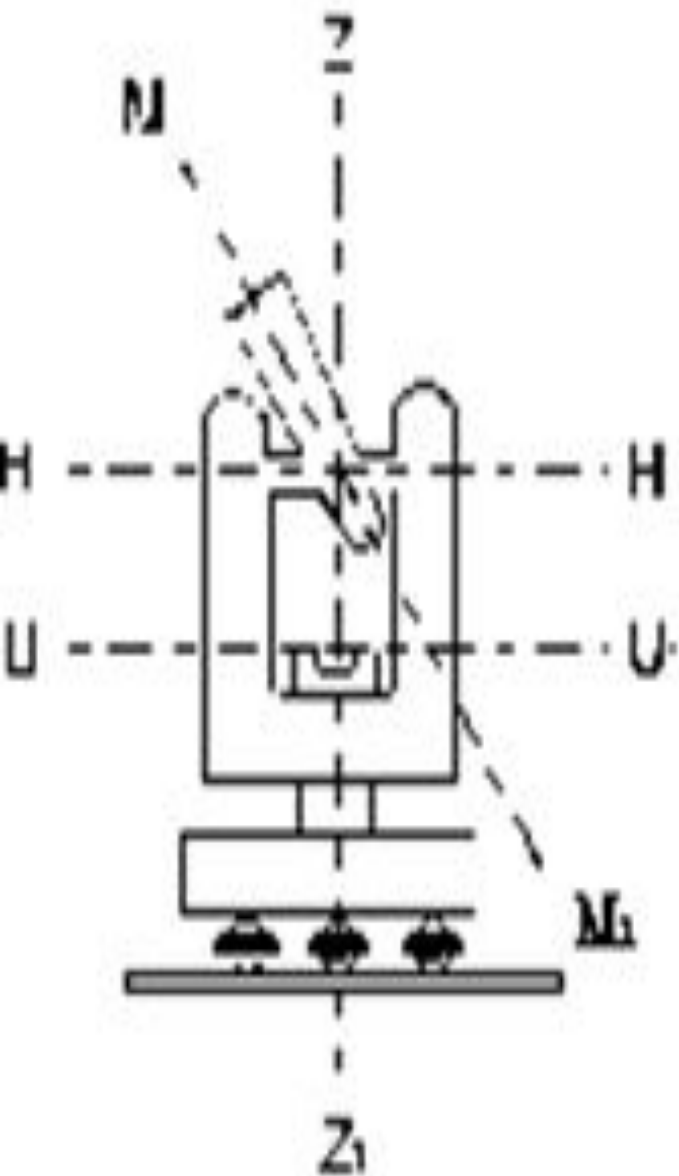
Схеми геометричних осей теодоліта: а - загальна, б - е - при перевірках



Горизонтальний (а), вертикальний (б) кути й принципова схема пристрою теодоліта (в): 1 – гвинт, 2, 5 - підставка, 3, 7 - лімби, 4,6 - алідади, 8 - зорова труба, 9 - рівень, 10, 11 - осі

Повірка 1. Вісь циліндричного рівня (UU_1) горизонтального круга повинна бути перпендикулярною до осі обертання теодоліта (ZZ_1)

Встановлюють теодоліт в робоче положення. Розташовують циліндричний рівень на горизонтальному крузі за напрямком двох піднімальних гвинтів і, обертаючи їх в різні сторони, 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



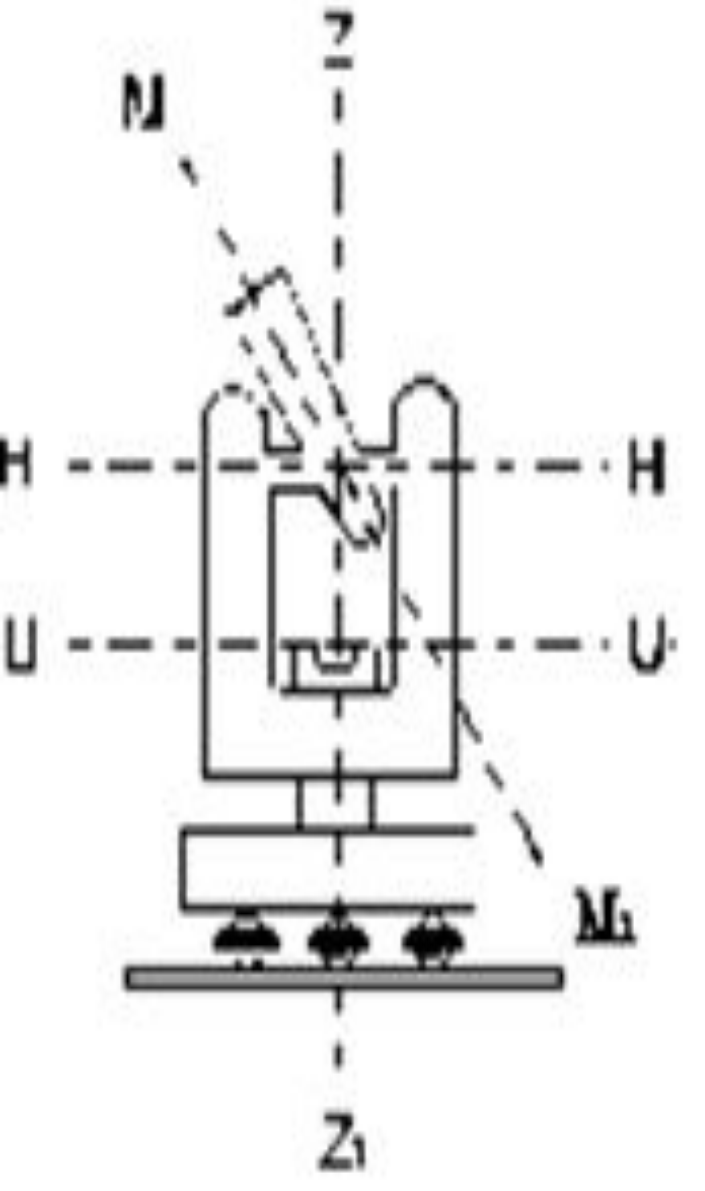
Осі теодоліта



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

На місцевості вибирають далеку точку, яку добре видно і наводять на неї зорову трубу при КП. Знімають відлік з горизонтального круга КП1. Після цього відкріплюють закріпні гвинти алідади горизонтального круга та зорової труби, переводять трубу через зеніт і при КП наводять її на ту ж саму точку, що і при КП1. З горизонтального круга знімають відлік КЛ1. Для теодолітів Т30 і 2Т30 повторюють наведення на цю ж точку і знімають відліки КЛ2 і КП2. При цьому горизонтальний круг відкріплюють у підставці і обертають його приблизно на 180° . За отриманими відліками з горизонтального круга обчислюють колімаційну помилку за формулою:

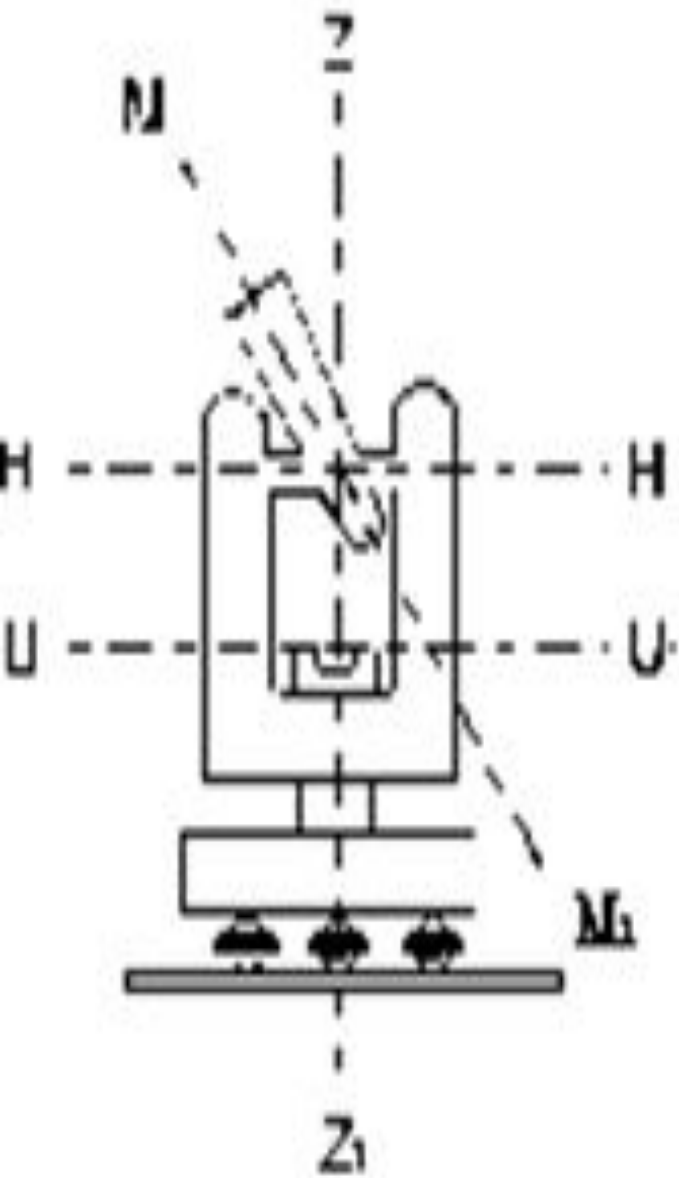
$$c = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{4}$$



Осі теодоліта

Повірка 3. Горизонтальна вісь обертання зорової труби (HH_1) повинна бути перпендикулярною до вертикальної осі обертання теодоліта (ZZ_1)

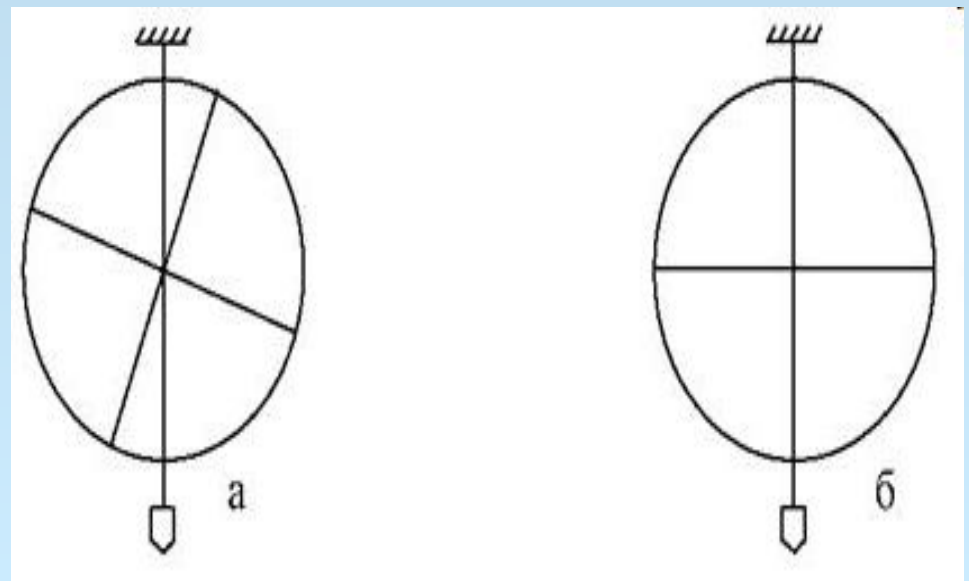
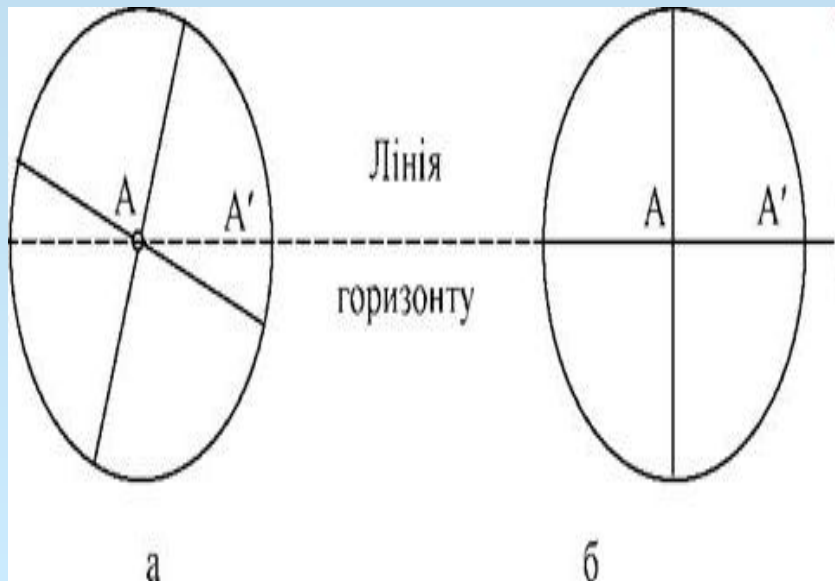
На відстані від стіни будинку 20-30 м встановлюють теодоліт в робоче положення і наводять центр візирної сітки на точку, яка розташована в верхній частині стіни. За допомогою зорової труби теодоліта проєктують точку вниз на висоту приладу і позначають на стіні її проєкцію. Після цього переводять трубу через zenit і при другому положенні круга таким же способом одержують другу проєкцію. Якщо обидві точки знаходяться в межах бісектору ниток, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстування в спеціальних майстернях.

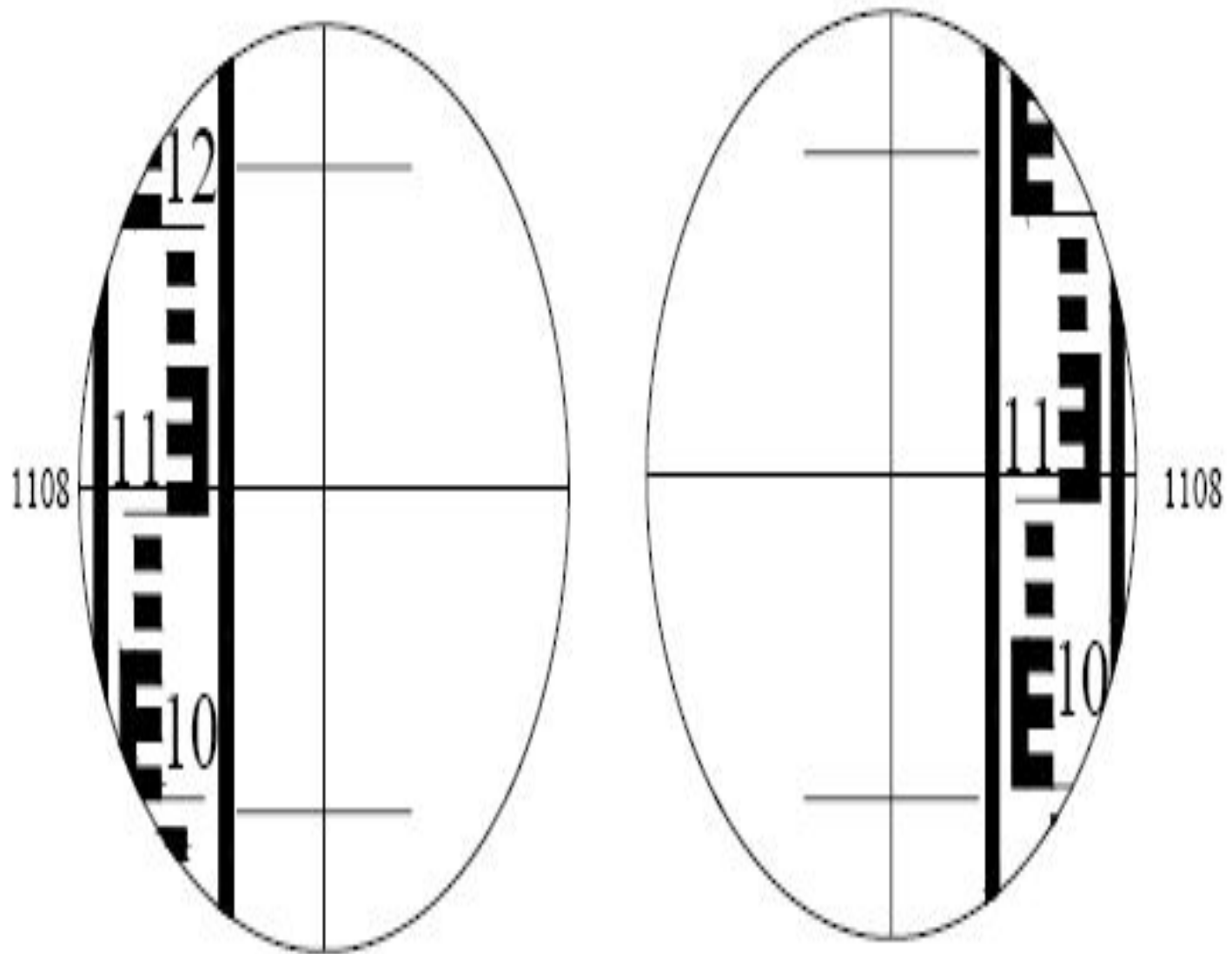


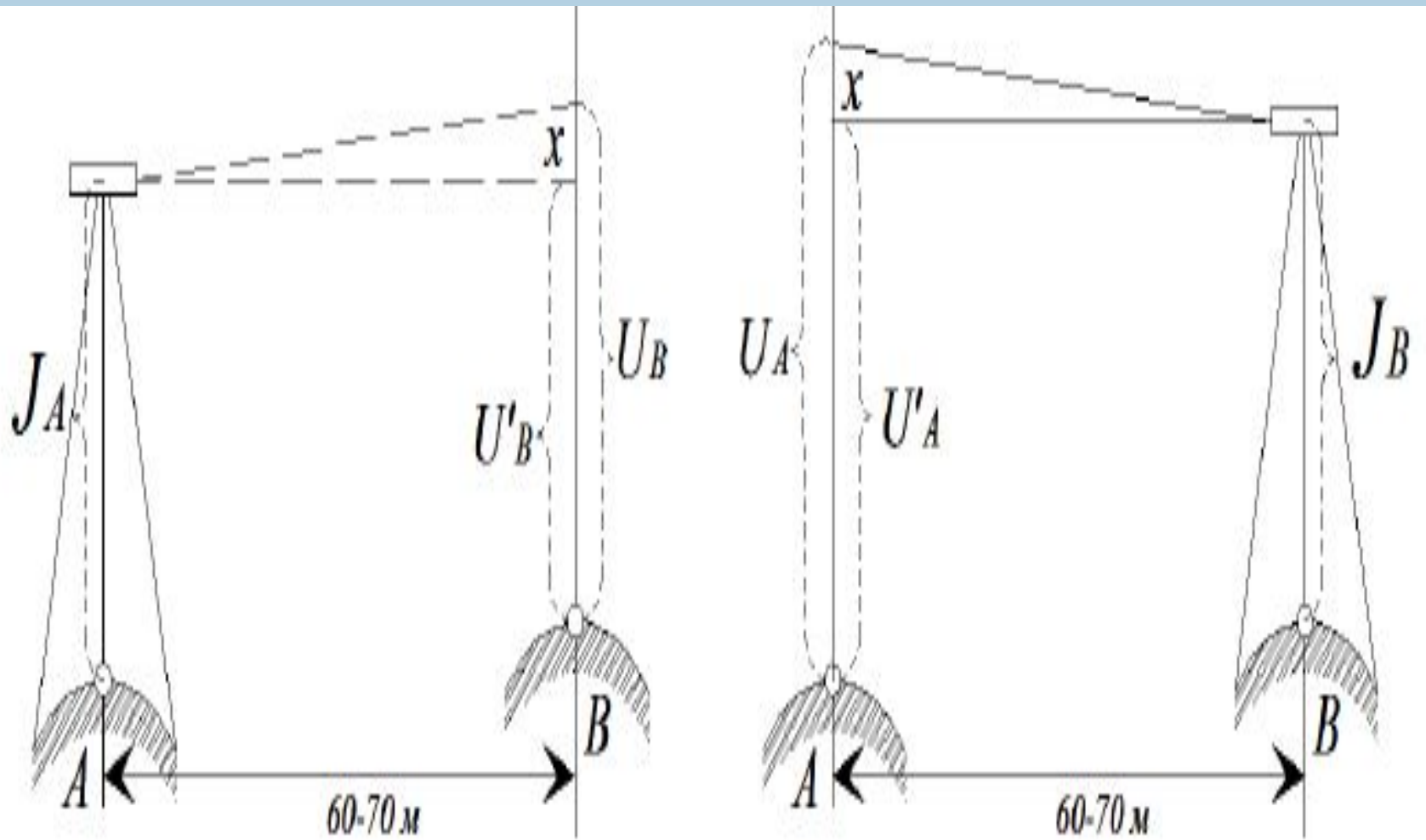
Осі теодоліта

Повірка 4. Один із штрихів сітки ниток повинен бути горизонтальним, а другий знаходитись у вертикальній площині.

Приводять вертикальну вісь приладу в прямовисне положення і наводять центр візирної сітки на нитку закріпленого в 5-10 м від приладу виска. Якщо при підніманні і опусканні труби вертикальна нитка співпадає з лінією виска, то умова виконана. В іншому випадку виконують юстування. Другий варіант виконання перевірки. Наводять центр візирної сітки на добре видиму точку. Якщо при обертанні теодоліту вліво і праворуч точка не відхиляється від горизонтального штриха, то умова виконується.







Перевірка головної умови

Повірка 5. Визначення місця нуля вертикального круга. Місце нуля - це відлік по вертикальному кругу при положенні зорової труби "круг ліворуч" або "круг праворуч", коли візирна вісь горизонтальна й алідада вертикального круга встановлена за її рівнем в положення, якого вона набуває при вимірюванні вертикальних кутів.

Установлюють за рівнем вісь обертання теодоліта в прямовисне положення. При "крузі праворуч" візують трубу на віддалену точку, яку чітко видно. Виводять бульбашку рівня біля алідади вертикального круга на середину й беруть відлік по вертикальному кругу R_B . Переводять трубу через зеніт і візують трубу на ту саму точку. Знову при необхідності виводять бульбашку рівня при алідаді вертикального круга на середину й беруть відлік по вертикальному кругу L_B .

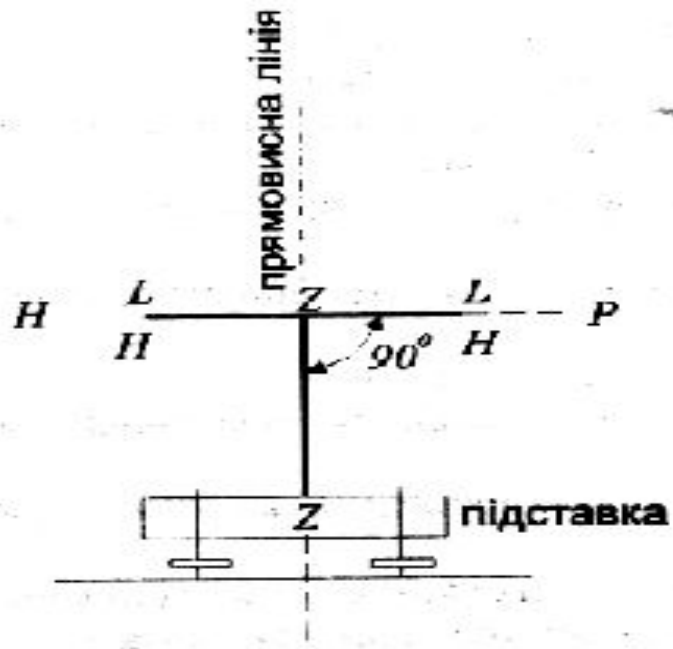
$$MO = (R_B + L_B \pm 360^\circ) \leq 2t .$$

$$MO = 0,5 (L_B + R_B) .$$

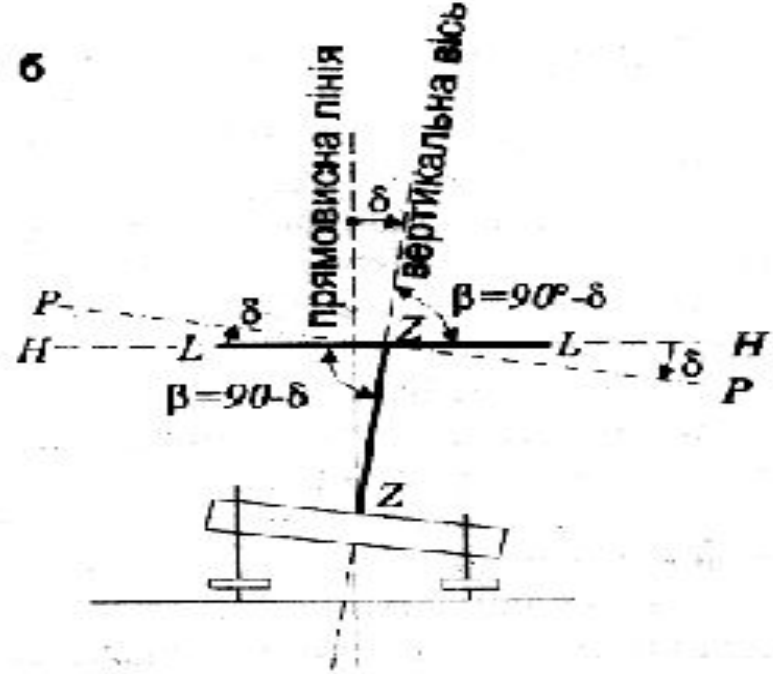
$$v = 0,5 (L_B - R_B - 180^\circ) .$$

$$MO = (R_B + L_B \pm 180^\circ) \leq 2t .$$

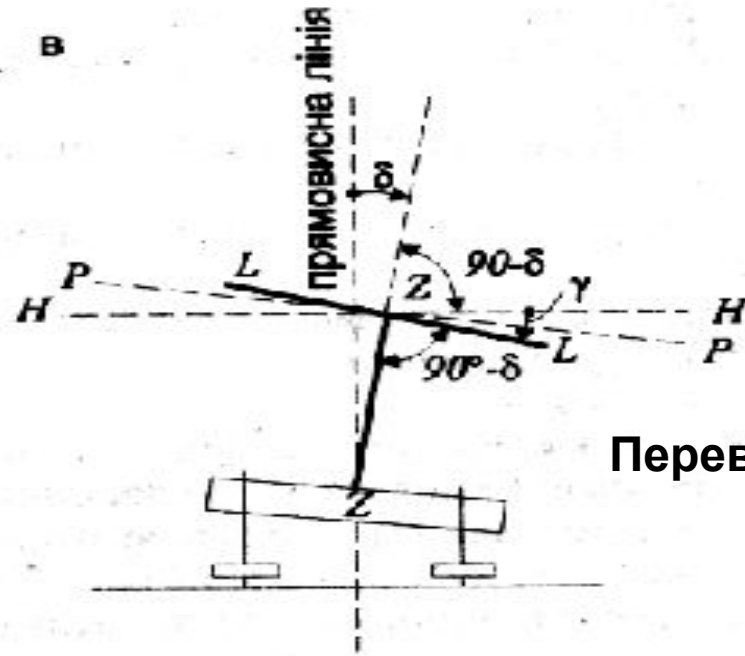
а



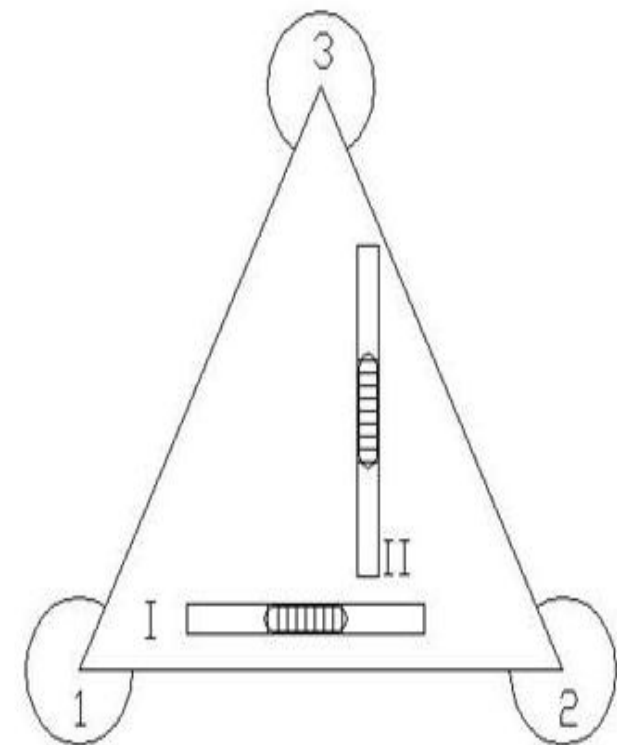
б



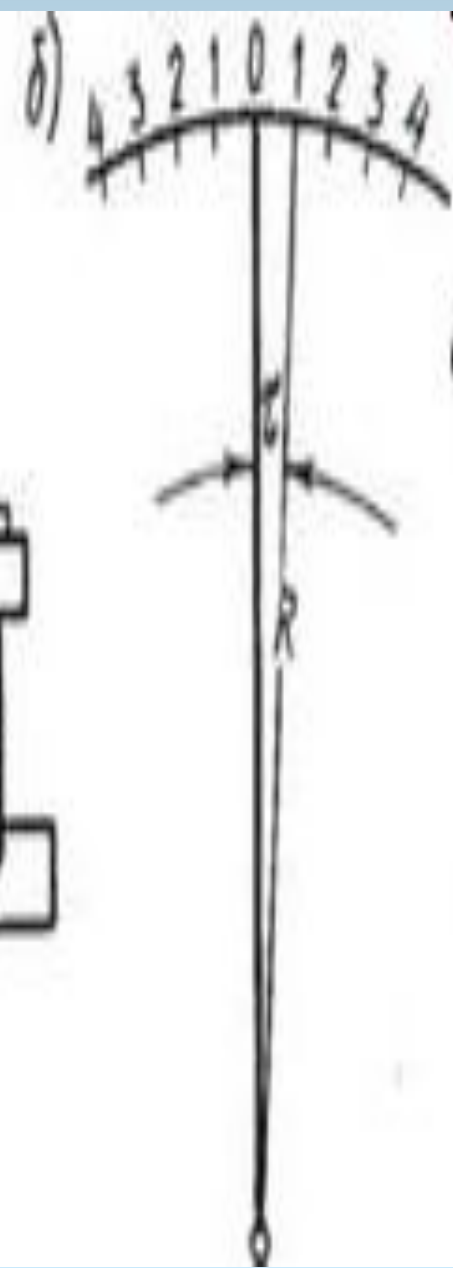
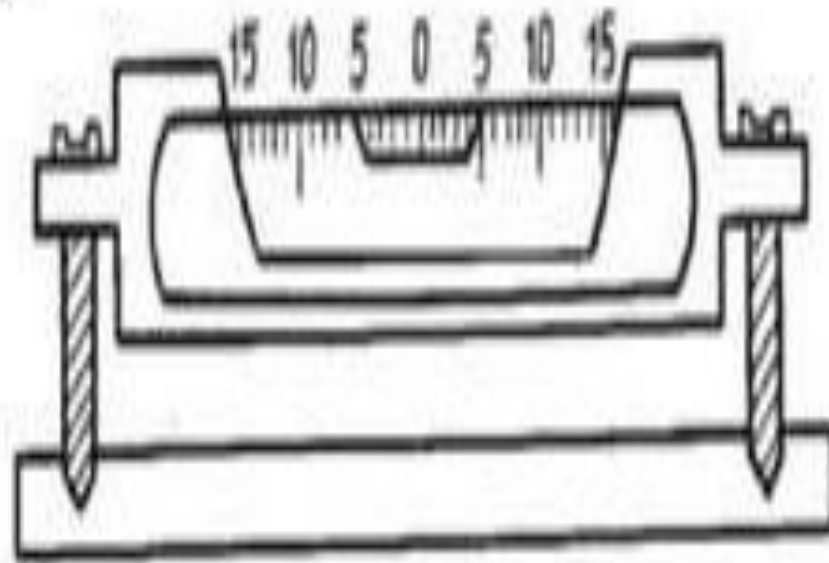
в



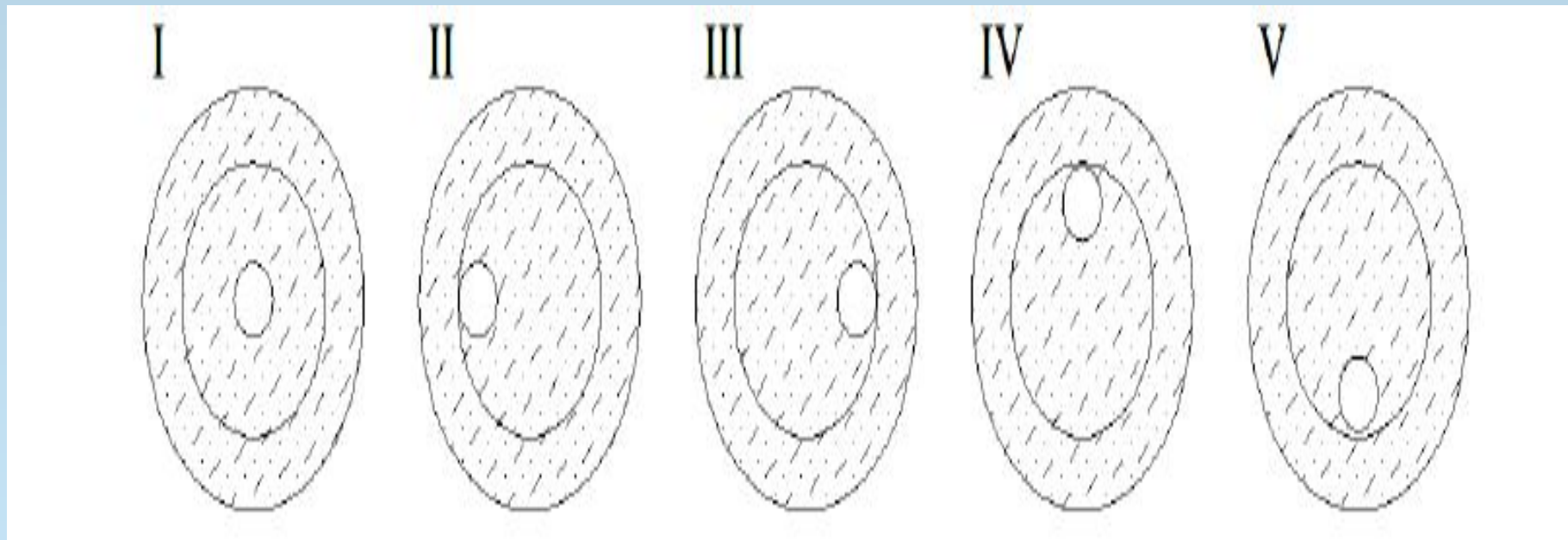
Перевірка установчого рівня
теодоліта



а)



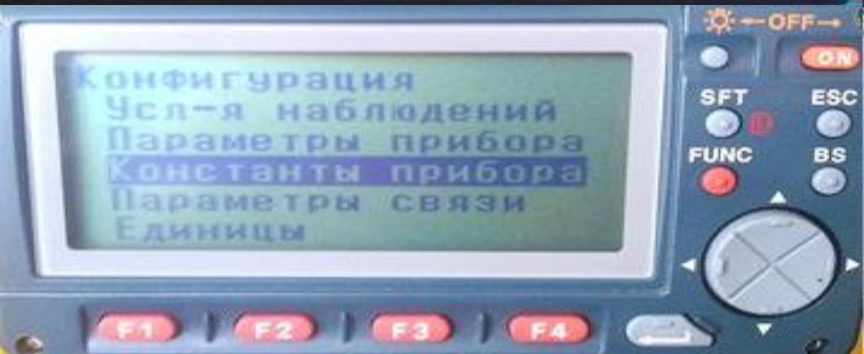
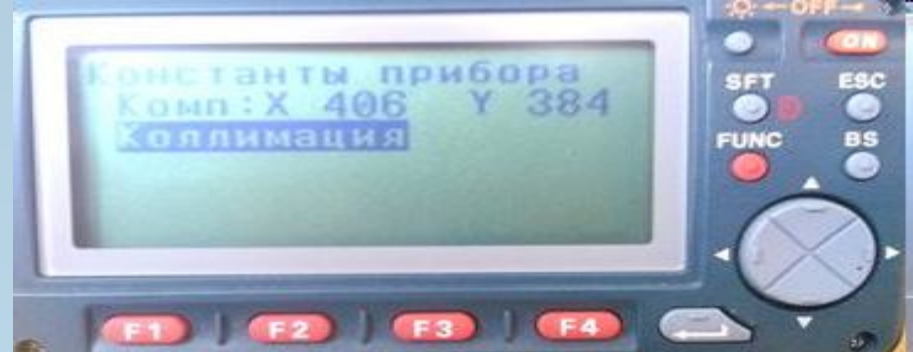
Циліндричний рівень: а - будова рівня; б - ціна ділення рівня



Положення бульбашки круглого рівня при визначенні похибки компенсації



Автоколімаційна установка для перевірки нівелірів і теодолітів АУПНТ



***4. Вимірювання горизонтальних та
вертикальних кутів способом
прийомів***

Вимірювання горизонтального кута

Перший напівприйом.

- При положенні вертикального круга, наприклад, зліва, зорому трубу наводять на праву точку. В мікроскопі беруть відлік $U_{ПР}$ по шкалі горизонтального круга.
- Відкріплюють алідаду, візують на ліву точку і беруть відлік $U_{ЛВ}$.
- Обчислюють значення горизонтального кута за формулою

$$\beta_{КЛ} = U_{КЛ}^{пр} - U_{КЛ}^{ле}$$

Другий напівприйом.

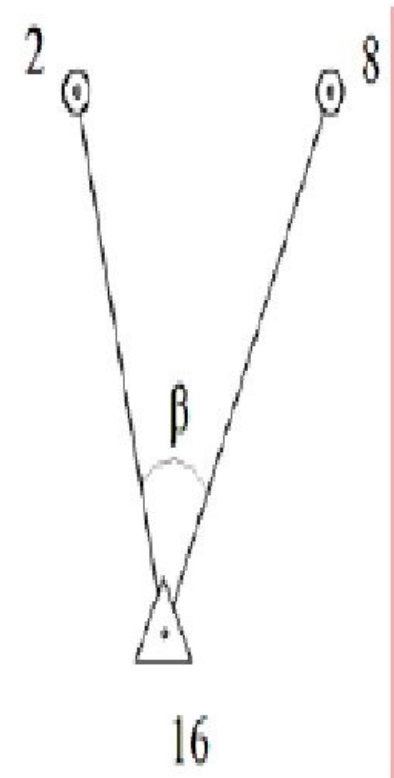
- Виконується для контролю вимірювань.
- Трубу переводять через зеніт і змінюють, таким чином, положення вертикального круга на протилежне – КП.
- Повторюють дії першого напівприйому.
- Обчислюють значення горизонтального кута, виміряного при крузі праворуч за формулою

$$\beta_{КЛ} = U_{КЛ}^{пр} - U_{КЛ}^{ле}$$

- Порівнюють результати: Якщо умова виконується, обчислюють середнє значення кута. Результат записують до журналу $\Delta\beta = |\beta_{КЛ} - \beta_{КП}| \leq 1'$

№ точки		Положення ВК	Горизонтальний кут		Схема розташування точок
СТОЯННЯ	візування		Відлік по ГК	З полу-прийому β °'	
1	2	3	4	5	6
	8	КЛ	$100^{\circ}30.5'$	$90^{\circ}20.5'$	
16	2	КЛ	$10^{\circ}10.0'$		$90^{\circ}21.0'$
	8	КП	$280^{\circ}31.5'$	$90^{\circ}21.5'$	
	2	КП	$190^{\circ}10.0'$		

Схема розташування точок



Журнал вимірювання горизонтального кута

Принцип **вимірювання кутів нахилу**, які знаходяться у вертикальній площині, полягає у визначенні кута між горизонтальною лінією і напрямком на точку візування.

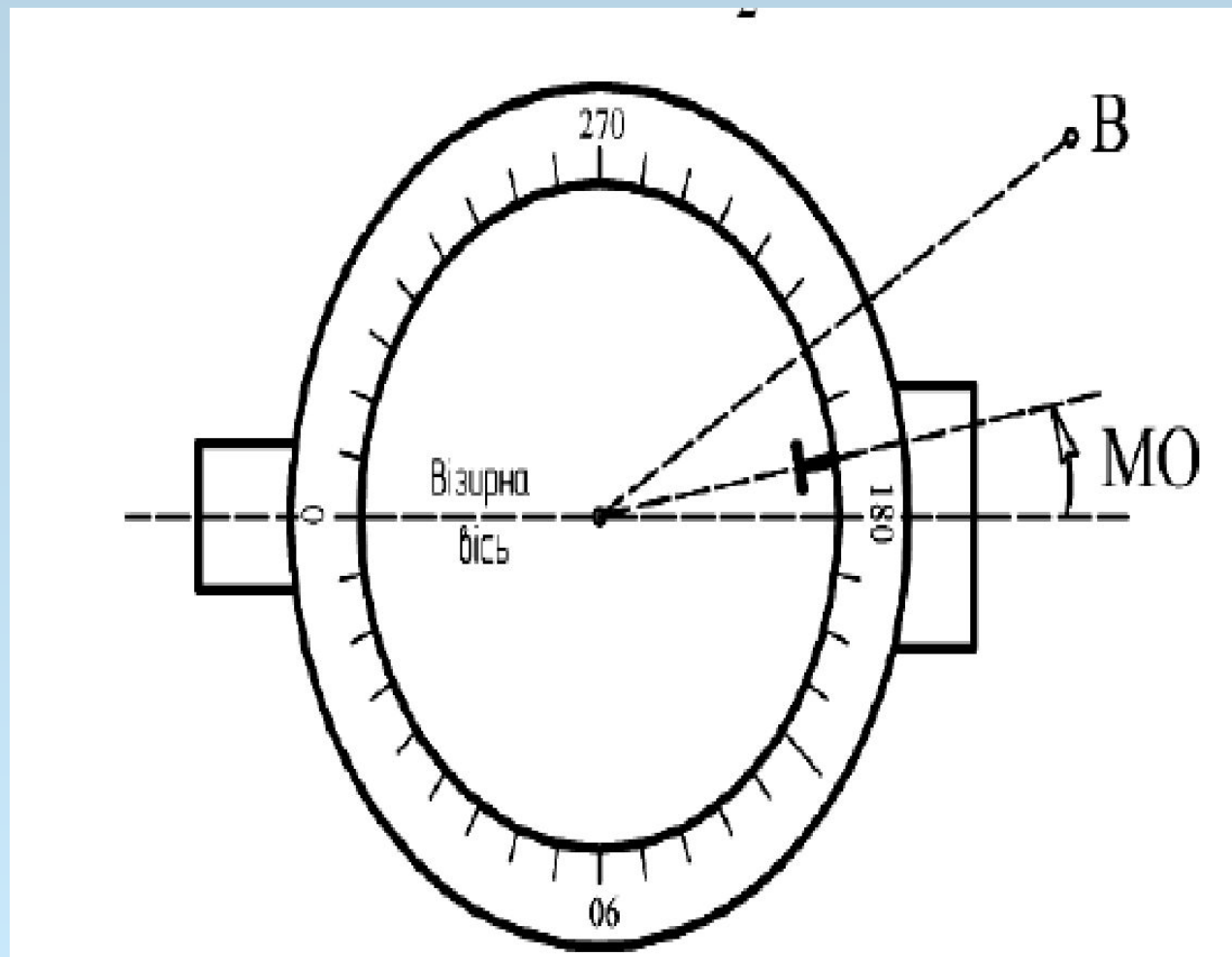
Для **вертикального круга теодоліта** має виконуватись умова: при сполученні нуля лімба зі штрихом відлікового пристрою візирна вісь зорової труби має бути у горизонтальному положенні. Ця умова не завжди виконується.

А відлік по вертикальному кругу при горизонтальному положенні візирної осі зорової труби називається **місцем нуля (МО)** вертикального круга.

Кут нахилу вимірюють двічі (при двох положеннях вертикального круга).

Спочатку обчислюють **МО** за формулою

$$MO = \frac{U_{КП}^{BK} - U_{КЛ}^{BK} \pm 180^\circ}{2}.$$



Вертикальний круг теодоліта

Обчислюють значення кута нахилу за однією з о

$$\nu = KЛ - MO,$$

$$\nu = MO - KП \pm 180^\circ$$

- Результати вимірювання заносять до

№ точки		Положення ВК	Відлік по ВК	МО	Кут нахилу, ν	Схема розміщення точок
СТОЯННЯ	ВІЗУВАННЯ					
1	2	3	4	5	6	
16	8	КЛ	$9^\circ 05.5'$	$0^\circ 01.0'$	$9^\circ 04.5'$	
	8	КП	$170^\circ 55.5'$			

Журнал вимірювання кута нахилу

***5. Теодолітний хід. Математична
обробка результатів вимірювань у
теодолітному ході.***

Теодолітний хід слугує зйомочною основою для виконання топографічних зйомок. Теодолітні ходи проектують на існуючих картах та планах крупного масштабу у вигляді замкнених полігонів і розімкнених ходів. Вибір точок теодолітного ходу виконують у польових умовах. **При цьому дотримуються наступних вимог.**

- 1. Потрібно забезпечити гарну видимість суміжних точок ходу і якомога більшої кількості об'єктів місцевості в радіусі 100 – 150 м.
- 2. Місце навколо станції має бути зручним для встановлення теодоліта.
- 3. Необхідно потурбуватись про довгострокове збереження точки.
- 4. Довжини ліній теодолітного ходу мають бути в межах 40 – 350 м.
- 5. Лінії між точками мусять проходити по місцевості, найбільш зручній для виконання лінійних вимірювань.

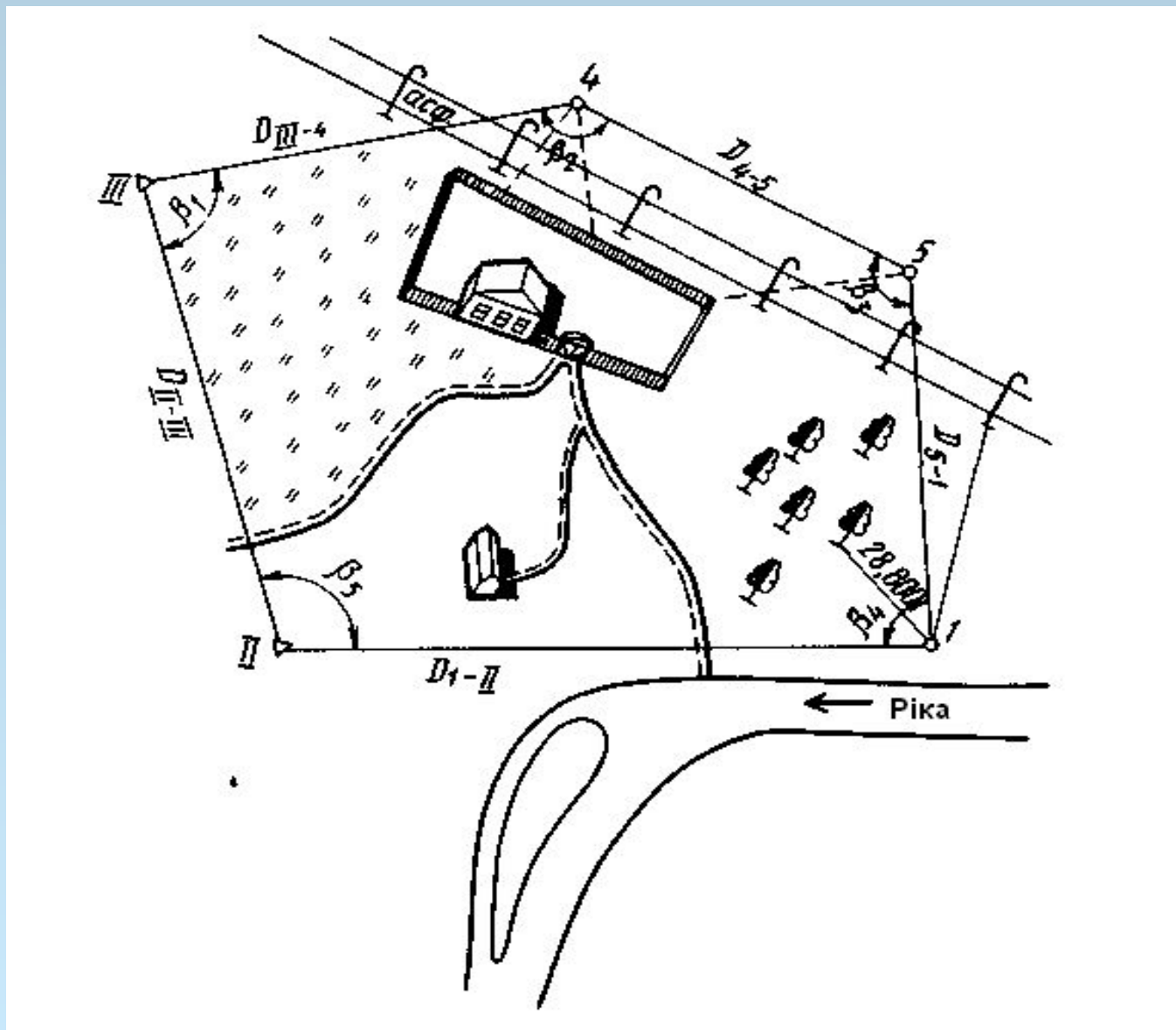


Схема теодолітного ходу

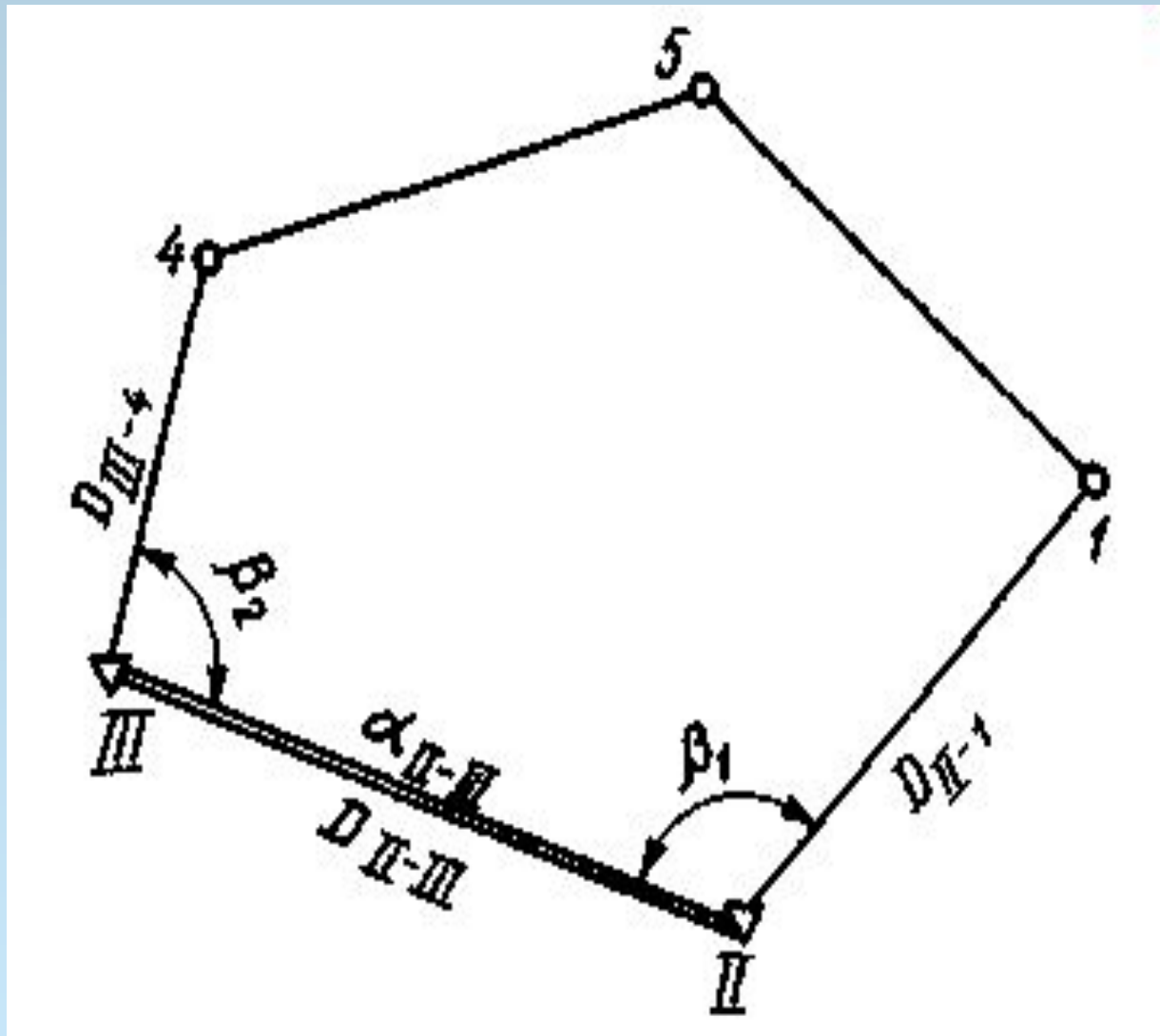
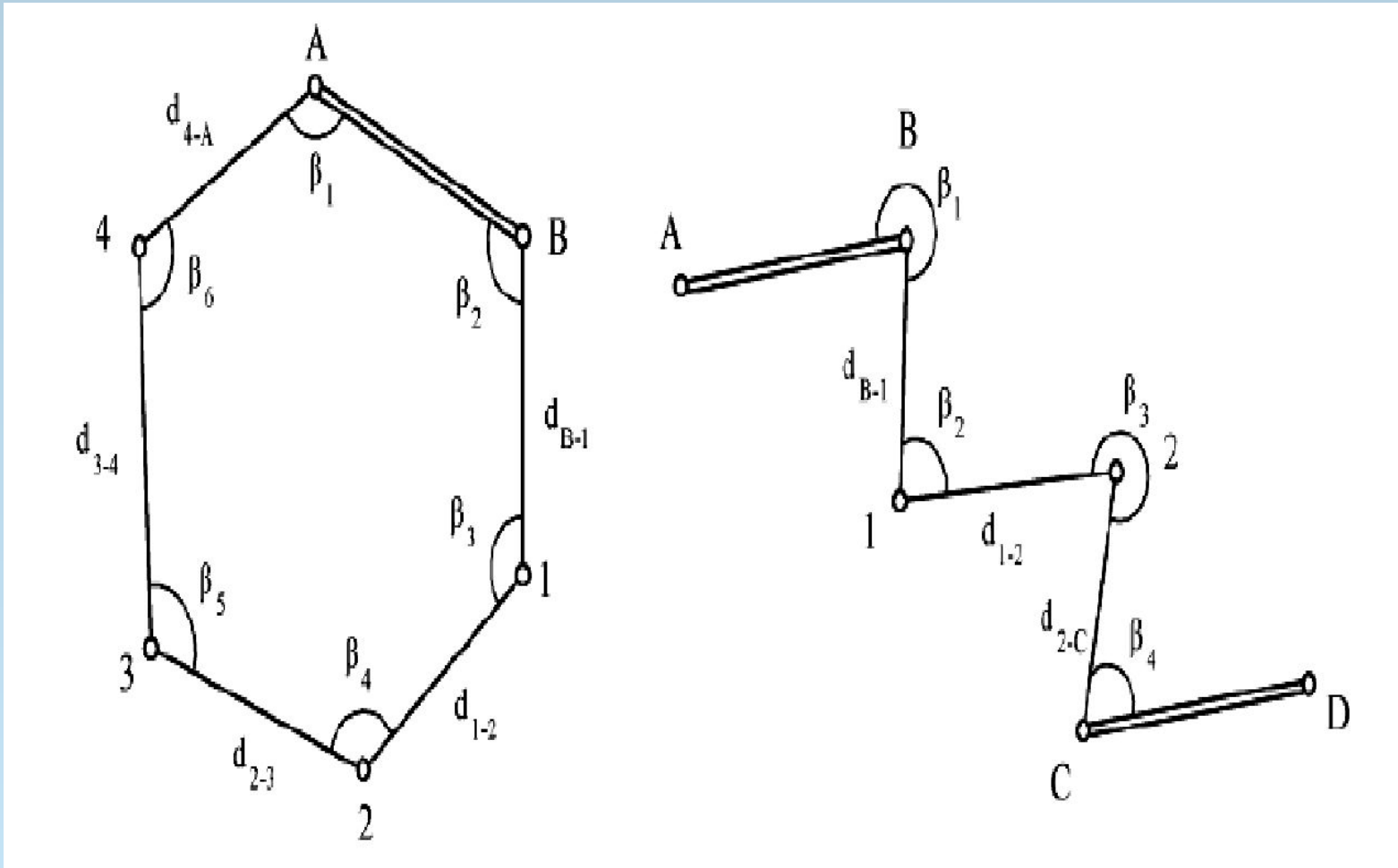


Схема прив'язки теодолітного ходу до твердих пунктів II і III



Теодолітний хід а – замкнений; б – розімкнений

Математична обробка результатів вимірювань у теодолітному ході полягає у визначенні допустимих нев'язок кутових і лінійних вимірювань, введенні поправок в результати вимірювань та обчисленні координат точок теодолітного ходу. Математичну обробку виконують в координатній відомості

№ вершин	Внутрішні кути полігону					Сторони	Дирекційні кути		Довжина лінії	Розраховані прирости				Виправлені прирости		Координати				№ вершин
	виміряні		поправка	виправлені			α	β		ΔX	поправки	ΔY	поправки	ΔX	ΔY	±	X	±	Y	
	α	β	β	α	β															
1	81	44	-0.3	81	43.7	1-2	70	00.0	48.28	16.51	0	45.37	0	16.51	45.37	+	488.15	+	605.75	1
2	90	05	-0.3	90	04.7	2-3	159	55.3	59.77	-56.14	0	20.52	0	-56.14	20.52	+	504.66	+	651.12	2
3	270	27	-0.3	270	26.7											+	448.52	+	671.64	3
4	93	12	-0.3	93	11.7	3-4	69	28.6	69.17	24.25	0	64.78	0	24.25	64.78	+	472.78	+	736.42	4
5	87	37	-0.3	87	36.7	4-5	156	16.9	48.64	-44.53	0	19.56	0	-44.53	19.56	+	428.25	+	755.98	5
6	96	57	-0.5	96	56.5	5-6	248	40.2	104.72	-38.09	0.01	-97.55	0	-38.08	-97.55	+	390.17	+	658.43	6
1						6-1	331	43.7	111.25	97.98	0.01	-52.69	0.01	97.99	-52.68	+	488.15	+	605.75	1
									441.83	$f_x = -0.02$	0.02	$f_y = -0.01$	0.01	0	0					
$\sum \beta_n = 720^\circ 02.0'$																				
$\sum \beta_1 = 180^\circ(n-2) = 720^\circ 00'$																				
$f_\beta = \sum \beta_n - \sum \beta_1 = 0^\circ 02'$																				
$f_{\beta_{доп}} = \pm 1 \cdot \sqrt{n} = 0^\circ 02.4'$																				
									$\delta_x = \frac{-f_x}{n} \cdot d$		$f_{abc} = \sqrt{(-0.02)^2 + (-0.01)^2} \approx 0.02$									
									$\delta_y = \frac{-f_y}{n} \cdot d$		$f_{відн} = \frac{f_{ABC}}{P} = \frac{0.02}{441.83} = \frac{1}{22092} \leq \frac{1}{2000}$									

Координатна відомість теодолітного ходу

Дякую за увагу!

