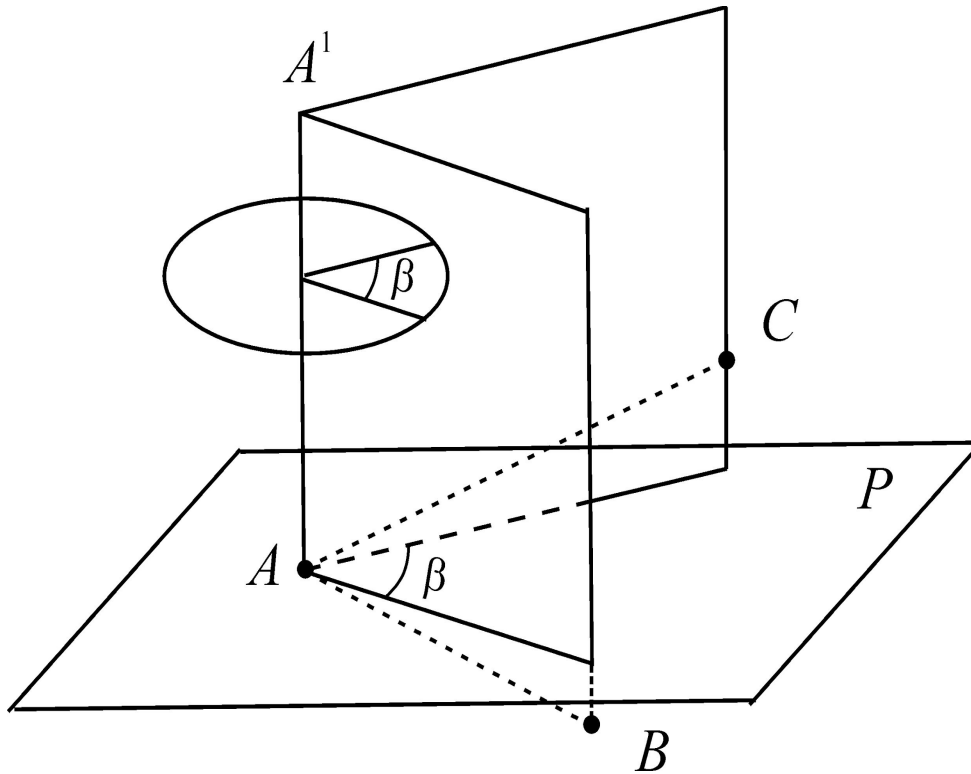


***Тема 5. Измерение углов.***



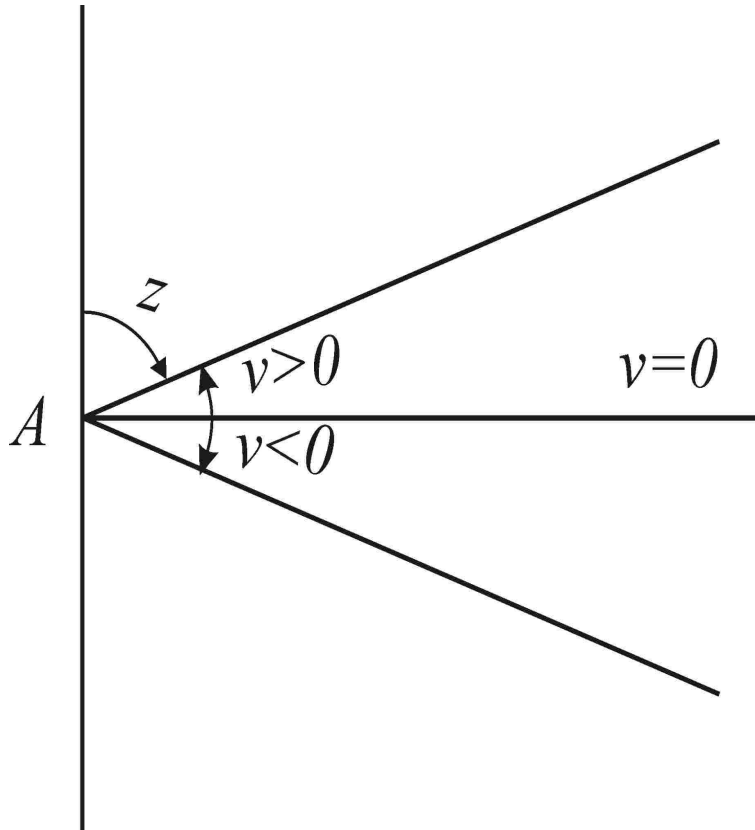
# Принцип измерения горизонтального угла.



**Горизонтальным углом** называют угол ( $\beta$ ) между двумя точками местности ( $\angle CAB$ ), спроецированных по отвесным линиям на горизонтальную плоскость ( $P$ ).

Горизонтальный угол изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

# Принцип измерения вертикального угла.



**Вертикальные углы** –

это углы, расположенные в вертикальной плоскости.

**Углом наклона** линии

называют угол ( $v$ ) между направлением линии и её проекцией на горизонтальную плоскость.

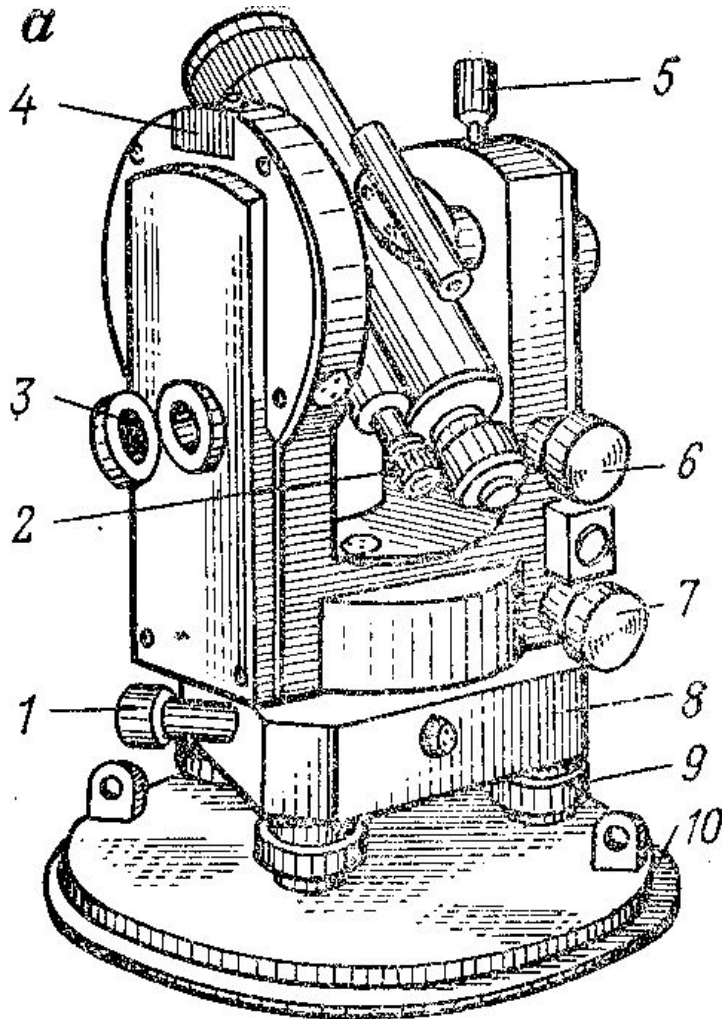
Углы наклона выше горизонта – положительные, ниже горизонта – отрицательные.

**Зенитное расстояние** –

угол ( $z$ ) между направлением в зенит и направлением линии.

# Теодолиты и их устройство.

Горизонтальные и вертикальные углы измеряют теодолитами.

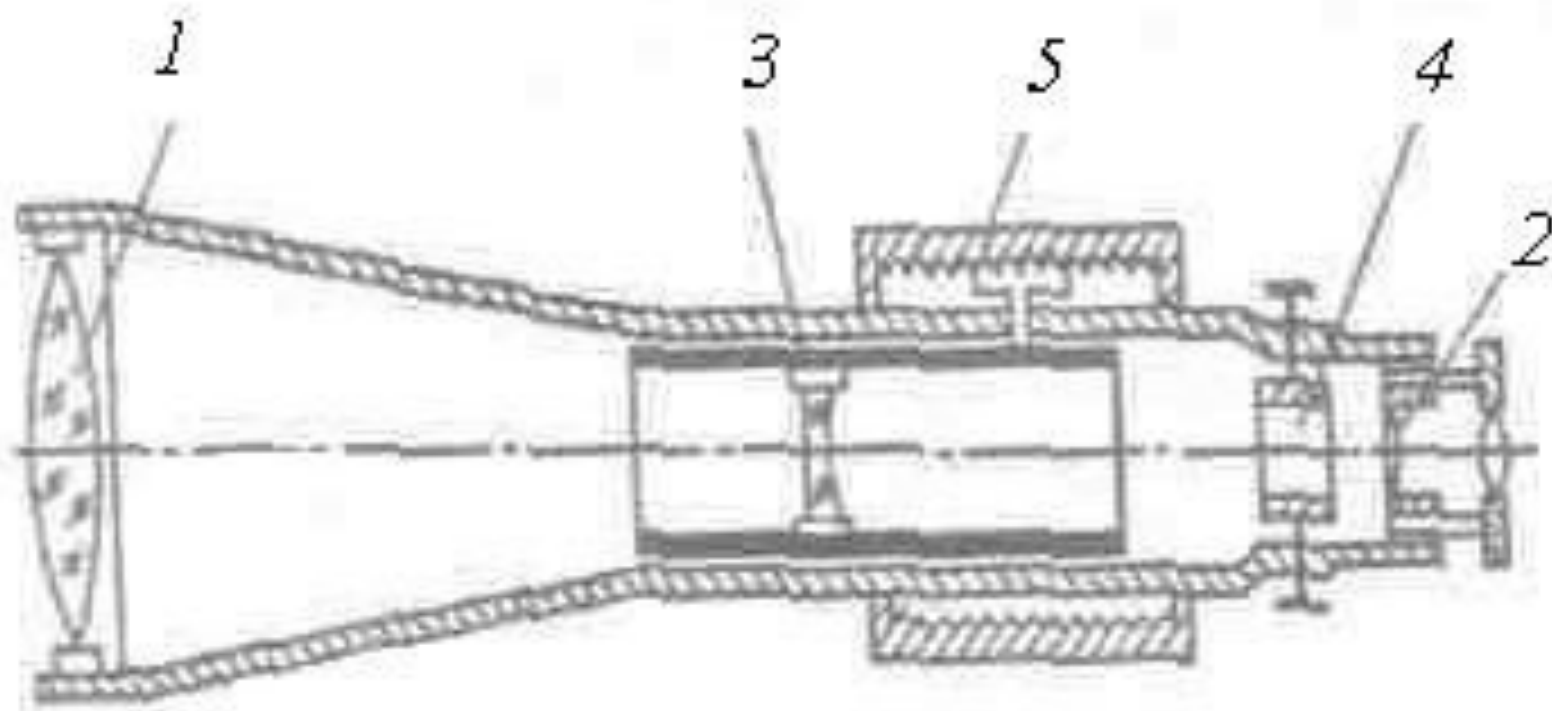


- 1 – наводящий винт горизонтального круга;
- 2 – окуляр микроскопа;
- 3 – крышка иллюминатора;
- 4 – посадочный паз для буссоли;
- 5 – закрепительный винт трубы;
- 6 – наводящий винт трубы;
- 7 – наводящий винт алидады;
- 8 – подставка;
- 9 – подъемный винт;
- 10 – основание.

# Основные части теодолита:

1. Основание (подставка) с тремя подъемными винтами.
2. Нижний горизонтальный круг – *лимб* - это стеклянный круг, по скошенному краю которого нанесены деления с оцифровкой от 0 до 360° по часовой стрелке.
3. Верхний горизонтальный круг – *алидада* - верхняя часть прибора, расположенная соосно с лимбом.
4. Зрительная труба (для визирования на точки местности).
5. Вертикальный круг (для измерения вертикальных углов).
6. Уровень (для *горизонтирования* – приведения вертикальной оси теодолита в отвесное положение).
7. Штатив (для установки теодолита).
8. Становой винт (для закрепления теодолита на штативе).
9. Отвес (для центрирования теодолита над точкой).
10. Буссоль (для определения магнитных азимутов направлений).

**Зрительная труба** служит для обеспечения точности наведения на визирные цели. Трубы бывают с прямым и обратным изображением.



Оптическая система трубы состоит из *объектива* 1, *окуляра* 2 и *фокусирующей линзы* 3, которую с помощью специального устройства – *кремальеры* 5, перемещают вдоль геометрической оси трубы. Между фокусирующей линзой и окуляром помещена *сетка нитей* 4 – деталь, несущая стеклянную пластину с нанесёнными на нее вертикальными и горизонтальными штрихами. При измерении углов перекрестие штрихов – центр сетки нитей, наводят на изображение визирной цели.

Линия, проходящая через оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей, называется *визирной осью*.

*Увеличением трубы* называется отношение угла, под которым изображение предмета видно в трубе, к углу, под которым предмет виден невооружённым глазом.

Практически увеличение трубы равно отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра. Трубы геодезических приборов имеют увеличение от  $15^{\times}$  до  $50^{\times}$  и более.

*Полем зрения* трубы называется пространство, видимое в трубу при её неподвижном положении. Обычно оно бывает от 1 до  $2^{\circ}$ .

*Визированием* называют наведение трубы на цель.



*Точность визирования* зависит от увеличения трубы и приближенно равна

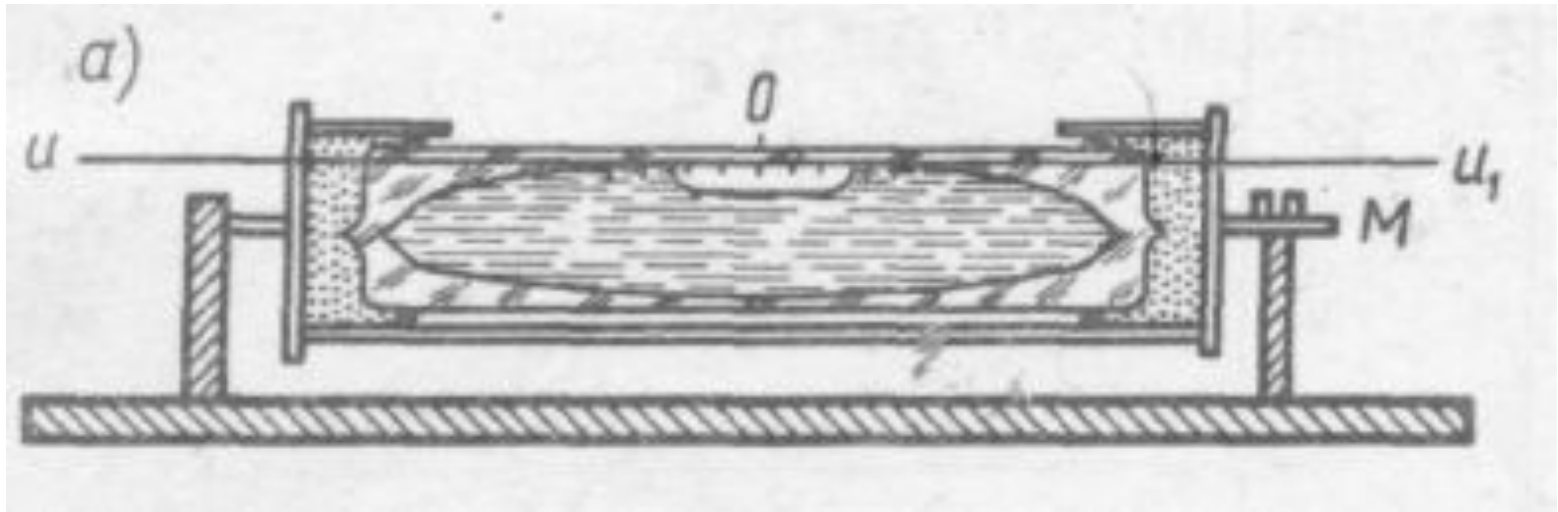
$$t_v = \frac{60''}{v^x}$$

где  $v^x$  – увеличение зрительной трубы, а  $60''$  – средняя разрешающая способность глаза.

Для визирования трубу фокусируют “*по глазу*” и “*по предмету*”. При этом, глядя в трубу, вращением диоптрийного кольца окуляра добиваются чёткого изображения сетки нитей, а перемещением фокусирующей линзы  $З$  – чёткого изображения наблюдаемого предмета.

**Уровни** служат для приведения осей и плоскостей приборов в горизонтальное или вертикальное положение. По конструкции они бывают

- 1. цилиндрические,*
- 2. круглые,*
- 3. контактные,*
- 4. электронные.*



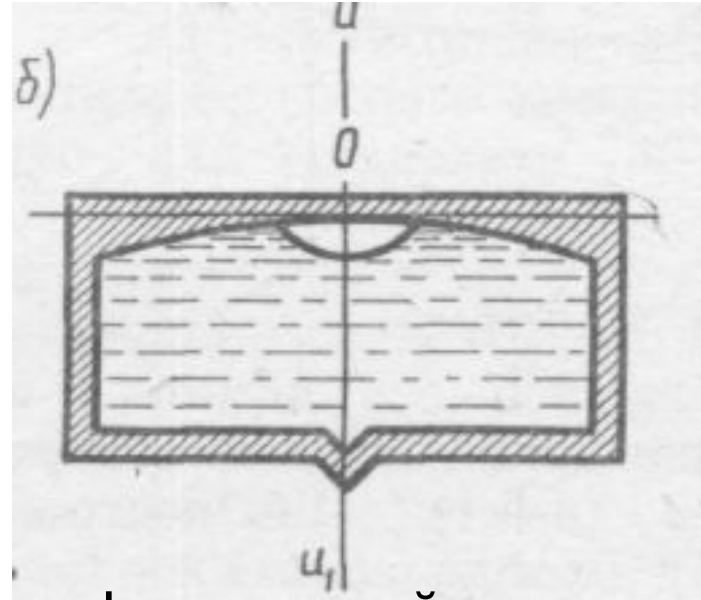
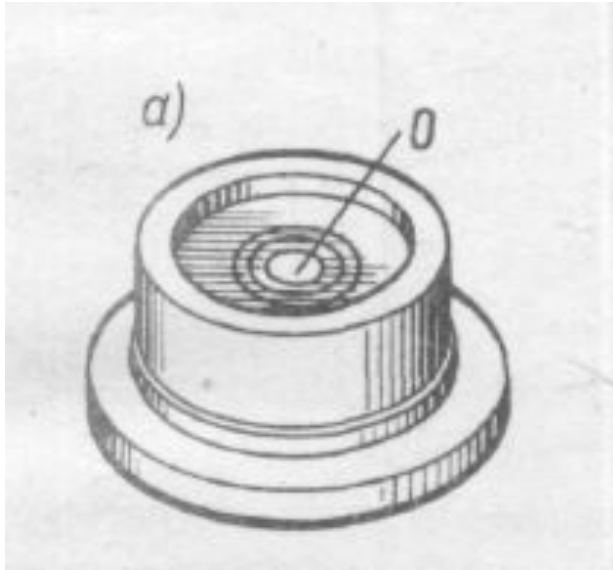
**Цилиндрический уровень** состоит из стеклянной ампулы, верхняя внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге окружности определённого радиуса. При изготовлении уровня её заполняют горячим эфиром или спиртом и запаивают.

Точка в середине шкалы называется *нульпунктом* уровня.

Касательная к внутренней поверхности ампулы в нульпункте называется *осью уровня*.

Пузырёк уровня занимает в ампуле наивысшее положение, поэтому, когда его концы расположены симметрично относительно нульпункта, ось уровня горизонтальна.

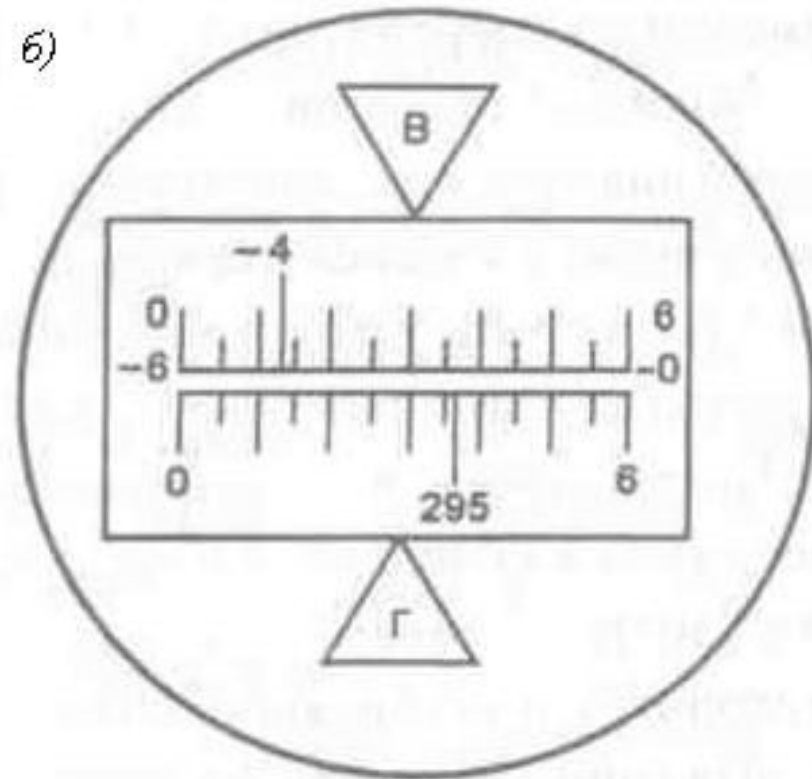
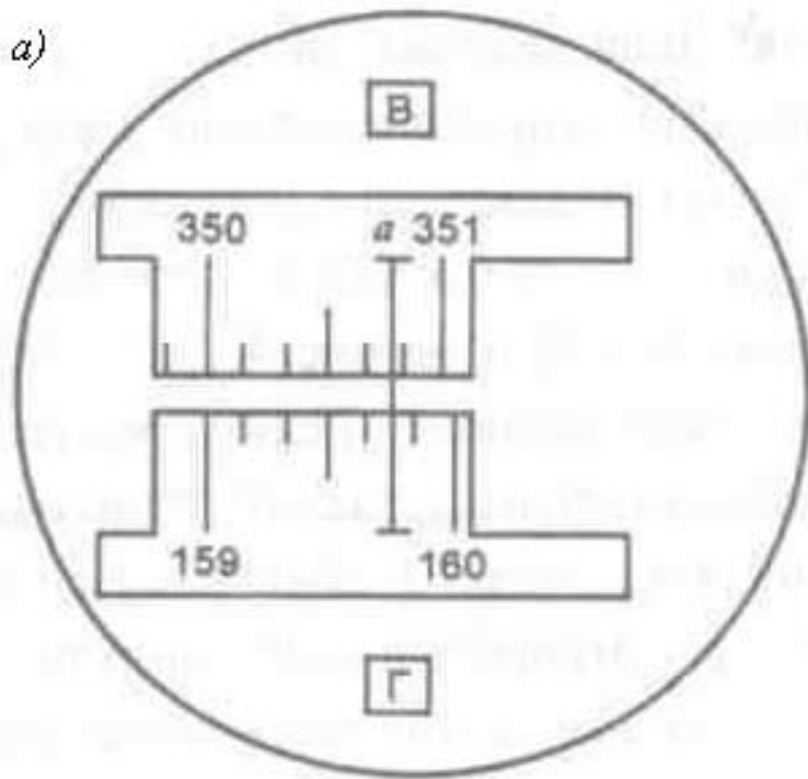
У **круглого уровня** внутренняя поверхность верхней стеклянной части ампулы имеет сферическую поверхность. Шкала уровня имеет вид окружностей с общим центром, который служит нульпунктом.



Нормаль к внутренней сферической поверхности ампулы в нульпункте называется **осью круглого уровня**. При расположении пузырька уровня в нульпункте ось уровня занимает отвесное положение.

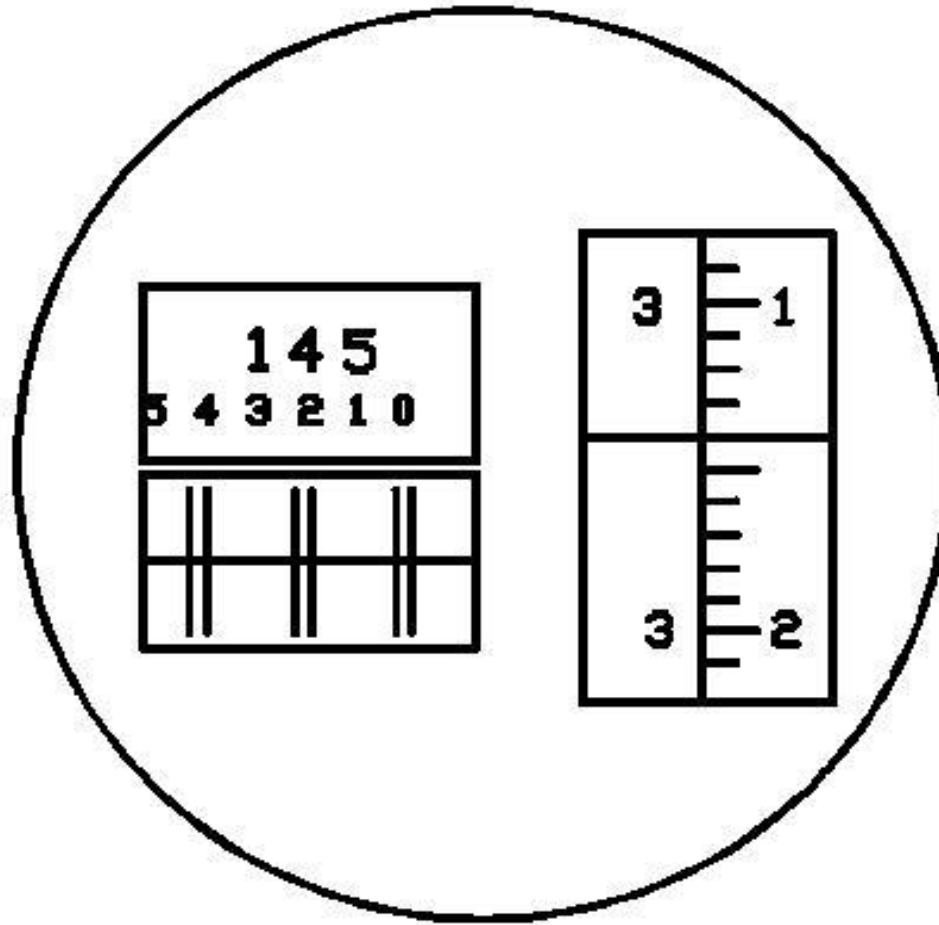
**Отсчётные устройства** служат для взятия отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам. Они снабжены отсчетными микроскопами. Различают микроскопы :

1. *штриховые,*
2. *шкаловые,*
3. *с оптическими микрометрами.*



а – штрихового (отсчёт по горизонтальному кругу  $159^{\circ}46'$ , по вертикальному  $350^{\circ}48'$ );

б – шкалового (отсчёт по горизонтальному кругу  $295^{\circ}36'$ , по вертикальному  $-4^{\circ}47'$ );



оптического микрометра (отсчет  $145^{\circ}23'14''$ ).



# ***Классификация теодолитов***

По своей точности теодолиты делятся на 3 класса:

- 1. высокоточные*** (модель Т1);
- 2. точные*** (модели Т2 и Т5);
- 3. технические*** (модели Т15 и Т30).

Цифры в шифре модели указывают среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла в секундах. Например, модель Т5 ( $m_B=5''$ ), модель Т30 ( $m_B=30''$ ).

В настоящее время производятся теодолиты *второго, третьего и четвертого* поколений, в которых улучшены и модернизированы некоторые устройства и технические характеристики.

Маркируются такие теодолиты следующим образом: например, в модели 2Т30 – цифра **2** обозначает теодолит 2-го поколения; в теодолите 3Т5КП – цифра **3** указывает третье поколение; буква **К** – наличие компенсатора вместо уровня при вертикальном круге, а буква **П** указывает, что в данном теодолите использована зрительная труба прямого изображения.

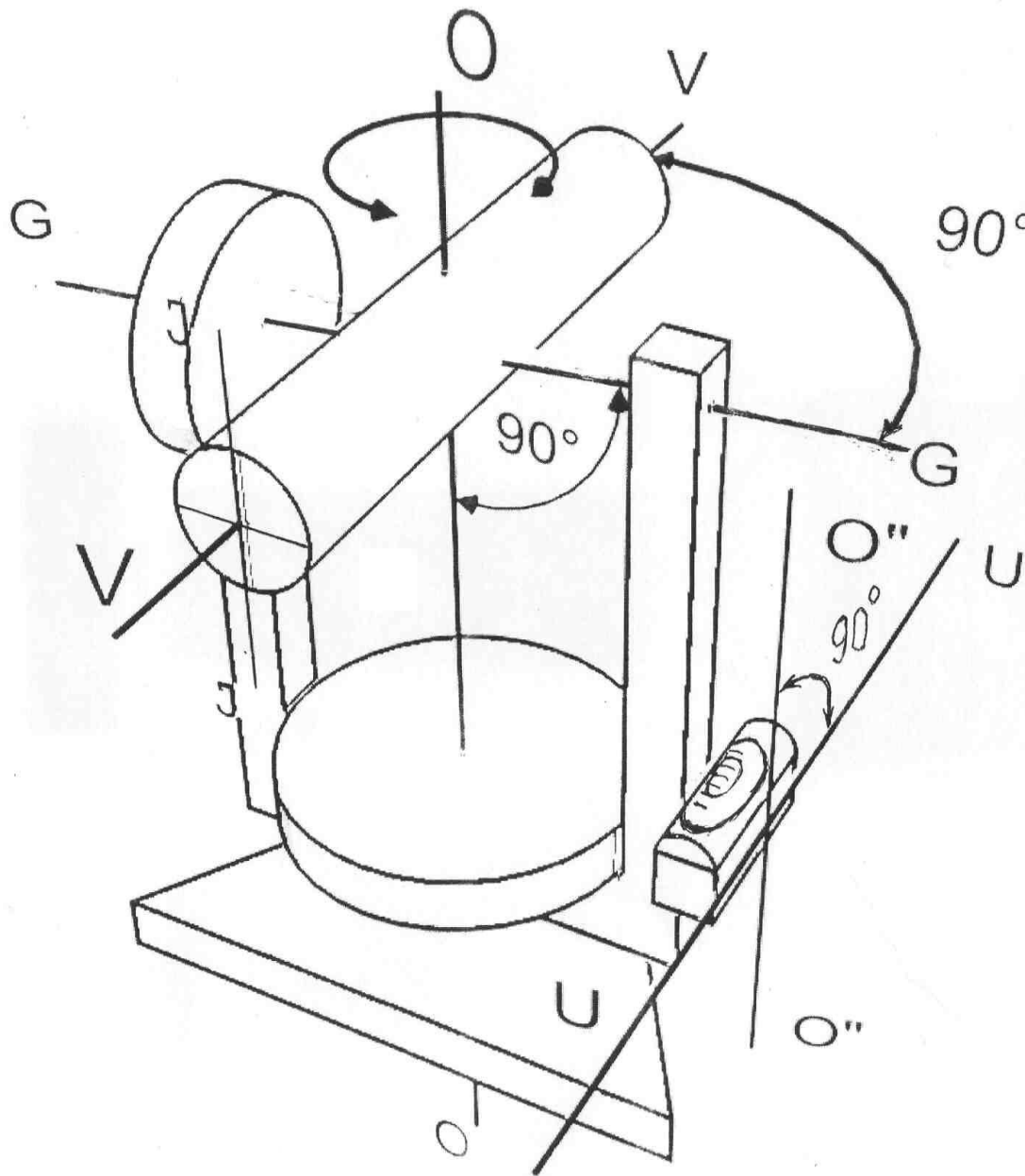
*Маркшейдерские* теодолиты (Т30М, Т15М), предназначенные для подземных работ, где возможно наличие взрывоопасного газа метана, изготавливают в специальном исполнении.

*Электронные* теодолиты (например, Т5Э) обеспечивают автоматическое считывание отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам.

Электронный теодолит является важной частью современного универсального прибора – *электронного тахеометра*.

# ***Проверки теодолитов***

Проверки выполнения верных геометрических условий у теодолита называются ***проверками***. Если же какое-то условие не выполняется, необходимо сделать соответствующее исправление, то есть ***юстировку***.



Чтобы теодолит можно было установить в рабочее положение, у него должны выполняться определенные **геометрические условия**, касающиеся взаимного расположения осей теодолита

1. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения трубы ( $UU \perp GG$ ).
2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси вращения трубы ( $VV \perp GG$ ).
3. Вертикальная нить сетки нитей должна быть параллельна вертикальной оси прибора ( $YY \parallel OO$ ).
4. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения прибора ( $GG \perp OO$ ).

# **Установка теодолита в рабочее положение**

Для измерительных операций теодолит устанавливают над точкой в рабочее положение и выполняют:

1. **Центрирование** – одним из двух способов с точностью 2–5 мм.

При первом способе применяют нитяной отвес, при втором – оптический центрир.

Ослабив становой винт, перемещают теодолит по головке штатива до положения совпадения острия отвеса или центра оптического центрира с точкой;

## 2. *Горизонтирование.*

Уровень при алидаде горизонтального круга устанавливают по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в противоположных направлениях, приводят пузырек уровня на середину шкалы; поворачивают алидаду на  $90^\circ$  и вращением третьего подъемного винта приводят пузырек на середину;



### 3. **Фокусирование** зрительной трубы

выполняют “по глазу” и “по предмету”.

Фокусируя “по глазу”, вращением диоптрийного кольца окуляра добиваются четкого изображения сетки нитей.

Фокусируя “по предмету”, вращая рукоятку кремальеры, добиваются четкого изображения наблюдаемого предмета.

# ***Измерение горизонтальных углов***

Существуют 3 способа измерения

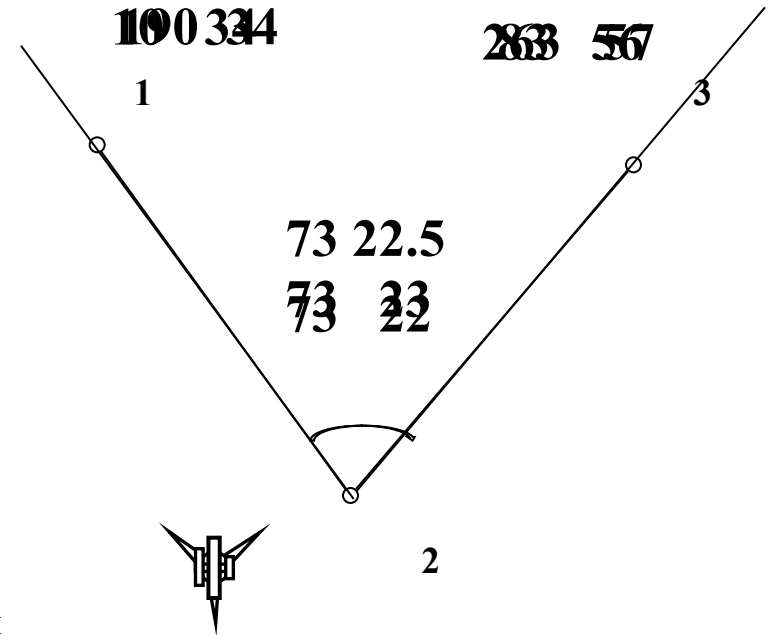
горизонтальных углов:

- 1. Способ приемов*
- 2. Способ круговых приемов*
- 3. Способ повторений*

# Измерение горизонтального угла способом приемов

Журнал измерения углов

№ точки стояния	№ точки наведения	Круг	Отсчеты °    '	Значения из полуприема	Среднее °    '
2	1	КЛ			
		КП			
	3	КЛ			
		КП			



Требуется теодолитом измерить угол 1-2-3. Для этого:

1. Отцентрировать теодолит над точкой 2.
2. Навести теодолит на точку 1 при круге лево (КЛ)
3. Снять отсчет по горизонтальному кругу и поместить в журнал
4. Навести теодолит на точку 3 при круге лево (КЛ)
5. Снять отсчет по горизонтальному кругу и поместить в журнал
6. Вычислить значение угла из полуприема при КЛ как разность отсчетов на 3 и 1 точки и поместить результат в журнал
7. Переводим круг теодолита на КП и наводим трубу на точку 3
8. Снимаем отсчет по горизонтальному кругу и помещаем его в журнал
9. Навести теодолит на точку 1 при круге право (КП)
10. Снимаем отсчет по горизонтальному кругу и помещаем его в журнал
11. Вычислить значение угла из полуприема при КП как разность отсчетов на 3 и 1 точки и поместить результат в журнал

12. Если значения углов из полуприемов не отличаются более чем на  $\pm 1'$ , то берут среднее и помещают в журнал

# **Измерение вертикальных углов**

Принцип измерения вертикальных углов изложен ранее.

Для измерения вертикальных углов служит вертикальный круг теодолита, жестко укрепленный на оси зрительной трубы и вращающийся вместе с ней.

Отсчет при трубе, расположенной горизонтально, и пузырьке уровня в нульпункте называется **местом нуля вертикального круга** (M0).

Для теодолита 2Т30:

$$\hat{i} = \frac{\ddot{E} + \ddot{I}}{2}$$

Для измерения вертикального угла наводят трубу на визирную цель при двух положениях вертикального круга (слева и справа) и, приводя каждый раз пузырек уровня в *нульпункт*, берут отсчеты по вертикальному кругу:

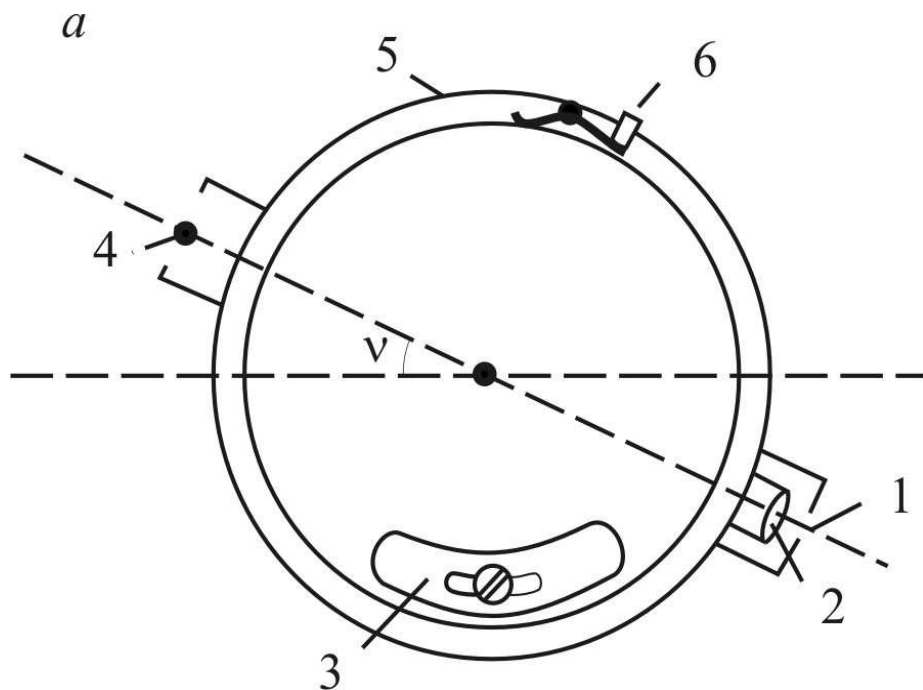
Л (лево) и П (право).

Очевидно, что угол наклона равен разности отсчетов при трубе, наведенной на цель и при трубе, расположенной горизонтально. Поэтому напишем:

$$\nu = \hat{E} - \hat{I} = \hat{I} - \hat{I}$$

Простейший прибор для измерения углов наклона –

**эклиметр.**

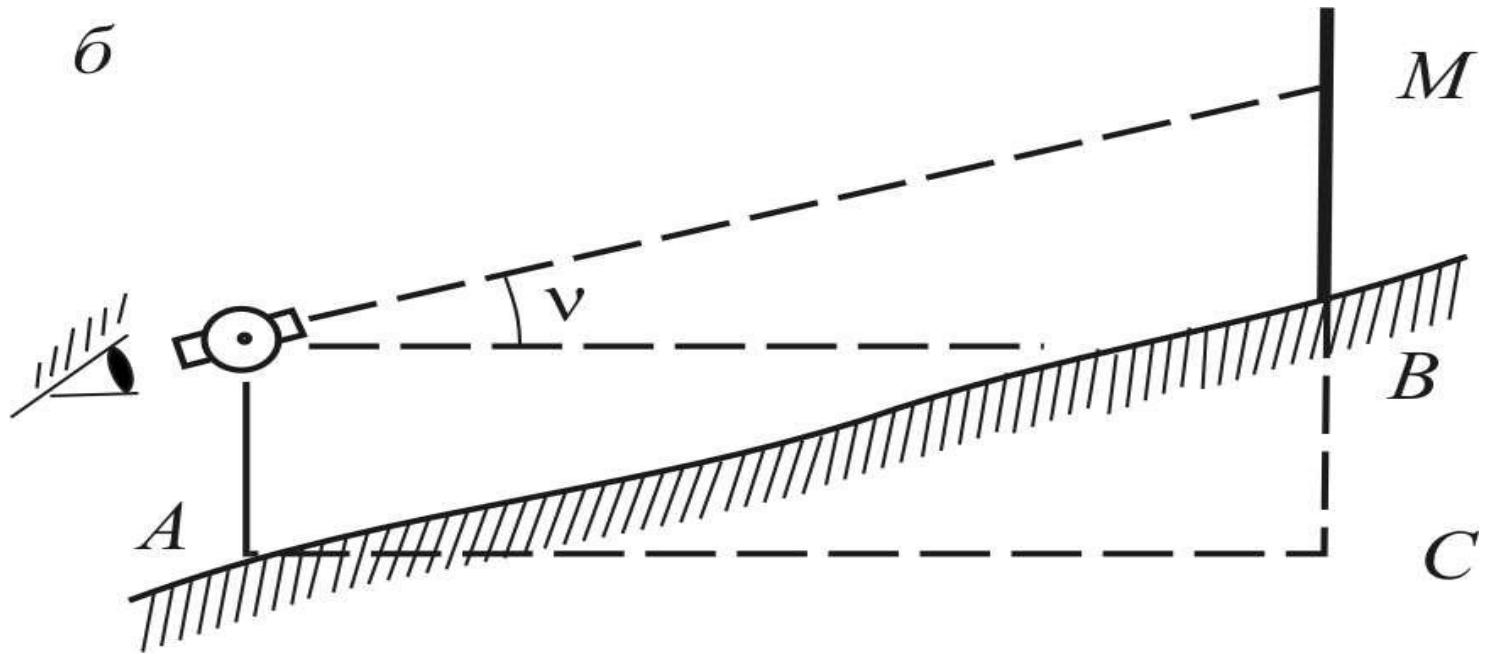


Эклиметр имеет внутри коробки 5 круг с градусными делениями на его ободе.

Круг вращается на оси и под действием укрепленного на нём груза 3 занимает положение, при котором нулевой диаметр круга горизонтален.

К коробке прикреплена визирная трубка с двумя диоптрами - глазным 1 и предметным 4.

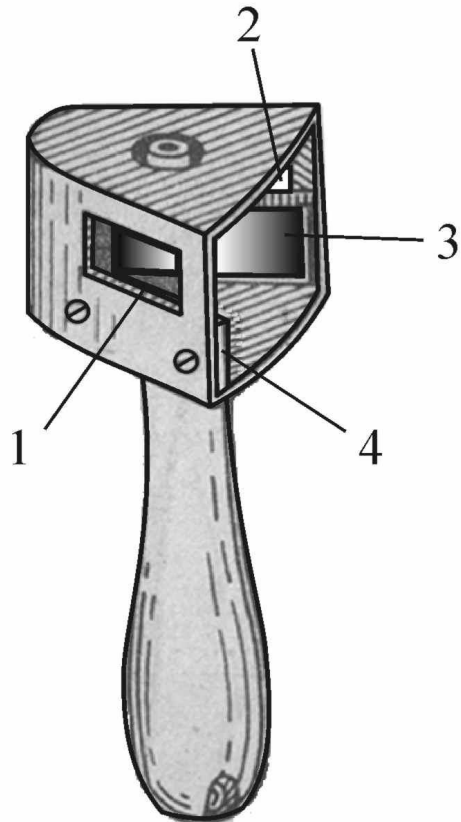
б



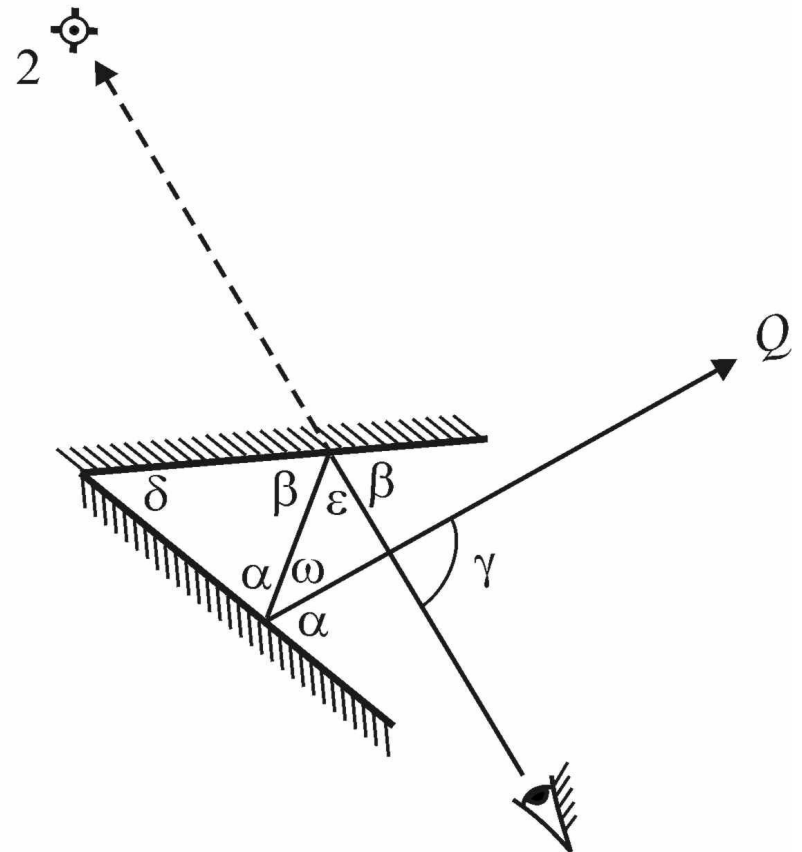
Для измерения угла наклона  $v$  в точке  $B$  ставят вежу с меткой  $M$  на высоте глаза. Наблюдатель (в точке  $A$ ), глядя в трубку 2 эклиметра, наводит её на точку  $M$  и нажатием кнопки 6 освобождает круг. Когда нулевой диаметр круга примет горизонтальное положение, против нити предметного диоптра 4 берут отсчёт угла наклона. Точность измерения угла эклиметром 15 – 30'.

При построении перпендикуляров длиной более 8 м пользуются **экером**. Экер (рис. а) имеет два зеркала 3 и 4, расположенных под углом  $\delta = 45^\circ$ . Луч, падающий на одно из зеркал, после двойного отражения выходит под прямым углом  $\gamma$  к исходному направлению (рис б).

а



б





**Электронный тахеометр** - объединяет теодолит, светодальномер и микроЭВМ.

Тахеометр производит любые угломерные измерения одновременно с измерением расстояний и по полученным данным проводит инженерные вычисления, сохраняя всю полученную информацию. С помощью электронного тахеометра в полевых условиях можно получить информацию об измеряемых горизонтальных и вертикальных углах и расстояниях, автоматически выполнить необходимые вычисления по плановому и высотному положению.

*Ведущие производители  
электронных тахеометров :*

Leica-Geosystems (Швейцария)

Sokkia, Topcon, Nikon и Pentax (Япония)

Trimble Navigation (США)

ФГУП "УОМЗ"(Россия)

# Электронные тахеометры *Leica-Geosystems (Швейцария)*



**TM30**



**TS15**



**Viva TS11**

# Электронные тахеометры

## *Trimble Navigation (США)*



**M3 DR5**



**S3 Robotic**



**S6 Autolock**



# Электронные тахеометры *Sokkia (Япония)*



**SET 630R**

**SOKKIA**



**SET RX550**

**made in  
Japan**



**SET 5X**

# Электронные тахеометры *Nikon (Япония)*



**DTM-322**



**Nivo 2M**



**Nivo 5M**