

*Общие сведения о геодезии и
геодезических измерениях*

Раздел 1.
Общие сведения о геодезии

Предмет и задачи геодезии.

Геодезия — наука, занимающаяся определением фигуры и размеров Земли, изображением земной поверхности на планах, картах и измерениями на местности при осуществлении различных инженерных мероприятий.

Долговременные задачи геодезии:

- определение фигуры, размеров и гравитационного поля Земли,
- распространение единой системы координат на территорию отдельного государства, континента и всей земли в целом,
- изображение участков поверхности земли на топокартах и планах, изучение глобальных смещений блоков земной коры.

Задачи на ближайшие годы:

- выполнение измерений и построений на местности, необходимых для проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений,
- создание и внедрение ГИС,
- создание государственных и локальных кадастров: земельного, водного, лесного, городского и т.д.,
- топографо-геодезическое обеспечение делимитации (определения) и демаркации (обозначения) государственной границы страны,
- разработка и внедрение стандартов в области цифрового картографирования,
- создание цифровых и электронных карт и их банков данных и другие.

Задачи геодезии решаются на основе измерений, выполняемые с помощью геодезических приборов и последующей математической и графической обработкой результатов этих измерений.

Геодезия подразделяется на ряд *научно-технических дисциплин*:

1. Высшая геодезия изучает фигуру Земли, ее размеры и гравитационное поле, обеспечивает распространение принятых систем координат в пределах государства, континента или всей поверхности Земли *т. е. создает государственную геодезическую основу на всей территории страны*, занимается исследованием древних и современных движений земной коры, а также изучает фигуру, размеры и гравитационное поле других планет Солнечной системы.
2. Космическая геодезия— решает геодезические задачи с помощью искусственных спутников Земли в режиме реального времени.
3. Топография (описание местности) изучает методы топографической съемки местности с целью изображения ее на планах и картах.
4. Космическая геодезия— решает геодезические задачи с помощью искусственных спутников Земли в режиме реального времени.
5. Топография (описание местности) изучает методы топографической съемки местности с целью изображения ее на планах и картах.
6. Картография изучает методы и процессы создания и использования карт, планов, атласов и другой картографической продукции.
7. Фотограмметрия (фототопография и аэрофототопография) изучает методы создания карт и планов по фото- и аэрофотоснимкам.
8. Маркшейдерия (подземная геодезия) изучает методы проведения геодезических работ в подземных горных выработках.
9. Инженерная геодезия изучает методы и средства проведения геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений.

Значение геодезии в области строительства:

- карты и планы являются главной основой при проектировании объектов строительства.
- геодезические методы и данные необходимы при разработке проекта строительства, при перенесении проекта на местность, при возведении сооружений.
- геодезическими измерениями и построениями осуществляется непрерывный контроль за соблюдением геометрической проектной схемы сооружения.

Таким образом, геодезические работы предшествуют и сопутствуют проектированию, контролируют процесс возведения сооружений на всех его стадиях, завершают строительство составлением исполнительных чертежей, без которых ни один объект не может быть принят в эксплуатацию. В процессе эксплуатации сооружений средствами геодезии производятся наблюдения за осадками и деформациями сооружений.

Геодезия развивается в тесной связи с другими научными дисциплинами. Огромное влияние на развитие геодезии оказывают математика, физика, астрономия. Математика вооружает геодезию средствами анализа и методами обработки результатов измерений. На основе физики рассчитывают оптические приборы и инструменты для геодезических измерений. В современном геодезическом приборостроении используются такие науки, как механика, автоматика, электроника.

Астрономия обеспечивает необходимые в геодезии исходные данные.

Тесную связь геодезия имеет также с географией, геологией и в особенности с геоморфологией. Знание географии обеспечивает правильную трактовку элементов ландшафта и результаты деятельности людей.

Формы рельефа и закономерности их изменения познаются при помощи геологии и геоморфологии.

В свою очередь, геодезические данные являются необходимой информационной основой в основных сферах науки и производства.

На современном этапе в геодезии широко применяют цифровое и электронное картографирование, дистанционное зондирование Земли аэрокосмическими средствами, использованием глобальных навигационных систем определения положения, переходом на принципы геоинформатики и геоинформационных компьютерных систем. В связи с этим большое значение для геодезии приобретают *информатика, автоматика, электроника.*

2 Краткие сведения о развитии геодезии

Геодезия одна из древнейших наук (зародилась в Египте). Термин геодезия впервые встречается в трудах Аристотеля (322 г. до н.э.). В переводе с греческого - «землеразделение».

В VI в. до нашей эры Пифагор считал, что Земля имеет круглую форму. Спустя 200 лет Аристотель доказал это, ссылаясь на то, что во время лунных затмений тень Земли всегда круглая. Спустя ещё 100 лет Эратосфен сумел измерить длину земного меридиана и вычислить радиус Земли.

Исследования арабских и туркестанских ученых завершают первый период становления геодезии как самостоятельной науки о Земле, занимающейся изучением её фигуры и измерениями на её поверхности

Начало второго периода в развитии геодезической науки относится к эпохе великих научных и географических открытий. В этот период свои открытия совершили Колумб, Васко да Гама, Магеллан, Кук, Беринг. В геодезии в это же время происходит ряд замечательных открытий.

В 1609 г. Галилеем изобретена зрительная труба. Нидерландский астроном и математик Снелиус в 1614 году разработал метод триангуляции, который был впервые применен французским астрономом Пикаром при измерении дуги меридиана от Парижа до Амьена. Пикар впервые использовал приборы с сеткой нитей.

В 1687 г вышел монументальный труд Ньютона - гениального английского математика, механика, астронома и физика «Математические начала натуральной философии», в котором на основании открытого им закона всемирного тяготения доказывается наличие сплюснутости фигуры Земли по оси вращения, и теоретически определил величину её полярного сжатия.

Третий период (18 – 19 века). Основной научной задачей геодезии становится определение размеров земного эллипсоида. В это же время возникло понятие геоида. К началу 19 века были накоплены значительные материалы геодезических и астрономических наблюдений. В связи с этим возникла проблема совместной обработки материалов

Метод решения этой проблемы был предложен немецким математиком, астрономом и геодезистом К. Ф. Гауссом и французским математиком Лежандром. Этот метод наименьших квадратов, находит широкое применение при обработке геодезических сетей. В России метод наименьших квадратов в геодезии и астрономии на практике применили известные российские астрономы и геодезисты Струве, Померанцев, Цингер, Певцов, Гедеонов и др.

Четвертый период (конец 19 –20 века). Советский ученый-геодезист Молоденский, доказал невозможность точного определения фигуры геоида только по измерениям на земной поверхности и разработал теорию и методы определения фигуры физической поверхности Земли.

Начало современного периода развития геодезии совпадает с запуском первых искусственных спутников Земли (ИСЗ). Появление ИСЗ открыло новые возможности для решения научных и практических задач геодезии. Ярким примером тому служит появление систем глобального позиционирования (GPS).

Наряду с научными задачами геодезия решает целый комплекс практических задач. К таким задачам относятся создание геодезических сетей для обеспечения топографических съёмок, применение геодезических методов при строительстве сооружений, дорог и других объектов, проведении подземных работ в шахтах, тоннелях, метрополитене (маркшейдерские работы), проведение работ по землеустройству (кадастровые съёмки), наблюдение за деформацией и осадкой зданий и сооружений и т.д.

Велика роль геодезии в деле обороны страны и обеспечении боевых действий, т.к. невозможно эффективное использование современного высокоточного оружия (в том числе стратегических ракет) без точного геодезического и гравиметрического обеспечения.

Понятие о форме и размерах Земли.

Положение точек земной поверхности обычно определяют относительно общей фигуры Земли. За фигуру или форму Земли принимают форму и размеры геоида (рис. 1).

Геоид - это поверхность океанов, в состоянии полного покоя и равновесия мысленно продолженная под материками.

Такая замкнутая поверхность в каждой своей точке перпендикулярна к отвесной линии, т. е. к направлению действия силы тяжести и, следовательно, всюду горизонтальна. Ее называют *уровенной поверхностью Земли* (геоида). Форма геоида сложная, и поэтому для упрощения геодезических вычислений для Земли принимают простые формы: эллипсоид или шар.



Эллипсоид вращения(сфероид) — это фигура, полученная от вращения эллипса вокруг его малой оси PP_1 . Из-за приплюснутости Земли у полюсов P, P_1 полуоси эллипсоида имеют неодинаковые значения (полуось a больше b).

Линии a и b (рис. 1) называются большой и малой полуосями сфероида; a - радиус экватора, b - полуось вращения Земли.

Эллипсоид вращения характеризуется полярным сжатием, которое выражается величиной

$$\alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298,3}$$

Параметры a, b, α , полученные в СССР проф. Ф. Н. Красовским, ученым-геодезистом. Применяемые в разных странах референц-эллипсоиды м/иметь неодинаковые размеры; существует и общеземной эллипсоид, размеры которого утверждают Международные геодезические организации в системе WGS-84 эти размеры будут большая полуось $a = 6\,378\,137$ м.

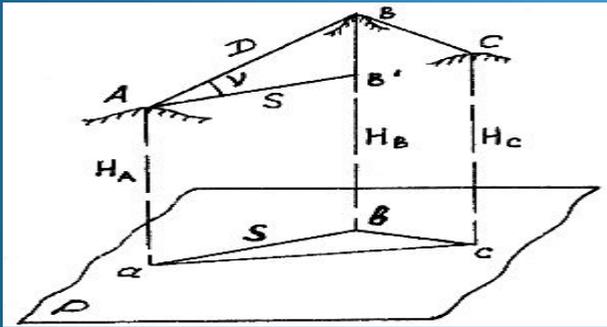
Для многих задач геодезии поверхностью относимости может служить сфера, которая в математическом отношении еще проще, чем поверхность эллипсоида вращения, а для некоторых задач небольшой участок сферы или эллипсоида можно считать плоским. В том случае, когда за фигуру Земли принимают *шар*, радиус его считают равным 6371 км. (Объем земного шара примерно равен объему земного эллипсоида).

Метод горизонтальной проекции.

Чтобы изобразить на бумаге участок земной поверхности, нужно выполнить две операции: сначала спроектировать все точки участка на поверхность относимости (на поверхность эллипсоида вращения или сферы) и затем изобразить поверхность относимости на плоскости.

Если участок местности небольшой, то соответствующий ему участок сферы можно заменить плоскостью и считать, что проектирование выполняется сразу на плоскость.

Пусть точки A, B, C находятся на поверхности Земли. Спроектируем их на поверхность относимости и получим их горизонтальные проекции – точки a, b, c. Линия ab = S называется горизонтальной проекцией (горизонтальным проложением) линии местности AB и обозначается буквой D. Угол между линией AB и ее горизонтальной проекцией AB' называется углом наклона линии и обозначается буквой v .



Горизонтальное проложение наклонной прямой вычисляется по формуле: $S = D * \cos v$

Рис. 2

4 Системы координат применяемые в геодезии

Для решения геодезических задач в глобальном масштабе используют различные системы координат: геодезические, пространственные, прямоугольные и др.

На поверхности эллипсоида вращения положение точки определяется геодезическими координатами:

1. Геодезические координаты

На поверхности эллипсоида вращения положение точки определяется геодезическими координатами - геодезической широтой B и геодезической долготой L (рис.3).

Геодезическая широта точки - это угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в этой точке и плоскостью экватора (B).

Геодезическая долгота точки - это двугранный угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана точки (L).

Плоскость *геодезического меридиана* проходит через точку A и малую полуось эллипсоида; в этой плоскости лежит нормаль к поверхности эллипсоида в точке A . *Геодезическая параллель* получается от пересечения поверхности эллипсоида плоскостью, проходящей через точку A и параллельной плоскости экватора.

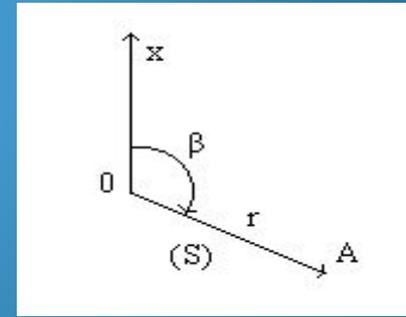
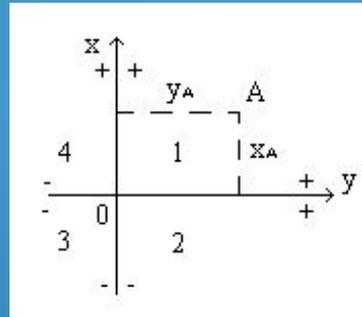
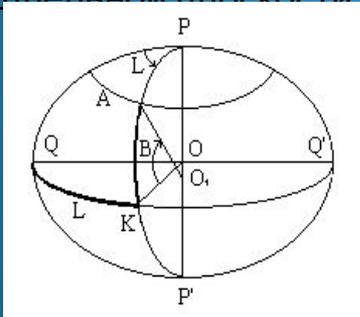


Рис.3 а - геодезические координаты

б- прямоугольные координаты.

в- полярные координаты

Две координаты - широта и долгота - определяют положение точки на поверхности относимости (сферы или эллипсоида).

2. Прямоугольные координаты

Систему плоских прямоугольных координат образуют две взаимноперпендикулярные прямые линии, называемые осями координат; точка их пересечения называется началом или нулем системы координат. Ось абсцисс - Ox , ось ординат - Oy .

Положение точки в прямоугольной системе однозначно определяется двумя координатами X и Y ;

Значения координат бывают положительные (со знаком " + ") и отрицательные (со знаком " - ") в зависимости от того, в какой четверти (квадранте) находится искомая точка (рис.3б).

3. Полярные координаты

Систему полярных координат образует направленный прямой луч Ox . Начало координат - точка O - называется полюсом системы, линия Ox - полярной осью. Положение любой точки в полярной системе определяется двумя координатами: радиусом-вектором r (синоним полярное расстояние S) - расстоянием от полюса до точки, - и полярным углом β при точке O , образованным осью Ox и радиусом вектором точки и отсчитываемым от оси Ox по ходу часовой стрелки (рис.3в).

Системы прямоугольных и полярных координат применяются в геодезии для определения положения точек на плоскости.

Высотные координаты. Превышение.

Для определения положения точки в трехмерном пространстве нужно задать ее третью координату, которой в геодезии является высота.

Высота точки – расстояние между уровенной поверхностью данной точки и уровенной поверхностью принятой за начало счета высот.

Абсолютные высоты отсчитываются от начальной уровенной поверхности в качестве которой на территории СНГ выбран поверхность Балтийского моря в спокойном состоянии.

Счет *условных высот* производится от любой условной поверхности, а высота одной точки относительно другой называется *относительной высотой*.

Относительная высота – превышение (разность высот двух точек).

Геодезическая высота – расстояние по нормали от точки до ее проекции на поверхность эллипсоида.

5 Ориентирование направлений.

Ориентировать линию – значит определить ее направление относительно другого направления, принятого за начальное. Направление определяется величиной ориентирного угла, то есть, угла между начальным направлением и направлением линии.

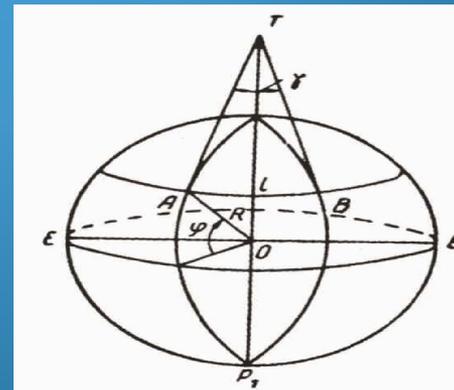
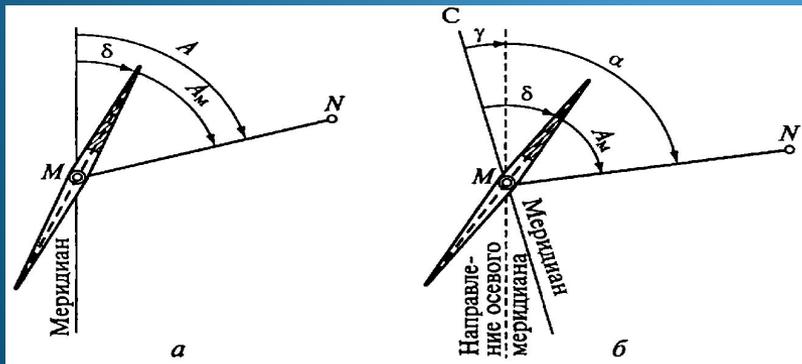
В геодезии за начальное направление принимают:

- * географический меридиан - это условная линия, получаемая пересечением земной поверхности плоскостью, проходящей через оба географических полюса.(ось вращения Земли).
- * осевой меридиан зоны,
- * магнитный меридиан - это условная линия, получаемая пересечением земной поверхности плоскостью, проходящей через оба магнитные полюса точки. Направление истинного и магнитного меридиана не совпадают.

Горизонтальный угол между истинным и магнитным меридианом называют склонением магнитной стрелки.

δ – угол склонения магнитной стрелки, который бывает западным (-) рис.5б, и восточным (+) рис 5а.

Сближением меридианов (γ)- угол между истинным и осевым меридианом. Различают восточное (+) и западное (-) сближение меридианов.

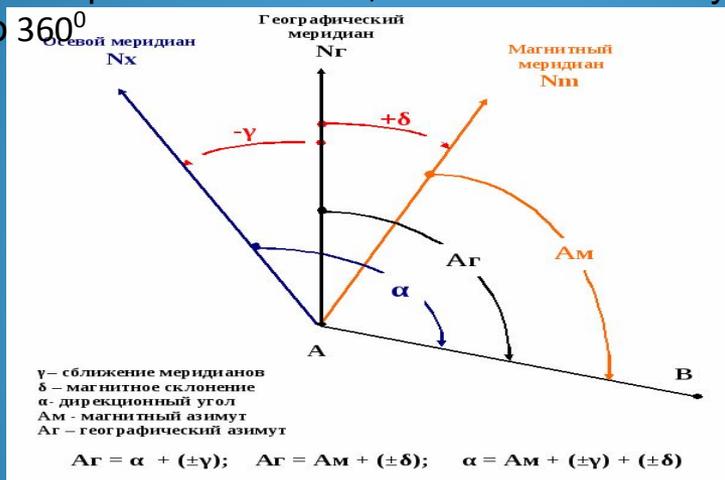


Углы ориентирования.

Для ориентирования линий относительно истинного и магнитного меридиана используют азимуты, дирекционные углы и румбы.

Азимут истинный (магнитный) - угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления географического (магнитного) меридиана точки до направления линии; он обозначается буквой А (рис.7). Может иметь значение 0° - 360° .

Дирекционный угол –это угол, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана зоны до направления линии; он обозначается буквой α (рис.6). Пределы изменения дирекционного угла от 0° до 360°



Румб(r)- это острый угол от ближайшего направления меридиана до направления линии. Пределы изменения румба от 0 до 90. Название румба зависит от названия меридиана: географический, магнитный и дирекционный (или осевой).

Для определения направления по значению румба он сопровождается названием четверти:

Четверть	Название румба	Зависимость	Знаки приращений	
0° - 90°	СВ	$r_1 = \alpha_1$	+	+
90° - 180°	ЮВ	$r_2 = 180^{\circ} - \alpha_2$	-	+
180° - 270°	ЮЗ	$r_3 = \alpha_3 - 180^{\circ}$	-	-
270° - 360°	СЗ	$r_4 = 360^{\circ} - \alpha_4$	+	-

Обратный румб отличается от прямого румба только наименованием четверти.

6 Прямая и обратная геодезическая задачи.

В прямой геодезической задаче известны горизонтальное проложение d прямого отрезка 1—2, его дирекционный угол α , координаты x_1 и y_1 начальной точки 1. Требуется вычислить координаты x_2 , y_2 точки 2. Сначала вычисляются приращения координат: $\Delta X = d \cdot \cos \alpha$, $\Delta Y = d \cdot \sin \alpha$ а затем искомые координаты: $X_2 = X_1 + \Delta X$, $Y_2 = Y_1 + \Delta Y$.

Знак приращения координат Δx и Δy зависит от направления отрезка 1—2 и соответствует знаку $\cos \alpha$ и $\sin \alpha$. При вычислениях с использованием румба r значениям Δx и Δy приписывают знак "плюс" или "минус".

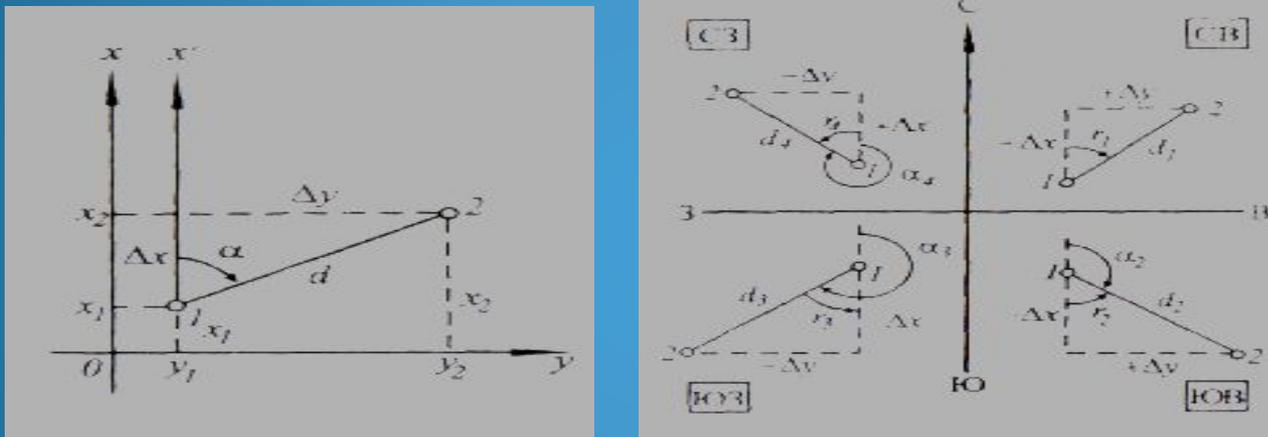


Рис. 7- Знаки приращения координат

В обратной геодезической задаче по известным координатам x_1 и y_1 , x_2 и y_2 конечных точек отрезка прямой 1—2 вычисляют горизонтальное проложение d , румб r_{1-2} и дирекционный угол α_{1-2} .

Вначале вычисляют тангенс румба: $\operatorname{tg} r_{1-2} = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) = (\Delta y / \Delta x)$.

а затем численное значение румба: $r = \operatorname{arctg} (\Delta y / \Delta x)$.

По знакам разностей $y_2 - y_1$ и $x_2 - x_1$ определяют название четверти румба и вычисляют дирекционный угол α .

Длину отрезка 1—2 находят по следующим формулам: $d = \sqrt{\Delta y^2 + \Delta x^2}$

7 Понятие о государственных и съёмочных геодезических сетях.

Для обеспечения практически всех видов инженерно-геодезических работ созданы опорные сети, пункты которых хранят на территории работ плановые и высотные координаты. Эти сети служат основой: для производства топографических съёмок при изысканиях, выполнения различных работ на территории городов, разбивочных работ при строительстве зданий, при составлении исполнительной документацией, для наблюдения за осадками и деформациями сооружений.

Геодезическая сеть — это система закрепленных точек земной поверхности, положение которых определено в **общей для них системе геодезических координат**.

Геодезические сети строят исходя из общего принципа геодезии — *от общего к частному*. Сначала на территории страны создана редкая сеть геодезических пунктов, координаты которых определены с высокой точностью. Затем эта сеть была сгущена сетями с меньшими расстояниями между пунктами, и координаты пунктов этих сетей определены с меньшей точностью.

Государственная геодезическая сеть является **исходной** для построения всех других геодезических сетей.

ГГС предназначена:

- для распространения единых установленных систем координат на территории РБ;
- для геодезического обеспечения картографирования территории РБ;
- для геодезического обеспечения изучения земельных ресурсов и землепользования, создания кадастров, строительства, разведки и освоения природных ресурсов РБ;
- для обеспечения исходными геодезическими данными средств наземной и космической навигации, аэрокосмического мониторинга природной и техногенной сред РБ;
- для изучения поверхности и гравитационного поля Земли и их

Все геодезические сети можно разделить по следующим признакам:

По территориальному признаку:

- 1) *глобальная* (создаются на всю поверхность Земли спутниковыми методами, являясь пространственными с началом координат в центре масс Земли)
- 2) *национальные* (делятся на ГГС и на государственную нивелирную сеть (ГНС);
- 3) *сети специального назначения* создаются в тех случаях, когда дальнейшее сгущение пунктов ГГС экономически нецелесообразно или когда требуется особо высокая точность геодезической сети
- 4) *сети съёмочного обоснования* на основе которых непосредственно производятся съёмки контуров и рельефа местности, инженерно-геодезические работы при строительстве сооружений.

По геометрической сущности:

- 1) *плановые сети* (пункты сети несут только плановые координаты X и Y),
- 2) *высотные сети* (пункты сети несут только высотные координаты H),
- 3) *пространственные сети* (пункты сети несут плановые и высотные координаты).

Высотные геодезические сети создают для распространения по всей территории страны единой системы высот. За начало высот принят средний уровень Балтийского моря.

Между пунктами высотных геодезических сетей высокой точности размещают пункты высотных сетей низших классов. Если на рисунке пункты высотной сети соединить линиями, получатся фигуры, которые называют *ходами*. Несколько пересекающихся ходов называют **сетями**. В целом точки (реперы) высотных сетей достаточно равномерно распределены на территории страны. В незастроенной территории расстояния между реперами колеблются в пределах 5...7 км, в городах сеть реперов в 10 раз плотнее.

Для решения ограниченного круга вопросов при изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений создают высотную сеть технического класса.

Нивелирные сети на стройплощадках и при создании внешних разбивочных сетей создают на базе плановых сетей, т. е. создают планово-высотные сети.

Каждый нивелирный ход опирается обоими концами на реперы ходов более высокого класса.

В настоящее время для определения местоположения используются спутниковые системы.

Методы создания плановых геодезических сетей.

1. *Метод триангуляции* состоит в создании геосетей из треугольников, в вершинах которых размещены геодезические пункты, с измерением всех углов и некоторых из сторон — базисов.

2. *Метод трилатерации* (линейной триангуляции) состоит в создании геодезических сетей из треугольников (расстояния вычисляются из решения треугольников).

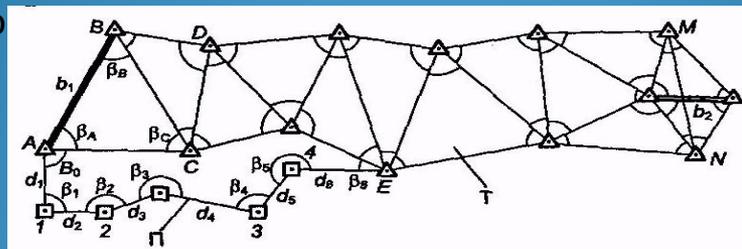


Рис. 8 Схемы плановых геодезических сетей: а - триангуляция (Т) и полигонометрия (П).

3. *Метод полигонометрии* состоит в создании геодезических сетей состоящих из ломанных линий, называемых хордами. Измеряют расстояний между геодезическими пунктами и горизонтальных углов между сторонами сети. Гос нивелир сети (1,2,3,4 классов) на местности закреплены – реперами.

4. *Наземно-космический метод* - заключается в создании геосетей с использованием систем и приборов спутниковой навигации («GPS»).

Системы спутниковой навигации и современные приемники «GPS» позволяют быстро определять трехмерные координаты геодезических пунктов с точностью до долей сантиметра. Для обеспечения необходимой точности измерений и их контроля определение координат пунктов сети производят многократно в разное время при различном положении навигационных спутников (созвездий) на небосклоне.

Это самый современный, универсальный, точный и простой метод производства геодезических работ на любых территориях, но он особенно эффективен в необжитых районах с низкой плотностью пунктов геодезических сетей

Геодезические знаки- наземные сооружения и подземные устройства, которым и обозначаются и закрепляются на местности геодезические пункты.

Геопункты выбираются на открытых возвышенных участках местности, так чтобы с каждого из них была обеспечена видимость хотя бы на 3 соседних.

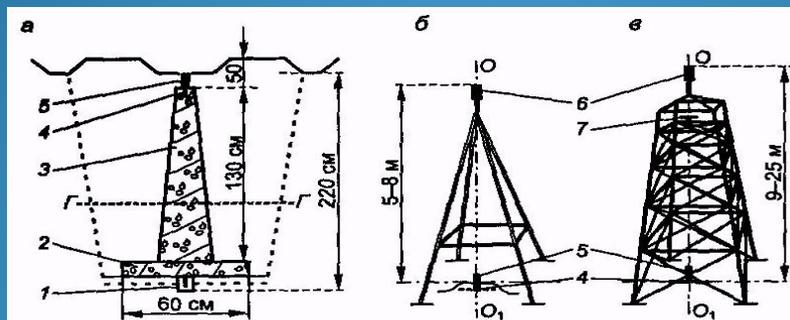


Рис.9 Геодезические пункты.

а - подземный центр; б - пирамида; в - сигнал; 1 - нижний центр; 2 - плита; 3 - пилон верхнего центра; 4 - верхний центр; 5 - опознавательный столбик; 6 - визирный цилиндр; 7 - столик; ГГ - граница промерзания грунта; ОО1 - вертикальная ось

Геопункты для сохранности закрепляют на земной поверхности геоцентрами, представляющие собой железобетонный монолит. Закладываемый ниже промерзания грунта. Геоцентр несет координаты геопунктов.

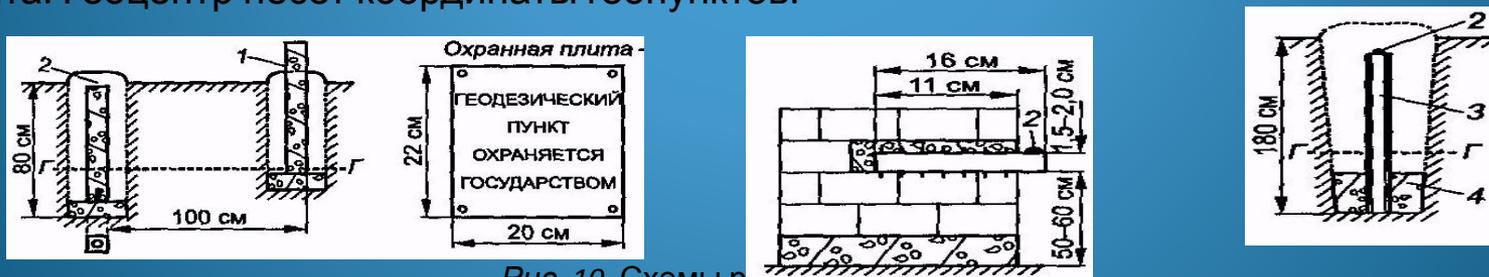


Рис. 10. Схемы реперов и знаков.

а - репер фунтовый для зоны сезонного промерзания; б- охранная плита; в - стеной репер; 1 - опознавательный столб; 2 - носитель высотной координаты (выступ для постановки нивелирной рейки); 3 - труба диаметром 30-50 мм; 4 - якорь бетонный;; Г— граница глубины промерзания грунтов.

Над центрами геознаков устанавливают наружные знаки различной конструкции. При взаимной видимости смежных геодезических пунктов с земли наружные геодезические знаки представляют каменные столбы или металлические пирамиды высотой до 6–8 м. При высотах более 15 м геодезические знаки являются сложными сигналами.

Пункты нивелирования обозначаются и закрепляются заложеными в грунт геодезического знака аналогичного устройства, которые в этом случае называются реперами, или вделанными в стены каменных сооружений чугунными марками. На марках имеется отлитая вместе с ней надпись, указывающая вид и номер геодезического пункта.

2.1 Топографически карты и планы и профили

Картой называют уменьшенное изображение значительных участков земной поверхности на плоскости с учетом влияния кривизны Земли.

Планом называют уменьшенное и подобное изображение относительно небольших участков местности, в пределах которых пренебрегают влиянием кривизны Земли.

С использованием карт, планов и профилей проектируют инженерные сооружения: дороги, мосты, тоннели, аэродромы, каналы, подземные коммуникации т. д.

При работе с топопланами и картами очень часто возникает задача построения профиля земли по заданной линии (по трассе автомобильной дороги).

Профиль – уменьшенное изображение разреза земной поверхности вдоль выбранного направления.

Строится он по вычисленным отметкам точек и горизонтальным проложениям между ними. На горизонтальной оси профиля откладываются горизонтальные проложения между точками. На вертикальной оси – отметки точек от условного горизонта.

Условный горизонт выбирается путем округления в меньшую сторону до целого числа отметки самой низкой точки профиля. Горизонтальный мш профиля выбирается равным масштабу плана или карты, по которой строится прорфиль.

Вертикальный масштаб профиля выбирают обычно в 10 раз крупнее горизонтального.

2.2 Условные знаки топографических карт и планов.

Контурные (масштабные) условные знаки изображают очертания объектов местности в подобной форме, по ним можно определить размеры объекта в плане и его площадь. Площадь внутри контура заполняется соответствующими условными знаками леса, луга и т.д.

Внемасштабные условные знаки служат для изображения предметов, которые по их небольшим размерам нельзя показать в уменьшенном виде на карте данного масштаба, например колодцы, столбы, отдельно стоящие деревья и т.д.

Линейные условные знаки для дорог, оград и т.д. по ширине могут быть внемасштабными.

Пояснительные условны знаки - это цифровые и буквенные надписи, характеризующие объекты, например: глубину и скорость течения рек, грузоподъемность и ширину мостов, породу леса, среднюю высоту и толщину деревьев, ширину шоссежных дорог. Их проставляют на основных площадных, линейных, внемасштабных знаках.

Специальные условные знаки устанавливают соответствующие ведомства отраслей народного хозяйства; их применяют для составления специализированных карт и планов этой отрасли, например знаки для маркшейдерских планов нефтегазовых месторождений — нефтепромысловые сооружения и установки, скважины, промысловые трубопроводы.

Чтобы придать карте большую наглядность, для изображения различных элементов используют цвета: для рек, озер, каналов, заболоченных участков — синий; лесов и садов — зеленый; шоссежных дорог — красный; улучшенных грунтовых дорог — оранжевый.

Все остальное дают черным цветом. На изыскательских планах цветными делают подземные коммуникации (трубопроводы, кабели).

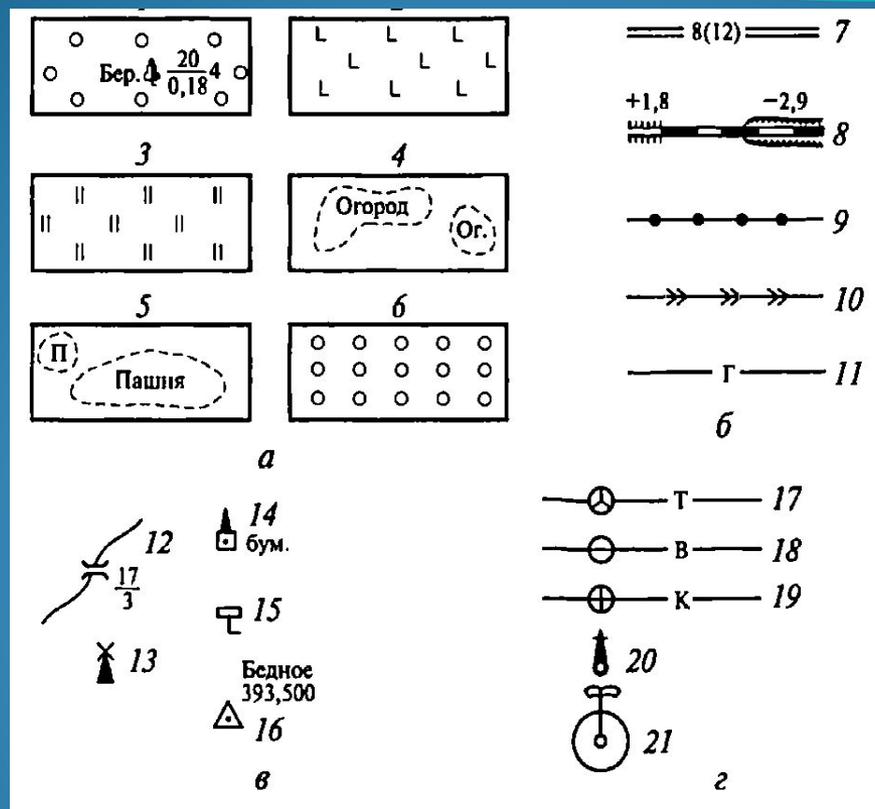


Рис.11 Условные знаки: — площадные; б — линейные; в — внемасштабные; г — специальные; 1 — березовый лес; — вырубка; 3 — луг; 4 — огород; 5 — пашня; 6 — фруктовый сад; 7 — шоссе; 8 — железная дорога; — линия связи; 10 — линия электропередачи; 11 — магистральный трубопровод (газ); 12 — деревянный мост; 13 — ветряная мельница; 14 — завод, фабрика; 15 — километровый столб; 16 — пункт геодезической сети; 17 — трасса; 18 — водопровод; 19 — канализация; 20 — водозаборная колонка; 21 — фонтан

Ситуация. Рельеф местности. Изображение рельефа горизонталями.

На картах и планах изображают разные объекты местности: контуры населенных пунктов, сады, огороды, реки, озера, линии дорог и ЛЭП, Совокупность этих объектов называют ситуацией.

Рельефом местности называют совокупность неровностей земной поверхности.

Типовые формы рельефа.

Гора - куполообразная возвышенность. Вершина горы характеризуется наибольшей отметкой.

Котловина (замкнутая впадина) образована отлогими склонами от бровки до ее *дна* — самой низкой точки.

Хребет — вытянутая возвышенность, в которой противоположные скаты сходятся по оси хребта, называемой также водораздельной линией

Лощина — вытянутое, понижающееся в одном направлении углубление, плавные склоны которого сходятся вдоль линии тальвега.

Седловина — понижение местности между двумя возвышенностями

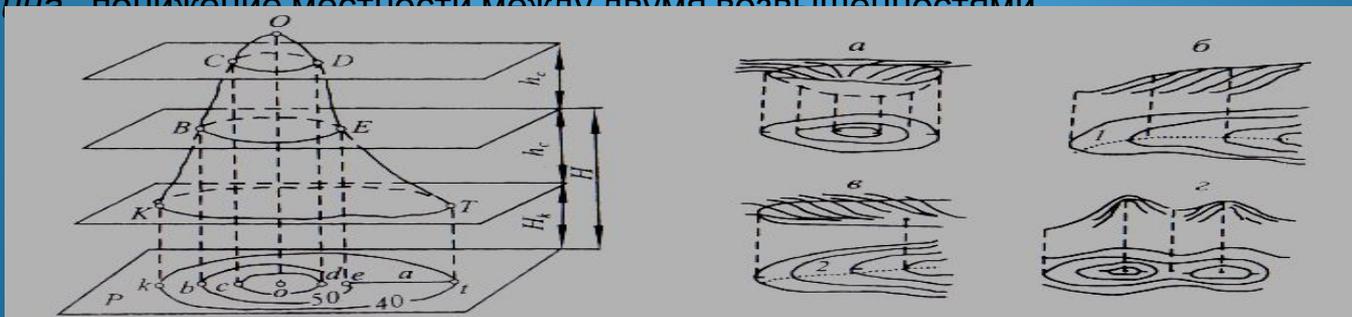


Рис. 12 а- котловина, б- хребет, в- лощина, г-седловина

Для изображения рельефа на картах использования различные способы.

Способ отмывки: этот способ применяется на мелкомасштабных картах. Поверхность Земли показывается коричневым цветом: чем больше отметки, тем гуще цвет. Глубины моря показывают голубым или зеленым цветом: чем больше глубина, тем гуще цвет.

Способ отметок: на карте подписывают отметки отдельных точек местности.

Способ горизонталей.

Горизонталь– это замкнутая кривая линия, все точки кот. имеют одинаковые отметки. Высота H горизонтали выражается числом, наз. **отметкой** .

Вертикальное расстояние h между соседними уровенными поверхностями называется **высотой сечения рельефа**

Наименьшее горизонтальное расстояние между горизонталями есть **заложение**.

Основные горизонтالي имеют отметки, кратные высоте сечения рельефа h , начиная от нуля счета высот. Для выражения характерных особенностей рельефа проводят полугоризонтали и четверть горизонтали; они проводятся штриховыми линиями через половину и четверть сечения рельефа на отдельных участках карты (где расстояние между основными горизонталями слишком большое). Каждая пятая основная горизонталь при $h = 1, 2, 5, 10$ м и каждая четвертая при $h = 0.5$ и 2.5 м утолщаются.

Подписи высоты горизонталей даются так, чтобы основание цифр располагалось в сторону понижения местности. Горизонтали дополняют бергштрихами, направленными в сторону понижения местности.

Свойства горизонталей: Все точки, лежащие на одной горизонтали имеют одинаковую высоту. Горизонтали не пересекаются. По горизонталям можно определить высоту любой точки на плане или карте.

В традиционной картографии принято деление всех объектов местности на 8 больших классов (сегментов): математическая основа, рельеф, гидрография, населенные пункты, предприятия, дорожная сеть, растительность и грунты, границы и подписи.

Таблицы условных знаков для карт разных масштабов составляются в соответствии с этим делением объектов; они утверждаются государственными органами и издаются в форме обязательных для исполнения документов.

2.3 Численный, линейный и поперечный масштабы

Масштабом называется степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при изображении их на плане, карте или аэроснимке. Различают численный и графические масштабы (линейный, поперечный масштабы).

Численный масштаб выражается в виде дроби, числитель которой равен единице, а в знаменателе стоит число, показывающее степень уменьшения горизонтальных проложений. На топо картах численный масштаб подписывается внизу листа карты в виде 1:М, например, 1:10000. Если длина линии на карте равна s , то горизонтальное проложение S линии местности будет равно: $S = s * M$.

Линейный масштаб – это графический масштаб; он строится в соответствии с численным масштабом карты в следующем порядке: проводится прямая линия и на ней несколько раз подряд откладывается отрезок a постоянной длины, называемый основанием масштаба (при длине основания $a=2$ см линейный масштаб называется нормальным); для масштаба 1:10 000 a соответствует 200 м, у конца первого отрезка ставится нуль, влево от нуля подписывают одно основание масштаба и делят его на 20 частей, вправо от нуля подписывают несколько оснований, параллельно основной прямой проводят еще одну прямую и между ними прочерчивают короткие штрихи

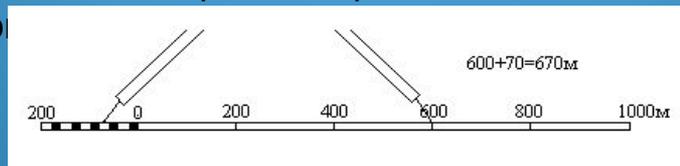


Рис. 13 Линейный масштаб

Линейный масштаб помещается внизу листа карты.

Чтобы измерить длину линии на карте, фиксируют ее раствором циркуля-измерителя, затем правую иглу ставят на целое основание так, чтобы левая игла находилась внутри первого основания. Считывают с масштаба два отсчета: $N1$ – по правой игле и $N2$ – по левой; длина линии равна сумме отсчетов $S = N1 + N2$.

Поперечный масштаб представлен в виде номограммы. Проведем прямую линию CD и отложим на ней несколько раз основание масштаба – отрезок а длиной 2 см (рис.5.2). В полученных точках восстановим перпендикуляры к линии CD; на крайних перпендикулярах отложим m раз вверх от линии CD отрезок постоянной длины и проведем линии, параллельные линии CD. Крайнее левое основание разделим на n равных частей. Соединим i-тую точку основания CA с (i-1)-й точкой линии BL; эти линии называются трансверсалиями.

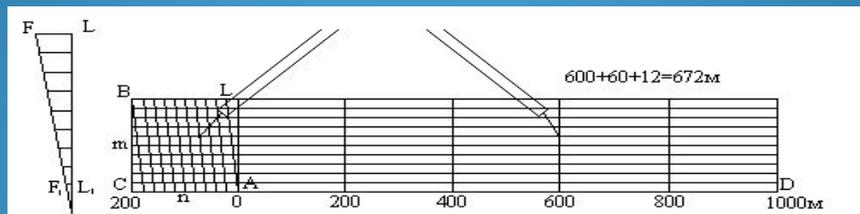


Рис. 14 Поперечный масштаб

Если основание масштаба равно 2 см, то масштаб называется нормальным; если $m = n = 10$, то масштаб называется сотенным.

3 Элементы теории погрешности измерений

Виды геодезических измерений. При многократных измерениях одной и той же величины результаты измерений получаются неодинаковыми. Следовательно измерения сопровождаются разными по величине и по знаку ошибками.

Геодезические измерения – процесс нахождения заданной физической величины с помощью технических средств.

Равноточные измерения – когда измерения выполняют одинаковыми прибором, равноценными методами и в одинаковых условиях.

Если хотя бы один из перечисленных критериев не выполняется, то измерения являются неравноточными измерениями.

В геодезических работах измеряют в основном линейные и угловые величины.

Линейные величины (расстояния и превышения) измеряют либо непосредственно с помощью рулеток, светодальномеров либо косвенно .

Горизонтальные и вертикальные углы непосредственно измеряют угломерными приборами (теодолитами, тахеометрами), и косвенно через другие измеренные величины.

Нивелирование (измерение превышений) выполняют чаще косвенно с помощью таких приборов, как нивелиры, теодолиты, тахеометры, спутниковые приборы, и др.

Классификация погрешностей измерений.

Погрешность – отклонение рез-та измерения от истинного значения измеренной величины. Если l – результат измерения, а x – это истинная величина, то погрешность:

$$\Delta = l - x.$$

По источнику происхождения различают следующие погрешности:

Погрешности *приборов* обусловлены несовершенством конструкций приборов.

Погрешности *внешние* возникают из-за влияния на измерения окружающей среды.

Погрешности *личные* вызываются особенностями наблюдателя.

По характеру действия различают погрешности:

Грубые погрешности возникают из-за невнимательности наблюдателя, неисправности приборов. Для исключения таких погрешностей производятся повторные, контрольные измерения.

Систематические – погрешности в действии которых наблюдается определенная закономерность. Для ослабления влияния систематических погрешностей в результаты измерений вводят поправки со знаком противоположным знаку погрешности.

Случайные – погрешности характер которых, их знак и величину невозможно предсказать при единичном измерении. Для ослабления влияния случ. погрешностей производят приборы с меньшими погрешностями, увеличивают число избыточных измерений.

Погрешности результатов измерений.

Истинная абсолютная погрешность (ошибка) Δ вычисляется как разность результата измерения / и точного (истинного) значения Δ'' измеряемой величины, т.е.

$$\Delta = L - X.$$

Относительная погрешность: отношение абсолютной погрешности к значению самой измеренной величины. Относительная ошибка выражается дробью с числителем, равным 1, например, $m_x / X = 1/10\ 000$.

Предельная погрешность. В качестве допустимых погрешностей для ряда равноточных измерений часто принимают удвоенное $2m$ или утроенное $3m$ значение стандарта. В геодезических работах предельную (допустимую) погрешность $\Delta_{\text{пред}}$ обычно устанавливают из условия $\Delta_{\text{пред}} = 2m$, а превосходящие этот допуск погрешности считают грубыми. Считается, что из тысячи измерений только три ошибки могут достигать или немного превосходить значение $\Delta_{\text{пред}} = 3 * m$

Вопросы для изучения

- 1. Типы теодолитов.*
- 2. Устройство теодолита Т30*
- 3. Отсчетные приспособления*
- 4. Принципы измерения углов*

1. Типы теодолитов

Теодолит – геодезический угломерный прибор, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Теодолиты по точности подразделяются на три типа:

- **высокоточные (Т1)** -используют при выполнении высокоточных работ;
- **точные (Т2, Т5)** -используют при создании опорных сетей;
- **технические (Т15, Т30)** - применяются при развитии съемочных сетей и съемках.

Расшифровка ЗТ5КП:

З- № модификации, Т – теодолит,

5 – точность измерения угла, в секундах,

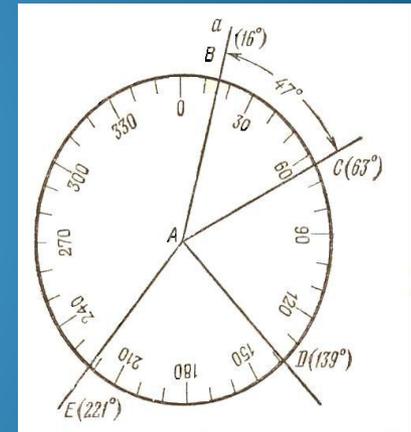
К – наличие компенсатора – устройство для удерживания визирной оси в неизменном положении при небольших наклонах прибора,

П – прямое изображение зрительной трубы

Алидада – часть теодолита на которой закреплены цилиндрический уровень, колонки, на которых закреплен вертикальный угломерный круг и зрительная труба.

Лимб – стеклянный или металлический круг с нанесенными делениями. Есть лимб горизонтального и вертикального круга.

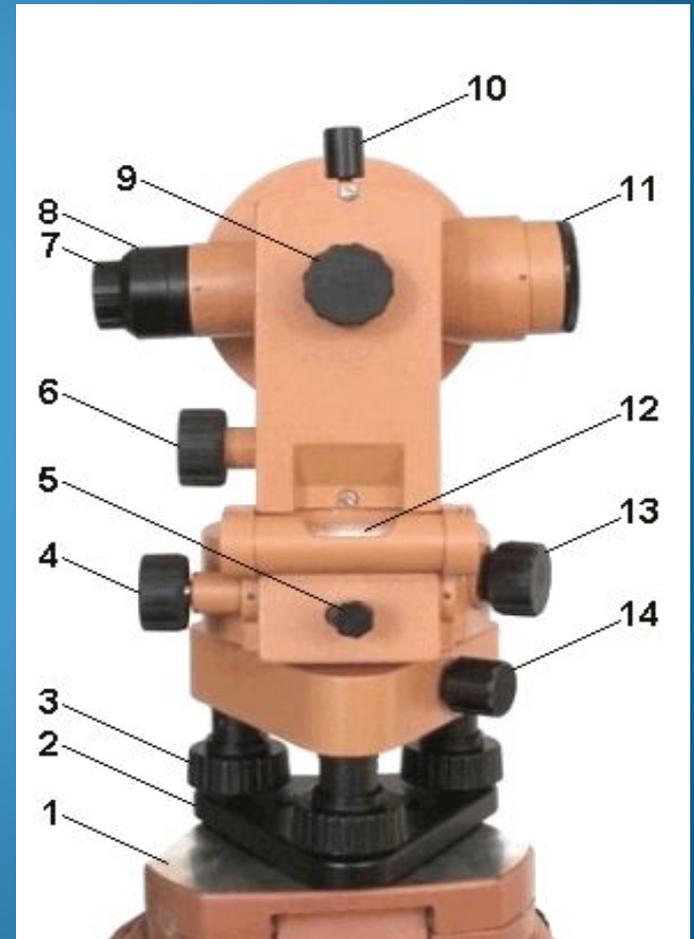
Лимб



2. Устройство теодолита Т30

- 1- штатив (служит для установки теодолита над точкой-вершиной угла)
- 2- пластина к которой крепится треугольная подставка
- 3- три подъемных винта, служат для горизонтирования прибора.
- 4 - наводящий винт алидады
- 5 - закрепительный винт алидады
- 6 - наводящий винт зрительной трубы
- 7- окуляр зрительной трубы
- 8- зрительная труба
- 9 - фокусирующий винт (кремальера)(служит для наведения резкости изображения),
- 10 - закрепительный винт зрительной трубы
- 11- объектив зрительной трубы
- 12- цилиндрический уровень
- 13 - наводящий винт лимба
- 14- закрепительный винт лимба

Закрепительный и наводящий винт всегда существуют в паре



Устройство теодолита Т30

- 15** - окуляр отсчетного микроскопа (позволяет снимать отсчеты по В и Г кругам теодолита),
- 16** - зеркальце (служит для подсветки шкал)
- 17** - вертикальный круг
- 18** - ориентир-буссоль (прибор для ориентирования лимба относительно магнитного меридиана)
- 19** - посадочный паз для буссоли
- 20** - диоптр (мушка)(предназначен для грубой наводки на цель)
- 21** - окуляр (делаем фокусировку сетки нитей)
- 22** - исправительные винты цилиндрического уровня
- 23** - треггер (применяется для установки геодезических приборов)



3. Отсчетные приспособления

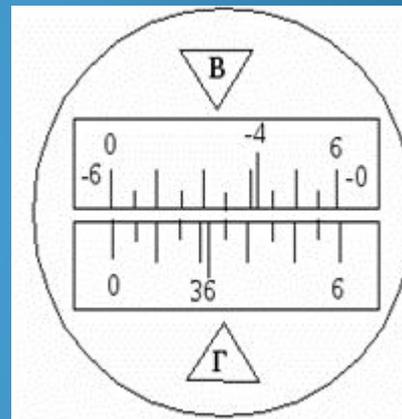
Шкаловой микроскоп.

В поле зрения шкалового микроскопа видны одновременно изображения штрихов горизонтального (Г) и вертикального (В) кругов.

Лимбы обоих кругов разделены через 1° и оцифрованы от 0° до $360'$.

Один градус разделен на 12 частей следовательно цена одного деления $5'$.

Отсчет по горизонтальному кругу равен $36^\circ 22'$, по вертикальному - $4^\circ 18'$.



Шкаловой микроскоп

Основные поверки оптических теодолитов.

Перед выполнением измерений проводят предварительно нивелирование теодолита: для этого устанавливают цилиндрический уровень параллельно плоскости двух подъемных винтов и вращением этих винтов в противоположные стороны приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Далее поворачивают верхнюю часть теодолита на 90° и вращением третьего подъемного винта приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Для контроля верхнюю часть теодолита возвращают в начальное положение и, если пузырек вышел из 0-пункта, установку повторяют.

Первая поверка: ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита.



Теодолит устанавливают в рабочее положение, затем поворачивают верхнюю часть на 180° . Если пузырек остался в нуль-пункте (допустимо отклонение до 0,3-0,5 деления ампулы), то условие поверки соблюдено.

Вторая поверка: вертикальный штрих сетки нитей должна быть перпендикулярна оси вращения трубы.

Визируют зрительной трубой на четко видимую точку и совмещают с ней изображение вертикальной нити сетки, наводящим винтом поворачивают трубу в вертикальной плоскости. В исправном теодолите изображение точки перемещается вдоль вертикального штриха и оси двойной нити (биссектора).

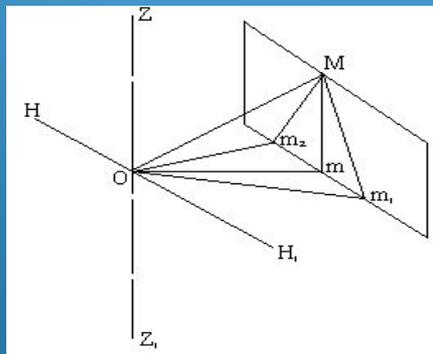
Третья поверка: визирная ось зрительной трубы должно быть перпендикулярна оси вращения трубы.

Тщательно приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение. Закрепляют винт и поворотом алидады наводят крест сетки нитей при КЛ(КП) на четко видимую точку A , удаленную на 100-200 м приблизительно в горизонтальном направлении. Берут отсчет КЛ по горизонтальному кругу и записывают отсчет в журнал. Оставив горизонтальный круг неподвижным, аналогично визируют на ту же точку в положении теодолита КП и берут отсчет по горизонтальному кругу. В исправном теодолите разность отсчетов не должна отличаться от 180° больше, чем на двойную коллимационную погрешность $2c = 2t$, где t - точность отсчетного устройства ($a_n - a_n \pm 180^\circ < 2c_{\text{доп}} = 2(t)$).

Четвертая поверка: ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита.

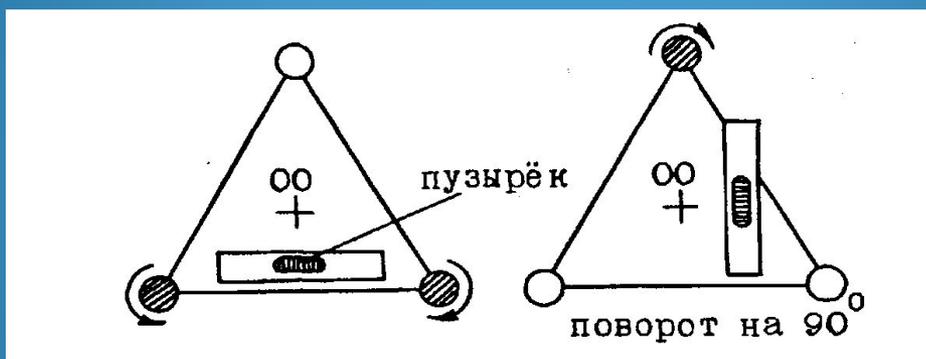
Для поверки теодолит устанавливают в 8-15 м от вертикальной стены здания и приводят в рабочее положение по уровню, закрепляют горизонтальный круг.

В перпендикулярном к стене направлении зрительной трубой визируют на какую-либо четкую легко опознаваемую точку M под углом наклона $45-50^\circ$. Зрительную трубу переводят в горизонтальное положение и на стене отмечают точку M_1 - проекцию вертикальной нити сетки. Затем при втором положении вертикального круга находят вторую проекцию M_2 точки M (рис.18). Видимое через трубу расстояние M_1M_2 не должно превышать $1/3$ ширины биссектора. Исправляют положение оси вращения трубы теодолита в мастерской.



4. Принципы измерения углов

Перед тем, как приступить к измерениям, необходимо привести прибор в **рабочее положение**. т.е, приведение вертикальной оси прибора в отвесное положение, выполняют подъемными винтами по цилиндрическому уровню.



Для этого устанавливаем цилиндрический уровень параллельно плоскости двух подъемных винтов и вращением этих винтов в противоположные стороны приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

Далее поворачивают верхнюю часть теодолита на 90 и вращением третьего подъемного винта приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Для контроля верхнюю часть теодолита возвращают в начальное положение и, если пузырек вышел из 0-пункта, установку повторяют.

Измерения горизонтальных углов

Для измерения угла ACB теодолит устанавливают в рабочее положение над вершиной угла C и, закрепив лимб, наводят трубу на «заднюю» точку A .

Пользуясь наводящими винтами алидады и зрительной трубой, совмещают перекрестие сетки нитей с наблюдаемой целью A и берут отсчеты по горизонтальному кругу.

Далее открепляют алидаду, визируют на «переднюю» точку B и, проделав аналогичные операции, получают новые отсчеты. Величина измеряемого угла β будет

$$\beta = a_1 - a_2$$

Такое измерение угла называют полуприемом.

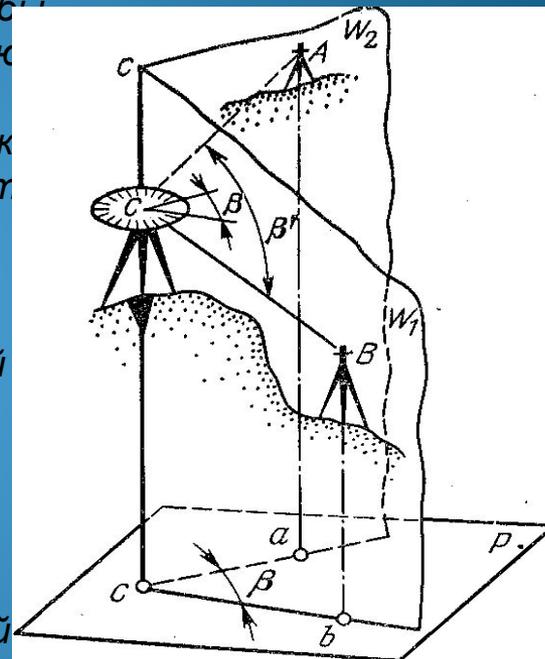
Для ослабления влияния инструментальных погрешностей измеряют и при другом положении вертикального круга (переводят трубу через зенит).

Два полуприема (КП и КЛ) измерения угла составляют один полный прием.

Расхождение результатов измерения между первым и вторым полуприемами не должно превышать двойной точности верньера ($2t = 1'$). Если расхождение допустимо, из результатов измерений в полуприемах вычисляют среднее окончательное значение измеряемого угла.

$$\beta_{\text{ср}} = (\beta_1 + \beta_2) / 2.$$

В противном случае измерения повторяют.



Пример

Журнал измерения горизонтальных углов

Точки		Отсчеты		Угол		Средний угол		Абрис
стояния	наблюдения	°	'	°	'	°	'	
0	КЛ1	27	30	10	15	10	15,5	
	КЛ2	37	45					
	КП1	187	31	10	16			
	КП2	197	47					

$$\beta_{\text{кп}} = \text{КЛ2-КЛ1} = 37^{\circ} 45' - 27^{\circ} 30' = 10^{\circ} 15'$$

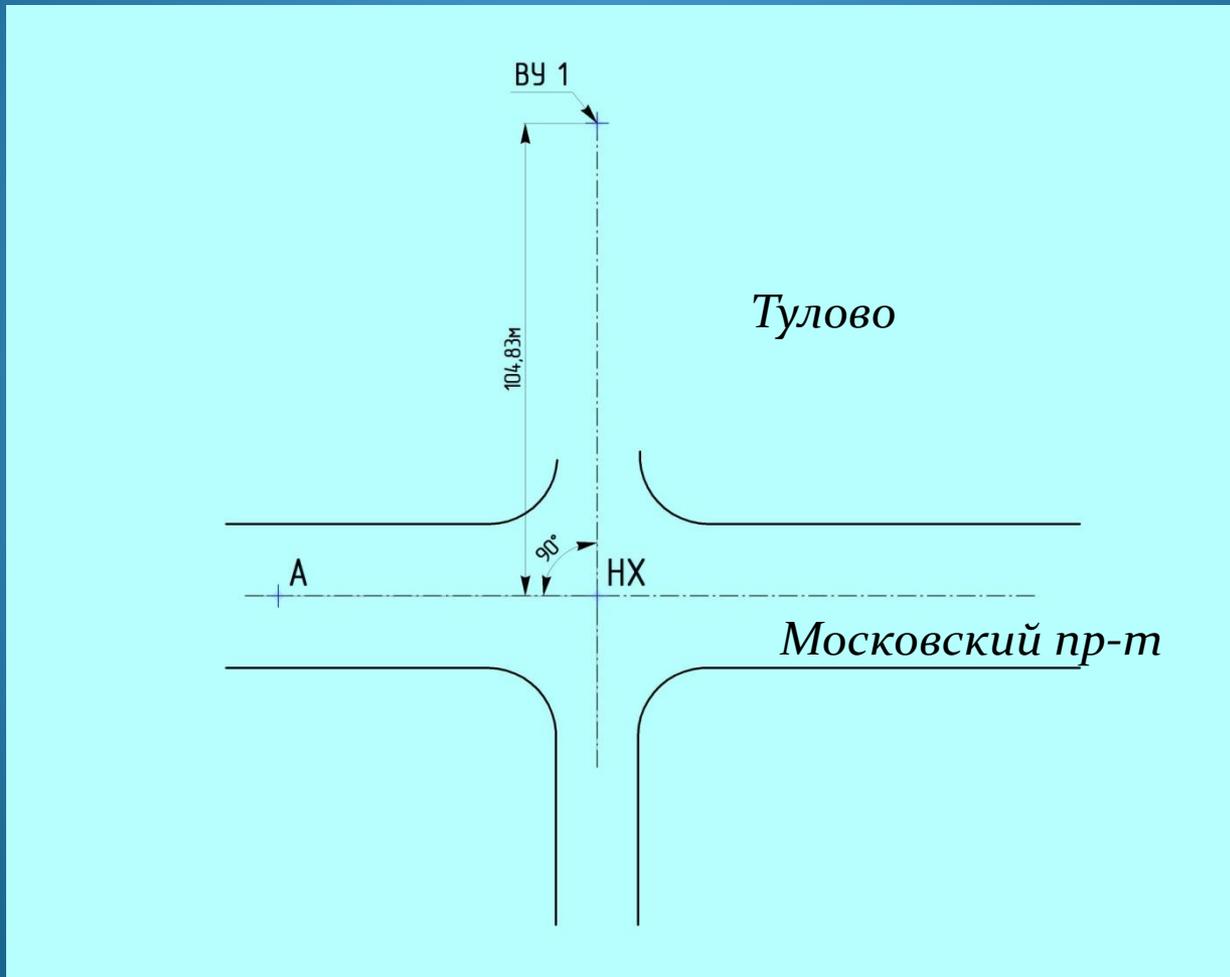
$$\beta_{\text{кп}} = \text{КП2-КП1} = 197^{\circ} 47' - 187^{\circ} 31' = 10^{\circ} 16'$$

$$\Delta\beta = \beta_{\text{кп}} - \beta_{\text{кп}} = 0^{\circ} 01'$$

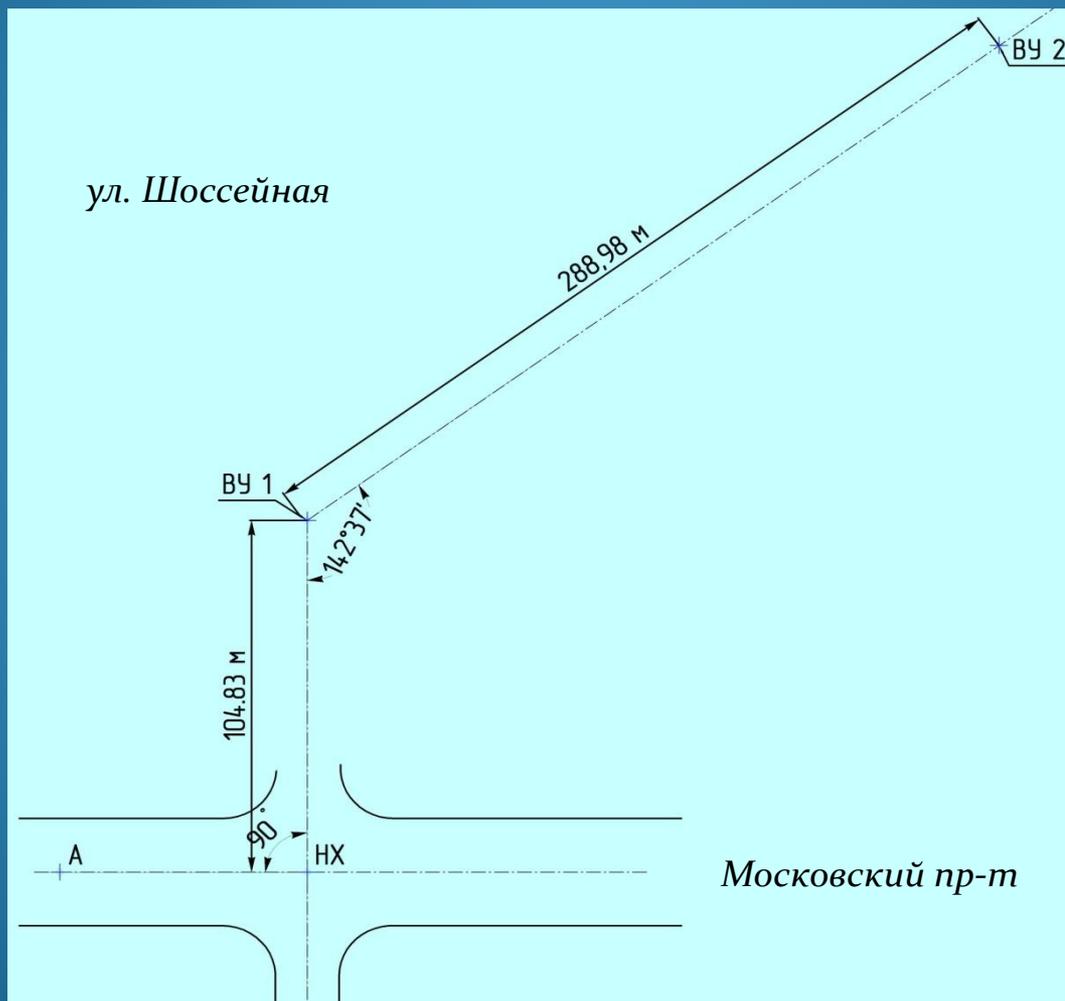
$$\Delta\beta_{\text{доп}} = 2 * t = 2 * 0.5' = 1' \quad (t = 30'' \text{ – точность теодолитов Т30, 2Т30})$$

$$\beta_{\text{ср}} = (\beta_{\text{кп}} + \beta_{\text{кп}}) / 2 = (10^{\circ} 15' + 10^{\circ} 16') / 2 = 10^{\circ} 15,5'$$

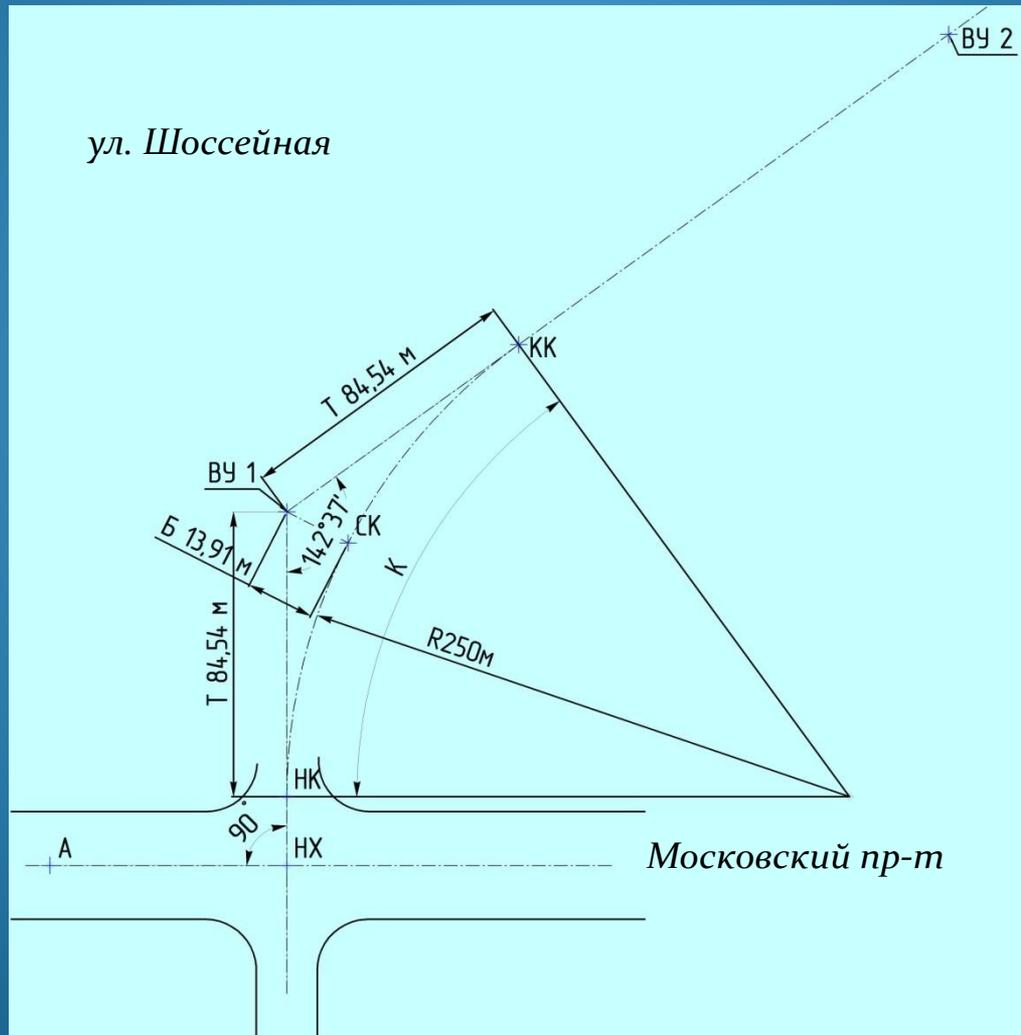
Разбивка дороги



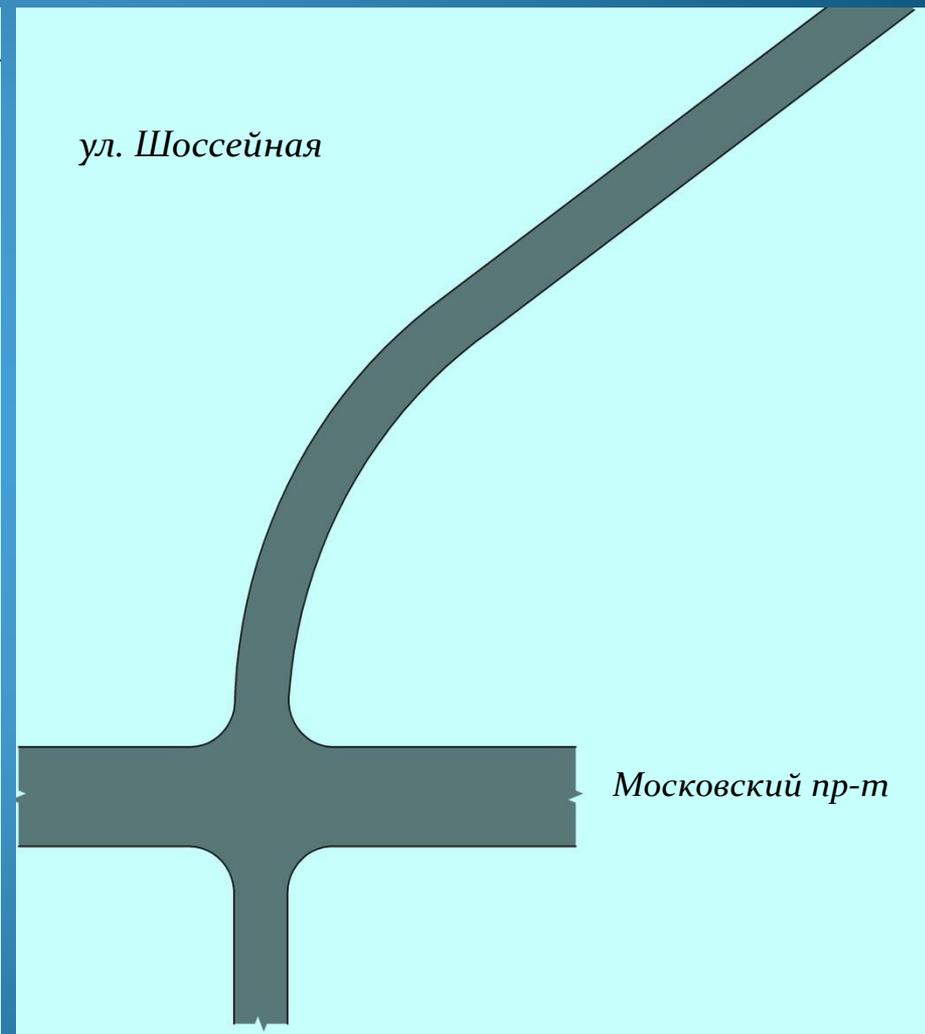
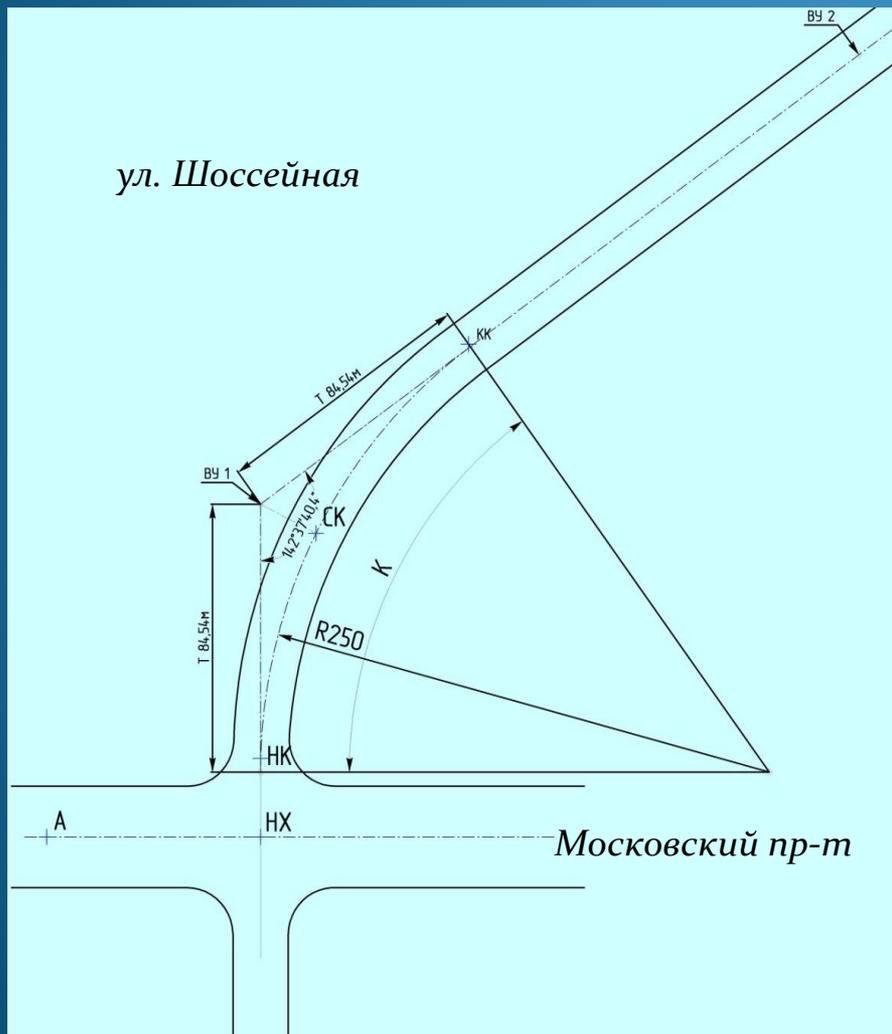
Разбивка угла поворота



Разбивка круговой кривой



Дорога



5 Измерение длин линий

Механические приборы для измерения расстояний.

– Стальные рулетки (25–100 м) имеющие метровые, дециметровые сантиметровые и миллиметровые деления;

– Стальные мерные ленты (20 м) имеющие метровые, полуметровые, дециметровые деления. Начало счета (0) и конец счета (20 м) зафиксированы глубоко прорезанными штрихами на концевых пластинах. Такие ленты называют штриховыми. В комплект входят шпильки, которые фиксируют концы ленты. Погрешность 1:2000. Используется для линейных измерений в съемках.

– Инварные проволоки (24 м) с десяти сантиметровыми и миллиметровыми шкалами на концах. Применяется для высокоточных линейных измерений. Погрешность 1:1.000.000. Для строителя наиболее удобны стальные рулетки длиной 50 м.

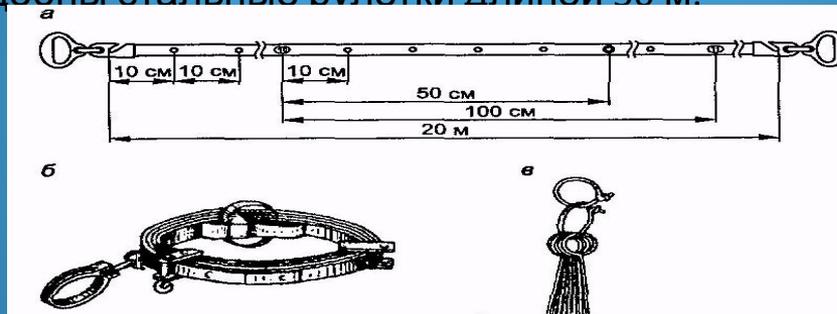


Рис. 21. ЛЗ-20: а — метровые и дециметровые деления; б - на каркасе; в - шпильки

Достоинства: высокая точность измерений, простота устройства, не высокая стоимость, возможность откладывания проектных длин.

Недостаток: высокая трудоемкость измерений.

Вешение линий

Одним из условий достижения заданной точности измерения линии является укладывание мерного прибора строго по прямой, проходящей через концы линии, называемой *створом*.

Для этого линии длиной более 200 м вешают, т. е, между концами линии по створу уста навливают вертикально вехи на расстояниях 100—150 м.

Есть два способа вешения: «на себя» и от себя».

В 1-м случае наблюдатель стоит в начальной точке линии A , а его помощник устанавливает вешку в конечной точке B . Отмерив шагами примерно 100 м, помощник по команде наблюдателя устанавливает вторую вешку в точке C так, чтобы она закрывала от наблюдателя вешку в точке B .

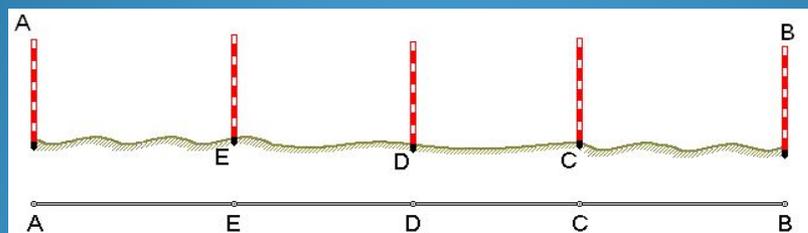


Рис 22

Затем помощник устанавливает следующую вешку в точке D , чтобы она закрыла вешки C и B и т. д. При вешении способом «от себя» вехи устанавливают в обратном порядке - от начала к концу линии. Этот способ менее точен, чем первым, т.к. первая вешка закрывает собой створ линии и последующие вешки будут установлены не точно по прямой.

Измерение длин линий лентой ЛЗ-20 (рулеткой).

Измерение длины линии AB осуществляют два исполнителя сл. обр. Второй исполнитель берет одну шпильку из комплекта, а остальные передает 1-му исполнителю. Закрепив шпилькой задний конец ленты в начальной точке A , 2-й исполнитель ориентирует 1-го таким образом, чтобы лента легла строго в створе измеряемой линии. 1-й исполнитель закрепляет шпилькой передний ее конец в точке 1. После этого 2-й исполнитель вынимает шпильку, а 1-й оставляет свою в земле и оба перемещаются вперед на длину ленты. Затем 2-й исполнитель закрепляет конец ленты за шпильку, оставленную 1-ым исполнителем, и ориентирует его по створу измеряемой линии. 1-ый исполнитель, натянув ленту, закрепляет шпилькой ее передний конец в точке 2 и процесс измерения повторяется. В ходе измерения у 2-го исполнителя число шпилек увеличивается, а у 1-го уменьшается т.е. число шпилек в руке заднего исполнителя соответствует количеству отложенных лент от начала отрезка.

Поскольку расстояние между измеряемыми точками, не кратно числу уложенных лент, то всегда остается последний отрезок от последней шпильки до конечной точки измеряемой линии. Этот отрезок называют **остатком (домером)**. Линию для контроля измеряют дважды и среднее арифметическое двух измерений принимают в качестве окончательного результата. При выполнении измерений в благоприятных условиях расхождение между двумя измерениями не должно быть больше 1:2000.

Общую длину линии подсчитывают по числу шпилек у заднего мерщика и прибавляют домер. $D = n \cdot l + r$. Напр., измерение велось 20-и метровой лентой. У заднего мерщика оказалось 4 шпильки, домер равен 12,64 м. $D = 20 \cdot 4 + 12,64 = 92,64$ (м)

Компарирование - это сравнение длины рабочей ленты с длиной рабочего эталона.

За нормальную принимают одну из лент, имеющих на производстве, длину которой выверяют в лаборатории Государственного надзора за стандартами и измерительной техникой и пользуются ею только для сравнения с рабочими лентами.

$L_p = l_0 + \Delta l_{\vartheta}$, где l_0 - номинальное значение длины; Δl_{ϑ} - поправка на компарирование, указанная для температуры компарирования t_K (обычно $t_K = 18-20^\circ\text{C}$).

Например, $L_p = 20,000 + 0,005$ м.

На горизонтальной поверхности, напр. на полу, укладывают нормальную ленту, а рядом проверяемую так, чтобы края их касались друг друга, а нулевые штрихи совмещались на одном конце ленты. Эти концы жестко закрепляют (гвоздями), затем натягивают вторые концы лент одинаковой силой, равной 10 кг, и измеряют мм-вой линейкой расстояние между нулевыми штрихами концом лент. Величина расстояния покажет, на сколько мм рабочая лента короче (длиннее) нормальной.

Вычисление горизонтального проложения

Горизонтальное проложение d измеренного отрезка D вычисляют с учетом поправок за компарирование, приведение наклонных отрезков к горизонту и за тем-пу.

Поправка за компарирование, она прибавляется к расстоянию D , если лента длиннее номинального значения l_0 , и вычитается, если короче. $\Delta D_k = \Delta l_k (n+r/l)$

Такая поправка не принимается во внимание, если ее величина меньше $1 : 10\ 000$ длины l , т.е. $0,002$ м при $l = 20$ м.

Поправка за наклон отрезка D учитывается в неявном виде при вычислении его горизонтального проложения $d = D \cdot \cos v$, где v - угол наклона отрезка.

Поправка за наклон ΔD_v — отрицательное число, которое вычисляется как разность $d - D$, причем, если $d - D < 0$, то $-\Delta D_v = d - D = D \cdot \cos v - D = D \cdot (\cos v - 1)$

Если известно превышение h между конечными точками A и B , то поправка за наклон $\Delta D_v = h \cdot h / 2D$ *Поправка* учитывается при углах наклона $v > 1,5^\circ$

Температурная поправка в измеренное расстояние $\Delta D_t = \alpha \cdot D \cdot (t - t_k)$

где $\alpha = 1,25 \cdot 10^{-5}$ -коэф. линейного расширения стали на 1° изменения температуры; t и t_k — тем-ра ленты во время измерений и при компарировании соответственно.

Длина горизонтального проложения: $d = D + \Delta D_k + \Delta D_v + \Delta D_t$

Косвенные способы измерения расстояния.

Косвенным способом измеряются расстояния, если между конечными точками встречаются препятствия (река, овраг и др.) не позволяющие применить землемерную ленту или рулетку, а другие приборы отсутствуют.

1. Параллактический способ определения расстояния $AB = d$ включает закрепление на местности точек C_1 и C_2 , базиса длиной b , перпендикулярного направлению AB , измерение лентой отрезков AC_1 и AC_2 и теодолитом параллактического угла φ в точке B . Расстояние $d = 0,5 * b * \text{ctg} 0,5\varphi$.

Чтобы погрешность результата A была не более $1 / 2000$, базис измерить с погрешностью не менее $1/5000$. При этом величина угла φ не должна быть меньше $8-10^\circ$ при погрешности его измерения не более $10-20''$.

2. Способ прямой угловой засечки. Для отыскания длины d неприступного расстояния MN на местности вначале измеряют два базиса b_1 и b_2 , углы треугольников MK_1N и MK_2N — β_2 , α_2 и β_1 , α_1 . Вычисляют углы γ_1 и γ_2 по формулам $\gamma_1 = 180^\circ - \beta_1 - \alpha_1$ и $\gamma_2 = 180^\circ - \beta_2 - \alpha_2$, а затем дважды вычисляют расстояние d :

$$d' = b_1 * \sin \beta_1 / \sin \gamma_1; \quad d'' = b_2 * \sin \beta_2 / \sin \gamma_2$$

Расхождение величин d' и d'' допускается до $1 / 1000 - 1 / 2000$ от длины d .

3. Способ обхода. Между точками P и L находится препятствие, закрывающее видимость в створе PL . В этом случае выбирают точку T с расчетом удобного измерения базисов PT и TL и после нахождения их горизонтальных приложений d_1 и d_2 и измерения угла β вычисляют по теореме косинусов: $PL = \sqrt{d_1^2 + d_2^2 - 2 * d_1 * d_2 * \cos \beta}$

Для контроля измерения вычисления повторяют.

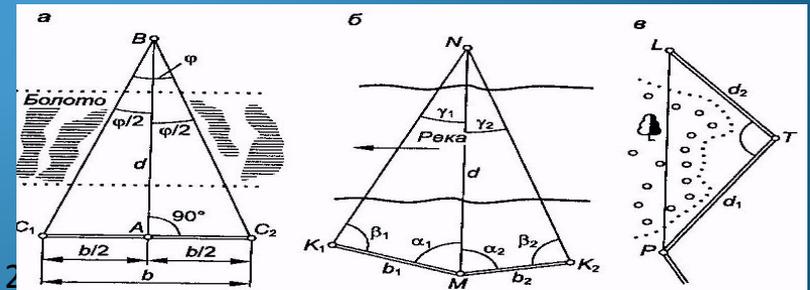


Рис 2

Рассмотренные в настоящем параграфе способы измерений расстояний характеризуют трудоемкостью, поэтому они эффективно заменяются применением светодальномеров.

Нивелирование

Сущность и методы нивелирования.

Нивелированием называют определение превышений между отдельными точками земной поверхности с последующим вычислением их высот над принятой уровенной поверхностью.

Геометрическое нивелирование в зависимости от положения нивелира относительно нивелируемых точек выполняют двумя способами: вперед и из середины.

При нивелировании **вперед**

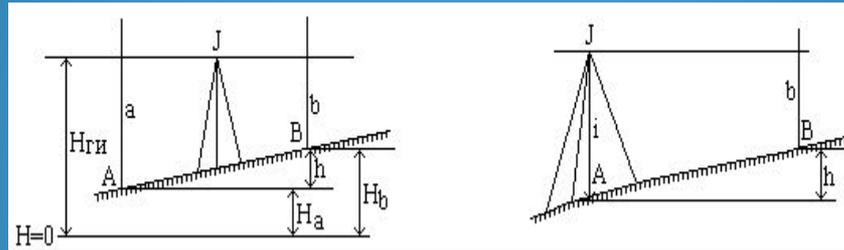


Рис. 26 а б

нивелир устанавливают над точкой A , отметка H_A которой известна. Над точкой B , отметку H_B которой должны определить, устанавливают нивелирную рейку. Затем измеряют высоту i инструмента и определяют отсчет b по рейке. Из рис. 26, а видно, что превышение h точки B над точкой A равно:
 $h = i - b$, (1)

Из того же рисунка следует, что высота точки B будет $H_B = H_A + h$ (2)

Подставляя значение h из формулы (1) в (2), получим $H_B = H_A + i - b$

Величина $H_A + i$ представляет собой высоту линии визирования над отсчетной поверхностью (горизонт инструмента (H_i)). Тогда отметка точки B будет $H_B = H_i - b$.

При нивелировании из середины (рис. б) нивелир устанавливают между задней точкой A , высота H_A которой известна, и передней точкой B , высота H_B которой определяется. Затем производят отсчеты по задней (a) и передней (b) рейкам.

Точку установки нивелира при нивелировании из середины называют *станцией*; точку. Пользуясь рис. б, находим $H_B = H_A + h$, где $h = a - b$ (4)

Если разность высот двух точек определяется в результате одной установки инструмента и реек (одна станция), такое нивелирование называют **простым**.

Весьма часто для определения превышения приходится несколько раз переставлять инструмент и рейки (несколько станций), т.е. образовывать **нивелирный ход** - такое нивелирование называется **последовательным**. При последовательном нивелировании (рис. в) точки, общие для двух смежных станций, называются связующими, а остальные — промежуточными.

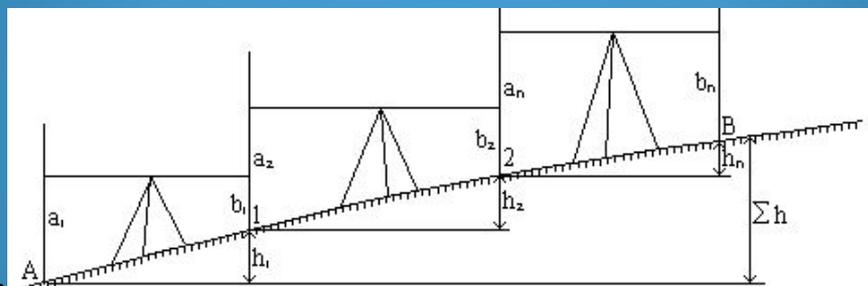


Рис . 27

При сложном последовательном нивелировании (рис. 27) превышение (разность высот H_A и H_B) равно сумме отдельных превышений $h_1+h_2+h_3+\dots+h_i$, полученных на каждой станции.

Обозначив сумму $h_1+h_2+h_3+\dots+h_i$ через Σh , получим $H_B - H_A = \Sigma h$ (4)

По формуле (4) можно записать $\Sigma h = \Sigma a - \Sigma b$ (5)

т. е. сумма превышений между двумя точками при последовательном нивелировании равна сумме отсчетов назад минус сумма отсчетов вперед (*формула для контроля*).

При нивелировании из середины не обязательно устанавливать нивелир строго в створе нивелируемых точек: он может находиться и в стороне от створа, но примерно на равном удалении от реек.

Пункты нивелирования закрепляют специальными стенными и грунтовыми знаками (марками, реперами), называемые реперами.

Приборы для геометрического нивелирования

Нивелирная рейка – это рейка со шкалой, необходимая для определения превышений, используется совместно с нивелирами. В некоторых случаях с теодолитами.

Нивелирные рейки изготавливаются под общими обозначениями РН-05, РН-3, РН-10 для нивелирования соответственно высокоточного, точного и технического.

Рейки сплошные, складные изготавливают из дерева. Их длина - 3 м. На одной стороне рейки шашечная шкала сантиметровых делений нанесена красным цветом, на другой - черным. Нуль шкалы черной стороны совмещен с нижней плоскостью пятки рейки. На красной стороне рейки с нижней плоскостью пятки совмещена шкала начальным делением 4683 или 4783 мм.

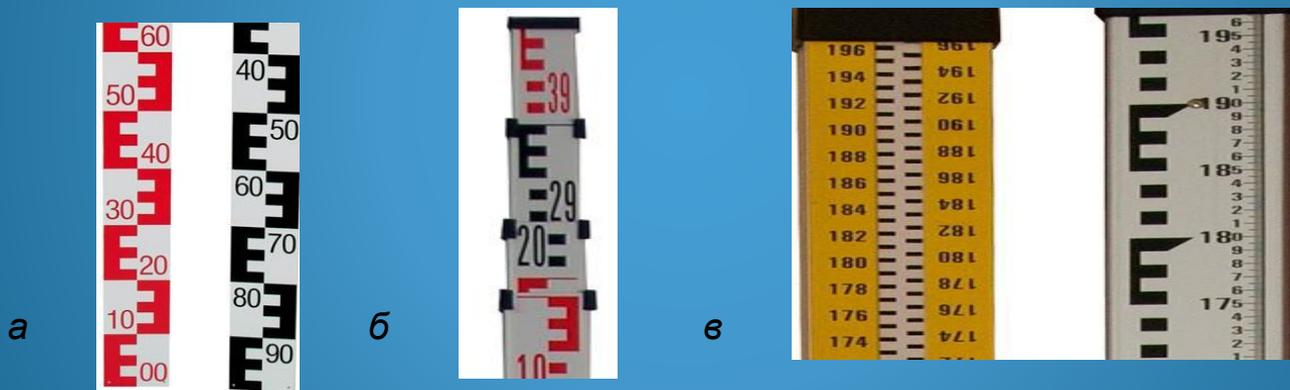


Рис.28. Нивелирные рейки: а- сплошная, б - рейка складная; в- рейка с инварной полосой

Применяются металлические рейки (5 м). На одной стороне рейки нанесена шкала шашечных сантиметровых делений, на другой - шкала миллиметровых делений.

В рейках РН-05 высокоточная шкала нанесена на инварную полосу. Все рейки для высокоточного и точного нивелирования оснащены круглым уровнем для контроля их установки в вертикальное положение.

Прямолинейность рейки проверяется относительно натянутой на ней нити - величина прогиба (стрелы прогиба) допускается до 10 мм.

Нивелир - это геодезический прибор с горизонтальной визирной осью, предназначенной для измерения превышений.

В зависимости от принципа приведения визирного или лазерного оптического луча в горизонтальное положение различают оптические нивелиры двух видов:

- с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе (в них для горизонтирования визирного луча пузырек уровня необходимо приводить в нуль-пункт);
- с компенсатором (в них визирный луч автоматически удерживается в горизонтальном положении при небольших наклонах прибора).

Согласно принятому стандарту оптико-механические нивелиры по точности подразделяют на три класса:

- высокоточные Н-05, Н-1, Н-2 - для нивелирования I и II классов;
- точные Н-3 - для нивелирования III и IV классов;
- технические Н-10 - для нивелирования технического, топографических съемок и многих видов инженерных работ.

число после Н – точность прибора, СКП измерения превышений на 1 км двойного нивелирного хода (погрешность в мм).

Л- наличие лимба, который используется для измерения горизонтальных углов с невысокой точностью

К – наличие компенсатора – устройство, поддерживающее визирную ось в горизонтальном положении при небольших углах наклона прибора

Устройство нивелира:

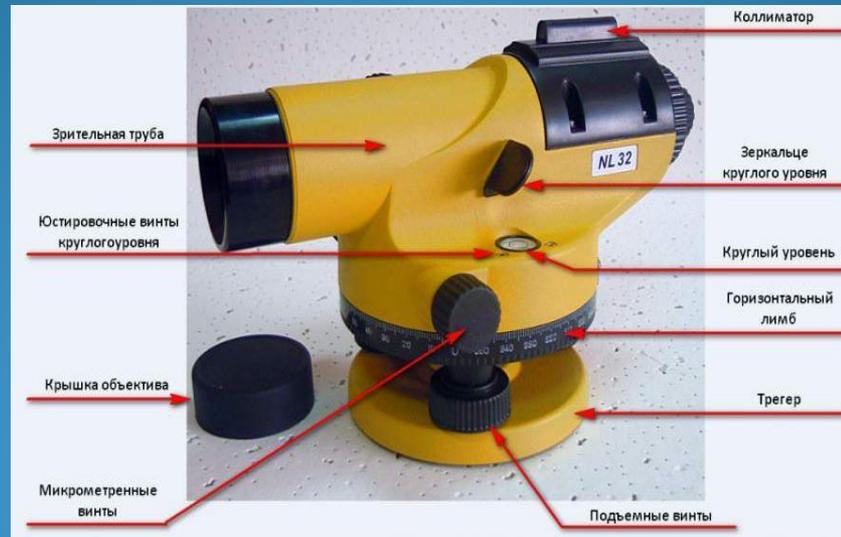


Рис. 29. Нивелир

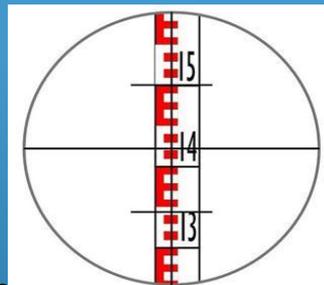


Рис. 30 Поле зрения нивелира

В нашем примере отсчеты по средней, верхней и нижней горизонтальным нитям сетки равны: $a_c = 1421$ мм; $a_в = 1500$ мм; $a_n = 1344$ мм.

6.3 Поверки нивелира

Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

Подъемными винтами приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° . Если пузырек уровня остался в нуль-пункте, условие выполнено. И пропитом случае, действуя исправительными винтами уровня, перемещают пузырек к нуль - пункту на половину дуги его отклонения. Поверку повторяют до полного выполнения условия.

2. Вертикальная нить сетки должна совпадать с линией отвеса.

Примерно на расстоянии 20 м от нивелира подвешивают тяжелый отвес. Перекрестие сетки нитей наводят на нить отвеса (ось вращения нивелира строго отвесна). Если в этот момент вертикальная нить сетки совпадает с нитью отвеса, условие соблюдено. В противном случае ослабляют исправительные винты сетки и поворачивают диафграмму с сеткой до совпадения вертикальной нити сетки с нитью отвеса.

3. Ось цилиндр уровня д/быть параллельна визирной оси трубы (главное условие).

Это условие проверяют двойным нивелированием одной и той же линии местности. На колья, закрепляющие концы линии устанавливают рейки. Нивелир устанавливают по середине линии на равных расстояниях от реек и производят нивелирование по способу из середины , беря отсчеты a_1 и b_1 по задней и передней рейкам (рис. 31).

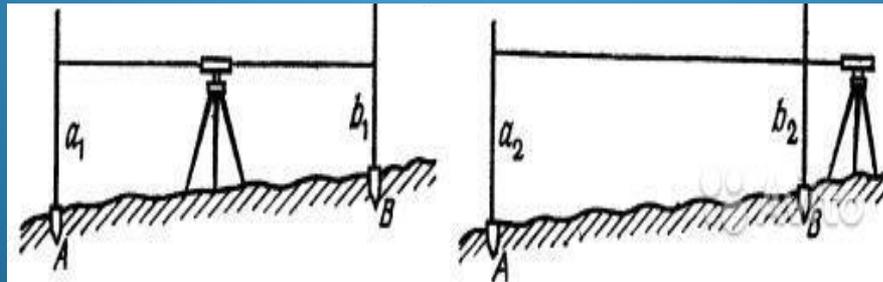


Рис. 31

Превышение, определенное при равных расстояниях до реек, будет свободным от ошибки за непараллельность визирной оси и оси уровня, а значит, будет верным.

Затем нивелир устанавливают на расстоянии, равном примерно 3 м за передней рейкой и вновь берут отсчеты a_2 по задней (удаленной) и b_2 по передней (ближней) рейкам.

Ввиду незначительности расстояния до передней (ближней) рейки отсчет b_2 можно полагать верным. Ошибка за непараллельность визирной оси и оси уровня будет приходиться на отсчет a_2 .

При параллельности визирной оси и оси уровня отсчет a_2 должен равняться превышению h плюс отсчет b_2 , т.е. $a_2 = h + b_2$

Если фактический отсчет по удаленной рейке отличается от найденного отсчета a_2 более чем на 4 мм, то, действуя элевационным винтом, перемещают среднюю горизонтальную нить сетки на отсчет a_2 , равный $h + b_2$.

4. Расстояния между вершинами трассы измеряют стальной мерной лентой или дальномером с относительной ошибкой 1:2000. Поправки за наклон линии вводят при углах наклона $v > 2^\circ$. Трассу с измеренными расстояниями и углами и привязанную к пунктам геодезической основы называют магистралью (теодолитный ход), позволяющий определять дирекционные углы и координаты вершин.

5. При измерении сторон от начала магистрали откладывают отрезки длиной 100 м горизонтального проложения, концы отрезков закрепляют пикетами (колышек длиной 15-25 см забивают вровень с землей, рядом забивают сторожок длиной 40-50 см, выступающий над землей на 15-20 см, на сторожке подписывают номер пикетной точки, например ПК 15, это соответствует расстоянию 1500 м от начала магистрали).

Кроме пикетных точек на магистрали отмечают характерные точки рельефа, контуров и вершин углов поворота трассы, называемые *плюсовыми*, их положение определяют от ближайших предыдущих пикетов, например, точка ПК 15 + 17,0 расположена на расстоянии 17,0 м по магистрали от ПК 15. При углах наклона $v > 2^\circ$ к отложенному расстоянию D прибавляют поправку $\Delta D = 2D \sin(2v/2)$

На поворотах трассы между прямолинейными участками разбивают сопрягающие кривые. Радиус закругления зависит категории дороги.

По величине угла поворота трассы θ и R_y кривой, определяют основные элементы круговой кривой:

тангенс T (расстояние от $BУ$ до начала или конца кривой);

кривую K (длина дуги, вписываемая между прямыми соседними участками трассы);

домер D (разница между суммой тангенсов и длиной кривой)

биссектрису B (расстояние от $BУ$ до центра кривой).

$$T = R \operatorname{tg}\left(\frac{\theta}{2}\right);$$
$$K = \pi R \left(\frac{\theta}{180^\circ}\right);$$
$$B = \frac{R}{\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)} - R = R \left[\sec\left(\frac{\theta}{2}\right) - 1 \right];$$
$$D = 2T - K.$$

Вычисление основных элементов производим с точностью до целого сантиметра

На рис. 32 кривые и прямые касаются в точке А - начале кривой (НК) и в точке С — конце кривой (КК). Биссектриса ОВ угла пересекает кривую в точке В — середине кривой (СК). Точки НК, СК, КК называют *главными точками круговой кривой*.

Пикетажное наименование главных точек кривой вычисляют по формулам контроль:

$$\text{ПК(НК)} = \text{ПК (ВУ)} - Т$$

$$\text{ПК (КК)} = \text{ПК (НК)} + К$$

$$\text{ПК (СК)} = \text{ПК (НК)} + К/2$$

контроль:

$$\text{ПК (КК)} = \text{ПК(ВУ)} + Т - Д$$

$$\text{ПК (СК)} = \text{ПК(КК)} - К/2$$

Вычисление пикетажных наименований главных точек кривой выполняет до см.

На местности при малых значениях тангенса для нахождения НК и КК от вершины угла по обе стороны по трассе откладывают тангенс кривой Т. СК находят, отложив от вершины угла по его биссектрисе величину Б.

Необходимо также определить пикетажные значения вершин углов поворота, *используя расстояния от начала трассы до первой вершины, между вершинами и от последней вершины до конечной точки трассы*:

$$\text{ПК ВУ}_1 = S_1/100, \quad \text{например ; ПК ВУ}_1 = 1250/100 = \text{ПК } 12+50; \text{ПК ВУ}_2 = (S_1+S_2) - Д_1 \quad \text{и т. д.}$$

Вынос пикетов на кривую.

Пикеты, находящиеся на тангенсах (касательной к кривой), выносят на кривую. Для этого вычисляют длины отрезков X и Y , необходимые для выноса. В нашем примере ПК1 должен находиться на круговой кривой на расстоянии от ее начала.

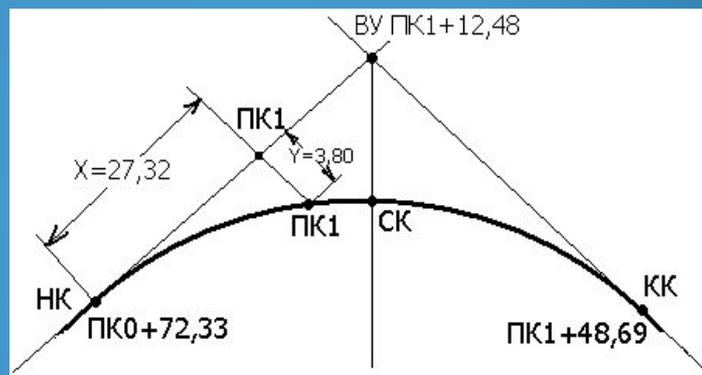
По формуле для радиуса R кривой рассчитывают центральный угол θ , стягивающий дугу k . Затем вычисляют X и Y по формулам:

$$X = R \sin \theta$$

$$Y = R(1 - \cos \theta)$$

$$\theta = \frac{k \cdot 180^\circ}{\pi \cdot R}$$

$$k = \text{ПК1} - \text{ПК0} + 72,33 = 27,67 \text{ м}$$



Для получения сведений о рельефе в поперечном направлении строят поперечные профили длиной 15-30 м. На таких профилях вправо и влево от трассы намечают характерные точки рельефа, а при их отсутствии фиксируют точки через 5-10 м. Поперечные профили должны отражать особенности рельефа в полосе трассы; при углах наклона 10° и больше поперечные профили строят на каждом пикете и плюсовых точках. Все сведения о пикетаже отражают в пикетажном журнале.

На участках со сложными геологическими условиями, в местах перехода через препятствие, на площадках под строительство придорожных сооружений и т. п. создают планы в масштабе 1:500, 1:1000.

Оценка качества и допустимости результатов измерений. В практике нивелирования нивелирный ход может быть разомкнутым и замкнутым.

Разомкнутый нивелирный ход прокладывается между двумя опорными реперами. Контролем нивелирования разомкнутого хода служит сумма превышений, которая должна быть равна разности отметок начального и конечного реперов.

Замкнутый нивелирный ход опирается на одну точку с известной отметкой и в нем сумма превышений должна быть равной нулю. Однако в разомкнутом и замкнутом ходах такого равенства не бывает вследствие влияния погрешности измерений, а возникает расхождение, которое называется **невязкой превышений** f_h (или отличие практически полученной суммы средних превышений от теоретического значения).

для разомкнутого хода:

$$f_h = \sum f_{h_{\text{ср}}} - \sum f_{h_{\text{теор}}}, \text{ где } \sum f_{h_{\text{теор}}} = H_{\text{кон}} R_p - H_{\text{нач}} R_p$$

для замкнутого хода:

$$f_h = \sum f_{h_{\text{ср}}}$$

где $\sum f_{h_{\text{ср}}}$ - это сумма средних превышение в ходе;

$H_{\text{кон}} R_p$ - абсолютная отметка конечного репера;

$H_{\text{нач}} R_p$ - абсолютная отметка начального репера.

Величина невязок превышений ходов зависит от точности прибора, метода нивелирования и местных условий. Величина невязки f_h сравнивается с $f_{h_{\text{доп}}}$

для технического нивелирования

$$f_{h_{\text{доп}}} = \pm 50 \sqrt{L} / \text{мм} / \text{ или } f_{h_{\text{доп}}} = \pm 10 \sqrt{n}, \text{ где } L - \text{длина хода в км; } n - \text{число станций.}$$

Если невязка не превышает установленного допуска, то ее поровну распределяют на все превышения с обратным знаком, т.е. выполняют увязку хода. Невязку распределяют в виде поправки: $b = f_h / N$

ПРИМЕР.

1. Превышения на каждой станции определяются по формулам:

$$h_{\text{ч}} = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}} \quad h_{\text{к}} = a_{\text{к}} - b_{\text{к}} \quad h_{\text{ср}} = (h_{\text{ч}} + h_{\text{к}}) / 2.$$

$h_{\text{ч}}, h_{\text{к}}, h_{\text{ср}}$ - превышения соответственно по черной, красной сторонам реек и среднее;

$a_{\text{ч}}, a_{\text{к}}$ — отсчеты по черной и красной сторонам задней рейки;

$b_{\text{к}}, b_{\text{ч}}$ - отсчеты по черной и красной сторонам передней рейки.

Среднее превышение вычисляется с округлением до 1 мм. Пример округления:

1534,5мм

1534мм

1535;5мм

1536мм

Контроль нивелирования на станции

$b_{\text{ч}} - b_{\text{к}} < 5\text{мм}$ Данные вычислений $h_{\text{ч}}, h_{\text{к}}, h_{\text{ср}}$ заносят в графы 7,8,9 (пример см. в ТБ)

2. Невязка превышений определяется по формуле:

$$fh = \sum fh_{\text{ср}} - \sum fh_{\text{теор}} \quad (\text{мм}); \text{ где } \sum fh_{\text{теор}} = H_{\text{кон}} R_{\text{п}} - H_{\text{нач}} R_{\text{п}}$$

$\sum h_{\text{ср}}$ - сумма средних превышений по гр. 9;

Невязка f_h сравнивается с допустимой невязкой

$$f_{\text{доп}} = \pm 10\sqrt{n}, \text{ где } n \text{ — количество станций нивелира}$$

3. Невязку распределяют с обратным знаком в каждое среднее превышение и вычисляют исправленные превышения /графа10/

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{ср}} + b_h, \text{ где } b_h = fh/n$$

$$\text{КОНТРОЛЬ } \sum h_{\text{испр}} = \sum h_{\text{теор}}$$

4. Расчет абсолютных отметок пикетов производится по формуле: $H_n = H_{n-1} - i + h_{n \text{ испр}'}$
 где H_n - отметка вычисляемого пикета; H_{n-1} - отметка предыдущей точки;
 $h_{n \text{ испр}'}$ - исправленное превышение на этой станции.

За исходную отметку принимают отметку начального репера /из таблицы исходных данных/.

Контроль вычислений отметок: $H_{\text{кон}} R_p = H_{\text{пк}} 4 + h_{\text{испр}}$

5. Отметки плюсовых точек вычисляют через ГП.

$$H_{\text{пром}} = \text{ГП} - a_{\text{пром}}, \quad \text{ГП} = H + a_{\text{ч}}$$

$H_{\text{пром}}$ - абсолютная отметка плюсовой точки;

ГП- горизонт прибора;

$a_{\text{пром}}$ - отсчет по черной стороне рейки на плюсовой точке /графа 4/;

H - абсолютная отметка заднего пикета;

$a_{\text{ч}}$ - отсчет по черной стороне рейки заднего пикета

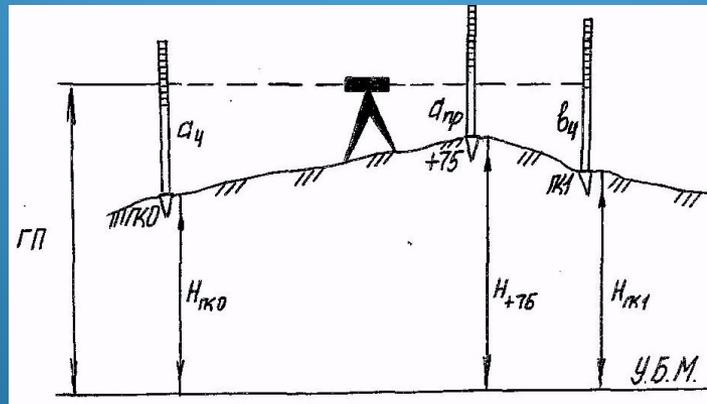


Рис. 32 Схема нивелирования на станции

Журнал нивелирного хода

№ верш ин	Отсчеты по рейкам					Превышения				Абсо лют ные отмет ки	Приме чание
	Отсчеты по черной стороне			Отсчеты по красной стороне		По сторонам		Среднее			
	Задней, ач	Передней, вч	Промеж. ач	Задней, ак	Передне й, вк	Черной hч	Красной hk	hср	hиспр		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Рр 45	1072			4926		-2455	-2453	-2454 ⁻¹	-2455	175,25	
ПК 0	3100	3527		7795	7379	2495	2493	2494 ⁻¹	2493	172,795	
+76			1820							174,075	ГП=175,895
ПК 1	2530	0605		7260	5302	1230	1228	1229 ⁻¹	1228	175,288	
+30			1905							175,913	ГП=177,818
ПК 2	3204	1300		7645	6032	2698	2701	2699 ⁻¹	2698	176,516	
ПК 3	2275	0506		6995	4944	1526	1529	1528 ⁻¹	1527	179,214	
+35			1985							179,504	ГП= 181,489
ПК 4	0395	0749		5245	5466	-1900	-1900	-1900 ⁻¹	-1901	180,741	
Рр 46		2295			7145					178,84	
						∑= 3594	∑= 3598	∑= 3596	∑=3590		