

Лекция №8

Геодезические приборы (часть 1 «Теодолиты»)

Классификация геодезических приборов по назначению

По назначению в настоящее время существует семь групп приборов:

- ❖ Для измерения горизонтальных и углов наклона – теодолиты;
- ❖ Для измерения превышений – нивелиры;
- ❖ Для измерения расстояний – дальномеры;
- ❖ Для производства планово-высотных топографических съёмок – тахеометры
- ❖ Для производства планово-высотных топографических съёмок (углоначертательный способ) – кипрегели;
- ❖ Комплектующие принадлежности (рейки, штативы, оптические центриры, механические центриры, буссоли и пр.);
- ❖ Вспомогательные приборы и принадлежности (эккеры, планиметры, транспортиры, тахеографы, координатометры, масштабные линейки и др.).

Классификация геодезических приборов по точности

По точности классифицируют только теодолиты, нивелиры и дальномеры.

Они делятся на:

- Высокоточные;
- Точные;
- Повышенной точности;
- Средней точности;
- Технические

Высокоточные приборы

Применяются при измерениях в плановых геодезических сетях 1 и 2 классов и в нивелирных сетях I и II классов, а также при выполнении инженерно-геодезических работ высокой точности при решении специальных инженерных задач, например, при наблюдениях за деформациями сооружений и земной поверхности, при выверке установки прецизионного оборудования на промышленных предприятиях и уникальных объектах и т.п.

Точные приборы

Используются для сгущения главной геодезической основы (при построении сетей сгущения), а также для производства значительного объёма инженерных работ при строительстве инженерных сооружений.

Приборы повышенной точности

Используются как при геодезических работах по созданию сетей сгущения, так и при решении ряда научных, технических и научно-технических задач, связанных, в основном, со строительством и эксплуатацией инженерных сооружений.

Приборы средней точности

Применяют при производстве работ технической точности при создании для них сетей сгущения в виде теодолитных ходов, при горизонтальной съёмке ответственных точек местности и пр.

Технические приборы

Применяются, в основном, для топографических съёмок различных масштабов при создании сетей съёмочного обоснования, выполнения отдельных и массовых привязок точек местности в принятой системе координат.

Поверки и юстировки

Поверка – установление соответствия конструктивных геометрических соотношений в приборе, обеспечивающих качественную его работу

Юстировка – устранение несоответствия геометрических соотношений в конструкции прибора, которые могут повлиять на его качественную работу. Т.е. юстировка выполняется только тогда, когда в результате поверки будут выявлены недопустимые отклонения в геометрическом положении узлов и деталей прибора.

Теодолиты

Теодолит служит для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

В обозначение отечественных теодолитов входит буква Т и число, указывающее среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла одним полным приёмом в лабораторных условиях.

Различные модификации теодолитов отражаются в их обозначении дополнительными цифрами впереди основного обозначения и буквами – после основного обозначения.

Классы точности теодолитов

Класс точности прибора	Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла, сек	Марки теодолитов
Высокоточные	0,5" – 1,0"	T05, T1
Точные	2,0" – 4,0"	T2, 2T2, 3T2КП
Повышенной точности	5,0" – 10,0"	T5, T5К, 2T5КП, 2T5А
Средней точности	15,0" – 20,0"	T15, T15К, T15М, T15МКП
Технические	30,0" – 60,0"	T30, 2T30П, T30М

А – теодолит снабжён автоколлимационным окуляром (т.е. им можно работать на отражение направленного к объекту оптической системой прибора светового пучка);

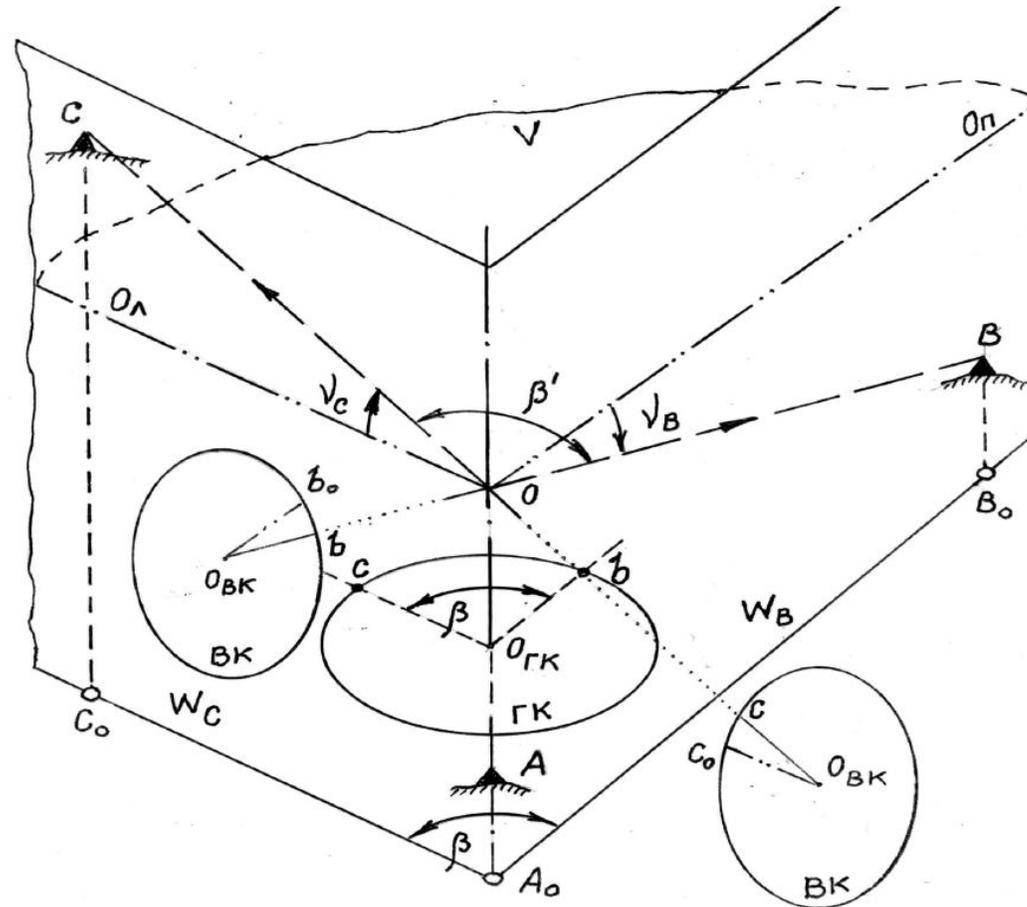
К – конструкция с компенсатором угла наклона при вертикальном круге;

П – установлена зрительная труба прямого изображения (земная труба);

М – теодолит в маркшейдерском исполнении.

Например: T5К, 2T5К, 3T2КП, T30М, 3T2КА и т.п.

Схема измерения горизонтального угла и угла наклона



Горизонтальный угол

Пусть на местности имеются точки A , B и C , расположенные друг относительно друга на разных высотах. Выберем вершиной измеряемых углов точку A . Построим в этой точке вертикальные плоскости WB и WC , в которых лежат направления из точки A соответственно на точки B и C . Выберем произвольно на вертикальной линии пересечения плоскостей W точку O и построим в ней плоскость V , перпендикулярную плоскостям WB и WC . В этой плоскости будут лежать направления OO_1 и OO_2 , а в плоскости, параллельной плоскости V , находятся проекции точек A , B и C (A_0 , B_0 , C_0).

Линии визирования OB и OC образуют в пространстве угол β' . Проекция этого угла на плоскость V образует угол β , который называется горизонтальным углом.

Если в т. A поместить плоский круг (горизонтальный круг – ГК) с градусными делениями и расположить его плоскость в горизонтальной плоскости V , то на каждое из направлений (A_0B_0 и A_0C_0) можно взять отсчёты b и c . Разность этих отсчётов и определит величину горизонтального угла

$$\beta = b - c$$

Вертикальный угол

Вертикальный угол в общем случае – это угол в вертикальной плоскости между двумя направлениями. Если одно из направлений совпадает с горизонтальной плоскостью, то такой угол ν называется (углом наклона).

Угол наклона указывают со знаком «+» или «-» (кроме $\nu = 0^\circ$).

Если в точке А поместить вертикальный круг (ВК) с градусными делениями и совместить его плоскость, например, с вертикальной плоскостью W_C , то направлению линии АС, параллельной горизонтальной плоскости V , будет соответствовать отсчёт c_0 по вертикальному кругу, а направлению на точку С – отсчёт c . Аналогичные рассуждения можно провести и в отношении точки В.

$$\nu_C = c - c_0; \quad \nu_B = b - b_0$$

Отсчёты c_0 и b_0 называют местом нуля (МО) вертикального круга.

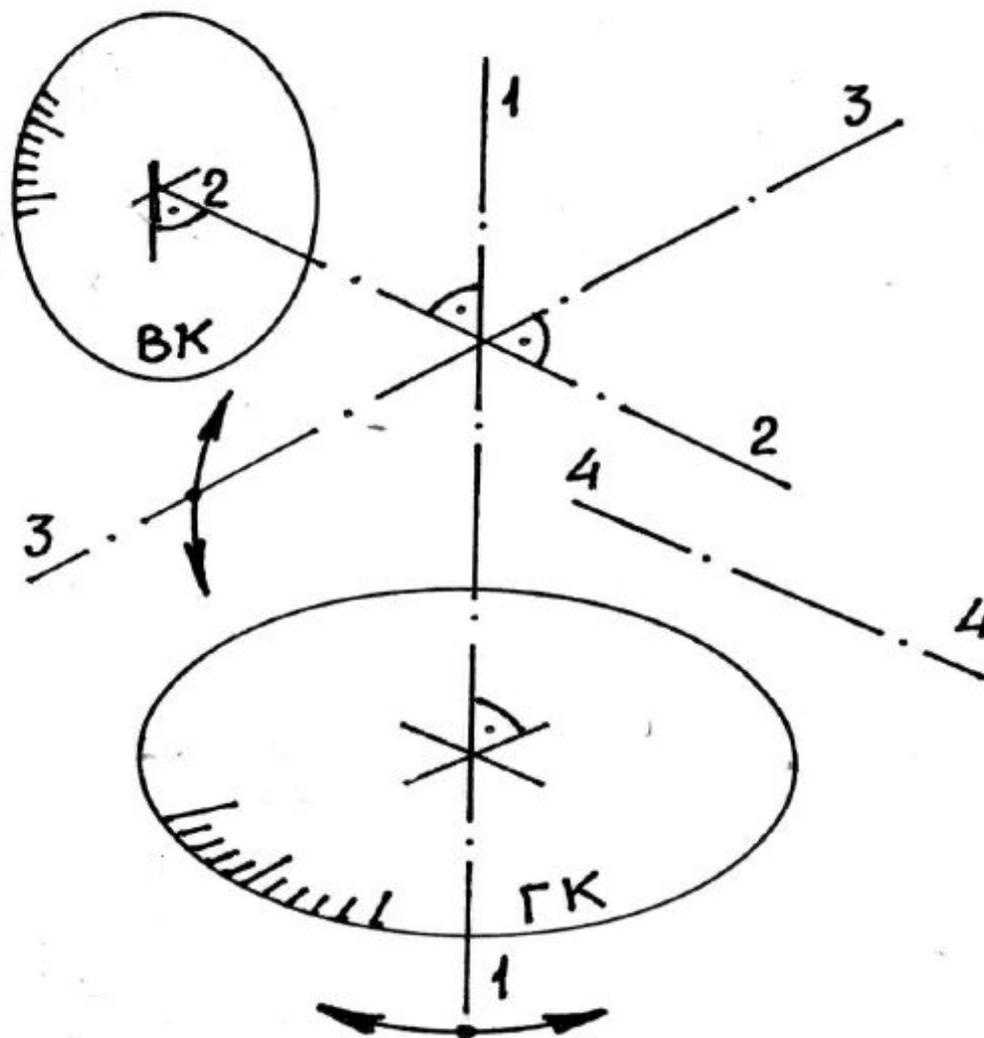
Принципиальная схема теодолита

1-1 – Ось вращения
теодолита

2-2 – Ось вертикального
круга

3-3 – Ось визирной трубы

4-4 – Ось цилиндрического
уровня



Описание схемы

Ось 1-1 называется осью вращения теодолита. При измерениях она должна располагаться по направлению отвесной линии в точке стояния, т.е. перпендикулярно горизонтальной плоскости. Для придания этой оси отвесного положения служит специальный установочный элемент (уровень), ось 4-4 которого должна быть перпендикулярна оси 1-1. Плоскость горизонтального круга (ГК) должна быть перпендикулярна оси 1-1, а также и параллельна оси уровня 4-4. (Заводы-изготовители геодезических приборов гарантируют перпендикулярность оси вращения теодолита к плоскости горизонтального круга). Ось 2-2 называется осью вращения зрительной трубы. Оси 2-2 и 1-1 должны быть взаимно перпендикулярны, кроме того, ось 2-2 должна быть перпендикулярна плоскости вертикального круга.

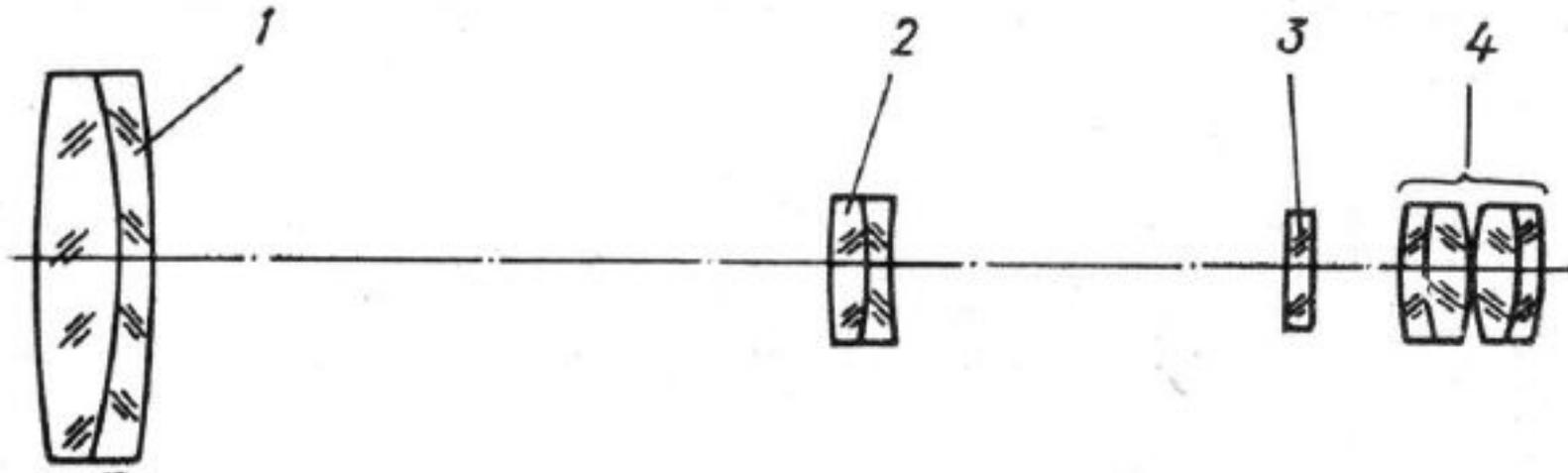
Визирная ось 3-3 зрительной трубы может перемещаться в вертикальной плоскости (вверх-вниз) относительно оси 2-2. Оси 2-2 и 3-3 должны быть перпендикулярны.

Зрительные трубы

Зрительная труба служит для наблюдения удалённых объектов. При этом она даёт возможность чётко видеть сам объект и прицельную точку прибора

Существуют зрительные трубы с обратным изображением (астрономические) и прямым изображением (земные).

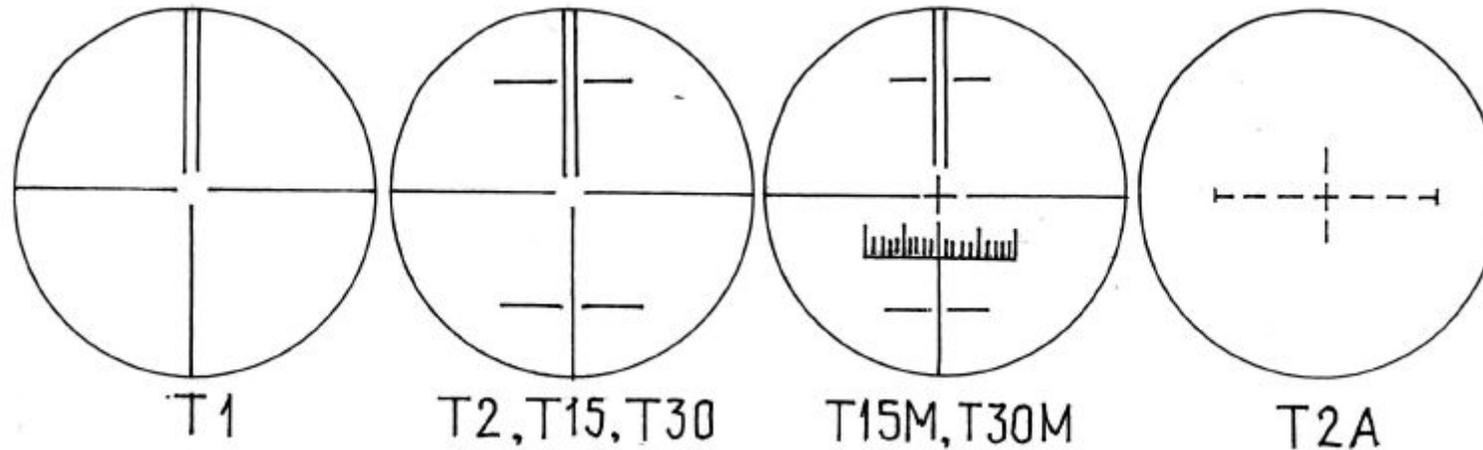
Принципиальная схема зрительной трубы теодолита 2Т30



- 1 – объектив
- 2 – фокусирующая линза
- 3 – сетка нитей
- 4 – окуляр

В земных трубах перед сеткой нитей устанавливаю призмную оборачивающую систему.

Сетка нитей



Сетка нитей представляет собой тонкий стеклянный диск с нанесёнными на него горизонтальной и вертикальной нитями. Часто половину вертикального штриха выполняют в виде биссектора (двойной линии).

Сетки нитей имеют дополнительные короткие штрихи, т.н. дальномерные нити, служащие совместно с рейкой с сантиметровыми делениями для измерения расстояний (нитяной дальномер).

Историческая справка

В первых теодолитах сетка нитей представляла собой латунное кольцо с нанесёнными на него диаметрально противоположными рисками, в которые укладывалась с некоторым натяжением нитка паутины. При порче сетки нитей геодезист восстанавливал ее нити, для чего в наборе инструментов и приспособлений у него имелся кокон паутины.

Если этого не было, то он мог воспользоваться таким же материалом, отыскав необходимую паутину в природе, что не является сложным. Отсюда и сохранилось название – нити.

В специальной лаборатории Московского межевого института (МИИГАиК, сейчас – Московский государственный университет геодезии и картографии) разводили особый вид пауков, а их паутину (только весеннюю) собирали в коконы и снабжали геодезические инструменты своеобразным ЗИПом.

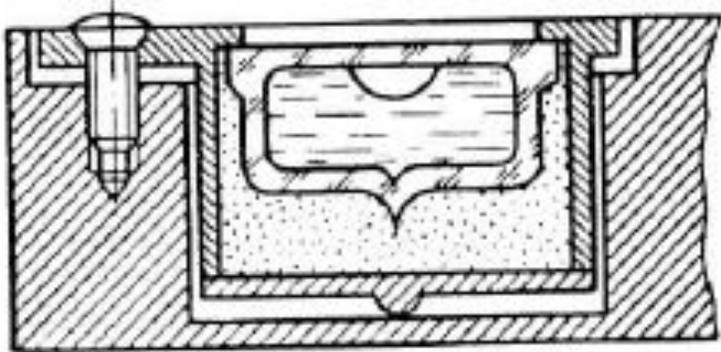
Впервые предложил использовать сетку нитей в зрительной трубе в 1611 г. Иоганн Кеплер (Германия), но только в 1670 г. французским астрономом Пикаром выполнялись работы по градусным измерениям с применением сетки нитей вместо диоптров. Дальномерные нити в зрительных трубах стали использоваться только с 1810 г. по предложению немецкого оптика-механика Рейхенбаха.

Уровни и компенсаторы наклона

Уровни предназначены для ориентирования основных осей приборов относительно отвесной линии (параллельно или перпендикулярно к ней).

В зависимости от формы ампулы уровни подразделяются на *круглые* и *цилиндрические*

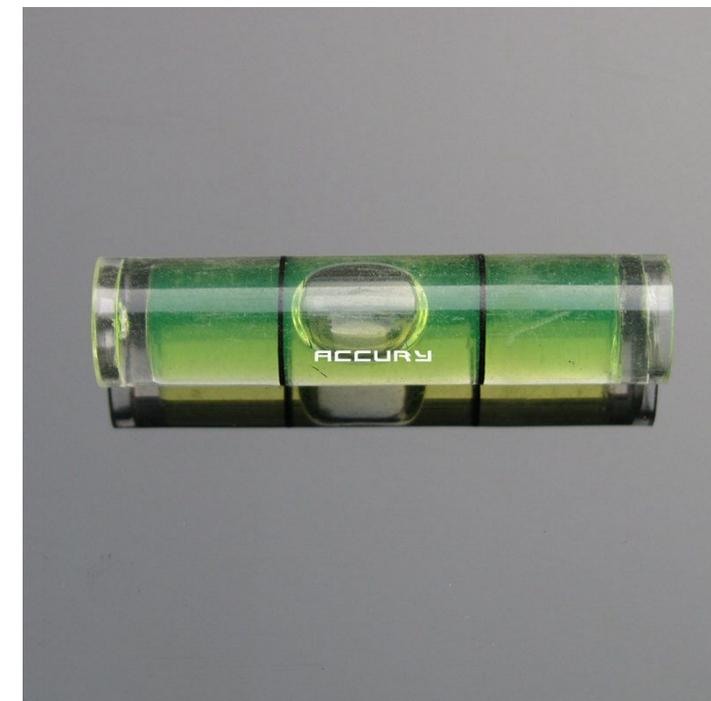
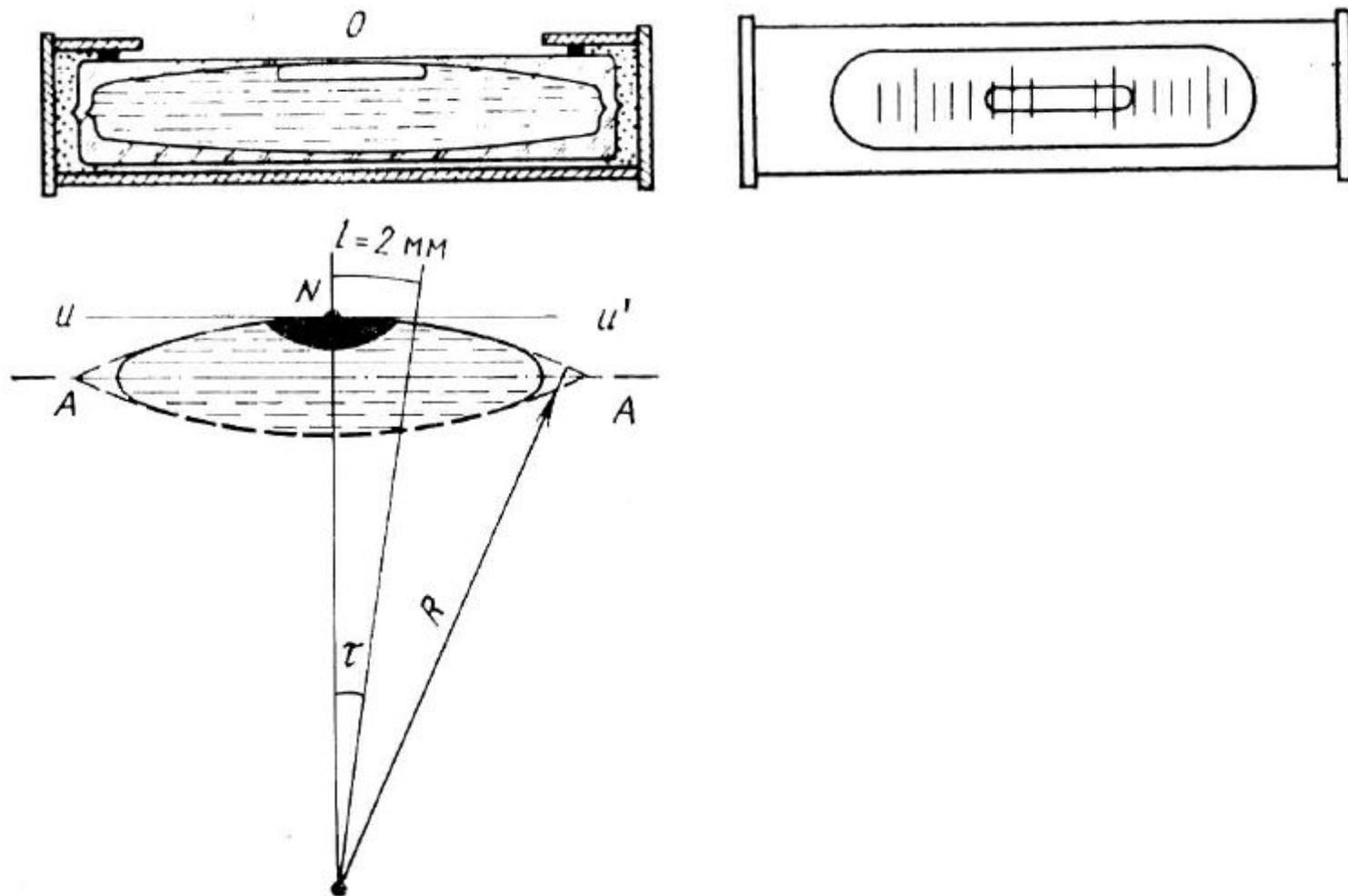
Круглый уровень



Круглые уровни служат для грубой, предварительной установки прибора в рабочее положение. Их точность часто значительно ниже точности рабочих цилиндрических уровней, используемых в том же приборе для точной установки осей.

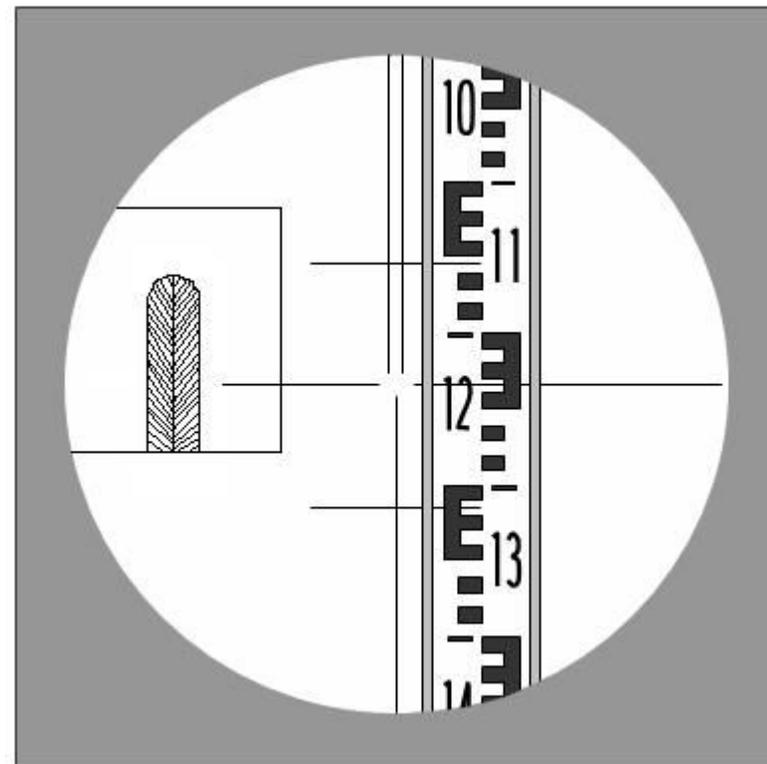
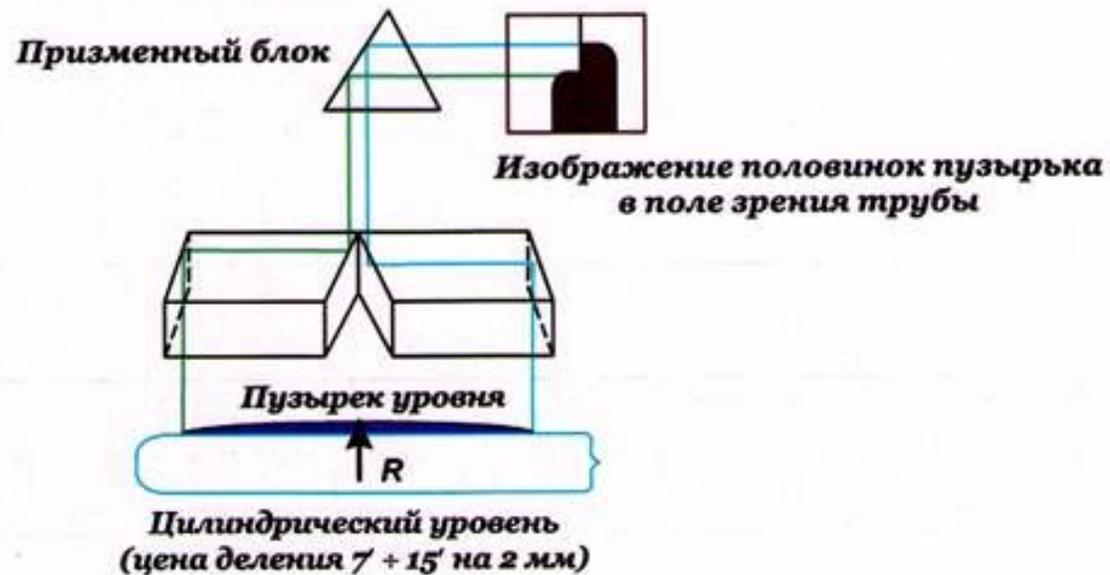
Внутренняя часть стеклянной ампулы уровня имеет сферическую поверхность. Осью круглого уровня является вертикальная линия, проходящая через нуль-пункт O перпендикулярно к плоскости, касательной к сферической поверхности в нуль-пункте.

Цилиндрический уровень



Контактный уровень

Устройство контактного уровня



Компенсаторы угла наклона

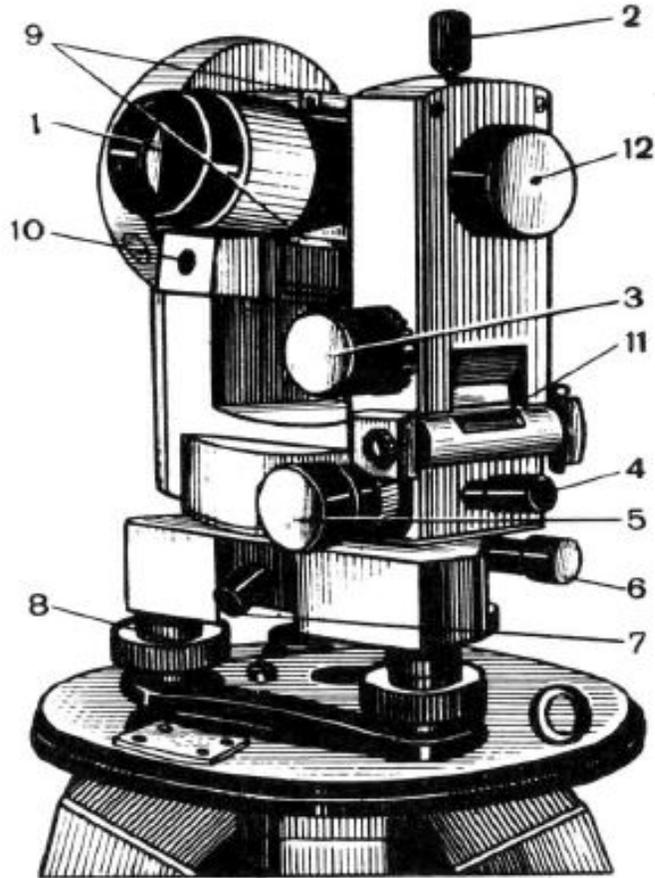
В современных геодезических приборах (теодолитах и нивелирах) все большее применение находят компенсаторы наклонов, заменяющие цилиндрические уровни. В этом случае прибор снабжается только круглым уровнем, либо цилиндрическим уровнем сравнительно невысокой точности.

Устройство теодолита

Основные принципы построения любых теодолитов вот уже на протяжении 250 лет остаются неизменными.

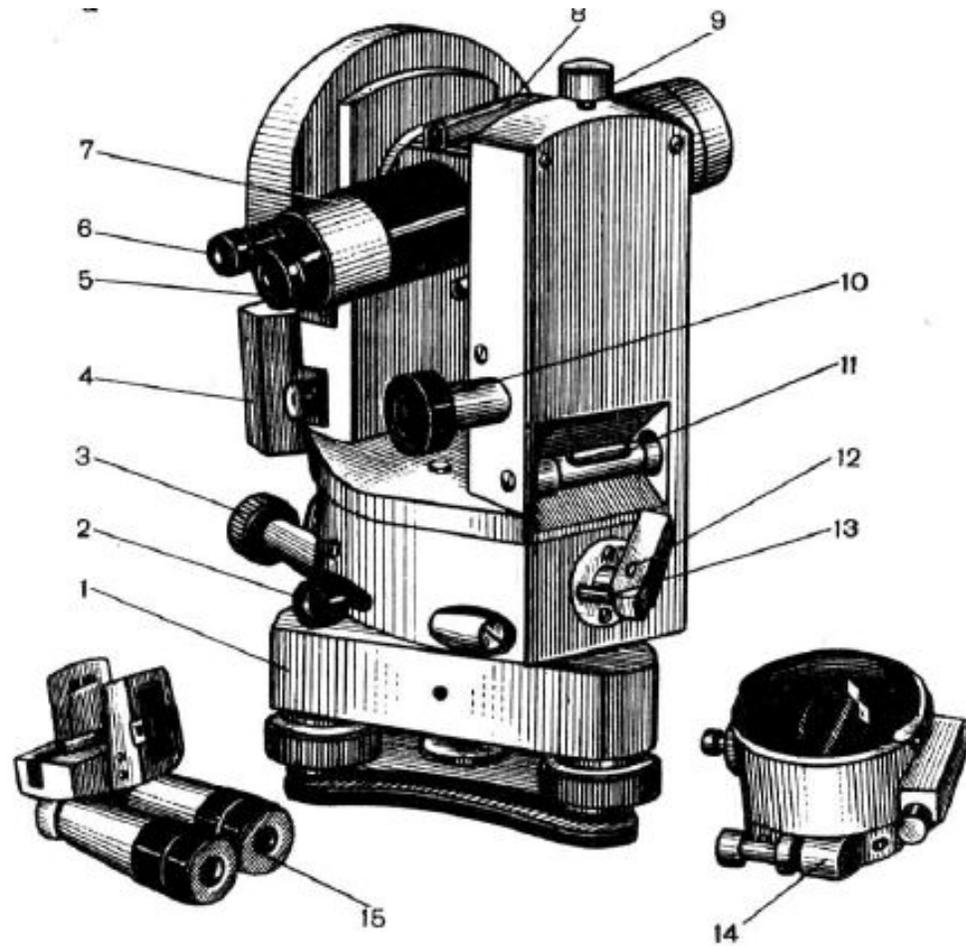
В любых конструкциях обеспечивается сохранение схемы, приведённой далее

Схема теодолита 2Т30



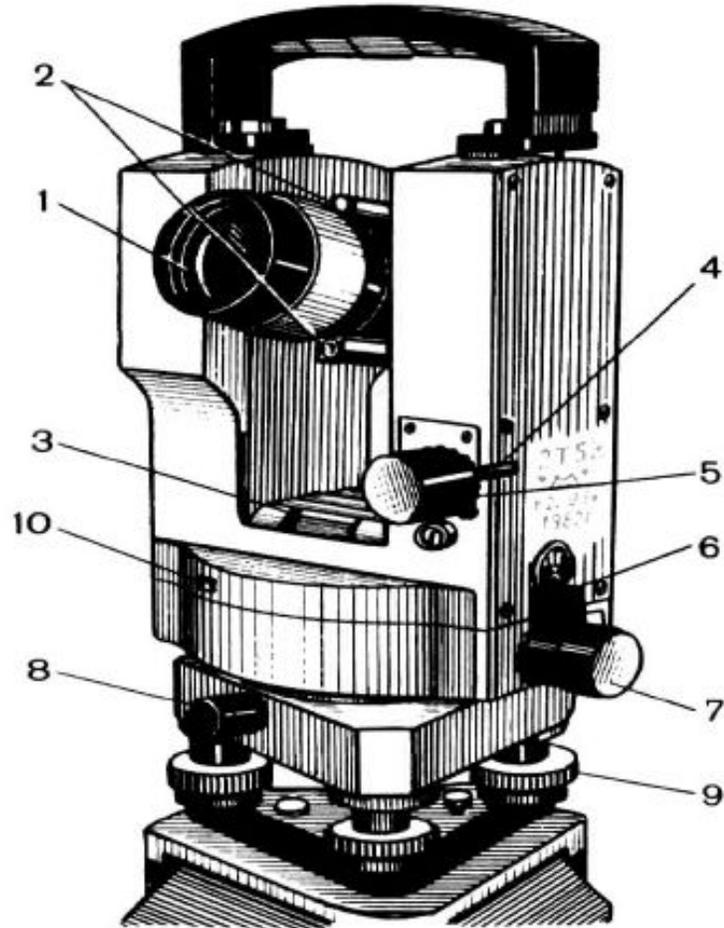
Теодолит 2Т30 – технический. На колонке теодолита размещены: зрительная труба 1 обратного изображения с визирами 9 и накладным уровнем 10; цилиндрический уровень 11, служащий для горизонтирования прибора; наводящий 3 и зажимной 2 винты зрительной трубы; наводящий 5 и зажимной 4 винты алидады горизонтального круга; наводящий 6 и зажимной 7 винты горизонтального круга (расположены конструктивно в подставке); кремальера 12 (маховичок, при помощи которого в зрительной трубе перемещается фокусирующая линза). Подставка теодолита снабжена подъёмными винтами 8, с помощью которых теодолит центрируют и приводят в рабочее положение.

Схема теодолита 2Т30М

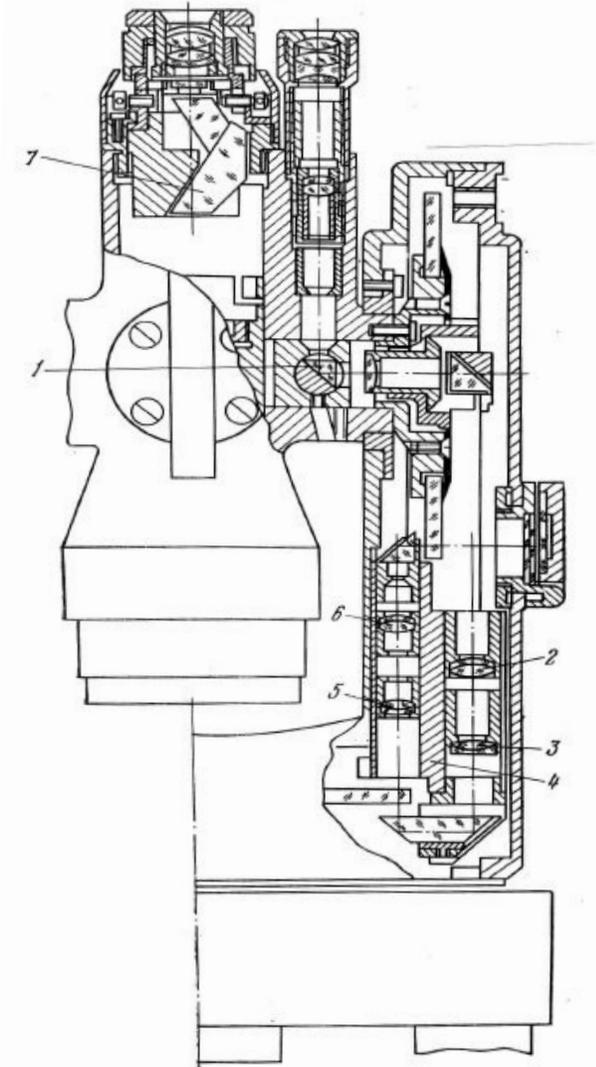


Теодолит Т30М – технический. Выпускается в рудничном исполнении. Конструкция вертикальной оси вращения теодолита, наличие реверсивного уровня 11 и съёмной подставки 1 позволяют выполнять работу с теодолитом, подвешенном в перевёрнутом положении в шахте. Теодолит имеет зрительную трубу 5 с визирами 8 и кремальерой 7, зажимной 9 и наводящий 10 винты зрительной трубы, зажимной 2 и наводящий 3 винты горизонтального круга, отсчётный микроскоп 6, 12 и 13 – курковый зажим, предназначенный для скрепления горизонтального круга и его алидады. При значительных углах наклона визирной оси используется зенитная (призменная) насадка 14, а также коленчатый окуляр 15. Для подсветки шкал сбоку колонки имеется специальное

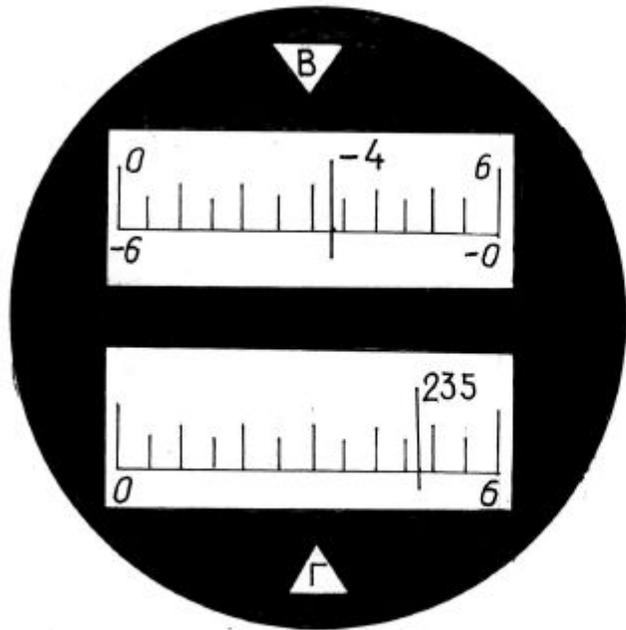
Теодолит 2Т5К



Теодолит 2Т5К относится к точным приборам. Вертикальный круг теодолита снабжён компенсатором, который позволяет удерживать в отвесном положении отсчётный индекс алидады вертикального круга. Зрительная труба 1 теодолита снабжена визирами 2. Узлы 4-5 и 6-7 представляют собой зажимное и наводящее устройства зрительной трубы и горизонтального круга. Установка теодолита в рабочее положение выполняется с помощью подъёмных винтов 9 подставки и цилиндрического уровня 3. В подставке имеется зажимной винт 8, с помощью которого фиксируется в ней колонка теодолита. В корпусе колонки имеется окно искателя отсчётов горизонтального круга. Теодолит

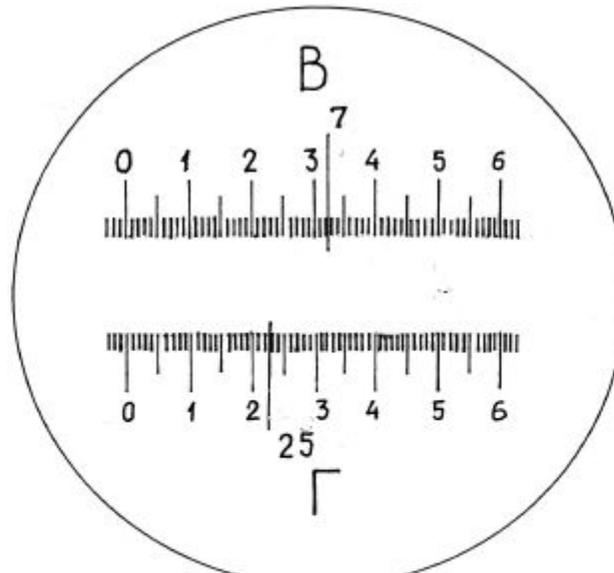


Поле зрения отсчётных микроскопов теодолитов 2Т30, 2Т30М, 2Т5К



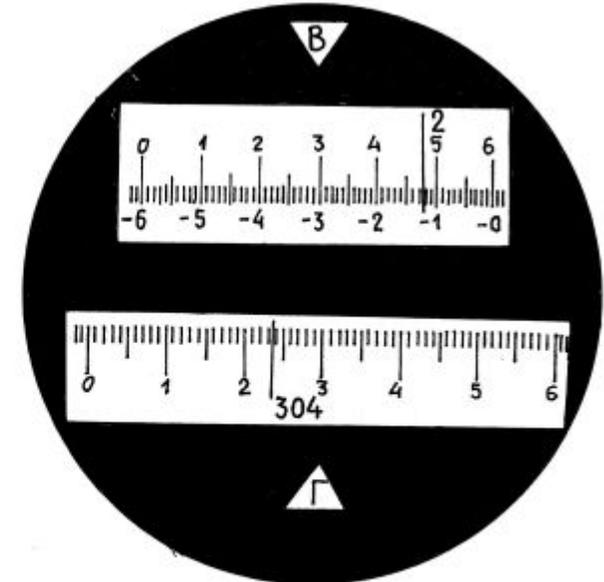
2Т30п

ГК = $235^{\circ}47,5'$; ВК = $-4^{\circ}27,0$



Т30М

ГК = $25^{\circ}22,6'$; ВК = $7^{\circ}32,3$



Т5К

ГК = $304^{\circ}23,6'$; ВК = $+2^{\circ}47,5'$

Установка теодолита в рабочее положение

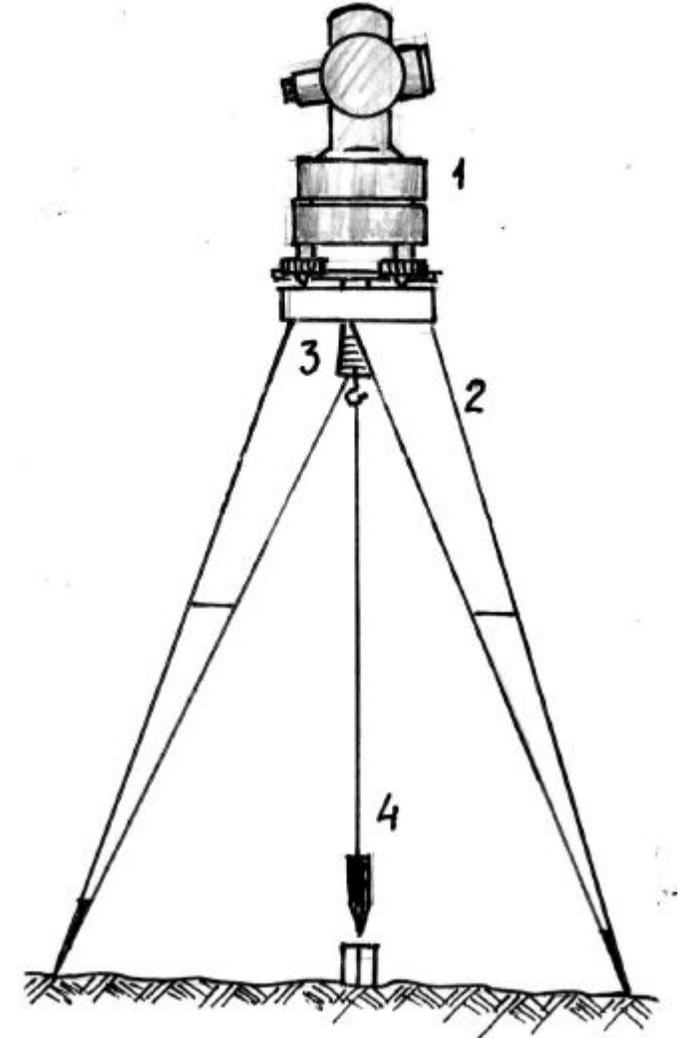
Установка теодолита в рабочее положение выполняется перед началом любых с ним работ, касается это основных измерительных работ, либо специальных работ, связанных с установлением его работоспособности.

Установка теодолита в рабочее положение заключается в его *центрировании* над вершиной измеряемого угла, *горизонтировании* и установке для наблюдений зрительной трубы и отсчётной системы. При проведении поверок в большинстве случаев центрирование теодолита не выполняют.

Центрирование теодолита

Центрирование – это совмещение его вертикальной оси вращения с вершиной измеряемого горизонтального угла.

Для центрирования теодолита 2Т30П используется отвес, который подвешивается на крючок станкового винта штатива

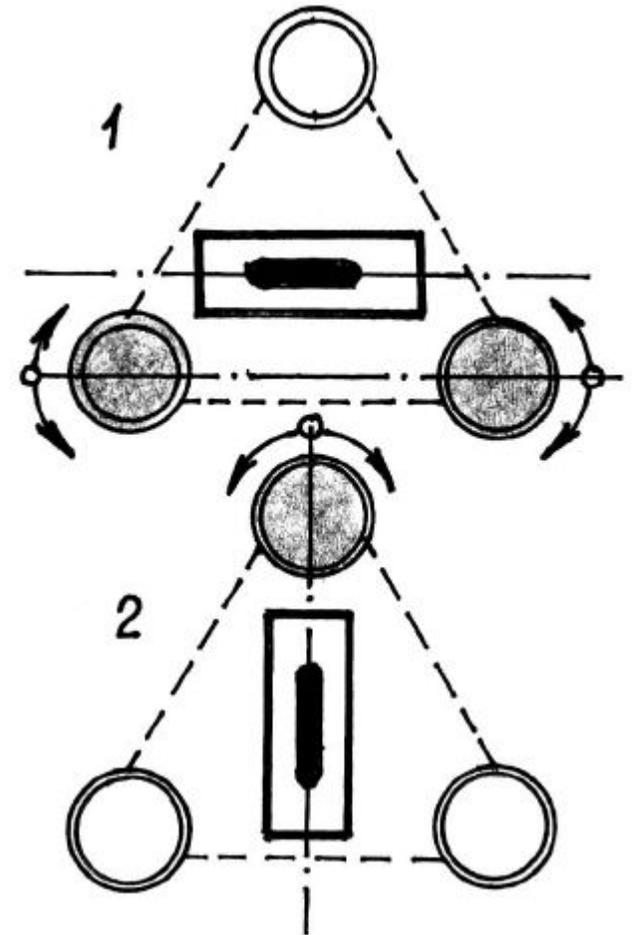
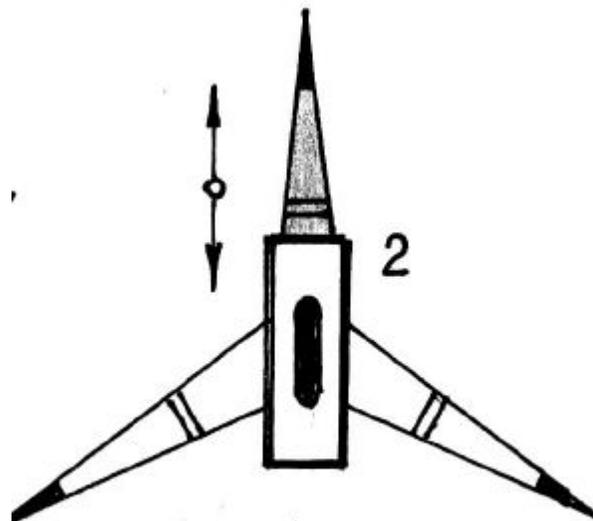
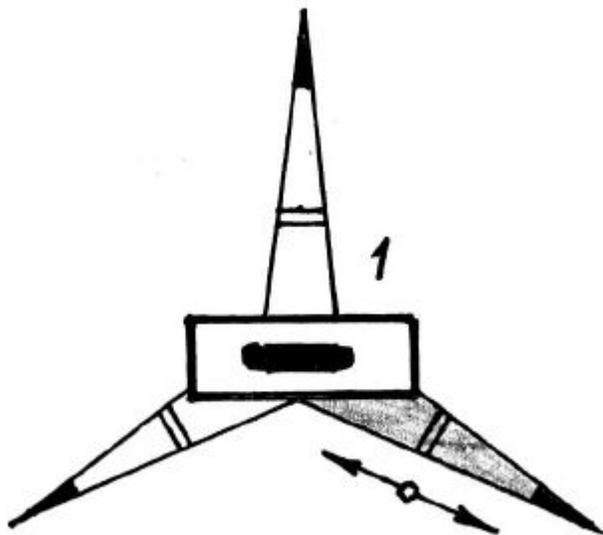


Горизонтирование

Горизонтирование – приведение вертикальной оси вращения теодолита в отвесное положение.

Горизонтирование теодолита 2Т30П рекомендуется выполнять в указанной ниже последовательности

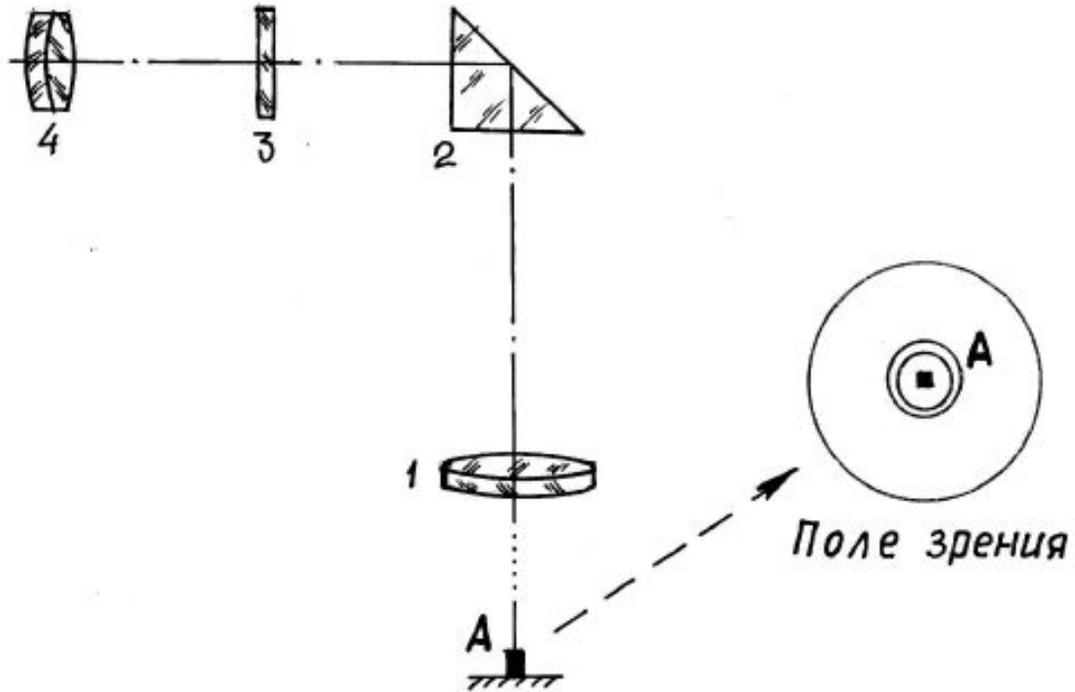
Последовательность горизонтирования



1. Установить ось цилиндрического уровня по направлению двух любых ножек штатива и, ослабив у одной из них зажим раздвижной системы, по возможности точно привести пузырёк уровня к середине ампулы
2. Установить ось цилиндрического уровня по направлению на третью ножку штатива и изменением её длины привести пузырёк уровня к середине ампулы. Проверить позицию 1 по двум ножкам штатива.
3. Установить ось уровня на два любых подъёмных винта подставки и, вращая эти винты в противоположные стороны примерно на одинаковый угол, привести пузырёк точно на середину ампулы.
4. Установить ось уровня по направлению на третий подъёмный винт подставки (по симметрии частей колонки или по отсчётам по шкале ГК) и вращением этого винта привести пузырёк уровня точно на середину ампулы. Проверить позицию 1, а затем снова позицию 2, и при необходимости поправить положение пузырька.

Оптический центрир

Многие теодолиты снабжены оптическими центрирами



Контроль горизонтирования

Горизонтирование может считаться удовлетворительным, если при любом положении колонки теодолита пузырёк цилиндрического уровня при горизонтальном круге будет отклоняться от своего среднего положения не более чем на **2 деления ампулы.**

Измерение горизонтальных углов и углов наклона

Горизонтальные углы измеряют:

- ✓ способом приёмов,
- ✓ способом повторений
- ✓ способом круговых приёмов

при двух положениях колонки:

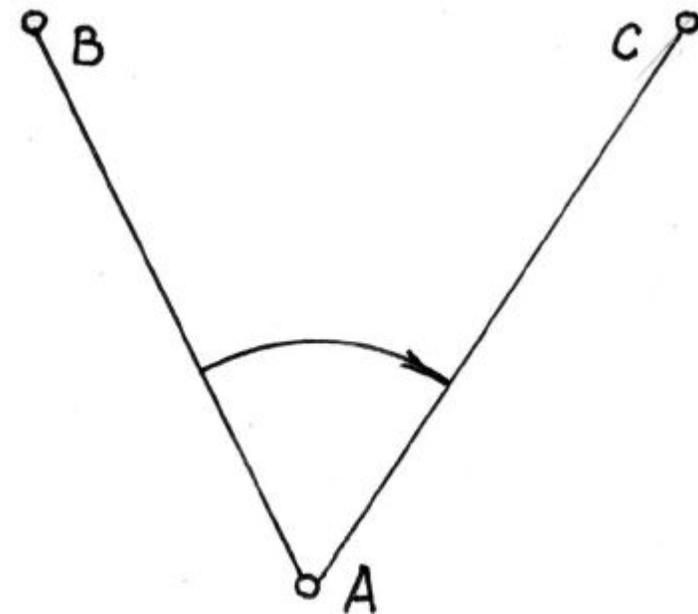
- ✓ круг лево (КЛ) – вертикальный круг расположен слева от наблюдателя;
- ✓ круг право (КП) – вертикальный круг расположен справа от наблюдателя.

Измерение горизонтального угла при одном из положений колонки (КП или КЛ) называется полуприемом. Два полуприема составляют полный прием.

Наблюдения можно начинать с любого полуприема.

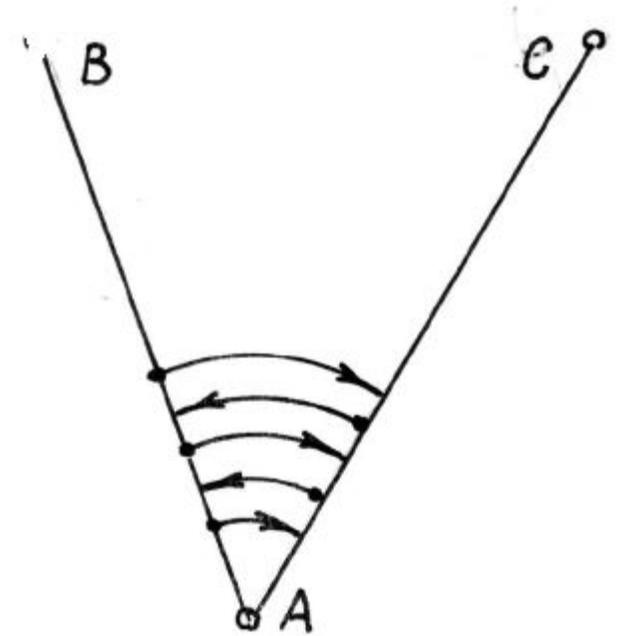
Способ приёмов

№ станции	№№ точек	КП КЛ	Отсчеты по ГК	Разность отсчетов	Среднее значение угла	Отсчеты по ВК	Место нуля <i>МО</i>	Значение угла наклона
	В		117°36,5'			+1°36,5'	-0,75'	+1°37,25'
		КЛ		118°24,5'				
	С		236°01,0'			- 3°20,0'	-1,0'	- 3°19,0'
А					118°24,75'			
	В		300°18,5'			- 1°38,0'		
		КП		118°25,0'				
	С		58°43,5'			+3°18,0'		



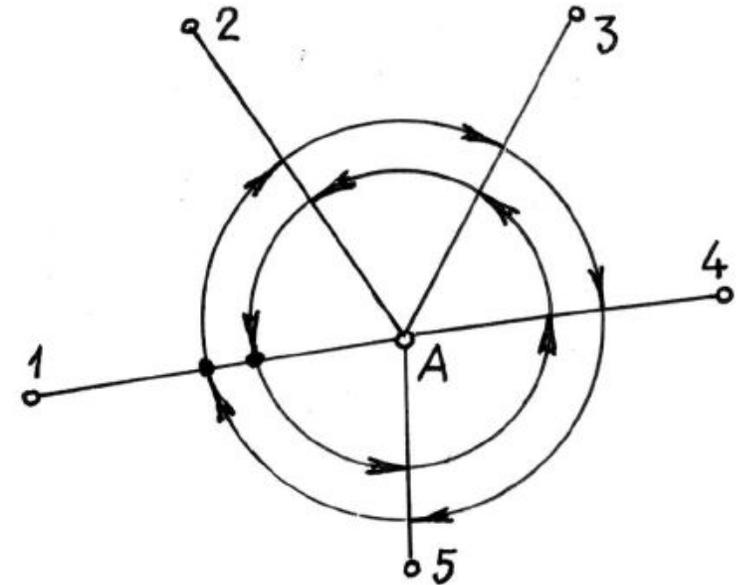
Способ повторений

№ станции	№№ точек	КП КЛ	Число повторений	Отсчеты по ГК	Значение угла в полуприеме	Среднее значение угла
	В			33°16,0'		
		КЛ	3		55°53'30"	
	С			200°56,5'		
А						55°53'45"
	В			214°49,5'		
		КП	3		55°54'00"	
	С			22°31,5'		



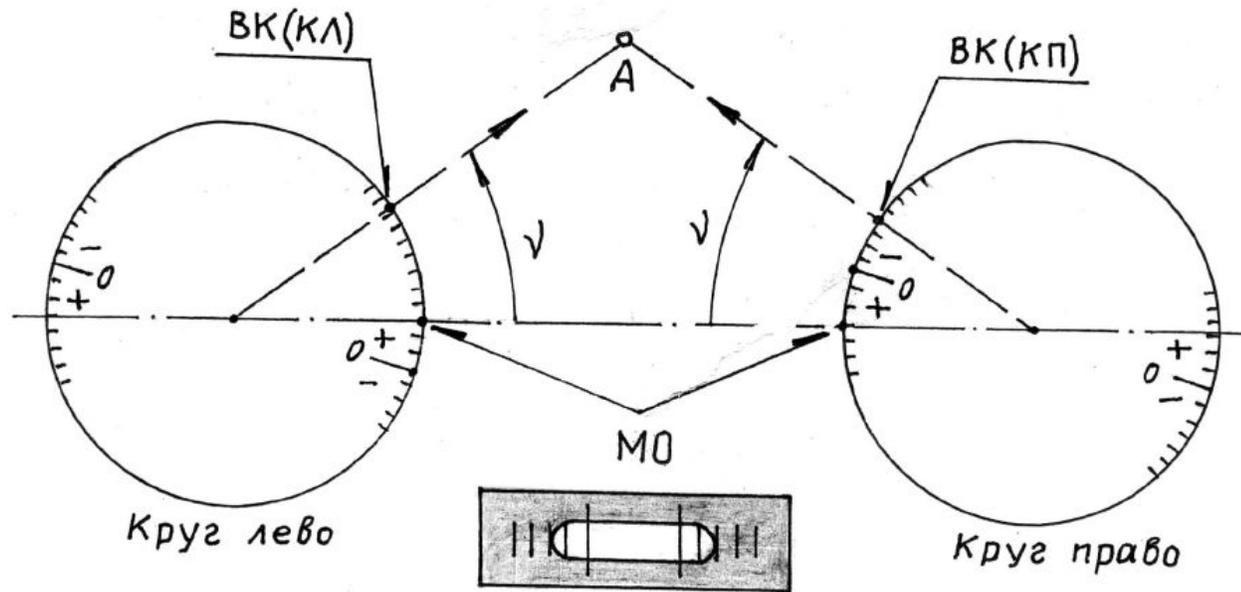
Способ круговых приёмов

№№ точек	Измеренное направление (КЛ)	Измеренное направление (КП)	Средний отсчет	Приведенное направление	Вычисленный угол	β_i
1	2	3	4	5	6	7
			(0°01'14,6")			
1	0°01'15,6"	180°01'14,4"	0°01'15,0"	0°00'00,0"		
2	66°36'24,3"	246°36'22,8"	66°36'23,6"	66°35'09,0"	66°35'09,0"	β_1
3	138°05'08,7"	318°05'08,3"	138°05'08,5"	138°03'53,9"	71°28'44,9"	β_2
4	181°42'36,0"	1°42'35,1"	181°42'35,6"	181°41'21,0"	43°37'27,1"	β_3
5	272°16'42,4"	52°16'41,0"	272°16'41,7"	272°15'27,1"	90°34'06,1"	β_4
1	0°01'15,0"	180°01'13,6"	0°01'14,3"	(0°) 360°00'00,0"	87°44'32,9"	β_5



Измерение углов наклона

Весьма важной характеристикой вертикального круга, а также параметром, определяющим работу теодолита, является место нуля (МО) вертикального круга.



$$v = \text{BK}(\text{КЛ}) - \text{МО} ; v = \text{МО} - \text{BK}(\text{КП})$$

$$\text{МО} = 0,5 [\text{BK}(\text{КЛ}) + \text{BK}(\text{КП})]$$

Последовательность измерения угла наклона

1. Выполнить наведение на т. В или С при КЛ, переместив изображение точки наводящими винтами колонки и зрительной трубы на горизонтальную нить сетки нитей вблизи от центрального перекрестия (либо точно в центр сетки нитей). Взять отсчёт по шкале вертикального круга (КЛ: т. В - $+1^{\circ}36,5'$; т. С - $-3^{\circ}18,0'$).
2. Поменять круг (на КП) и выполнить действия по п. 1. Отсчёты также записать в журнал. Вычисления заключаются в определении места нуля (МО) вертикального круга по формуле

$$MO = 0,5 [BK(KL) + BK(KP)]$$

Таким образом,

$$MO_B = 0,5 (KL_B + KP_B) = 0,5 (+1^{\circ}36,5' - 1^{\circ}38,0') = -0,75' = -45'' ;$$

$$MO_C = 0,5 (KL_C + KP_C) = 0,5 (-3^{\circ}20,0' + 3^{\circ}18,0') = -1,0' = -60''.$$

Допускаются расхождения в значениях места нуля не более двойной точности отсчёта по вертикальному кругу. В этом случае определяют значения углов наклона без усреднения величины МО

В примере:

$$vB = +1^{\circ}36,5' - (-0,75') = +1^{\circ}37,25' = +1^{\circ}37'15'';$$

$$vC = -3^{\circ}20,0' - (-1,0') = -3^{\circ}19,0' = -3^{\circ}19'00''.$$

Обычно значения углов наклона вычисляют только при КЛ (при КП – контрольное вычисление) и записывают в соответствующей строке журнала.

Значение места нуля вертикального круга стремятся сделать равным или очень близким к нулю.

**Спасибо за
внимание**