

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
**Томский политехнический университет**

**В.М. Передерин, Н.В. Чухарева, Н.А. Антропова**

**ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ**

**Учебное пособие**

Издательство ТПУ

**Томск 2007 г.**

УДК 681.783.2 (076.5)

Передерин В.М., Чухарева Н.В., Антропова Н.А. Основы геодезии и топографии. Учебное пособие. Издание 2-ое переработанное. - Томск: изд.ТПУ, 2007 - 138 с.

В учебном пособии представлены основные сведения по геодезии и топографии; системам координат, методам ориентирования на топографических картах и местности, геодезическим приборам, методам полевых измерений и последующих вычислений. Даны принципы и технологии проведения полевых контурных, топографических съемок и построения по их результатам соответствующих планов и карт.

Учебное пособие подготовлено на кафедре Транспорта и хранения нефти и газа ТПУ и предназначено для студентов дневного и заочного обучения по направлениям 130500 «Нефтегазовое дело» и 130100 «Геология и разведка полезных ископаемых»

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета.

Р е ц е н з е н т ы:

*Лазарев В.М. – к.т.н., доцент, зав. каф. «Геодезия» Томской государственной архитектурно-строительного университета*

*А.В.Панкратов – к.т.н., доцент Томского политехнического университета*

ISBN

© Томский политехнический университет. 2007

© Оформление. Издательство ТПУ. 2005

## ВВЕДЕНИЕ

Геодезия, одна из древнейших наук, возникла в ответ на потребности производственной деятельности человека. В начале зарождения обеспечивала в основном землеразделение, военное и гражданское строительство зданий, защитных сооружений, дорог, ирригационных систем и т.д. торговый обмен по суше и морям.

В настоящее время, геодезия и топография играют огромную экономическую роль в самых разных отраслях экономики, в том числе в геологии, нефтегазовом, горном деле обеспечивающих минеральным сырьем и энергоресурсами жизненные потребности населения, промышленности и т.д.

Геодезическое обеспечение проектирования и производства геологических работ по поискам, разведке и эксплуатации месторождений дает основу для успешного решения поставленных задач.

Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ так же требуют геодезического обеспечения, как и решение экологических проблем, возникающих при проведении геологоразведочных работ, эксплуатации разнообразных месторождений полезных ископаемых, а так же при строительстве газонефтепроводов и газонефтехранилищ.

На современном этапе научно-технического прогресса геодезия и топография опирается на достижения электроники, приборостроения, космической отрасли, что позволяет использовать для выполнения инженерно-геодезических работ материалы космических съемок, аэрофототопографические материалы, спутниковую навигацию, фототеодолитные комплексы, электронные полуавтоматические и автоматические тахеометры, лазерные приборы, регистрирующие нивелиры, свето- и радиодальномеры, стереофотограмметрическое оборудование, компьютеры, графопостроители и другие средства автоматизации проектирования (САПР), автоматизированные системы управления строительством (АСУС) различных объектов с использованием GPS – технологий

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГЕОДЕЗИИ

## 1.1. История развития геодезии

**Геодезия** (в переводе с греческого – землеразделение) – одна из наук о Земле, возникла в глубокой древности и развивалась, исходя из практических запросов производственной деятельности человека. Искусство измерять землю и графически изображать отдельные её участки возникло в Египте и датируется 3000 лет до н. э. В те годы осуществлялось гражданское и военное строительство, которое обеспечивала геодезия (наука об измерениях), т. е. она была «инженерной». Первая из известных карт была составлена в 1320 г.г. до н.э. Греком Эратостеном в 220 г. до н.э. определён радиус Земли, которая тогда принималась за шар.

Начало геодезических познаний в России относится к X веку. В сборнике законов «Русская правда» содержится постановление об определении земельных границ путём измерений. Геодезия начала развиваться при Петре I, который основал в Москве школу математических и навигационных наук. Наибольшее развитие, геодезия получила после Октябрьской революции, когда 15 марта 1919 г. был подписан декрет об учреждении Высшего геодезического управления (ВГУ). Затем оно было преобразовано в ГУГК (Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров. В настоящее время это «Федеральная служба геодезии и картографии России».

## 1.2. Разделы геодезии

Геодезия как наука, при своем развитии опирается на достижения математики, физики, астрономии и географии. Математика даёт средства анализа и методы обработки результатов измерения, физика способствует конструированию приборов, астрономия обеспечивает геодезические работы необходимыми исходными данными, география помогает правильно понять и изобразить на картах и планах детали земной поверхности.

**Современная геодезия разделяется на следующие научные дисциплины.**

I. **Высшая геодезия** изучает форму Земли, её гравитационное поле, теорию и методы построений опорной геодезической сети.

Космическая геодезия использует искусственные спутники Земли для решения задач высшей геодезии.

II. **Топография** занимается детальным изучением земной поверхности и её отображением на картах и планах.

III. **Аэрофототопография** использует материалы воздушной съёмки для создания топографических карт и планов. Позднее появилась космическая фототопография.

IV. **Картография** разрабатывает методы создания и использования карт.

V. **Гидрография** занимается методами съёмки водных объектов.

VI. **Маркшейдерия** осуществляет пространственно-геометрические измерения в недрах Земли

VII. **Инженерная геодезия** обеспечивает геодезические измерения, необходимые при изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

**Главные задачи инженерной геодезии следующие:**

- Получение исходных геодезических материалов, прежде всего карт, планов и профилей, для проектирования объектов.
- Перенесение проектов на местность.
- Геодезическое обеспечение и контроль в ходе строительства и эксплуатации объектов, а так же при выполнении других видов работ на местности, в том числе геологических.

Инженерная геодезия использует методы высшей геодезии, топографии, картографии, а так же материалы аэрофото- и космических съёмок и, вместе с тем, аэрофотографии и располагает своими специфическими приёмами и средствами. Базируясь на геодезических дисциплинах, инженерная геодезия находится в тесной связи с инженерным строительным искусством, которое, в связи с усложнением конструкций, требующих высокой точности при их монтаже, предъявляет всё более строгие требования к геодезическим работам.

### **1.3. Форма и размеры Земли**

Для правильного изображения земной поверхности в виде планов и карт необходимо знать фигуру Земли. На физической поверхности Земли встречаются самые различные неровности: горы, хребты, долины, котловины и т.д. Описать такую фигуру какой-то аналитической зависимостью невозможно. В то же время, для решения многих геодезических задач надо основываться на какой-то математически строгой фигуре, только тогда возможно получение расчётных формул и методов для определения координат и ориентирования на земной поверхности, в том числе для создания карт.

Поэтому задачу по определению формы и размеров Земли принято делить на две части:

- 1) установить форму и размеры некоторой геометрически правильной фигуры, представляющей Землю в общем виде;
- 2) изучить отступления реальной физической поверхности Земли от этой фигуры.

Земля, в первом приближении, может считаться шаром. Но на нее воздействуют центробежная и центростремительная силы. В результате, она сжимается с полюсов и растягивается по экватору.

При этом необходимо отметить, что:

- **Центробежная сила, как результат вращения вокруг оси, делала бы Землю правильным эллипсоидом вращения, если бы она была изотропна.**

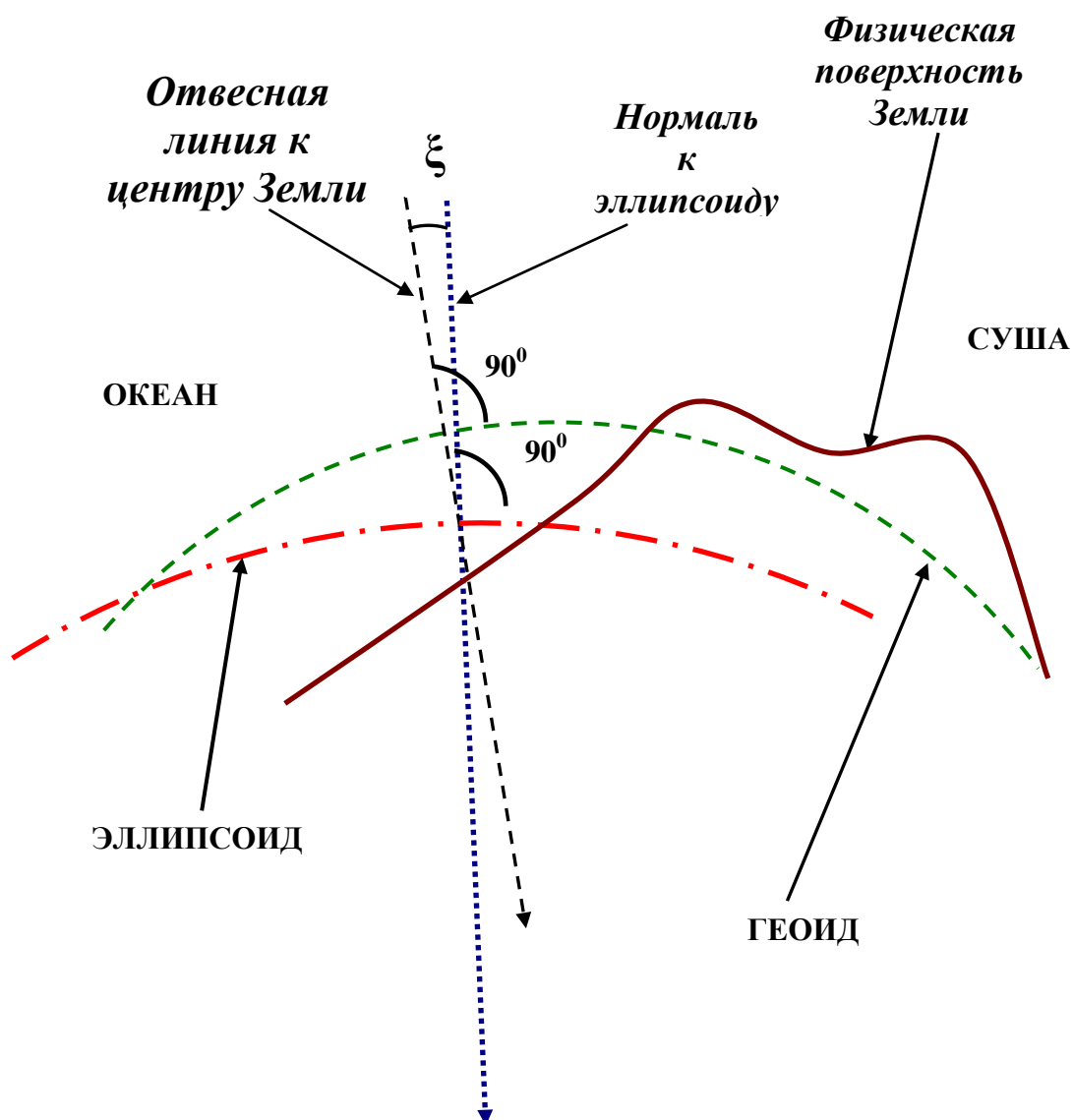
- **Геологические силы - внутренние (эндогенные) и внешние (экзогенные) - делают внутреннее строение Земли и ее поверхность очень сложным. Все эти силы искажают форму Земли и делают её геоидом. Из-за горообразовательных процессов, движения литосферы и неоднородности строения литосферы, вариаций в плотности разных зон Земли и литосферных пород.**

Известно, что 71 % земной поверхности покрывают моря и океаны, доля суши составляет только 29 %. Поверхность морей и океанов, находящаяся в спокойном состоянии, характерна тем, что она в любой её точке перпендикулярна к отвесной линии, т. е. к направлению действия силы тяжести. Направление действия силы тяжести можно установить в любой точке простым прибором и, соответственно, построить поверхность, перпендикулярную к направлению этой силы. Такая поверхность называется **уровенной** (рис. 1).

**Основная (исходная, нулевая) поверхность - уровенная поверхность, совпадающая со средним уровнем воды в морях и океанах в их спокойном состоянии и мысленно продолженная под материками.**

В геодезии за общую фигуру Земли принимают тело, ограниченное основной уровенной поверхностью, и такое тело именуется «*геоид*» (рис.1). Тем не менее, поверхность геоида не может служить той формой, относительно которой можно изучать физическую поверхность Земли, так как аналитической зависимостью точно описать геоид невозможно. Это обусловлено тем, что плотности масс, составляющих земную кору, распределены неравномерно. Кроме того, эти массы под действием внешних и внутренних сил перемещаются (в

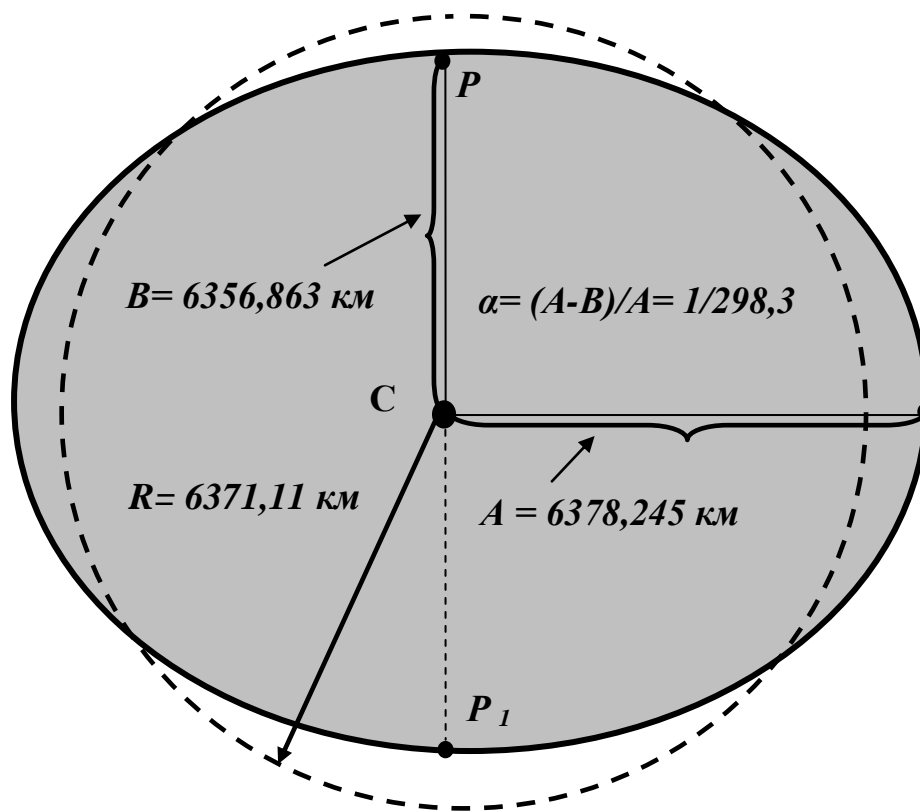
частности, перемещаются и материковые плиты), следовательно, меняется положение отвесных линий и сама форма геоида.



**Рис. 1. Форма земли:  $\xi$  – угол между отвесной линией и нормалью к эллипсоиду**

Вследствие особой сложности, то есть геометрической неправильности геоида, его заменяют другой фигурой – *эллипсоидом*, который получается при вращении эллипса вокруг его малой оси  $PP_1$  (рис. 2). Размеры эллипсоида определялись учёными ряда стран. В России они были вычислены под руководством профессора Ф. Н.

Красовского в 1940 г. и в 1946 г. утверждены постановлением Совета министров.



*C - центр Земли  
B - малая полуось эллипсоида  
A - большая полуось эллипсоида  
α - сжатие Земли.*

**Рис. 2. Эллипсоид вращения**

Земной эллипсоид ориентируют в теле Земли так, чтобы его поверхность в наибольшей мере соответствовала поверхности геоида. Отклонения геоида от эллипсоида в отдельных местах составляет не более 100-150 м. В тех случаях, когда при решении практических задач фигуру Земли принимают за шар, то радиус шара, равновеликого по объёму эллипсоиду Красовского, составляет:

$$R = 6371,11 \text{ км}$$

Такие отступления от действительной фигуры Земли целесообразны, т.к. упрощается проведение геодезических работ. Но эти отступления приводят к искажениям при отображении физической



поверхности Земли тем методом, который принят в геодезии – **методом проекций**.

#### 1.4. Метод проекций при составлении карт и планов

Метод проекций при составлении карт и планов состоит в том, что:

1) точки физической поверхности земли **A**, **B** проектируются отвесными линиями на уровенную поверхность (рис.3). В нашем случае шар. Точки **a** и **b** называются **проекциями** соответствующих точек физической поверхности);

2) положение этих точек **a** и **b** определяется на уровенной поверхности двумя координатами различных систем координат; для определения положения точек **A** и **B** на реальной физической поверхности Земли необходимо знать их третью координату – расстояние **aA** и **bB**, то есть высоту над уровенной поверхностью (над уровнем моря), которая называется абсолютной высотой.

3) точки можно перенести на лист бумаги, т. е. на лист бумаги будет нанесён отрезок **ав**, который является горизонтальной проекцией отрезка **AB**.

##### 1.4.1. Искажения при проектировании точек на плоскость

***Решение Задачи составления карт и планов имеет два этапа:***

1) определение положения проекций точек на земной поверхности, то есть их координат;

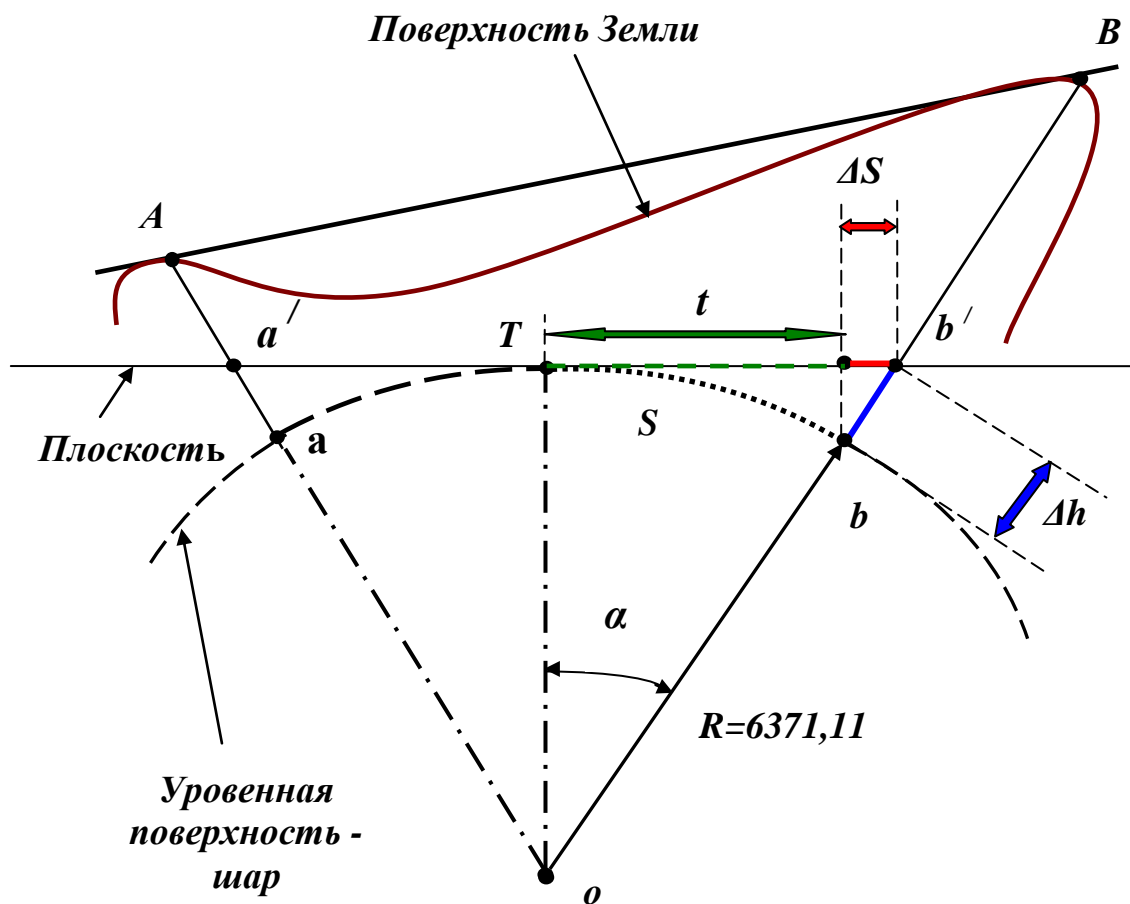
2) определение абсолютных высот точек местности.

Из схемы (рис. 3) видно, что при проектировании точек на плоскость с уровенной поверхности, появляются искажения:

- вместо отрезка **ав** будет отрезок **a<sup>1</sup>b<sup>1</sup>**
- вместо высот точек местности **aA** и **bB** будут **a<sup>1</sup>A** и **b<sup>1</sup>B**.

Итак, длины горизонтальных проекций отрезков и высоты точек будут искажены и различны при проектировании на уровенную поверхность (т.е. при учёте кривизны Земли) и при проектировании на плоскость (когда кривизна Земли не учитывается) (рис. 3). Эти различия будут проявляться:

- в длинах проекций  $\Delta S = t - S$ ;
- в высотах точек  $\Delta h = b'o - bo = b'o - R$ .



$$\Delta S = t - S$$

$$\Delta h = b'o - bo = b'o - R$$

**Рис. 3. Проекция точек земной поверхности**

### 1.4.2. Оценка искажения длин линий при проектировании их на плоскость

Принимая Землю за шар с радиусом  $R = 6371,11 \text{ км}$ , необходимо определить, для какого наибольшего значения отрезка дуги  $S$  можно не учитывать кривизну Земли при условии, что в настоящее время погрешность в  $\frac{1}{1\,000\,000}$  считается допустимой при самых точных измерениях ( $\frac{1}{1\,000\,000} = 1 \text{ см на } 10 \text{ км}$ ), т.е.

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{1\,000\,000} \cdot \quad (1)$$

Искажение по длине будет (рис. 3):

$$\Delta S = t - S = R \cdot \operatorname{tg} \alpha - R \cdot \alpha = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha). \quad (2)$$

Но так как  $S$  мало по сравнению с радиусом Земли  $R$ , то для малого угла  $\alpha$  можно принять

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3} + \dots \quad (3)$$

Тогда

$$\Delta S = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha) = R\left(\alpha + \frac{\alpha^3}{3} - \alpha\right) = R \frac{\alpha^3}{3} \quad (4)$$

Но

$$\alpha = \frac{S}{R} \quad (5)$$

И тогда

$$\Delta S = R \frac{S^3}{3R^3} = \frac{S^3}{3R^2} \quad (6)$$

соответственно:

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{S^2}{3R^2} = \frac{1}{1\,000\,000} \quad \text{и} \quad S = \sqrt{\frac{1}{1\,000\,000} 3R^2} = \sqrt{\frac{1}{1\,000\,000} 3(6,371)^2} = 11 \text{ км} \quad (7)$$

Рассчитано, что при измерении расстояний участок сферы радиусом 11 км ( $380 \text{ км}^2$ ) можно принимать за плоскость при наивысшей точности измерений, т.е. кривизну Земли в пределах такого участка можно не учитывать. В инженерно-геодезических измерениях допускается считать плоским участок  $R = 25 \text{ км}$  ( $1900 \text{ км}^2$ ).

#### 1.4.3. Оценка искажения в высоте точки при проектировании её на плоскость

Искажение в высоте точки (рис. 3):

$$\Delta h = ob^1 - ob = R \cdot \operatorname{Sec} \alpha - R = R(\operatorname{Sec} \alpha - 1). \quad (8)$$

принимая 
$$\operatorname{Sec} \alpha = 1 + \frac{\alpha^2}{2} + \dots, \quad (9)$$

получим 
$$\Delta h = R\left(1 - \frac{\alpha^2}{2} - 1\right) = R \frac{\alpha^2}{2} = R \frac{S^2}{2R^2} = \frac{S^2}{2R}. \quad (10)$$

Принимая разные значения  $S$ , получим следующие  $\Delta h$  - погрешность по высоте (табл. 1).

Таблица 1

#### Искажения в высотах

<b>S, км</b>	0,1	0,2	0,3	1	10
<b>Δh, см</b>	0,08	0,3	0,7	7,8	784

В инженерно-геодезических работах обычно допускается погрешность по высоте не более 5 см на 1 км расстояния (поэтому кривизну Земли следует учитывать при сравнительно небольших расстояниях между точками). Например, при строительстве тоннелей ошибка по высоте учитывается уже для расстояний в 200-300 метров.

## **2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК И ОБЪЕКТОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

В геодезии используются различные системы координат различны, но во всех случаях положение точки в пространстве определится тремя координатами: высотой точки и двумя координатами, определяющими местоположение проекции точки на уровенной поверхности.

### **2.1. Географическая система координат**

В системе географических координат местоположение проекции точки на уровенной поверхности определяется двумя координатами - углами: широтой и долготой (рис. 4).

**Широтой точки  $\phi$**  называется угол, образованный отвесной линией в данной точке и плоскостью экватора. Этот угол отсчитывается от плоскости экватора на север и на юг, изменяясь от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Широта бывает северная (+) и южная (-).

**Долготой точки  $\lambda$**  называют двугранный угол, заключенный между плоскостью начального (Гринвичского) меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку.

От начального нулевого меридиана долготу отсчитывают на восток и запад, до  $\pm 180^\circ$ . Соответственно, долгота называется восточной (+) и западной (-).

Для непосредственного определения географических координат точки на карте используют линии **меридианов** и **параллелей**.

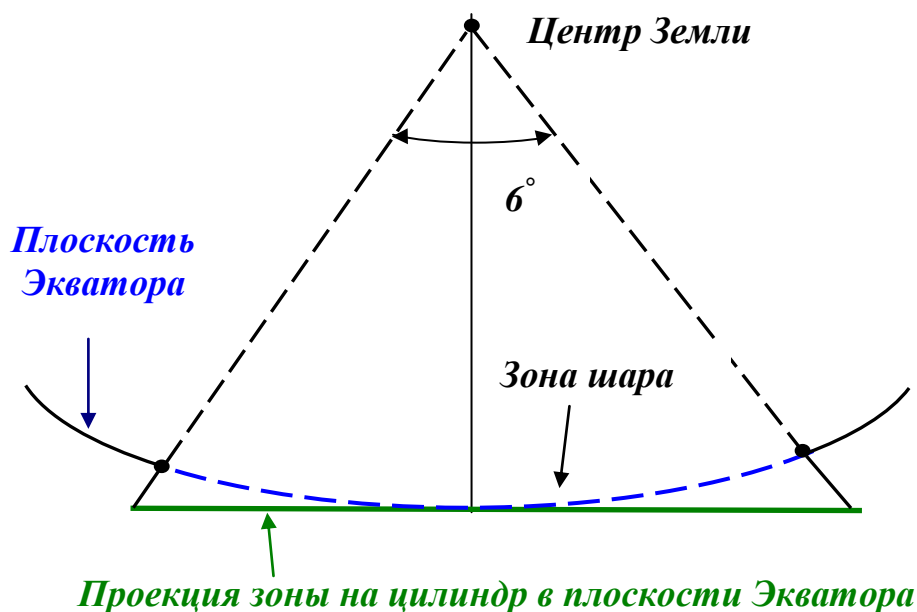
**Меридиан** - линия пересечения уровенной поверхности (эллипсоида или шара) плоскостями, проходящими через ось вращения Земли.

**Параллель** - линия пересечения уровенной поверхности плоскостями, перпендикулярными оси вращения Земли и параллельными экватору.





Из центра сфероида (рис. 7) зону проектируют на поверхность цилиндра - при этом углы сферы изобразятся без искажения. Поэтому эту проекцию называют равноугольной, поперечно-цилиндрической.



*Рис. 7 Проекция 6° зоны на цилиндр*

Цилиндр разрезается на две половинки и изображение разворачивают на плоскость. В поперечно - цилиндрической проекции искажения будут в длинах линий: зоны на цилиндре получаются более широкими, чем на шаре. Что касается осевого меридиана, то не будет его искажения, так как он касается поверхности цилиндра, но, чем дальше расположены отрезки дуги от осевого меридиана, тем больше искажения в длинах линий.

Ширина зоны на экваторе около 670 км, т. е. крайние точки зоны удалены от осевого меридиана на 335 км. Искажения в длинах линий достигают: при удалении на 100 км – 1/8000 от измеряемой длины линии, на 300 км -1/800. Для широт территории России эти искажения в худшем случае составляют примерно 1/1000.

Наличие искажений в общем случае определяет возможное непостоянство масштаба в отдельных частях карты, и поэтому существуют понятия **главного масштаба** и **частных масштабов**. Главный масштаб — масштаб того глобуса, который изображают при составлении карты, частные масштабы относятся к различным частям карты.

Если искажение (порядка 1/1000) недопустимо, то проводится зонное деление в  $3^\circ$  по долготе, и тогда линейные искажения на территории нашей страны не превышают 1/8000.

Система географических координат удобна для изучения всей физической поверхности Земли или значительных ее участков, но неудобна для решения многих инженерных задач. Проекция Гаусса дает изображение земной поверхности с разрывами, однако ее ценность в том, что в силу малых искажений она сближает карту с планом и позволяет применять систему плоских прямоугольных координат в каждой зоне, что удобно при решении инженерных задач.

Проекция Гаусса даёт возможность вычислять по прямоугольным координатам географические координаты, и наоборот. В этой проекции за начало каждой зоны принимается точка пересечения осевого меридиана с линией экватора, которые образуют прямой угол. Они и принимаются за оси координат (рис. 8). Осевой меридиан служит осью абсцисс  $x$ , а линия экватора - осью ординат  $y$ . Положительным направлением абсцисс считается от экватора к северу, положительным направлением ординат — на восток.

В математике применяется левая система координат (нумерация четвертей против движения часовой стрелки), в геодезии — правая система. Но, так как наименования осей координат тоже противоположны, то знаки координат точек, расположенных в одноименных четвертях совпадают, что позволяет применять формулы тригонометрии без всяких изменений и в данной системе.

Для территории России, расположенной в северном полушарии, абсциссы  $x$  везде положительны, а ординаты  $y$  могут быть и положительными, и отрицательными. Например, для точки А (рис. 8)  $x_A = 4\,700$  км;  $y_A = 300$  км.

Отрицательные ординаты затрудняют обработку геодезических материалов и отсчет их на карте может не совпадать с направлением отсчета долготы в географической системе. То есть осевой меридиан и начало отсчета координаты  $y$  переносится на запад из зоны на 500 км. Чтобы избежать этого, ординату осевого меридиана принимают не за 0, а за 500 км. Следовательно, к ординатам всех точек зоны прибавляется эта условная величина (500 км) и теперь

$$y_A = -300 + 500 = 200 \text{ км.} \quad (11)$$

Дополнительно в записи ординаты точки указывают номер зоны в связи с тем, что во всех шестидесяти зонах системы координат одинаковые. Следовательно, значение координат точки необходимо дополнить номером зоны, в которой эта точка находится. Этот номер



приписывается впереди ординаты, и если в нашем случае точка А (рис. 8) находится в третьей зоне, то запись ординаты будет  $y_A = 3\ 200\ \text{км}$ .

Таким образом, ординаты точек получают **двойные преобразования** и, соответственно, называются **преобразованными**. Для определения местоположения точки в зоне надо, зная ее координату  $y$ , действовать в обратном порядке: убрать из записи ординаты номер зоны, для чего, справа на лево отделить 3 целых значащих цифры, за которыми следует номер зоны, и от этих цифр отнять 500 км:

$$y_A = [3]200\ \text{км} - 500\ \text{км} = -300\ \text{км}, \text{ где цифра } 3 \text{ означает номер зоны.}$$

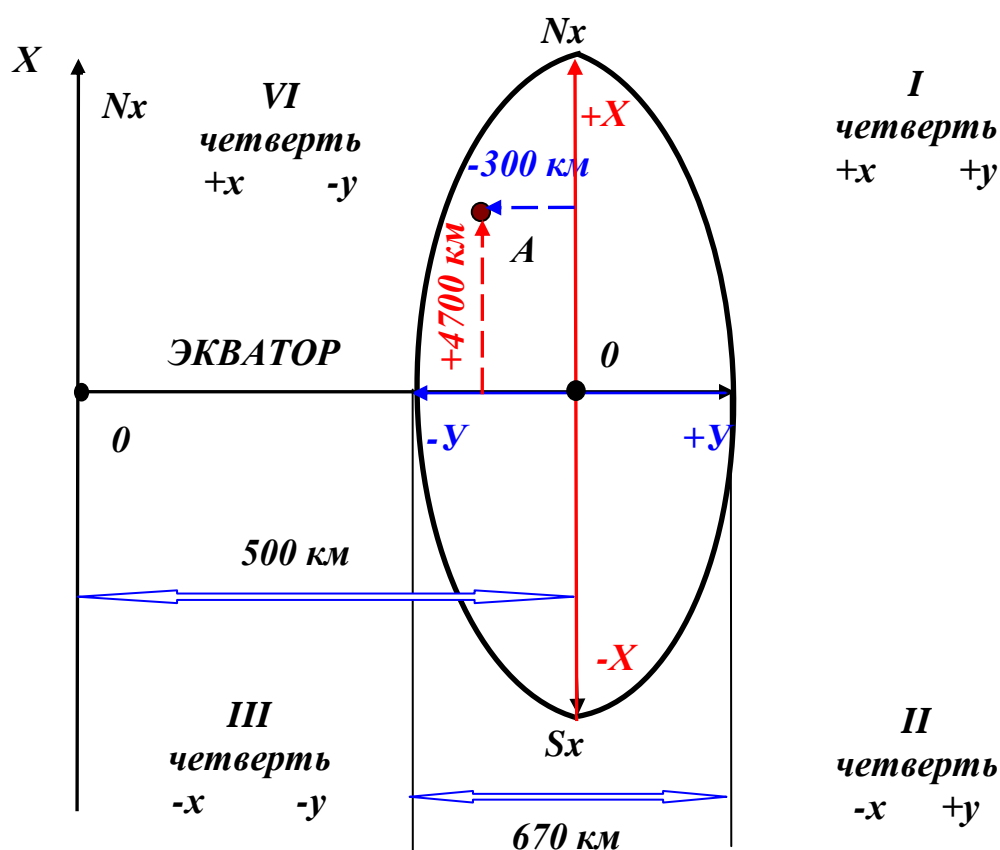
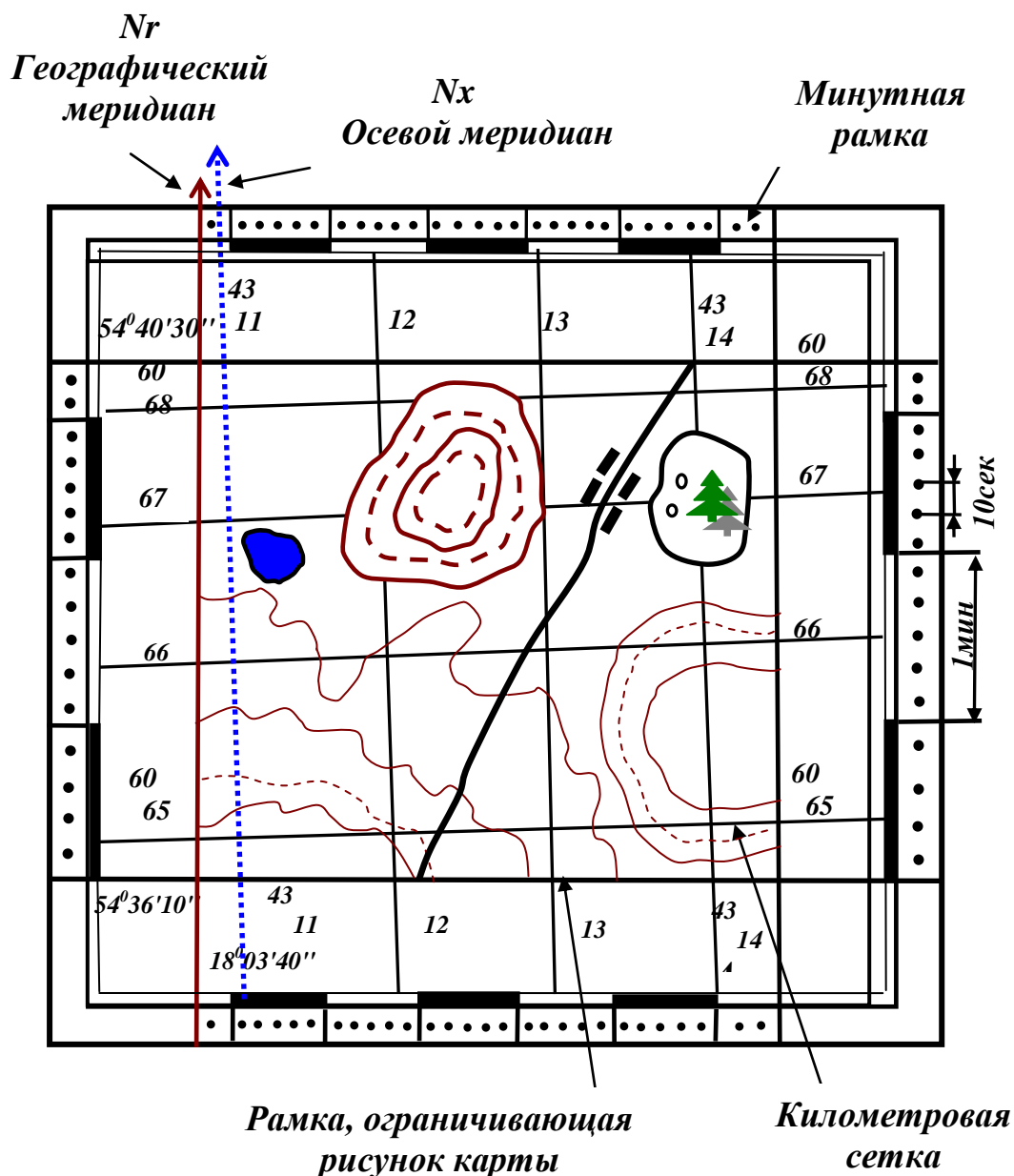


Рис. 8. Прямоугольная система координат

### 2.3. Определение координат по карте

На топографических картах обычно представлены обе системы координат (рис. 9). Географическая система координат представлена двумя меридианами (западным и восточным) и двумя параллелями (южной и северной), ограничивающими рисунок карты. Начало отсчета географических координат в левом нижнем углу карты, где записаны координаты этой угловой точки ( $\varphi - 54^\circ 36' 10''$  и  $\lambda - 18^\circ 03' 40''$ ). Для определения географических координат точки А необходимо

спроецировать ее на линию меридиана для отсчета широты  $\varphi$  и на линию параллели, для отсчета долготы  $\lambda$  (при помощи треугольника опускаем перпендикуляр из точки А на вертикальную и горизонтальную линии широты и долготы). Для определения  $\Delta\varphi$  и  $\Delta\lambda$  точки А необходимо просчитать количество целых минутных и 10-секундных отрезков, и, если необходимо, то и доли секунд (при помощи линейной интерполяции). К известным координатам широты и долготы, обозначенным в левом нижнем углу топографического плана или карты (в нашем случае  $\varphi - 54^{\circ}36'10''$  и  $\lambda - 18^{\circ}03'40''$ ) прибавить рассчитанные приращения координат  $\Delta\varphi$  и  $\Delta\lambda$ .



*Рис. 9. Пример топографической карты*

Прямоугольная система координат представлена на карте километровой сеткой. Вертикальные линии километровой сетки параллельны осевому меридиану зоны. Расстояние между километровыми линиями беруться равными:

- на картах  $M = 1:10\ 000$ ,  $M = 1:25\ 000$ ,  $M = 1:50\ 000$  - 1 км,
- на картах  $M = 1:100\ 000$  – 2 км.

Крайнее левое пересечение осевого меридиана с перпендикулярной к нему параллелью километровой сетки оцифрованы полной цифрой ( $X=6065$ ,  $Y=4311$ ), в остальных местах – только последними двумя цифрами, называемыми сокращенными координатами. Эти сокращённые координаты применяются для обозначения квадратов координатной сетки: точка А расположена в квадрате 66/12.

Для определения прямоугольных координат достаточно измерить приращение расстояния до ближайших к точке сторон квадрата километровой сетки ( $\Delta X$ ;  $\Delta Y$ ) и прибавить их к известным координатам  $X$  и  $Y$  левого нижнего угла квадрата, в котором находится данная точка.

### 3. ОРИЕНТИРОВАНИЕ

Для ориентирования карт или объекта на местности достаточно ориентировать линию, принадлежащую данной карте или объекту.

Для того, чтобы ориентировать линию в пространстве, надо знать **угол ориентирования**.

**Угол ориентирования** - это угол между ориентируемой линией и направлением, принятым за начальное в данной системе координат.

#### 3.1. Углы ориентирования в географической системе координат

В географической системе координат за начальное направление принято северное направление географического меридиана (рис. 10) и углами ориентирования являются **географический азимут  $A_2$**  и **географический румб  $r_2$** .

**Географический азимут** – угол, отсчитываемый по часовой стрелке от северного направления географического меридиана, проходящего через точку ориентирования, до ориентируемой линии. Изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

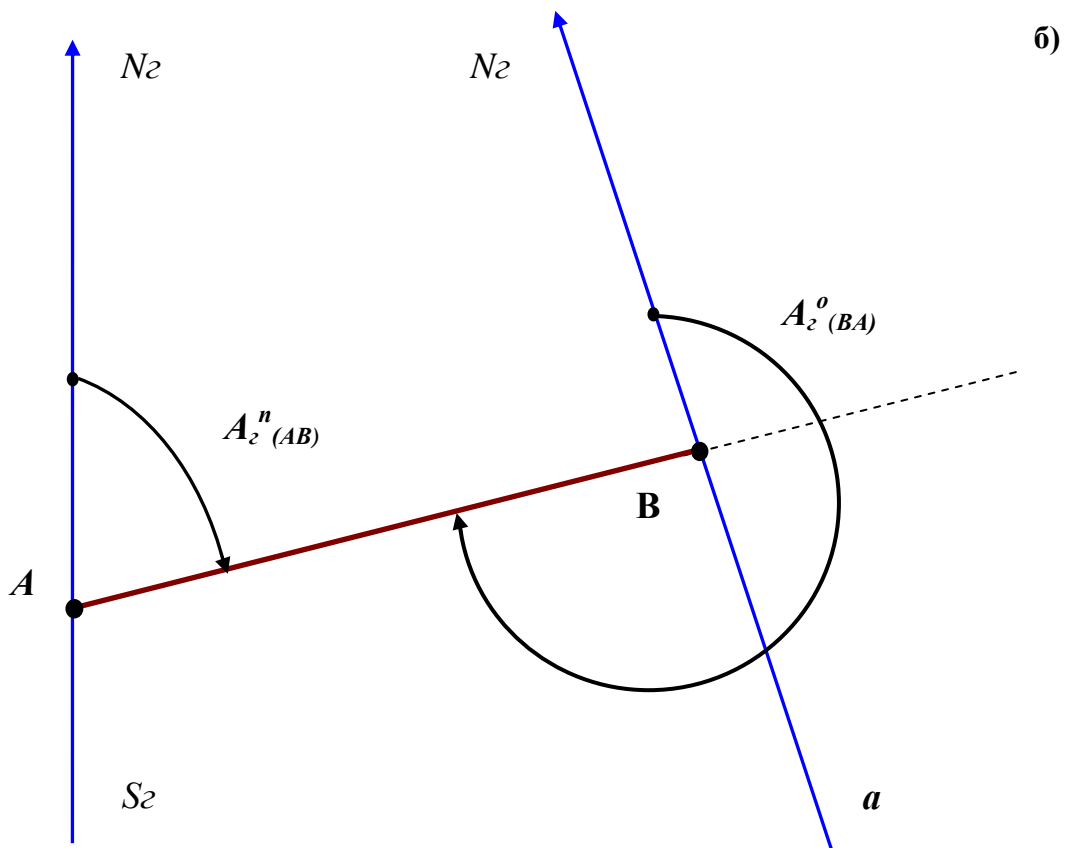
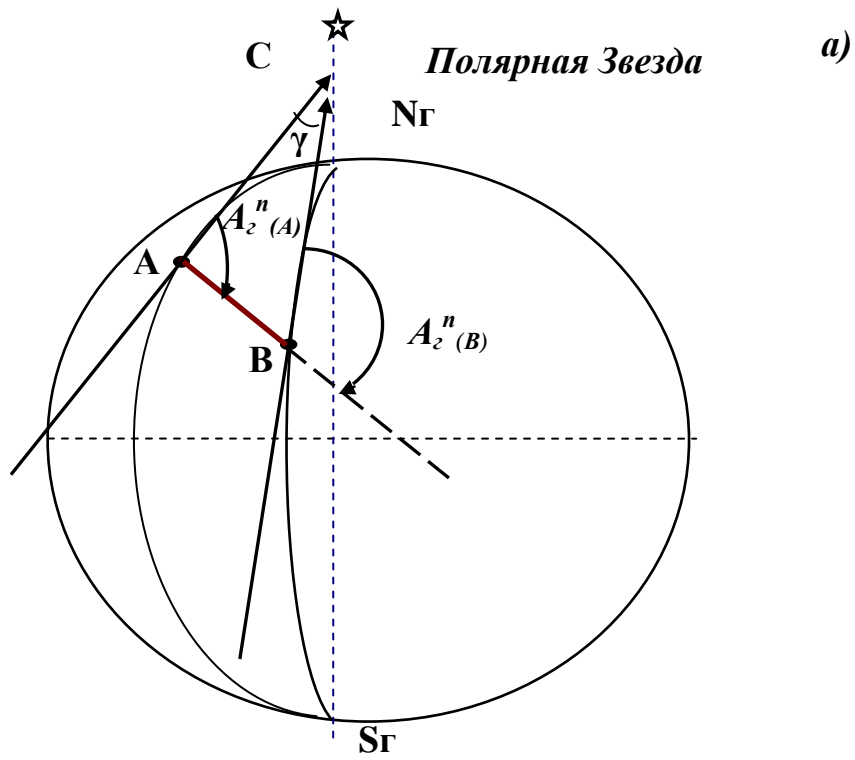


Рис.10. Географический азимут

Географические меридианы в концевых точках линии не параллельны между собой, поэтому азимут одной и той же линии (рис. 10 а, линия АВ) в различных её точках будет различен (в точке А азимут  $A_z(A)$  не равен азимуту в точке В –  $A_z(B)$ ). Это различие определяется углом  $\gamma$ , который называется сближением меридианов.

$$\gamma = A_{z(A)} - A_{z(B)} \quad (12)$$

В географической системе координат, за начальное направление принято северное направление географического меридиана (рис. 10) и углами ориентирования являются географический азимут  $A_z$  и географический румб  $r_z$ .

В геодезии пользуются терминами: прямое направление линии и обратное направление линии. Так, если исходное направление линии – направление АВ прямое (рис. 10 б), то обратное направление – направление ВА. Соответственно, азимут линии АВ будет прямым, линии ВА – обратным. Зная азимут прямой в точке А –  $A_z^n(A)$  и сближение меридианов  $\gamma(B)$  можно вычислить азимут обратный в точке В. В данном случае:

$$A_z^o(BA) = A_z^n(AB) + 180^\circ + \gamma(B). \quad (13)$$

Расчётом определено, что для средних широт при расстояниях между точками менее 0,5 км сближение меридианов составляет меньше 30". В геологической и строительной практике такая погрешность в 30" в определении направлений считается допустимой и тогда при  $l < 0,5$  км в общем случае:

$$A_{обр} = A_{пр} \pm 180^\circ \quad (14)$$

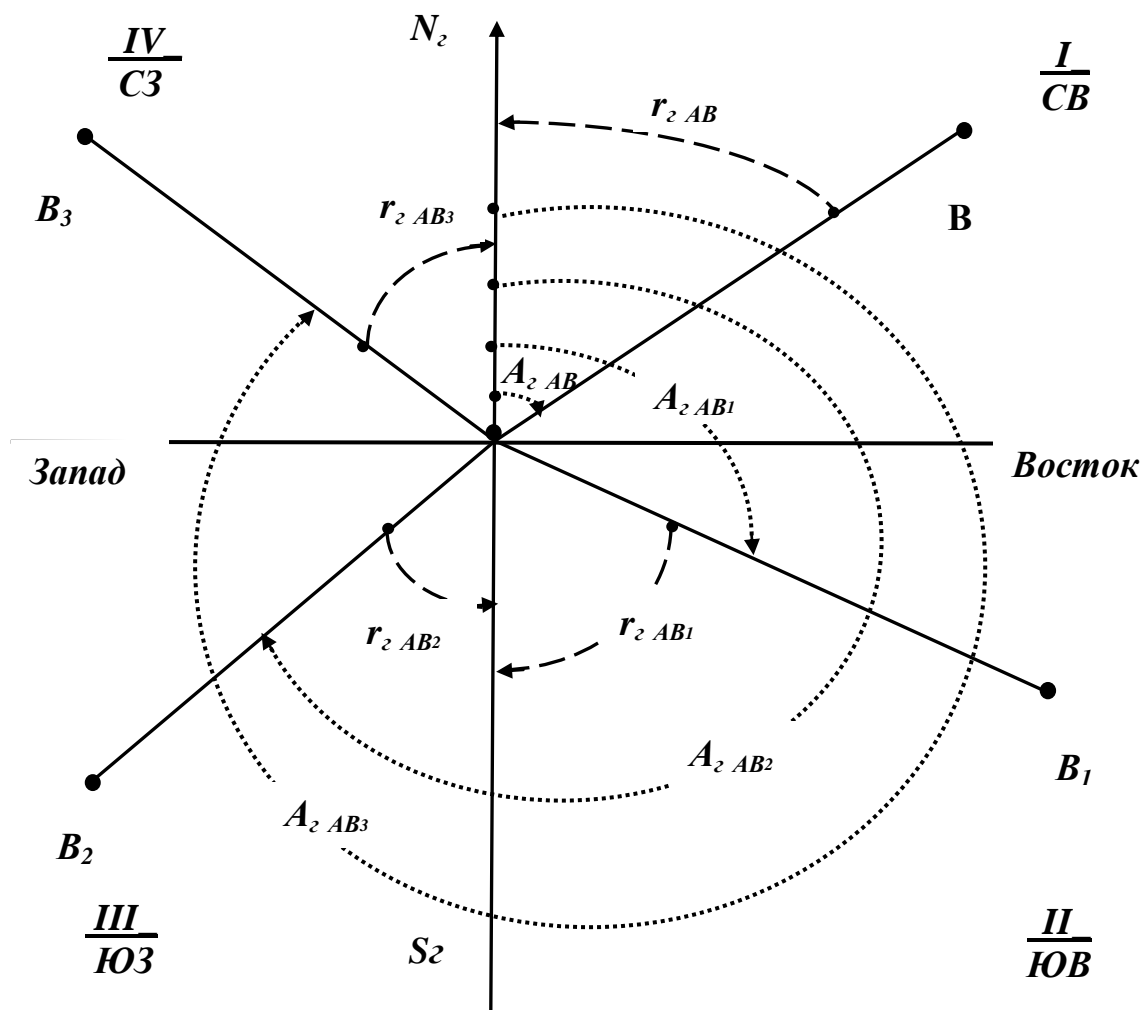
**Географический румб** – угол между ориентируемой линией и ближайшим направлением географического меридиана, проходящего через точку ориентирования (северным или южным).

Румб может иметь значения от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Связь румбов и азимутов представлена на рис. 11. Числовые значения румба необходимо сопровождать названием четверти, в которой находится линия.

Например, для линии АВ будет:  $r_{AB} = СВ 50^\circ$ ;

для линии АВ<sub>1</sub> будет  $r_{AB_1} = ЮВ 60^\circ$  и т.д.

Обратные румбы отличаются от прямых названием, а их угловая величина не изменяется. Так, если прямой румб  $r = СВ 50^\circ$ , то обратный румб  $r = ЮЗ 50^\circ$ .



*I четверть  $r_{2 AB}=A_{2 AB}$ ; II четверть  $r_{2 AB1}=180^{\circ}-A_{2 AB1}$*

*III четверть  $r_{2 AB2}=A_{2 AB2}-180^{\circ}$ ; IV четверть  $r_{2 AB3}=360^{\circ}-A_{2 AB3}$*

*Рис. 11. Связь между азимутами и румбами*

### 3.2. Углы ориентирования в прямоугольной системе координат

В системе плоских прямоугольных координат за начальное направление принято северное направление линии, параллельной осевому меридиану (для упрощения называемой осевым меридианом  $N_x$ ) и проходящей через точку ориентирования. (рис. 12 а) **Углы ориентирования - дирекционный угол ( $\alpha$ ) и дирекционный румб ( $r$ ).**

**Дирекционный угол  $\alpha$  - это угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, проходящей через точку ориентирования по ходу часовой стрелки, до ориентируемой линии. Изменяется от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .**

Дирекционный угол в разных точках прямой является величиной постоянной и, соответственно, обратный дирекционный угол будет:

$$\alpha_{BA}^o = \alpha_{AB}^n \pm 180^\circ. \quad (15)$$

Зная географический азимут, можно вычислить дирекционный угол, и наоборот. Так как для точек, расположенных восточнее осевого меридиана сближение  $\gamma$  со знаком плюс (рис. 12 б), а для точек, расположенных западнее – со знаком минус, то во всех случаях

$$A_z = \alpha + (\pm \gamma). \quad (16)$$

На топографических картах даётся значение  $\gamma$  для средней точки листа карты. При решении задач следует иметь в виду, что для карт М 1:50 000 и М 1:100 000 сближение меридианов изменяется на  $15'$  и  $30'$ .

**Дирекционный румб – угол между ориентируемой линией и ближайшим направлением осевого меридиана или линии, ему параллельной (рис. 11).**

Связь между румбами и дирекционными углами такая же, как в географической системе.

На топографической карте представлены географическая система координат и общегосударственная система прямоугольных координат. Соответственно, направления линий характеризуются географическими азимутами или дирекционными углами.

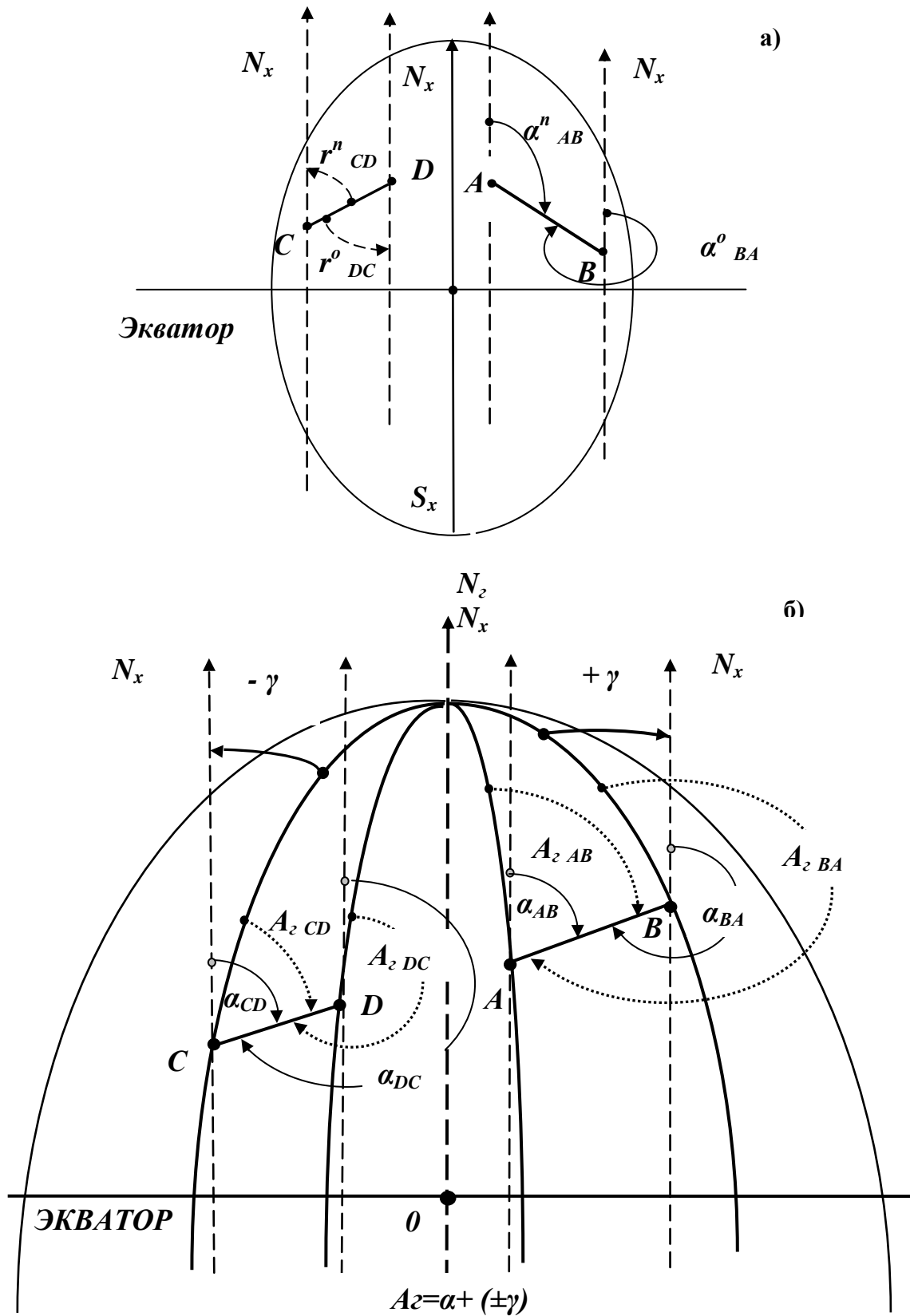


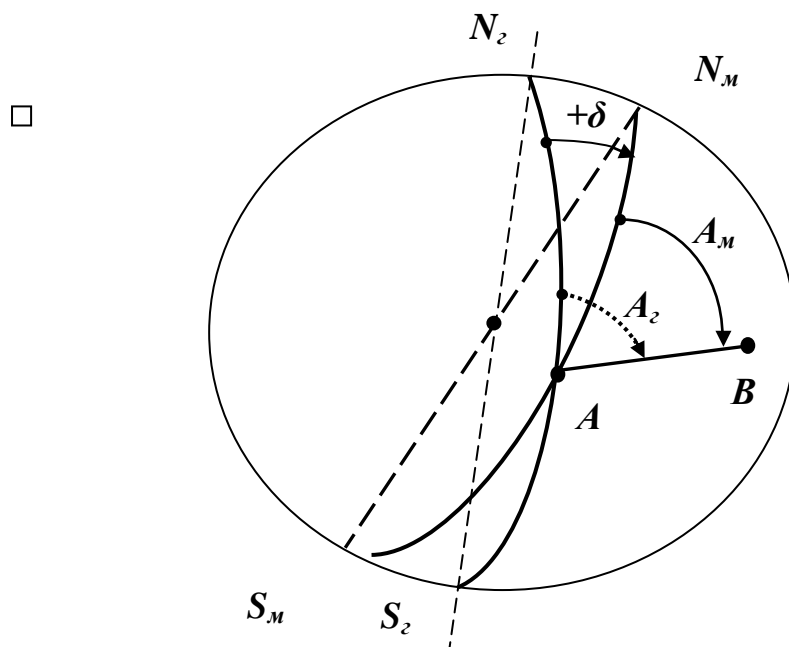
Рис. 12. Углы ориентирования в прямоугольной и географической системах координат



### 3.3. Углы ориентирования на местности

Когда необходимо ориентировать линию, объект или карту на местности, отобразить на карте или плане линию определенного направления, решить другие аналогичные задачи, т. е., перейти «от карты к местности» и, наоборот, то ориентируются относительно **магнитного меридиана**, проходящего через точку ориентирования, направление которого показывает магнитная стрелка компаса или буссоли.

При ориентировании относительно магнитного меридиана за начальное направление принято северное направление магнитного меридиана  $N_m$  (рис. 13). **Углами ориентирования являются магнитный азимут ( $A_m$ ) и магнитный румб ( $r_m$ ).**

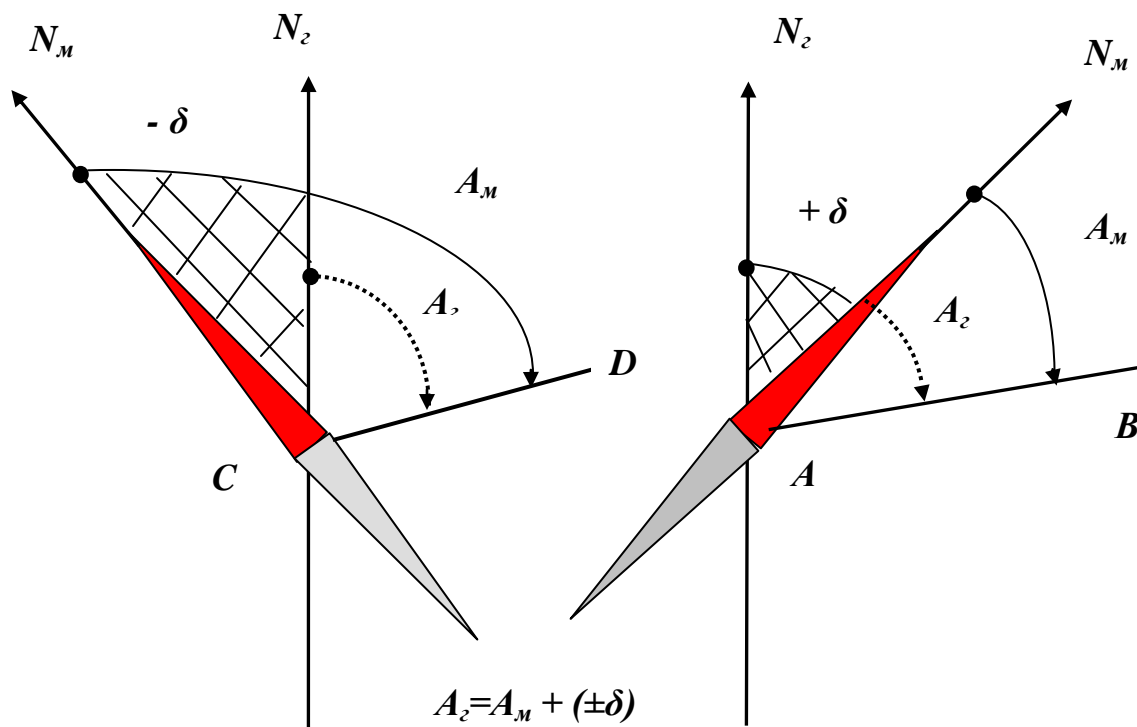


*Рис. 13. Положение географического и магнитного полюсов на Земле*

**Магнитный азимут** – это угол, отсчитываемый от северного направления магнитного меридиана, проходящего через точку ориентирования по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии.

Магнитный меридиан, как правило, не совпадает с географическим, так как не совпадают географический и магнитный полюса (рис. 14). Между ними есть угловое и линейное расстояние.

**Магнитное склонение ( $\delta$ )** - это угол, между магнитным и географическим меридианами, проходящими через точку ориентирования.



**Рис. 14** *Магнитный азимут и магнитный румб*

Приписывая восточному склонению знак плюс, а западному – минус, во всех случаях получаем:

$$A_z = A_m + (\pm \delta). \quad (17)$$

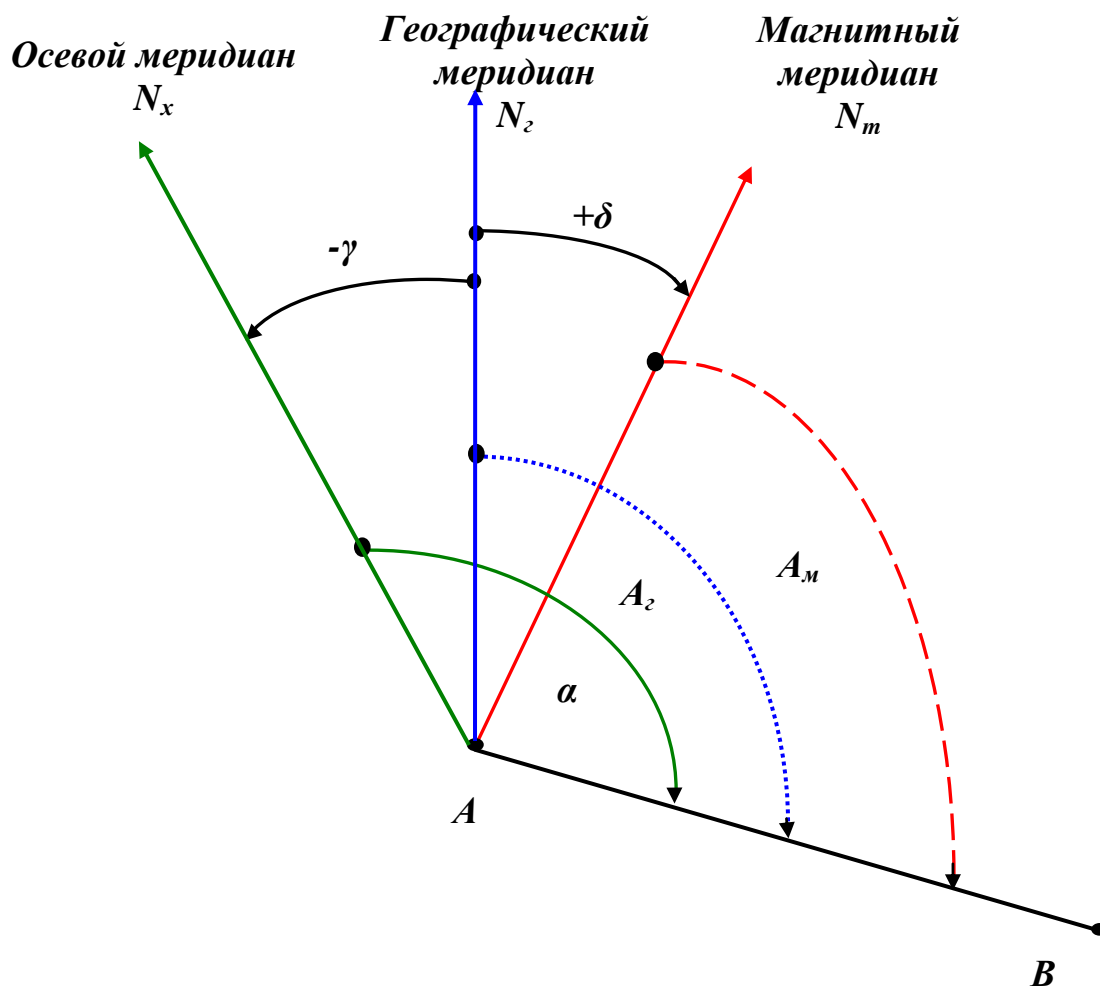
**Магнитное склонение** – величина непостоянная по величине, по направлению и во времени. Известны его суточные, годовые и вековые изменения. В частности, суточное изменение в средней полосе России достигает 15' и больше, следовательно, ориентирование линий относительно магнитного меридиана возможно в тех случаях, когда не требуется высокой точности. Есть районы магнитных аномалий, где вообще нельзя пользоваться показаниями магнитной стрелки.

Уточнённую величину магнитного склонения можно узнать на метеостанциях, а так же по специальным картам. Среднее значение магнитного склонения приводится на всех топографических картах.

**Магнитный румб** – это угол между ориентируемой линией и ближайшим направлением северным или южным магнитного меридиана, проходящего через точку ориентирования.

Связь между магнитными румбами и азимутами такая же, как и в географической системе. Обобщённая схема связи дирекционных углов и азимутов показана на рисунке 15, их аналитические зависимости выражены формулами:

$$A_z = \alpha + (\pm \gamma) \text{ и } A_z = A_m + (\pm \delta) \quad (18)$$

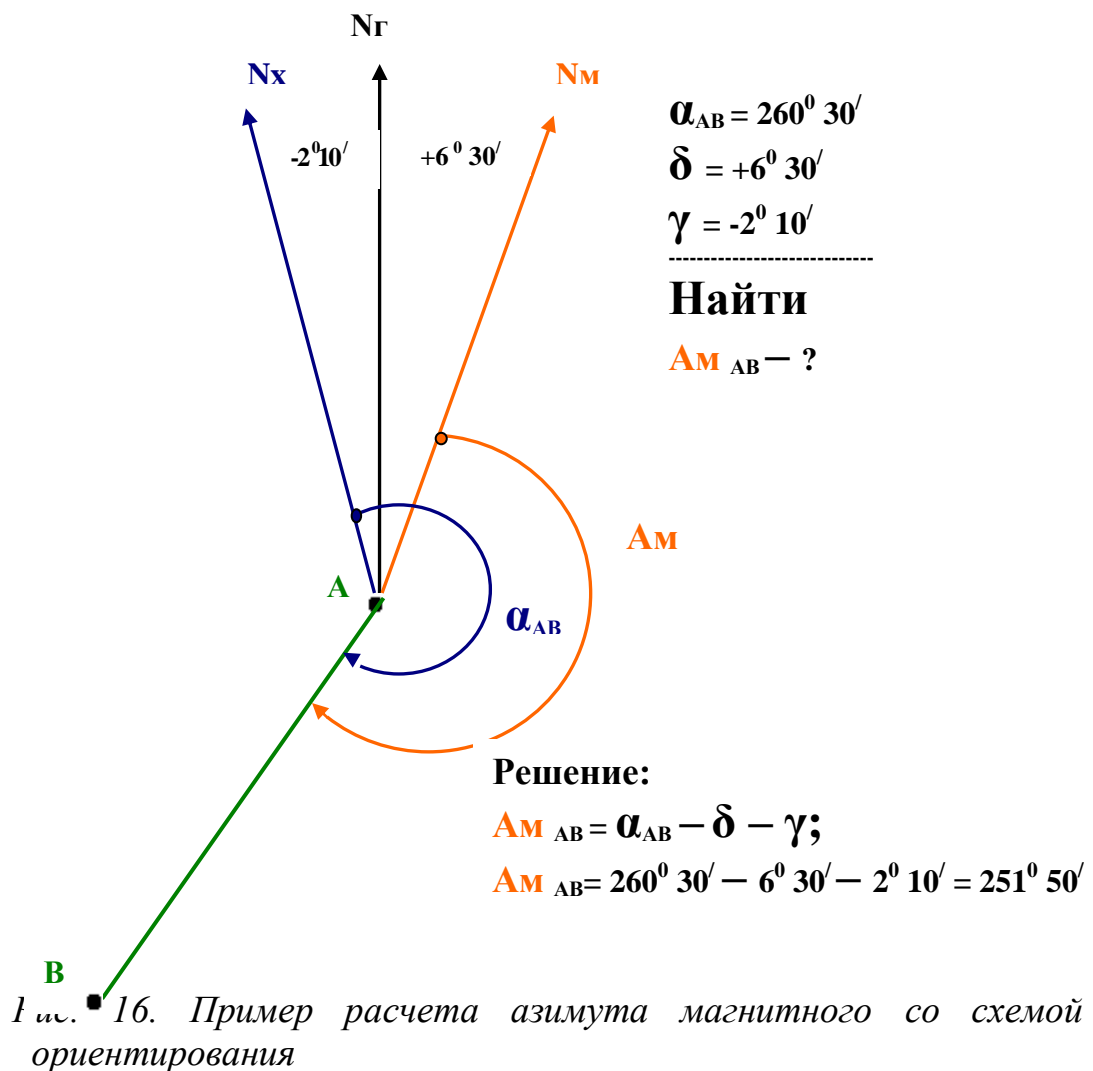


$$A_z = \alpha + (\pm \gamma); \quad A_z = A_m + (\pm \delta); \quad \alpha = A_m + (\pm \gamma) + (\pm \delta)$$

**Рис. 15. Связь между дирекционными углами и азимутами**

Пример решения задачи на ориентирование представлен на рисунке 16.:

На карте измерен дирекционный угол  $\alpha = 260^\circ 30'$ . Найти магнитный азимут, если  $\gamma = -2^\circ 10'$   $\delta = +6^\circ 30'$ .



### 3.4. Ориентирование карты на местности

Ориентирование карты возможно двумя приёмами.

1. Приложить буссоль (компас) к боковой линии рамки географических координат (т.е. к линии географического меридиана) и поворачивать карту до тех пор, пока по северному концу магнитной стрелки не будет получен отсчёт, равный магнитному склонению  $\delta$ , значение которого приведено в левом нижнем углу карты.

2. Прикладывают буссоль к вертикальной линии километровой сетки (т.е. к направлению осевого меридиана) и поворачивают карту вместе с буссолью до получения отсчёта, равного поправке направления ПН (включающей  $\delta$  и  $\gamma$ ):

$$ПН = (\pm \delta) - (\pm \gamma). \quad (19)$$

## 4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ

Инженерные задачи различного вида решаются с использованием *карт* и, главным образом, *планов* и *профилей*.

### 4.1. Виды планов

Планы часто изготавливают непосредственно проектные и производственные организации, карты – предприятия «Роскартографии». Процесс изготовления планов длительный и дорогостоящий, то и другое существенно возрастает с увеличением точности съемки и требуемой полноты отображения деталей физической поверхности Земли и имеющих объектов. Кроме деления планов на *контурные* и *топографические*, существует деление планов на *основные* и *специализированные*.

Основные планы имеют универсальное назначение, предназначены для многих отраслей народного хозяйства, а специализированные - для конкретных ведомств. При изготовлении специализированных планов возможно исключение какой-то части содержания, предусмотренного в основных планах, или, наоборот, нанесение дополнительной информации.

### 4.2. Виды геодезических измерений

Для получения плана производят на местности геодезические измерения, их точность определяют инструкциями на основе теории ошибок измерения.

Все измерения в инженерной геодезии сводятся к следующим:

- 1) *Линейные измерения* - определение расстояний между точками и размеров различных объектов;
- 2) *Угловые измерения* - определение горизонтальных и вертикальных углов;
- 3) *Высотные измерения* (нивелирование) - определение превышений, а через них, абсолютных высот точек физической поверхности Земли.

### 4.3. Принципы геодезических съемок

При проведении полевых геодезических съемок руководствуются двумя принципами:

- ✚ *выполнение работ от общего к частному;*
- ✚ *контроль на всех этапах.*

Первый принцип (*выполнение работ от общего к частному*) заключается в том, что первоначально с высокой точностью определяют взаимное расположение и координаты ограниченного числа точек и линий их связывающих (рис. 17, точки 1-5), а затем, основываясь на эти опорные точки и линии (съёмочную сеть), определяют местоположение большого числа точек, представляющих различные объекты съёмки с несколько меньшей точностью.

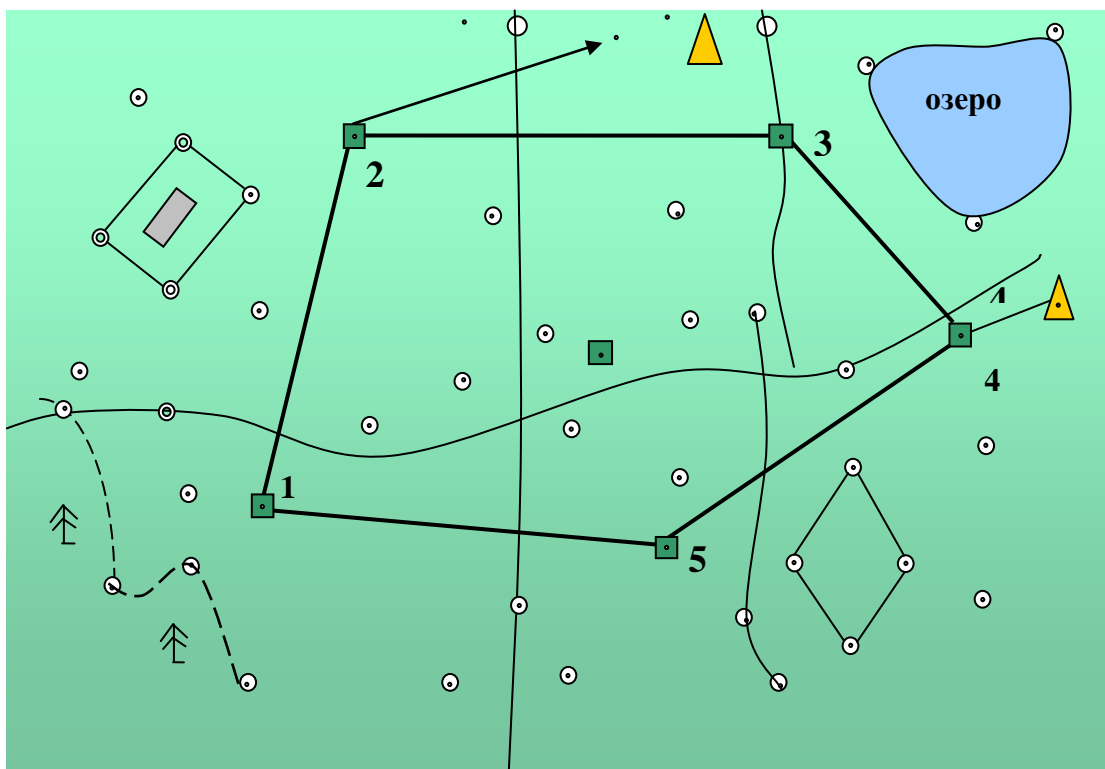


Рис. 17. Местоположение точек съёмочной сети объектов ситуации

#### 4.4. Виды геодезических съёмок

Геодезические измерения можно производить с помощью различных приборов или их сочетания. Но применение приборов, имеющих различные технические характеристики, отражается на качестве съёмки. Поэтому в инженерной геодезии не ограничиваются разделением на контурные и топографические планы. Но в наименовании съёмки, по материалам которой составлен план, указывают наименование основного геодезического прибора. Так, основным прибором в теодолитной съёмке является теодолит. В тахеометрической съёмке - тахеометр, и т.д.

Наиболее распространены следующие виды съемок.

**I. Контурные съемки** (для получения контурных ситуационных планов):

**Космическая фотографическая съемка**

**Аэрофотографическая съемка** - применяется для больших участков, производится с помощью автоматического аэрофотоаппарата (АФА), установленного на самолете.

**Теодолитная съемка**, основной прибор - теодолит, служащий для измерения горизонтальных углов; вертикальных углов и дальномерного расстояния.

**Полуинструментальная съемка** служит для получения плана местности невысокой точности. Применяют упрощенные приборы: вместо теодолита - буссоль и т.д.

**Глазомерная съемка** - для получения приблизительного плана местности при рекогносцировочных изысканиях. Горизонтальные углы определяют с помощью компаса и визирной линейки, расстояния определяют глазомерно или шагами.

**II. Топографические съёмки** (для получения изображения ситуации и рельефа):

**Тахеометрическая съемка.** Тахеометрия в переводе означает «скороизмерение» (быстрая съемка), все работы выполняются одним прибором - тахеометром. Простейший тахеометр - теодолит, которым можно измерить не только горизонтальные и вертикальные углы, но и расстояния. Под тахеометрами подразумевают приборы с различной степенью автоматизации, позволяющие непосредственно, без всяких вычислений, получать превышения и горизонтальные проложения линий.

**Мензуральная съемка**, выполняется с помощью мензурального комплекта. План местности полностью рисуется в поле.

**Нивелирование площади или линейных объектов**- основной прибор нивелир.

**Фототеодолитная съемка**, производится прибором, представляющим сочетание теодолита и специальной фотокамеры. Производится фотографирование участка с двух точек, после соответствующей обработки получают план, по точности не уступающий плану мензуральной съемки.

**Аэрофототопографическая съемка.** Для отображения рельефа горизонталями применяют два метода: комбинированный и стереофотограмметрический. При комбинированном методе контурную часть плана создают по аэроснимкам, для построения

горизонталей производится дополнительная наземная высотная съемка. При стереофотограмметрическом методе получают по аэроснимкам и контуры объектов, и отметки точек, но для этого аэроснимки должны иметь перекрытие не менее 50 %. Аэрофототопографическая съемка является высокопроизводительной, допуская широкую механизацию.

**Космическая топографическая съемка**, которой охвачен весь земной шар.

#### 4.5. Наземные съёмки

Выделяют следующие *этапы наземной геодезической съёмки*:

- ❖ *Рекогносцировка;*
- ❖ *Создание съёмочного обоснования;*
- ❖ *Съёмка участка (ситуации)*
- ❖ *Камеральная обработка результатов полевых измерений и построение планов или карт*

Съёмки различного вида начинаются с выбора на местности и закрепления *точек съёмочной сети* (рис. 17). В последующем, при съёмке участка, все объекты местности будут привязаны к точками линиям съёмочной сети в плановом и высотном отношениях. В свою очередь, съёмочная сеть должна быть привязана к *государственной геодезической сети*.

**Государственной геодезической сетью** называется система *пунктов на земной поверхности, закреплённых на местности специальными знаками, взаимное положение которых определено в плане и по высоте*.

Геодезические сети подразделяются на *плановые* и *высотные*. У плановой сети в единой системе определены координаты пунктов, у высотной – абсолютные отметки (высота над уровенной поверхностью или уровнем моря).

Второе подразделение геодезических сетей:

- ❖ *Государственные;*
- ❖ *Местные (сети сгущения);*
- ❖ *Съёмочные.*

#### 4.6. Плановые геодезические сети



Государственная плановая сеть, охватывающая всю территорию Российской Федерации, подразделяется по точности на 4 класса: 1-й, 2-й, 3-й и 4-й.

Для определения координат пунктов в единой системе применяются следующие три метода.

**1. Триангуляция.** Координаты исходного пункта А (рис. 18) и геодезический (географический) азимут базисной стороны АВ определяют из астрономических наблюдений, длину базисной стороны измеряют. Далее разбивают сеть примыкающих треугольников, измеряют в каждом треугольнике все три угла, вычисляют координаты пунктов С, Д и т.д.

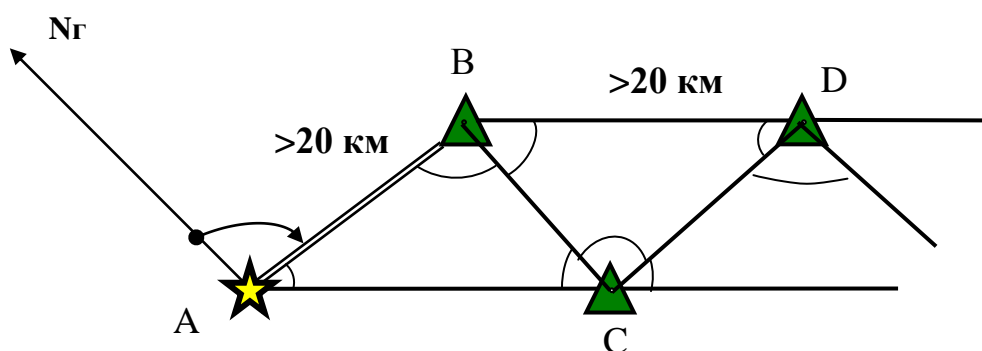


Рис. 18. Триангуляция

Ряды треугольников располагают по возможности в направлении меридианов и параллелей на расстоянии 200-250 км друг от друга (рис. 19). Длина сторон в треугольниках - не менее 20 км.

Для обеспечения наземных съемок плотность государственных сетей увеличивают заполняя сеть 1 класса сетью 2 класса с длиной сторон треугольников от 7 до 20 км. Далее сеть развивается за счет сетей 3 и 4 классов с еще меньшим расстоянием между пунктами.

**2. Полигонометрия.** В лесистой равнинной местности, где развитие сети триангуляции затруднительно, используют метод полигонометрии. Здесь измеряют длины сторон  $L_i$  и углы  $\beta_i$  (рис. 20). Если известны координаты одного из пунктов и дирекционный угол одной из сторон, то можно вычислить координаты всех пунктов полигонометрического хода. В сетях I класса длина сторон хода составляет 8-30 км, в сетях 2 класса, соответственно, 5-18 км.

Полигонометрию, как и триангуляцию, разделяют на 4 класса. Точность определения полигонометрических пунктов должна быть

одинаковой с точностью триангуляции тех же классов, аналогична последовательность развития этих сетей (рис. 21).

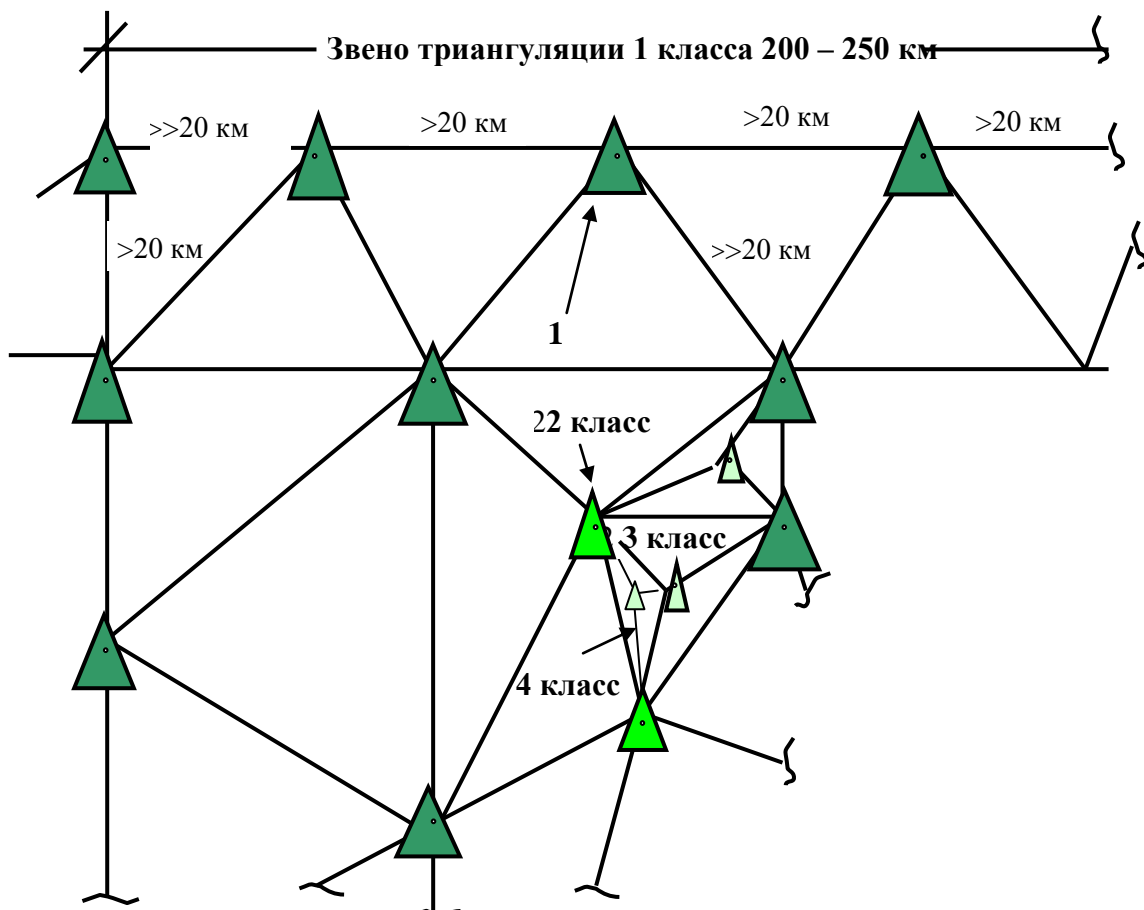


Рис. 19. Разбивка съёмочной сети на классы

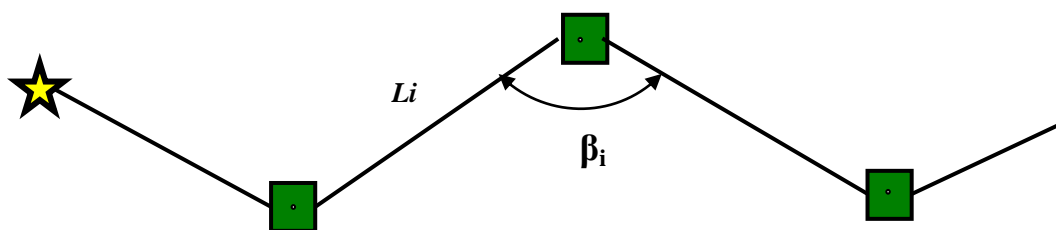


Рис. 20. Полигонометрия

3. **Трилатерация.** Государственные геодезические сети 3 и 4 классов могут строиться также методом трилатерации. Это система треугольников, но в данном способе измеряют не углы, а длины сторон

треугольников с применением свето- и радиодальномеров. Из решения треугольников определяют горизонтальные углы, а через них – дирекционные углы сторон. Дальнейшие вычисления координат пунктов производят так же, как и в триангуляции.

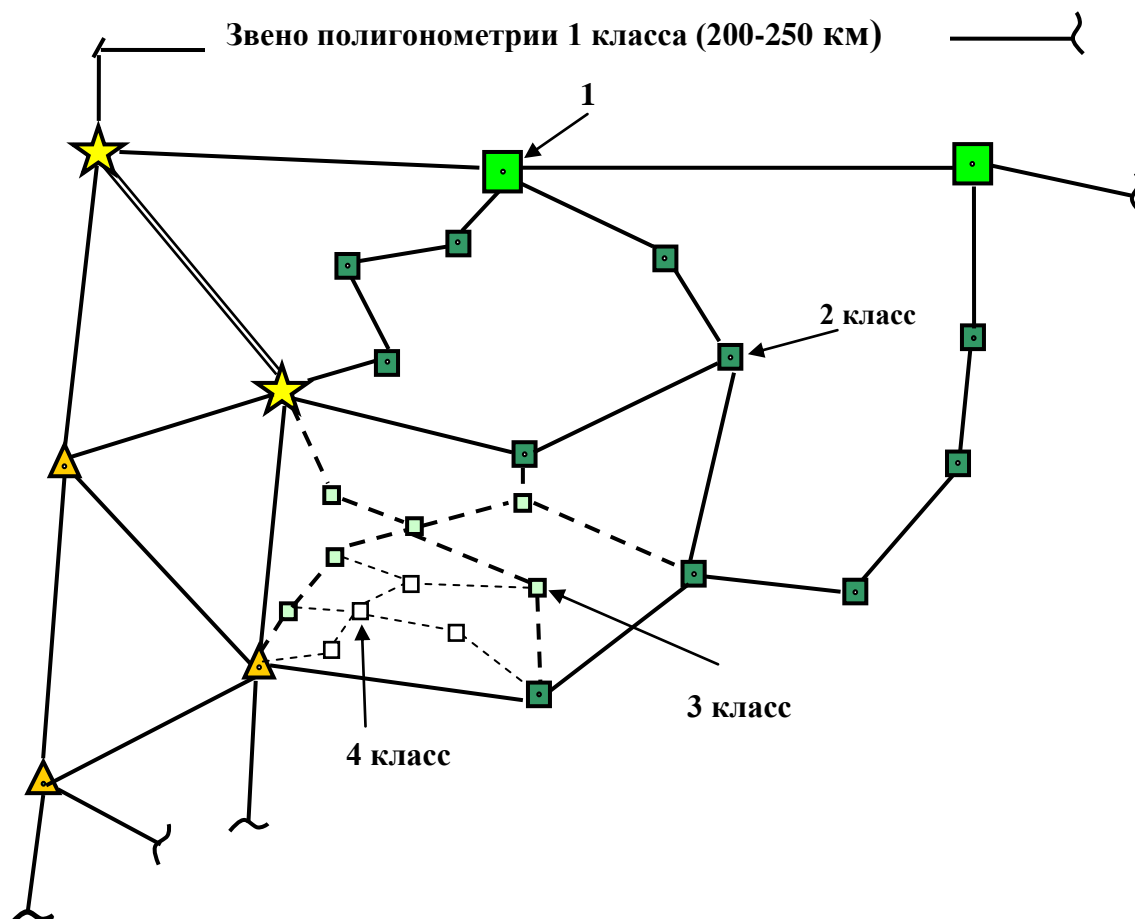


Рис. 21. Полигонометрические пункты

Каждый пункт геодезической сети любого класса закрепляют на местности центром (рис. 22). Капитальность этих сооружений зависит от физико-географической характеристики района и класса сети.

Центр состоит из нескольких ярусов, образуемых бетонными блоками. В каждом ярусе ось центра отмечают специальной маркой. Все марки должны располагаться на одной отвесной линии.

Чтобы все центры можно было увязать в единую систему, необходимо обеспечить их взаимную видимость. Для этого над центром сооружаются геодезические знаки, называемые сигналами (рис. 23). Их возможные конструкции:

- если видимость на соседние пункты открывается с земли, то тур или пирамида;
- если для обеспечения видимости необходим подъём геодезического прибора над землёй до 10 м, то простой сигнал (рис. 23); от 10 до 40 м – сложный сигнал.

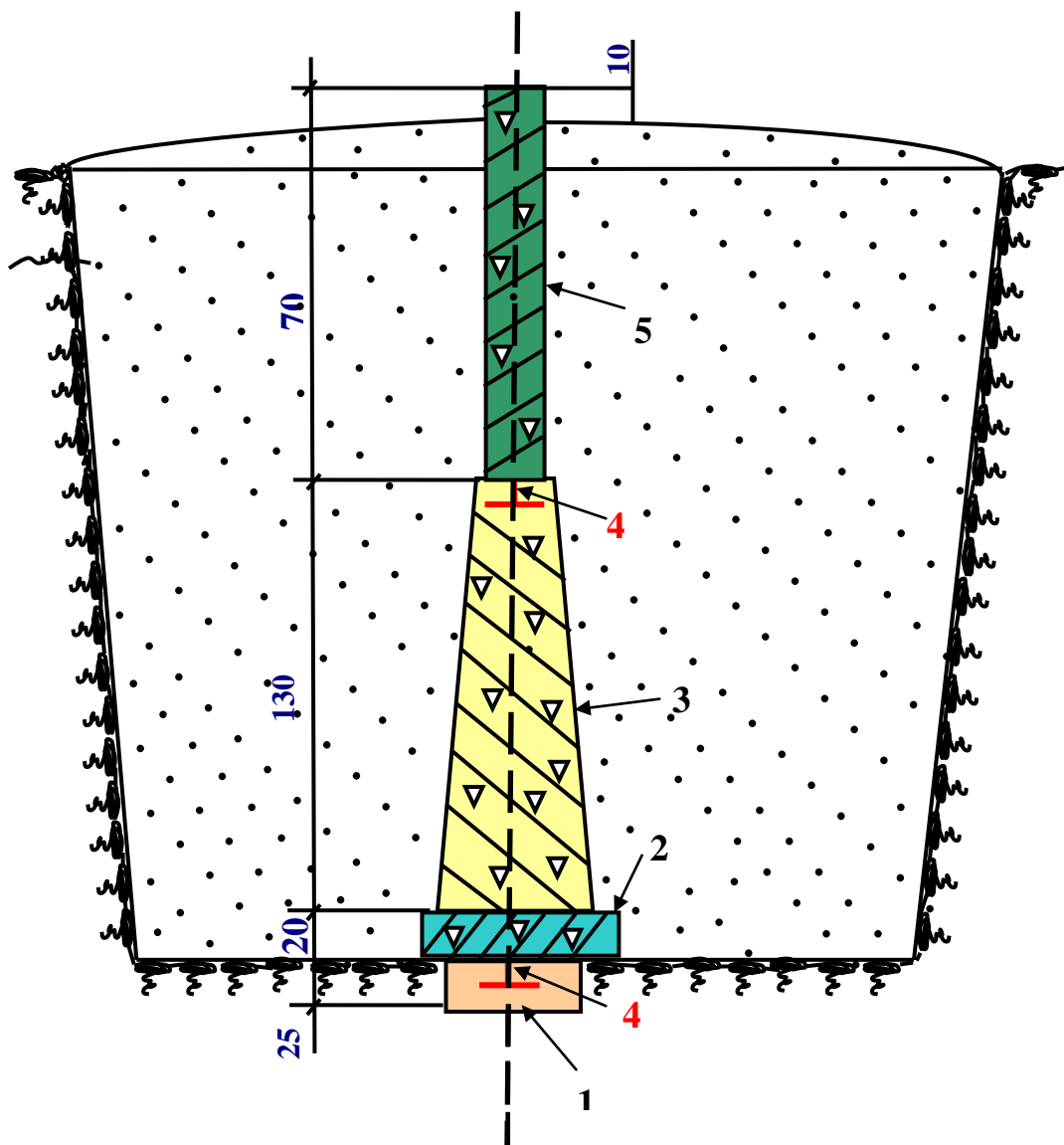


Рис. 22. Центр пункта плановой геодезической сети: 1) монолит; 2) якорь; 3) пилон; 4) марки; 5) опознавательный столб

**Местные плановые** геодезические сети создаются в экономически развитых или перспективных районах, когда плотность пунктов государственной сети для проведения съёмок недостаточна (местная сеть называется сетью сгущения).

**Сети сгущения** создаются теми же методами, что и государственные сети (триангуляция, трилатерация, полигонометрия). Их точность соответствует 4-му классу (при измерении угла  $m = \pm 02''$ , или несколько ниже:  $m = \pm 05''$  - сеть сгущения 1 разряда и  $m = \pm 10''$  - 2-го разряда). Закрепляются сети сгущения центрами и знаками в упрощённом варианте.

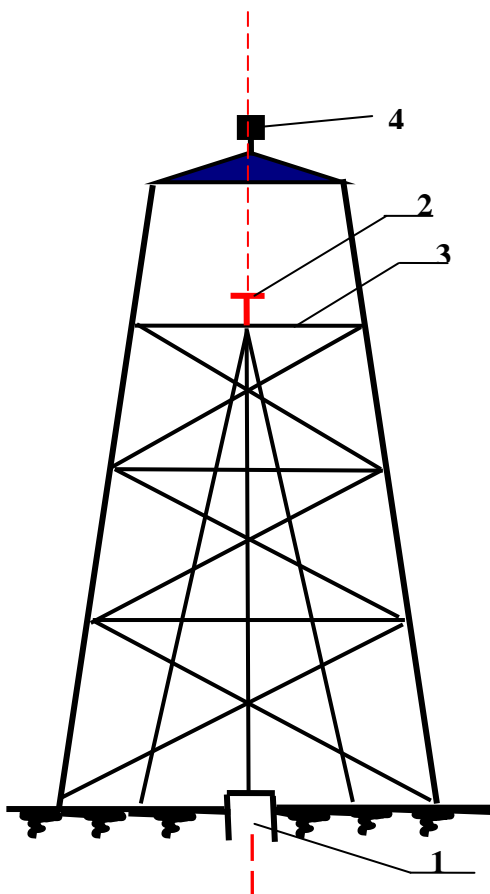


Рис. 23. Геодезические знаки (сигналы): 1) центр; 2) столик для установки теодолита; 3) площадка для наблюдателя; 4) визирный цилиндр

Длины сторон треугольников триангуляции и требуемая точность для государственных сетей и сетей сгущения приведены в табл. 2.

**Съёмочные сети** непосредственно обеспечивают съёмки конкретных участков. Они строятся как развитие сетей сгущения и, следовательно, имеют привязку к государственной сети. Иногда съёмочная сеть строится для небольших участков совершенно самостоятельно (свободная сеть).

Плановое положение пунктов определяется прокладкой теодолитных ходов или способом засечек.

Теодолитные ходы бывают *сомкнутые*, *разомкнутые* и *висячие*.

*Сомкнутым ходом* (полигоном) называется такой, начало и конец которого опираются на один и тот же пункт государственной сети (рис. 24 а). *Разомкнутый ход* опирается на два различных пункта (рис. 24 б), висячий – на один пункт (рис. 24 в), второй его конец остаётся свободным. Для привязки измеряются углы  $\beta_{np1}$  и  $\beta_{np2}$ , которые называются примычными.

Таблица 2

**Характеристики плановых сетей**

Составляемые показатели	Государственная плановая сеть, классы					Сети сгущения	
	1	2	3	4	4 кл	1 разряд	2 разряд
Длина стороны треугольника, км	Не менее 20	7-20	5-8	2-5	1-5	0,5-5	0,25-3
Средняя квадратическая ошибка измерения угла	$\pm 0,7''$	$\pm 1,0''$	$\pm 1,5''$	$\pm 2,0''$	$\pm 2,0''$	$\pm 5,0''$	$\pm 10,0''$
Точность определения базисной стороны	$\frac{1}{400000}$	$\frac{1}{300000}$	$\frac{1}{200000}$	$\frac{1}{200000}$	$\frac{1}{100000}$	$\frac{1}{50000}$	$\frac{1}{20000}$

Предельные длины теодолитных ходов и длины линий в этих ходах ограничиваются в зависимости от масштаба съёмки. Прокладка висячего хода допускается как исключение, по возможности его следует избегать.

Сомкнутые ходы могут дополняться разомкнутыми (рис. 24 а). Такой разомкнутый ход называется диагональным, а точки, в которых сходятся несколько ходов, называются узловыми.

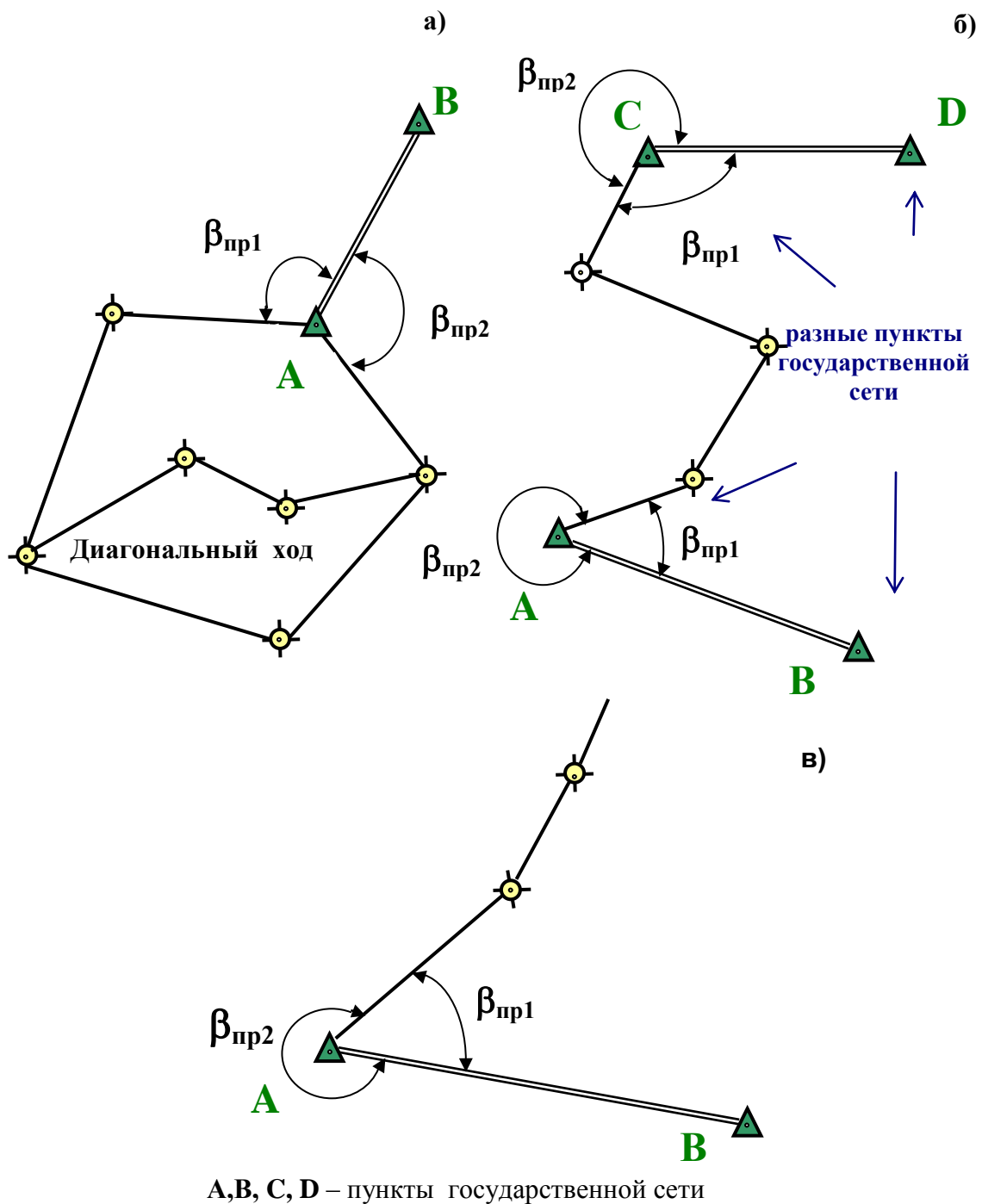


Рис. 24. Теодолитные ходы:  
 а) созмкнутый; б) разомкнутый; в) висячий

Положение пунктов съёмочной сети может определяться также засечками, которые бывают трех видов: **прямые** (рис. 25 а), **обратные** (рис. 25 б) и **комбинированные** (рис.25 в).

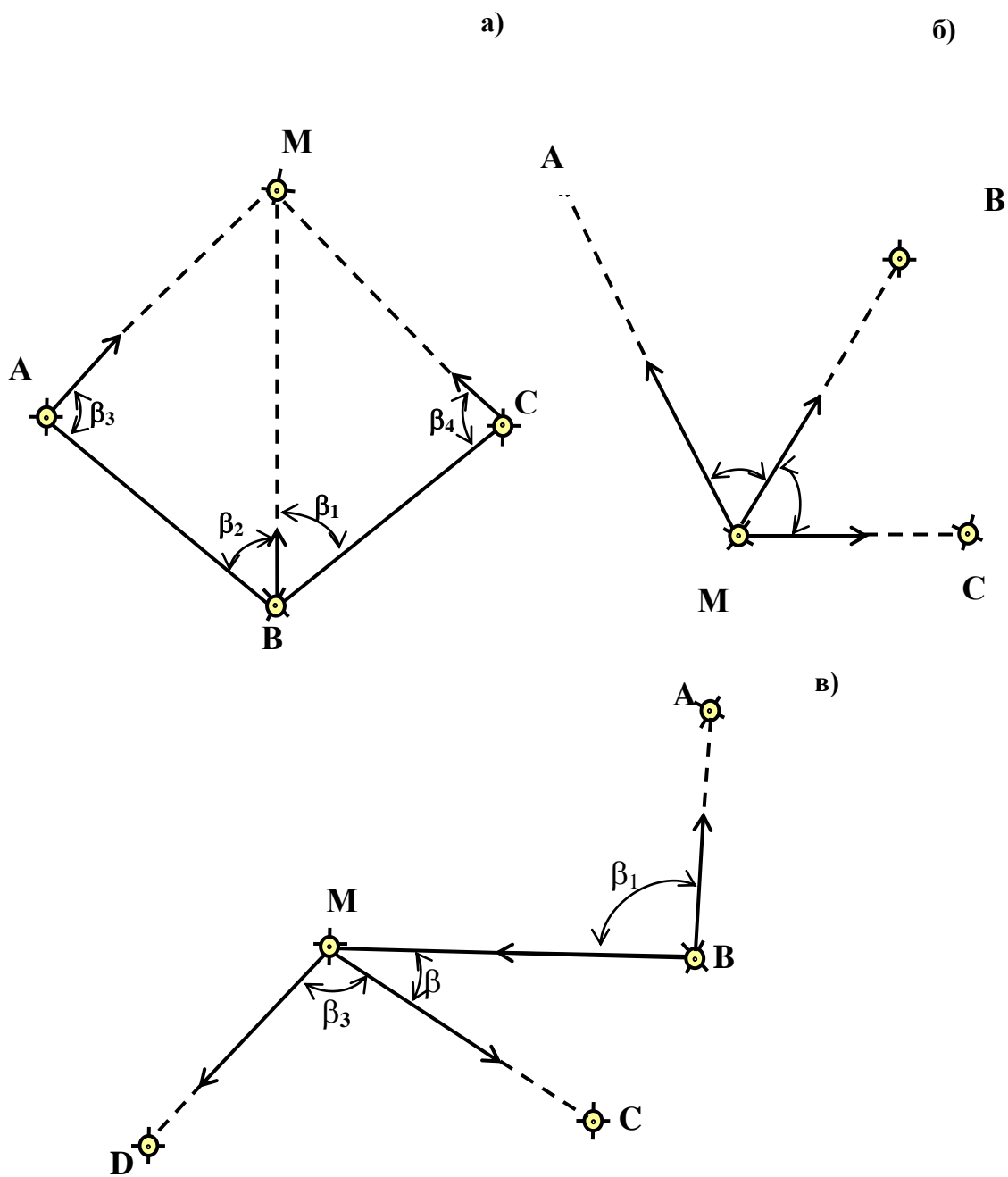


Рис. 25. Виды засечек пунктов съёмочной сети:  
 а) прямые; б) обратные; в) комбинированные

Для определения местоположения этих пунктов измеряют горизонтальные углы или производят графические построения на бумаге. Пункты съёмочной сети закрепляют на местности деревянными столбами (иногда колыями, обрезками арматуры). Знак должен иметь фиксированную точку (например, гвоздь на вершине столба) и, кроме того, должен быть окопан канавкой.



#### 4.7. Высотные геодезические сети

**Высотная геодезическая сеть** также подразделяется на сеть государственную, сеть сгущения и съёмочную сеть.

Абсолютные высоты пунктов государственной сети определяются геометрическим нивелированием, делятся на 4 класса (I, II, III и IV).

Нивелирные ходы I класса связывают уровни всех морей и океанов, омывающих нашу страну, и выполняются с наивысшей точностью (табл. 3).

Таблица 3

Характеристики высотных сетей

Наименование допусков	Классы нивелирования				Техническое нивелирование
	I	II	III	IV	
Длина хода или полигона, км	3000-4000	500-600	150-200	-	2-16
Допустимые расхождения в превышениях на станции, мм	0,5	0,7	3	5	5
Допустимые расхождения в превышениях хода, мм	$3\sqrt{l}$	$5\sqrt{l}$	$10\sqrt{l}$	$20\sqrt{l}$	$50\sqrt{l}$

Нивелирные ходы II класса начинаются и заканчиваются на пунктах I класса, прокладываются вдоль железных и шоссейных дорог (рис. 26), образуя полигоны периметром 500-600 км. Нивелирные ходы III и IV классов опираются на пункты нивелирной сети более высокого класса.

Нивелирные ходы всех классов закрепляются на местности. На нивелирных ходах I и II классов через 50-60 км устанавливают **фундаментальные реперы** (рис. 27), на всех нивелирных ходах через 5-

7 км устанавливают *рядовые реперы* (упрощенной, по сравнению с фундаментальным репером, конструкции). Закрепление осуществляют также закладкой *марок* в стены капитальных зданий (рис. 28).

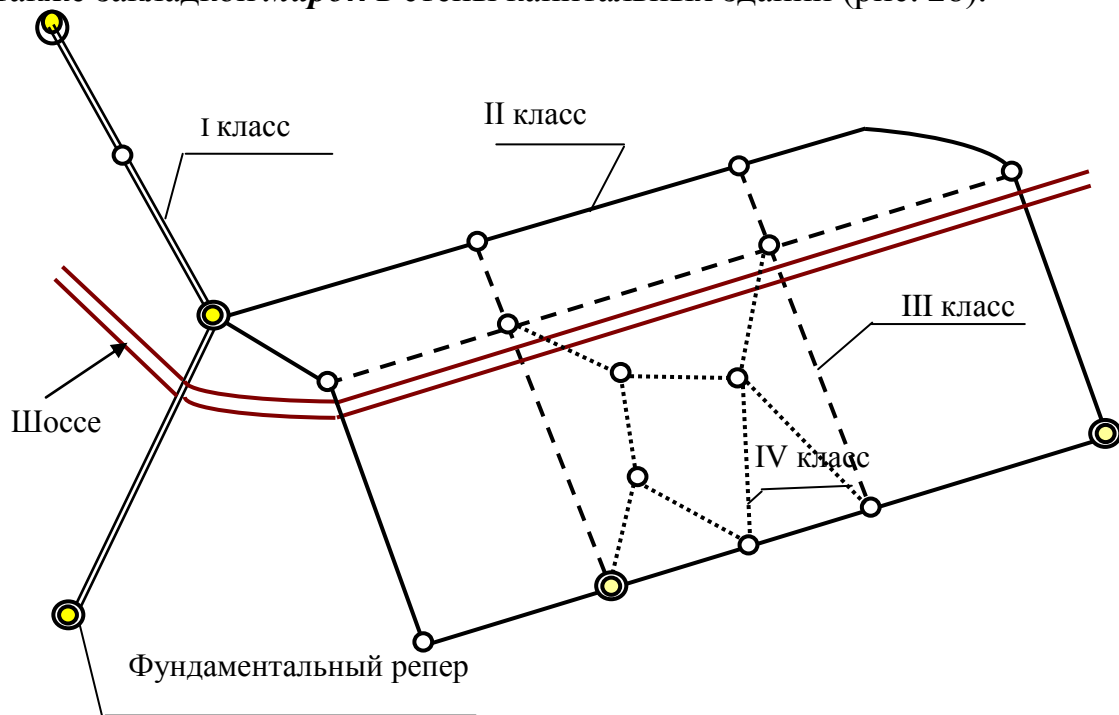


Рис. 26. Нивелирные ходы разных классов

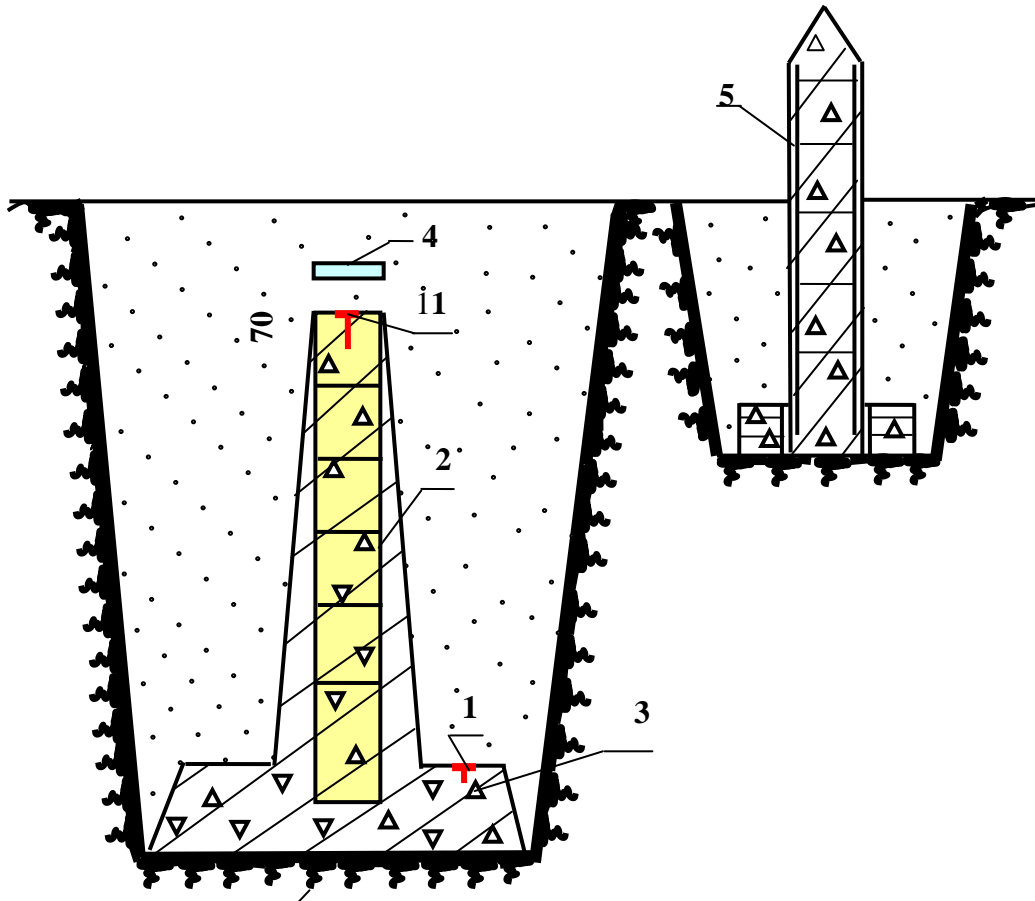
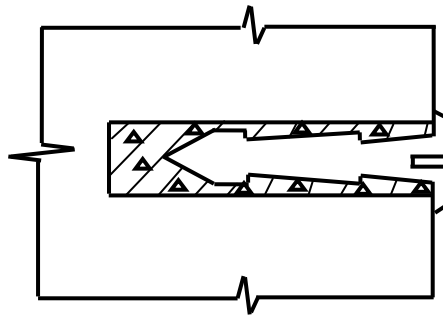


Рис. 27. Фундаментальные реперы: 1-марка; 2 – пилон репера; 3- якорь репера; 4 – опознавательная плита; 5 – опознавательный столб



*Рис. 28. Закладка марок в фундаменты или стены зданий и сооружений*

В тех случаях, когда для съемок в масштабе  $1:500 \div 1:5000$  плотность пунктов государственной сети недостаточна, создается нивелирная сеть сгущения. Ее создают проложением отдельных ходов, как нивелирование II, III и IV классов, но с некоторыми изменениями характеристик ходов (по точности, по длине ходов и т.д.).

Высотная съемочная сеть и пункты планового обоснования совмещаются, т.е. для каждого пункта определяются и координаты, и абсолютные отметки. Закрепление пунктов съемочной сети производится временными знаками: деревянными столбами (рис. 29), обрезками арматуры и др.

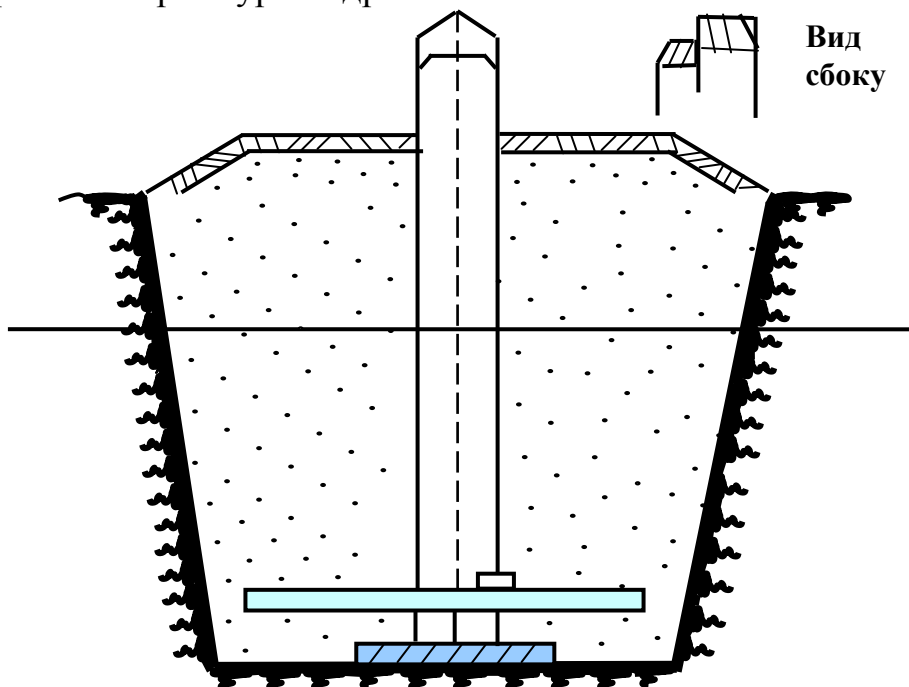


Рис. 29. Закрепление пунктов съемочной сети на местности  
 Реперы, кроме деления по капитальности (**фундаментальный, рядовой, временный**), различают и по месту их установки. Репер, заложенный в грунт, называют **грунтовым** и т.п.

## 5. ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Основные части оптических геодезических приборов: **зрительная труба, круглый и цилиндрический уровни, вертикальный и горизонтальный угломерные круги.**

### 5.1. Зрительные трубы

Зрительные трубы бывают астрономические, дающие **перевернутое** изображение, и земные, дающие изображение **прямое**.

Схематично **устройство зрительной трубы** представлено на рис. 30:

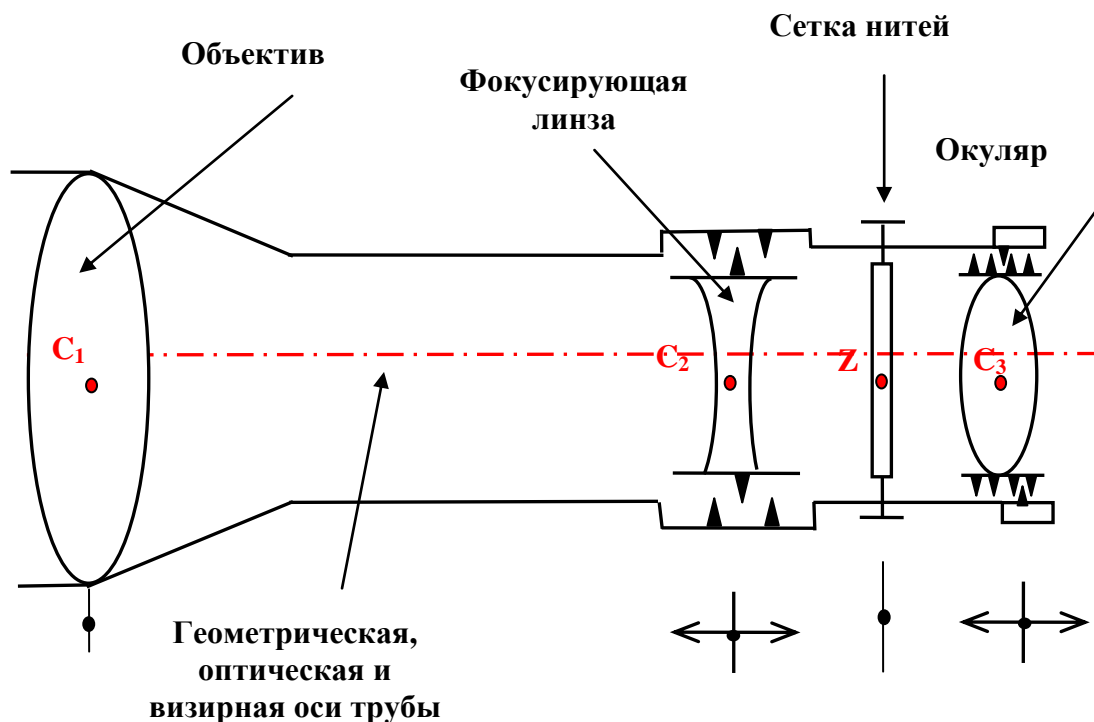


Рис. 30. Устройство зрительной трубы:  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  – центры оптических линз,  $Z$  – центр сетки нитей

Сетка нитей – стеклянная пластинка, на которой нанесены тончайшие линии. Системы линий различны (рис. 31). Пересечение

средней горизонтальной линии с вертикальной образует **центр сетки нитей Z** (рис. 31 а).

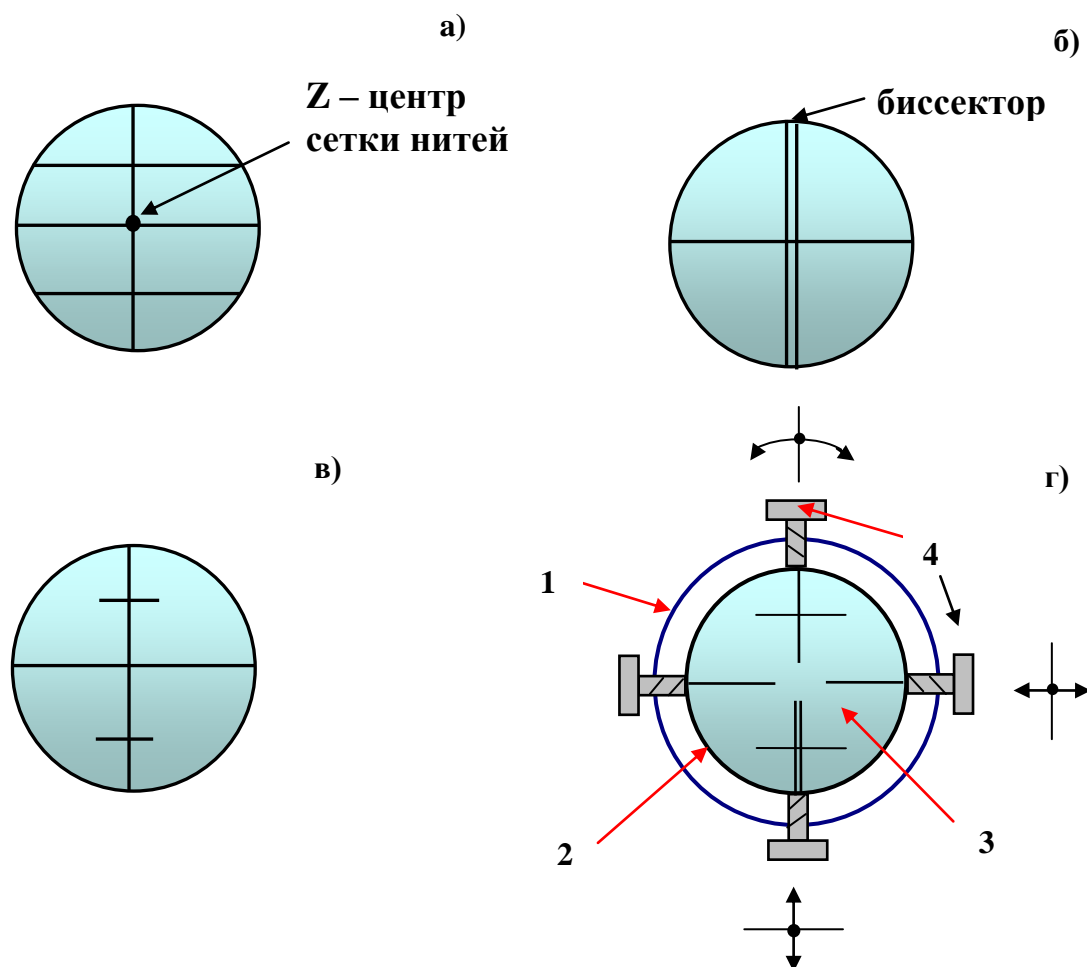


Рис. 31. Типы сетки нитей: 1 - металлический кожух зрительной трубы; 2 – металлическая обойма сетки нитей; 3 – стеклянная пластина сетки нитей; 4 – юстировочные винты сетки нитей (пара вертикальных и пара горизонтальных)

Две **крайние горизонтальные нити** служат для **дальномерного определения расстояний**.

Если у сетки нитей половина вертикальной нити двойная (биссектор), то этой частью визируют на далекие предметы, располагая точку в центре сетки нитей Z или линию визирования между нитями биссектора.

**Геометрическая ось** – прямая, являющаяся центром симметрии металлического кожуха зрительной трубы.

**Оптическая ось** - прямая, проходящая через центры всех линз.

**Визирная ось** - прямая, проходящая через центр сетки нитей и оптические центры линз.

**Визирование** - наведение центра сетки нитей на точечную цель, вертикальной или горизонтальной нитки сетки нитей на линию визирования.

Для визирования необходимо подготовить зрительную трубу:

1. вращение окуляра добиться четкого изображения сетки нитей (объект визирования - весика или рейка, не виден, или виден не резко). Эта операция называется «наводка по глазу».
2. вращением кремальеры проецируем четкое изображение объекта визирования на четкое изображение сетки нитей. Эта операция называется «наводка по предмету».

Перед визированием следует устранить *параллакс сетки нитей* (рис. 32).

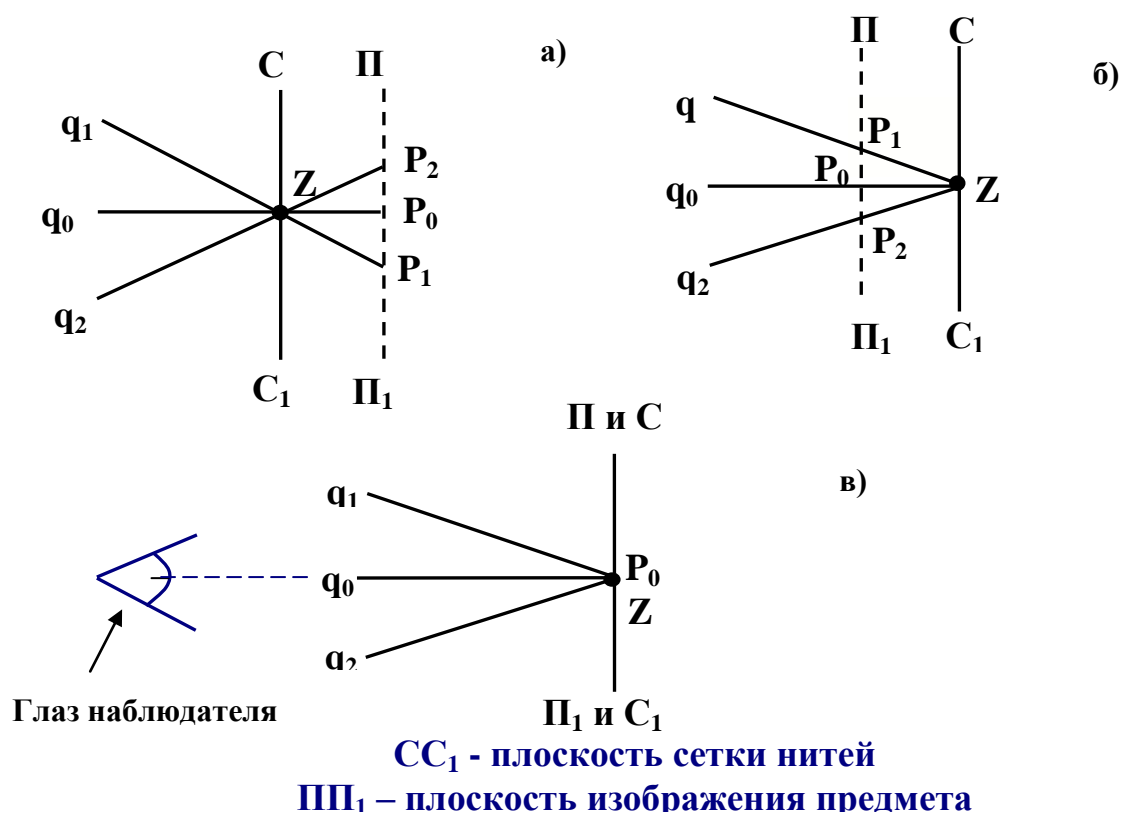


Рис. 32. Параллакс сетки нитей

Параллакс имеет место тогда, когда плоскость изображения предмета  $ПП_1$ , (рис. 32 а, б) не совпадает с плоскостью сетки нитей  $СС_1$ . В этом случае при перемещении глаза  $q$  относительно окуляра центр сетки нитей  $Z$  будет перемещаться по изображению предмета в точки  $P_0, P_1, P_2$ , что понижает точность визирования. Устраняют параллакс вращением окулярного колена или кремальеры - при этом несколько ухудшается установка по глазу или установка по предмету, но обеспечивается точность визирования (рис. 32, в).

## 5.2. Уровни

**Уровни** служат для приведения плоскостей, на которых они установлены, в горизонтальное положение. По форме уровни бывают *круглые* и *цилиндрические*.

### ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ УРОВНИ

Уровни состоят из ампулы, оправы, закрепительных и исправительных (юстировочных) винтов. Внутренняя поверхность ампулы отшлифована по дуге (рис. 33).

Ампула заполняется нагретым спиртом или эфиром. При охлаждении образуется небольшое пространство - пузырёк уровня. На наружной поверхности ампулы цилиндрического уровня наносятся деления.

**Точка  $0$  в средней части ампулы называется нульпунктом уровня. Касательная к внутренней криволинейной поверхности ампулы в нульпункте называется осью уровня.**

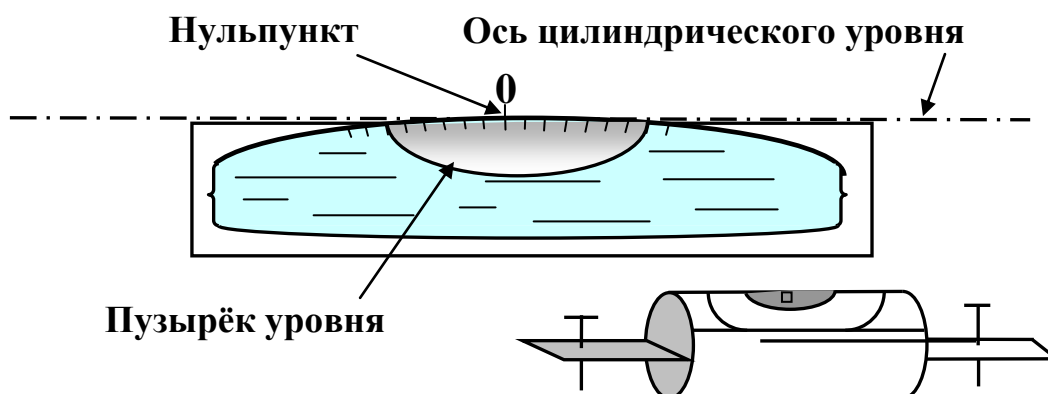


Рис. 33. Цилиндрический уровень

Пузырек уровня всегда занимает наивысшее положение. Когда концы пузырька расположены симметрично относительно нульпункта - ось уровня горизонтальна.



Уровни разделяются по их чувствительности. Чем чувствительнее уровень, тем меньше наклон его оси, при котором заметно начало движения пузырька. В свою очередь, чувствительность уровня тем больше, чем больше радиус кривизны внутренней поверхности ампулы (этот радиус изменяется от 3,5 м до 200 м). Мерой чувствительности, является **цена деления уровня** - угол, на который наклонится ось уровня, если пузырек сместится на одно деление.

Чувствительность уровня должна соответствовать его назначению. При более чувствительном уровне можно точнее привести прибор в горизонтальное положение. Но чем чувствительнее уровень, тем сложнее с ним работать.

Цена делений уровней колеблется от 1" до 2'.

### КРУГЛЫЕ УРОВНИ

Круглые уровни менее чувствительны по сравнению с цилиндрическими и поэтому обычно служат для приблизительной установки прибора в горизонтальное положение. У круглых уровней выгравированы две окружности (рис. 34), центр которых является нульпунктом.

**Нормаль к внешней плоской поверхности ампулы в нульпункте называется осью круглого уровня.**

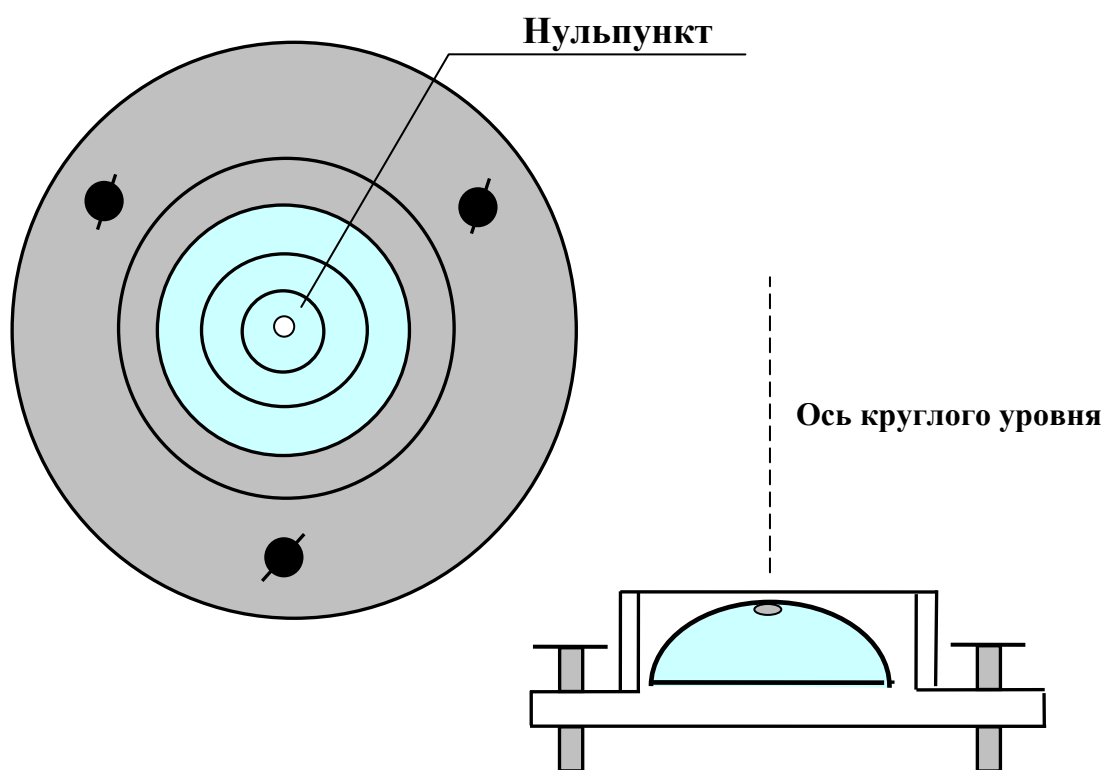


Рис. 34. Круглый уровень

### 5.3. Поверка и юстировка уровней

Плоскость, к которой прикреплен цилиндрический уровень, будет горизонтальна в том случае, если пузырек уровня находится в середине, т.е. расположен симметрично относительно нульпункта. При этом ось вращения плоскости будет вертикальной (что должно обеспечиваться при изготовлении прибора). Но это справедливо в том случае, если уровень к плоскости прикреплен правильно, т.е. так, что ось цилиндрического уровня параллельна плоскости.

Поэтому перед работой, наряду с другими *поверками*, прежде всего производится *поверка уровня*, которая формулируется следующим образом.

***Поверка уровня*** - ось цилиндрического уровня должна быть горизонтальной и перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента.

Методика выполнения этого условия основывается на следующем. Пусть цилиндрический уровень прикреплен к плоскости неверно, т.е. его ось не параллельна плоскости, на которой он закреплен, и не перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента. Тогда, при вертикальном положении оси вращения инструмента, пузырек уровня отклонится на  $n$  делений (рис. 35 а - вправо). Повернем плоскость, к которой прикреплен уровень, ровно на  $180^\circ$ . Теперь пузырек уровня отклонится так же на  $n$  делений, но в противоположную сторону (рис. 35 б - влево). Следовательно, при повороте на  $180^\circ$  между первым и вторым положениями пузырька разница будет  $2n$  делений и для исправления положения уровня необходимо, вращая винты уровня (1) или (2), переместить пузырёк уровня к нульпункту на  $n$  делений.

В соответствии с вышеизложенным **исправление положения уровня (юстировку)** производят следующим образом. Первоначально плоскость, к которой прикреплен уровень, устанавливают (с помощью подъемных винтов или иным образом) так, чтобы пузырек уровня был на середине. Плоскость отклонится от горизонта. Затем поворачивают плоскость ровно на  $180^\circ$ . Если имеет место отклонение пузырька от середины (более одного деления ампулы), то на половину отклонения пузырек уровня перемещают в сторону нульпункта регулировочными винтами уровня. Теперь ось цилиндрического уровня будет параллельна плоскости, и уровень можно использовать для ее **горизонтирования** (для приведения оси вращения плоскости в вертикальное положение), для чего подъемными винтами прибора перемещают пузырек на вторую половину схода, то есть устанавливают пузырёк в нульпункт.

Исправление круглого уровня аналогично: если пузырек уровня выходит за пределы внутреннего кружка, то исправительными винтами уровня перемещают пузырек на половину отклонения к центру. Затем подъемными винтами прибора, перемещают пузырек на вторую половину смещения, то есть в нульпункт.

Проверки цилиндрического и круглого уровня повторяют 2-3 раза, добиваясь необходимой точности установки уровня.

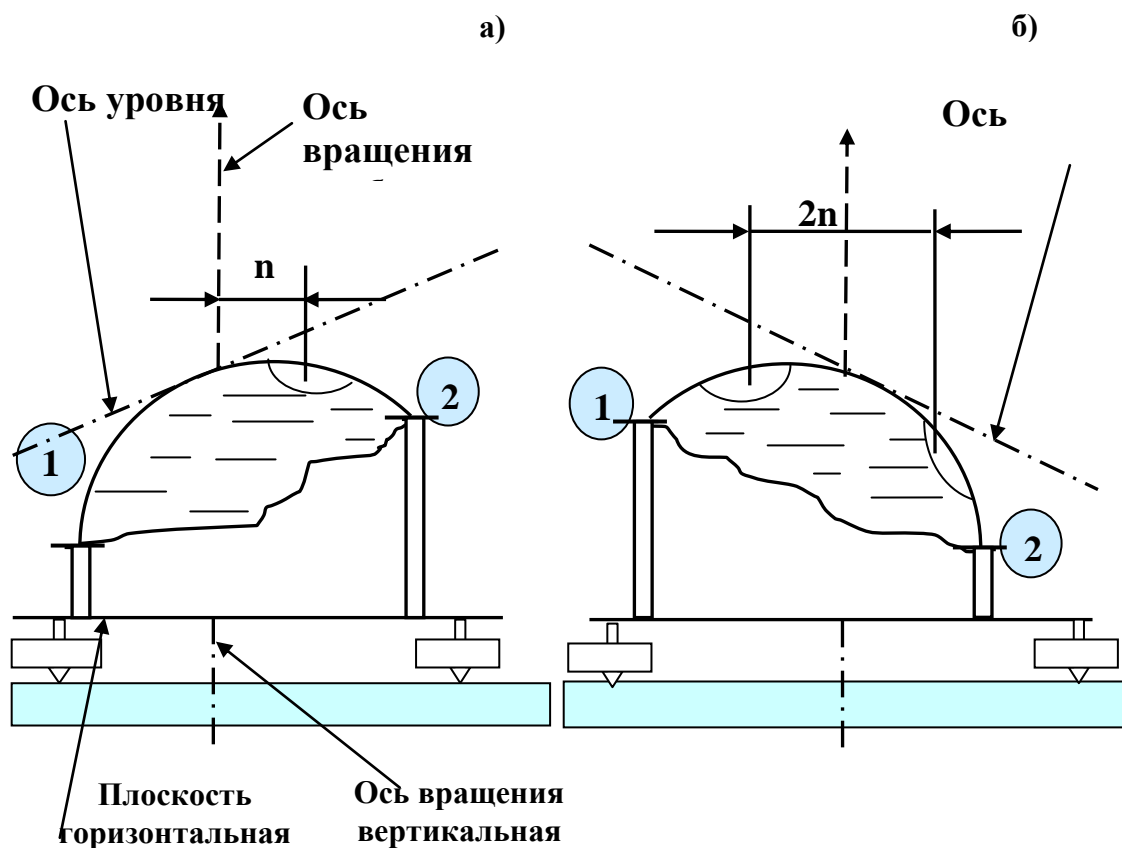


Рис. 35. Поверка уровня

#### 5.4. Угломерные круги

Для измерения горизонтальных и вертикальных углов у геодезических приборов имеются *горизонтальный и вертикальный угломерные круги*, состоящие из лимба и алидады. Эти круги представляют собой металлические диски или стеклянные кольца, на которых радиальными штрихами нанесена мерительная угловая шкала, которая называется лимбом. Величина дуги лимба между двумя ближайшими штрихами, выраженная в градусной мере, называется *ценой деления лимба  $l$*  (рис. 36а -  $l=10'$ , рис 36 б -  $l=1^\circ$ ).

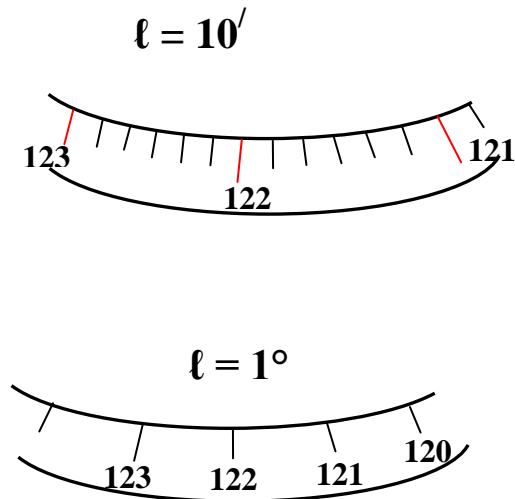


Рис. 36. Типы оцифровки лимбов

Для взятия отсчета по лимбу имеются отсчётные устройства трех видов: *верньер* в старых теодолитах, *штриховое устройство* (*штриховой микроскоп*); *шкаловое устройство* (*шкаловой микроскоп*).

У лимбов горизонтальных кругов оцифровка всегда возрастает по ходу часовой стрелки, у лимбов вертикальных кругов бывает оцифровка, возрастающая по ходу и против хода часовой стрелки.

### 5.5. Взятие отсчётов по отсчетному микроскопу

Если отсчетное приспособление - *штриховой микроскоп*, то здесь отсчет по лимбу берут по штриху-указателю на алидаде (рис. 37). Увеличение микроскопа позволяет, оценивая десятые доли деления лимба на глаз, взять отсчет с точностью до  $1'$  (на рис. 38).



Рис. 37. Принцип отсчета по штриховому микроскопу

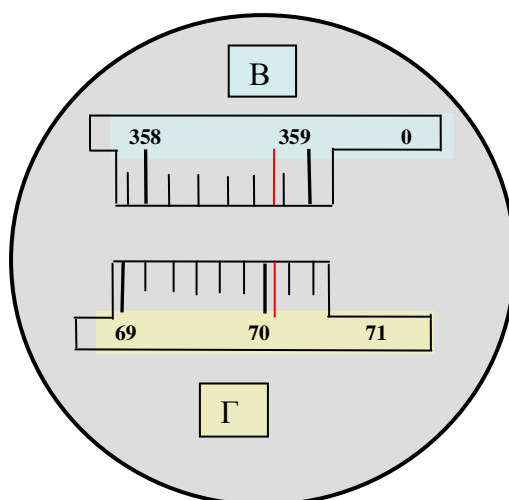


Рис. 38. Поле зрения отсчетного штрихового микроскопа теодолита Т30: по горизонтальному кругу  $70^{\circ} 04'$ , по вертикальному кругу  $358^{\circ} 48'$

Если отсчетное приспособление - шкаловой микроскоп, то в поле зрения видна шкала на алидаде, равная одному делению лимба и разделенная на **60 делений** (рис. 39, 40).

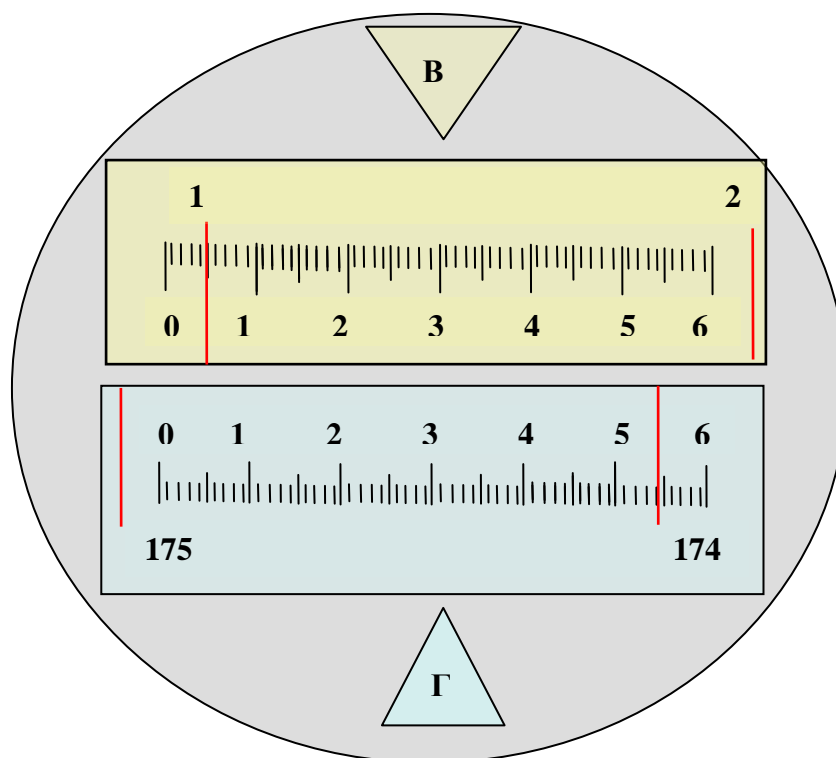


Рис. 39. Поле зрения шкалового микроскопа теодолита Т5: по горизонтальному кругу  $174^{\circ} 54'$ , по вертикальному кругу  $01^{\circ} 05'$

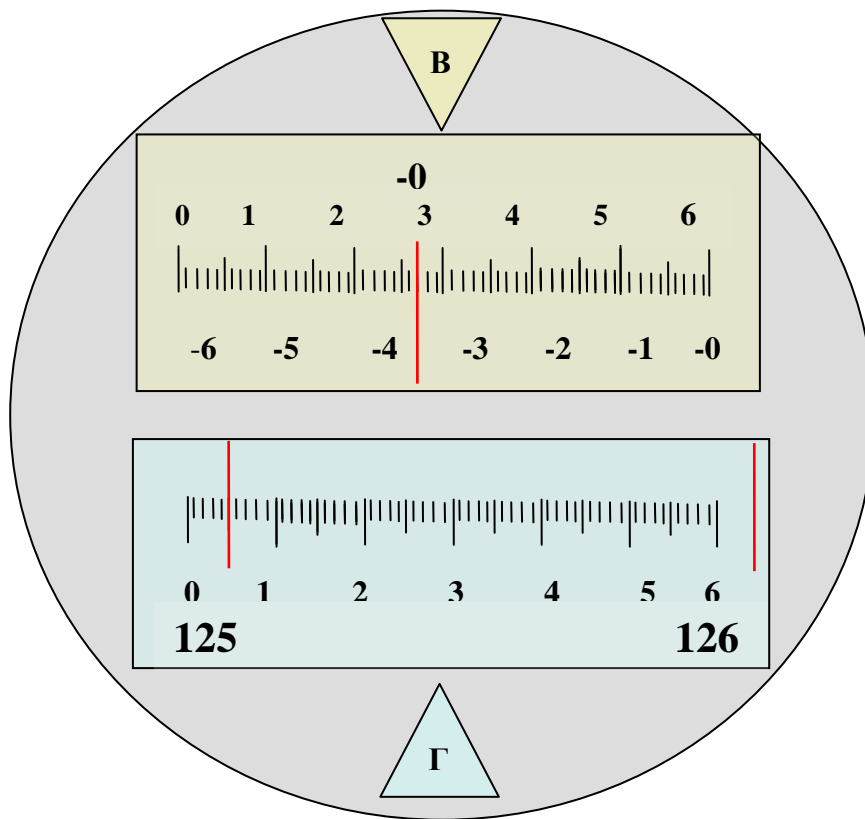


Рис. 40. Поле зрения шкалового микроскопа теодолита Т15: по горизонтальному кругу  $125^{\circ} 05'$ , по вертикальному кругу  $— 0^{\circ} 33'$

Отсчетных приспособлений у одних приборов бывает два, у других - одно (одностороннее отчетное приспособление). Наличие двух диаметрально расположенных отсчётных приспособления позволяет определить и устранить влияние эксцентриситета алидады. Эксцентриситет будет в том случае, когда ось вращения алидады **A** не проходит точно через центр лимба **L** (рис. 41).

Если ось вращения алидады **A** пройдет через центр лимба **L**, то отсчёты **M** и **N** будут отличаться ровно на  $180^{\circ}$ . В противном случае один отсчет будет больше на величину **X** (рис. 41, отсчет **M**), другой отсчет меньше на эту же величину. Среднее из отсчетов по двум верньерам дает результат, свободный от эксцентриситета.

У приборов с односторонним отсчетным приспособлением исключение влияния эксцентриситета достигается соответствующей методикой работ при угловых измерениях.

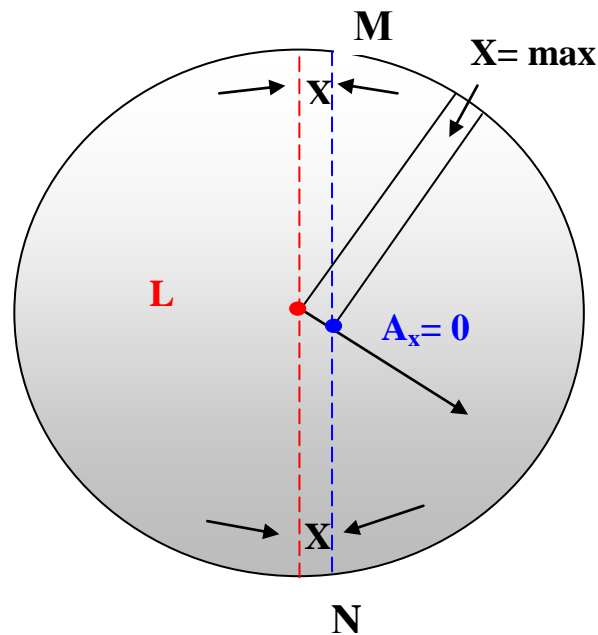
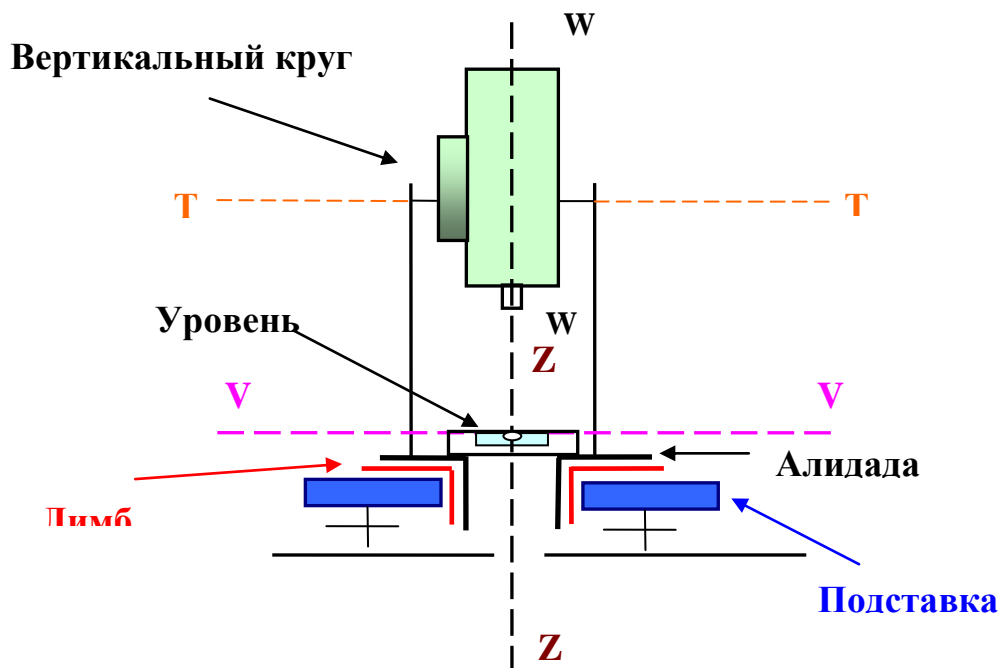


Рис. 41. Эксцентриситет алидады

## 6. ТЕОДОЛИТЫ

### 6.1. Устройство теодолита

**Теодолит** – прибор, служащий для измерения горизонтальных, вертикальных углов и расстояния. Схема устройства теодолита показана на рисунке 42.





*Рис. 42. Принципиальная схема теодолита*

Круги теодолитов бывают металлические и стеклянные. Теодолиты со стеклянными кругами называются *оптическими*.

## 6.2. Точность измерений

Точность измерений зависит от точности прибора и точности его установки.

**Точность прибора.** По точности теодолиты делятся на три типа:

- *высокоточные* ( $m = \pm 0,5'' \div 1,0''$ ),
- *точные* ( $m = \pm 2,0'' \div 10,0''$ ),
- *технические* ( $m = \pm 15,0'' \div 30,0''$ ).

Соответственно, их марки по ГОСТ 10529-70: Т05; Т1; Т2; Т5; Т15; Т30; по ГОСТ 10529-79: Т1; Т2; Т5; Т15; Т30; Т60.

В инженерной практике широко применяются технические теодолиты со стеклянными кругами.

**Точность установки прибора.** При измерении горизонтальных углов вертикальная ось вращения прибора должна быть расположена над вершиной измеряемого угла с необходимой точностью, т.е. прибор следует *центрировать*. Для центрирования применяются *механические* и *оптические центры*.

**Механический центр** (отвес) - нить с грузом (рис. 43 ).

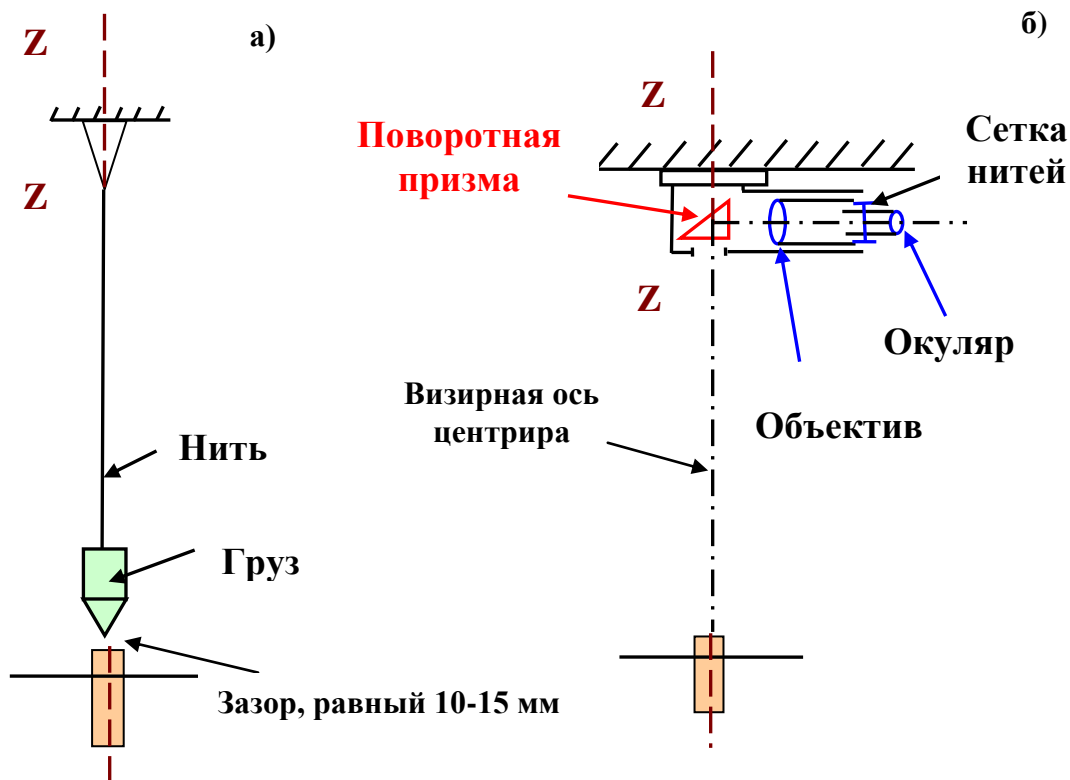


Рис. 43. Центрирование теодолита

Наименьшая погрешность центрирования по отвесу составляет 5 мм. **Оптический центрир**, вмонтированный в подставку или, у новейших теодолитов, в алидадную часть, представляет собой зрительную трубу с поворотом оси визирования на  $90^{\circ}$  (рис. 43 б). У этой трубы вертикальная алидадная часть визирной оси оптического центрира совпадает с вертикальной осью вращения инструмента ZZ.

### 6.3. Поверки теодолитов

Правильные результаты измерений могут быть обеспечены только исправным прибором. Поэтому при получении прибора следует:

- ❖ произвести его внешний осмотр;
- ❖ провести **поверки и юстировки**.

При осмотре решается вопрос о пригодности прибора. При этом выявляются возможные дефекты изготовления или наличие внешних повреждений прибора при его предыдущей эксплуатации. **При осмотре проверяют следующее:**

- ✓ плавность вращения всех деталей, рукояток и винтов;
- ✓ точность нанесения делений лимба;
- ✓ плавность перемещения пузырьков уровней;
- ✓ четкость и неокрашенность в цвета радуги изображений

рассматриваемых предметов в зрительной труб;

✓ резкость изображения шкал отсчётного приспособления.

После осмотра проводят проверки прибора и, если необходимо, его юстировки.

***Проверка*** - выявление правильности взаимного расположения отдельных частей и осей прибора, определяющих соблюдение его геометрической схемы.

***Юстировка*** - исправление нарушенных условий взаиморасположения осей теодолита.

Взаиморасположение осей теодолита условно показано на рисунке 44.

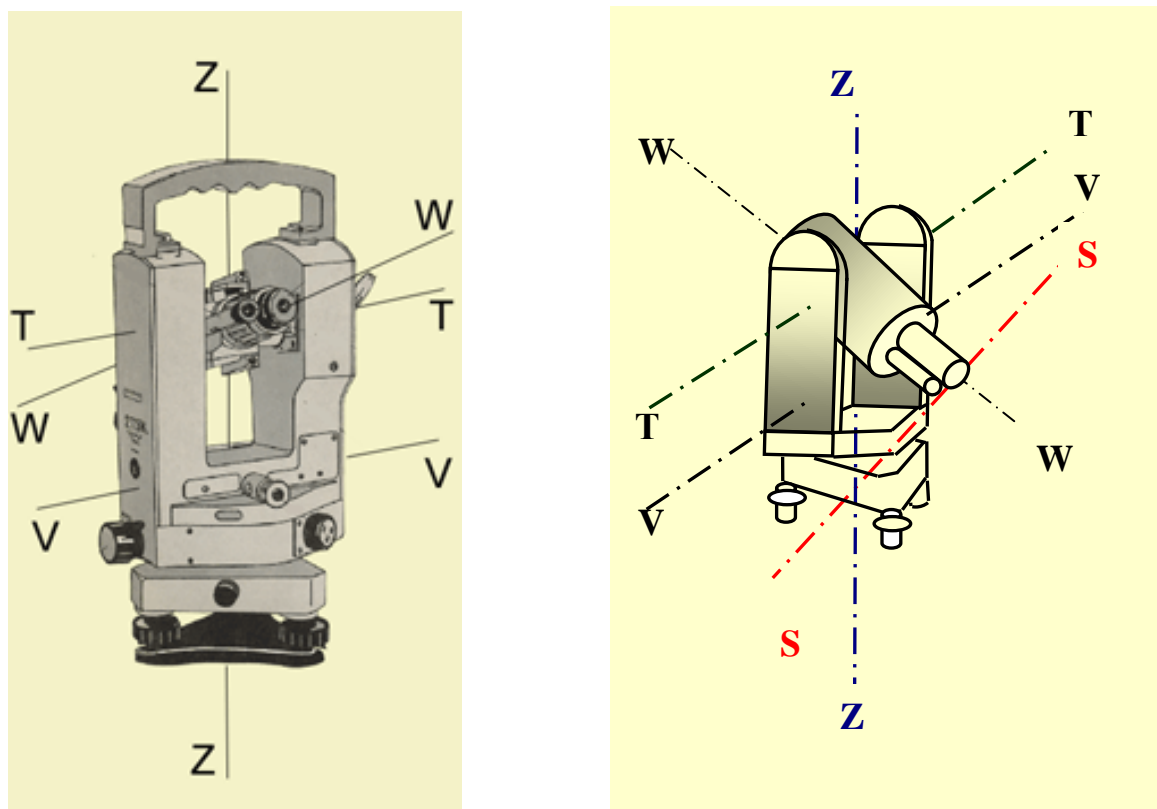


Рис. 44. Взаиморасположение осей теодолита: Z-Z – вертикальная ось вращения прибора; T-T – ось вращения зрительной трубы; V-V – ось цилиндрического уровня при горизонтальном круге; W-W – визирная ось трубы; SS – вертикальная нить сетки нитей

### 6.3.1. Поверки теодолитов с металлическими кругами

**Поверка 1 - Поверка цилиндрического уровня.** *Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга (ГУК) должна быть перпендикулярна к оси вращения прибора (рис.44), т.е. параллельна плоскости лимба ГУК и контролирует его горизонтальность.  $VV \perp ZZ$ .*

Последовательность проведения поверки и юстировка изложены выше. Все последующие поверки производят при отвесном положении оси вращения прибора, т. е. после его *горизонтирования*.

**Поверка 2.** *Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы (рис. 44), т.е.  $WW \perp TT$ .*

Угол отклонения визирной оси трубы  $WW$  от перпендикуляра  $МК$  к оси ее вращения  $ТТ$  (рис. 45, угол  $C$ ) называется *коллимационной погрешностью трубы*.

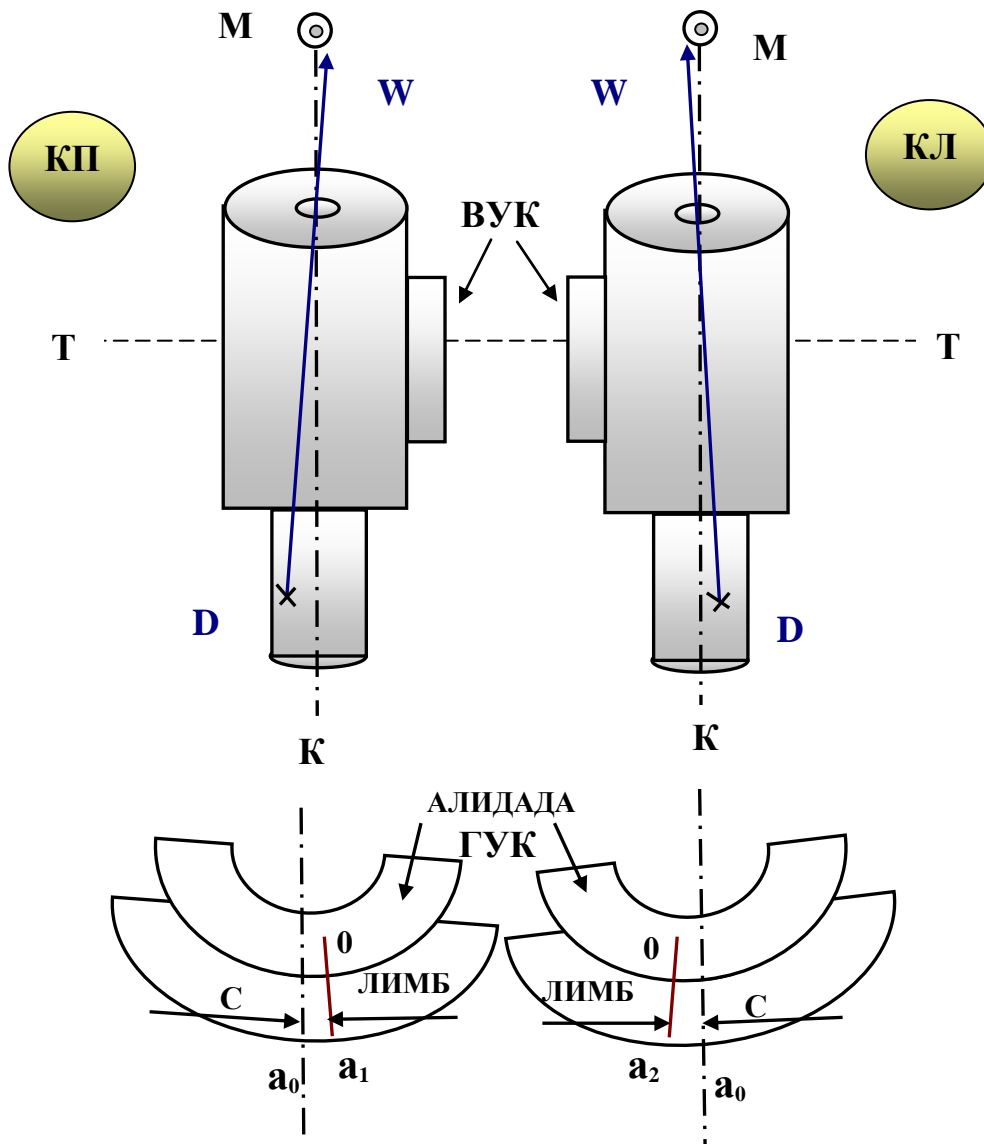


Рис. 45. Коллимационная погрешность визирной трубы теодолита ( $ВВ$  не перпендикулярна к  $ТТ$ )

Проверка выполняется при двух положениях вертикального круга относительно зрительной трубы. Вертикальный круг может располагаться справа (если смотреть со стороны окуляра) - это положение называется «**круг право**» (сокращенно **КП**). Соответственно, при расположении вертикального круга слева будет «**круг лево**» (**КЛ**).

При проверке данного условия берут отсчеты по лимбу, визируя на одну и ту же удалённую точку, расположенную горизонтально с при КП и КЛ, вычисляют коллимационную погрешность:

$$C = \frac{КП - (КЛ \pm 180)}{2} \quad (25)$$

и если она больше двойной точности отсчетного устройства  $c > 2t$ , то производят юстировку. (Методика проведения юстировок изложена в методических указаниях к лабораторным работам).

***Поверка 3. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения прибора, т.е.  $TT \perp ZZ$ .***

Заводы, выпускающие в настоящее время теодолиты, гарантируют выполнение этого условия. Однако **поверка необходима по двум причинам:**

- вследствие износа цапф горизонтальной оси трубы указанное условие может быть нарушено;
- у теодолитов старых марок данная поверка и последующая юстировка обусловлены конструкцией прибора.

Для проведения поверки теодолит устанавливают в 20-30 м от стены здания, визируют при круге лева (КЛ) на высоко расположенную на стене точку (рис. 46 а), опускают трубу примерно до горизонтального положения, отмечают на стене точку визирования  $v_1$ . Затем, переведя трубу через зенит, производят то же при круге право (КП), фиксируют точку  $v_2$ . Если отношение  $\frac{v_1 v_2}{AB_0} \geq \frac{1}{1500}$ , то у теодолитов старых марок проводится юстировка, теодолиты последних выпусков ремонтируются в мастерской.

***Поверка 4. Вертикальная нить сетки нитей должна быть строго горизонтальна и перпендикулярна к горизонтальной оси вращения трубы, т.е.  $SS \perp TT$ .***

Визируют правый конец (П) сетки нитей на какую-нибудь точку (рис. 46 б), плавно поворачивают микрометрическим (наводящим) винтом зрительную трубу слева направо. И если левый конец (Л) сетки сходит с наблюдаемой точки\* - на величину больше толщины штриха сетки нитей, то производят юстировку поворотом сетки нитей.

Ту же поверку производят (рис. 46 в), наводя вертикальную нить сетки нитей на нитку подвешенного отвеса. Если вертикальная нить сетки нитей совпадает с нитью отвеса, то отклонение вертикальной нитки сетки нитей от вертикали равно нулю. Поскольку перпендикулярность вертикальной и горизонтальной нитей сетки нитей гарантируется заводом - изготовителем.

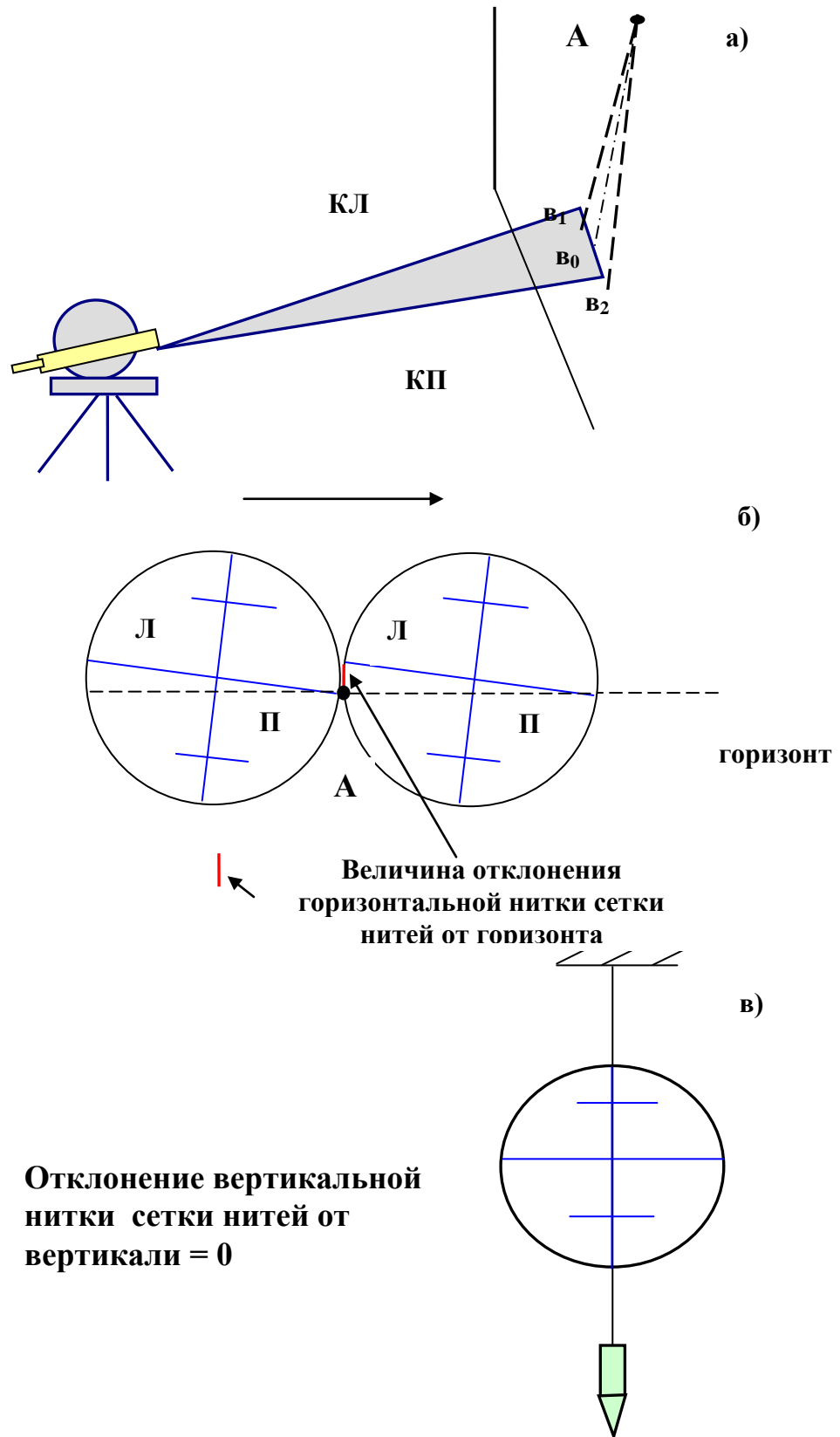


Рис. 46. Поверка теодолита: а) - поверка № 3; б), в) - поверка № 4

После данной поверки и юстировки следует повторить поверку на коллимационную погрешность.

### 6.3.2. Поверки оптических теодолитов

**ПОВЕРКА 1.** Поверка цилиндрического уровня производится так же, как у теодолитов с металлическими кругами.

*Если кроме цилиндрического уровня имеется круглый уровень, ось которого должна быть параллельна оси вращения прибора, то поверка и юстировка его производится по предварительно выверенному цилиндрическому уровню.*

**ПОВЕРКА 2.** При одностороннем отсчетном приспособлении на отсчет по горизонтальному кругу одновременно оказывают влияние и коллимационная ошибка, и эксцентриситет алидады. Для выявления коллимационной ошибки визируют на удаленную точку, берут отсчеты  $KП_1$  и  $КЛ_1$ , затем открепляют лимб, поворачивают верхнюю часть теодолита примерно на  $180^\circ$ , берут отсчеты  $KП_2$  и  $КЛ_2$  и вычисляют коллимационную ошибку (двойную):

$$2C = \frac{(KП_1 - КЛ_1 \pm 180^\circ) + (KП_2 - КЛ_2 \pm 180^\circ)}{2}. \quad (26)$$

Если  $C > 2t$ , то осуществляют юстировку.

**ПОВЕРКА 3.** Поверку перпендикулярности оси вращения трубы к оси вращения прибора проводят так же, как и у теодолитов с металлическими кругами, при необходимости исправление производят в мастерской.

➤ **ПОВЕРКА 4.** Поверка оптического центрира. Визирная ось оптического центрира должна совпадать с осью вращения прибора  $ZZ$ .

➤ **Поверку производят следующим образом:**

- в 3-4 м от теодолита забивают колышек, визируют на его торец и отмечают точку визирования;
- переводят трубу через зенит, по противоположному направлению визирования забивают 2-й колышек, отмечают точку визирования;
- между метками двух колышков натягивают нить,  
\*- поворачивают трубу на  $90^\circ$  и повторяют те же операции в перпендикулярном направлении, так же натягивают нить;
- Центр сетки оптического отвеса должен проектироваться в точку пересечения натянутых нитей.



Юстировку производят исправительными винтами сетки нитей центра.

## 7. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

### 7.1. Принцип измерения горизонтальных углов

Пусть на местности имеются три точки – **A**, **B**, **C**, расположенные на разных высотах (рис. 47). Действительный угол при вершине **B** будет образован направлениями **BA** и **BC**. Но при решении многих инженерных задач, в том числе построении карт, надо знать не реальный наклонный угол **ABC**, а его проекцию на горизонтальную плоскость, т.е. угол **abc**.

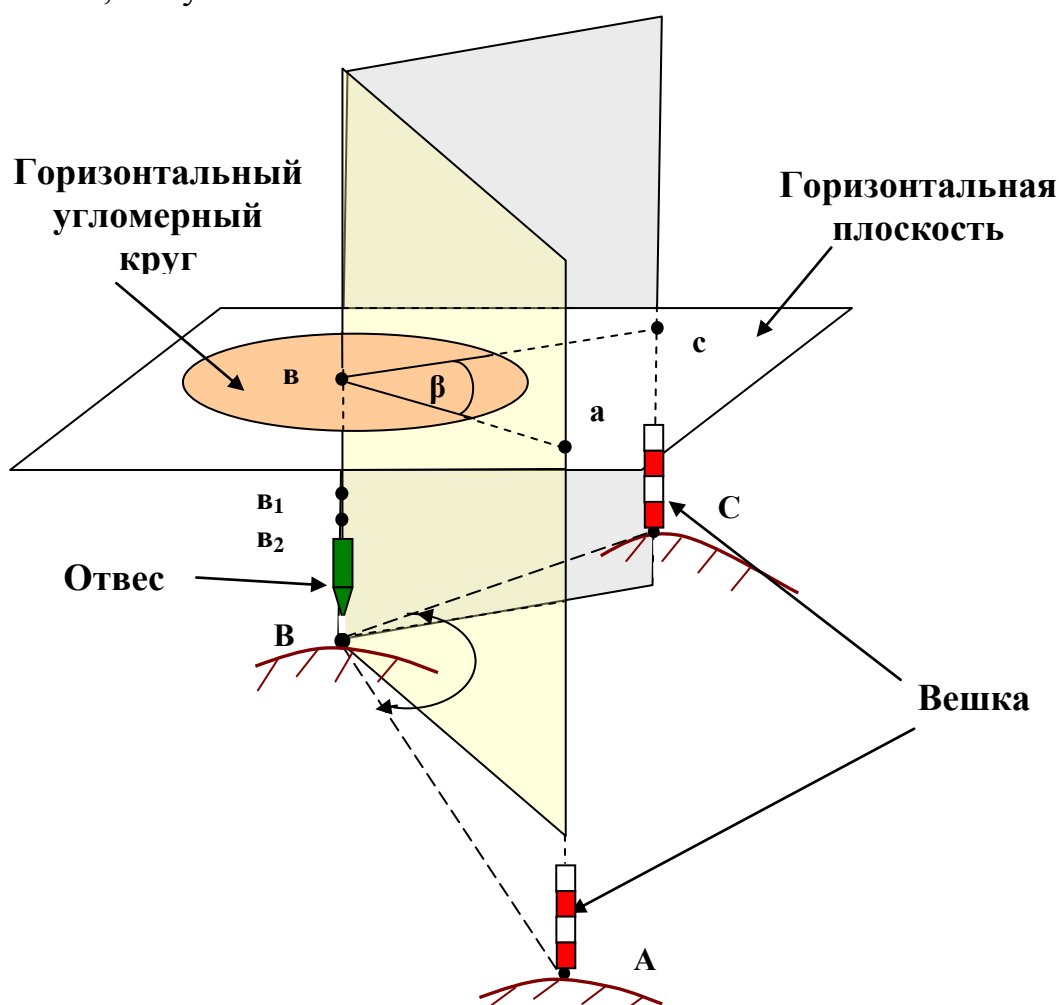


Рис. 47. Измерение горизонтальных углов

Горизонтальным углом называется угол, лежащий в горизонтальной плоскости и выражающий величину двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями, проходящими

**через отвесную линию в вершине угла  $B$  и через две отвесные линии в заданных точках визирования -  $A$  и  $C$ .**

При этом безразлично, в какой точке горизонтальная плоскость пересечёт отвесную линию – в точке  $b$ ,  $l$  или  $d$ , величина горизонтального угла  $\beta$  при этом не изменится.

#### 7.1.1. Подготовка прибора к работе

Наиболее распространенным прибором для измерения горизонтальных углов является теодолит, установленный перед измерением угла в рабочее положение, что предполагает его центрирование и горизонтирование

**Центрирование** - угломерный прибор располагают в вершине измеряемого угла так, чтобы вертикальная ось вращения прибора, проходящая через центр горизонтального угломерного круга, с необходимой точностью проектировалась на вершину измеряемого угла.

**Горизонтирование**- установка лимба горизонтального угломерного круга в строго горизонтальное положение по цилиндрическому уровню прибора.

#### 7.1.2. Способы измерения горизонтального угла

Для измерения горизонтального угла применяют различные способы \*\*- чаще всего способ полуприемов и способ круговых приемов. Выбор способа зависит от необходимой точности измерения угла и точности применяемого теодолита. Одновременно необходимо иметь в виду следующее.

Перед использованием теодолита производят поверки и соответствующие юстировки. Однако и после юстировок геометрическая схема теодолита не будет совершенно строгой, что может приводить к **погрешностям**, которые называются **инструментальными**. Применяя соответствующий способ измерения, можно эти инструментальные погрешности исключить или свести к минимальным значениям, одновременно контролируя возможные погрешности, допускаемые наблюдателем.

#### 7.1.3. Принцип измерения горизонтального угла

Пусть требуется в сомкнутом теодолитном ходе (в полигоне) измерить внутренний, правый по ходу угол  $\beta_n$  (рис. 48). При обычной нумерации вершин углов полигона по ходу часовой стрелки и при аналогичной оцифровке лимба, для вычисления угла  $\beta_n$  визируют вначале на вершину заднего угла  $(n-1)$ , берут отсчёт по лимбу  $A_1$ , затем

визируют на вершину переднего угла  $(n+1)$ , берут отсчёт  $A_2$ . Разность этих отсчётов даёт искомый угол:  $\beta_n = A_1 + A_2$ .

#### 7.1.4. Способ приёмов (способ отдельного угла)

При решении инженерных задач различного вида наиболее часто применяется **способ отдельного угла** (иначе называемый **способом приёмов**).

Измерение угла при одном положении вертикального угломерного круга называют **полуприёмом**. Как правило, работу по измерению угла на точке выполняют **полным приёмом** – измерением при левом (КЛ) и правом (КП) положениях вертикального круга. Более точных результатов можно достичь, если измерения выполнять несколькими приёмами.

Для исключения или уменьшения инструментальных погрешностей **последовательность измерений** в способе отдельного угла (рис. 48) принимается следующей:

- 1) визируют на вершину **заднего угла**  $(n-1)$ ;
- 2) берут отсчёт по лимбу горизонтального круга, записывают в журнал измерения горизонтальных углов;
- 3) визируют на вершину **переднего угла**  $(n+1)$ , берут отсчёт, записывают в журнал.
- 4) Вычисляют значение угла  $\beta_n = A_1 - A_2$  (при необходимости к отсчёту  $A_1$  прибавляют  $360^0$ ).

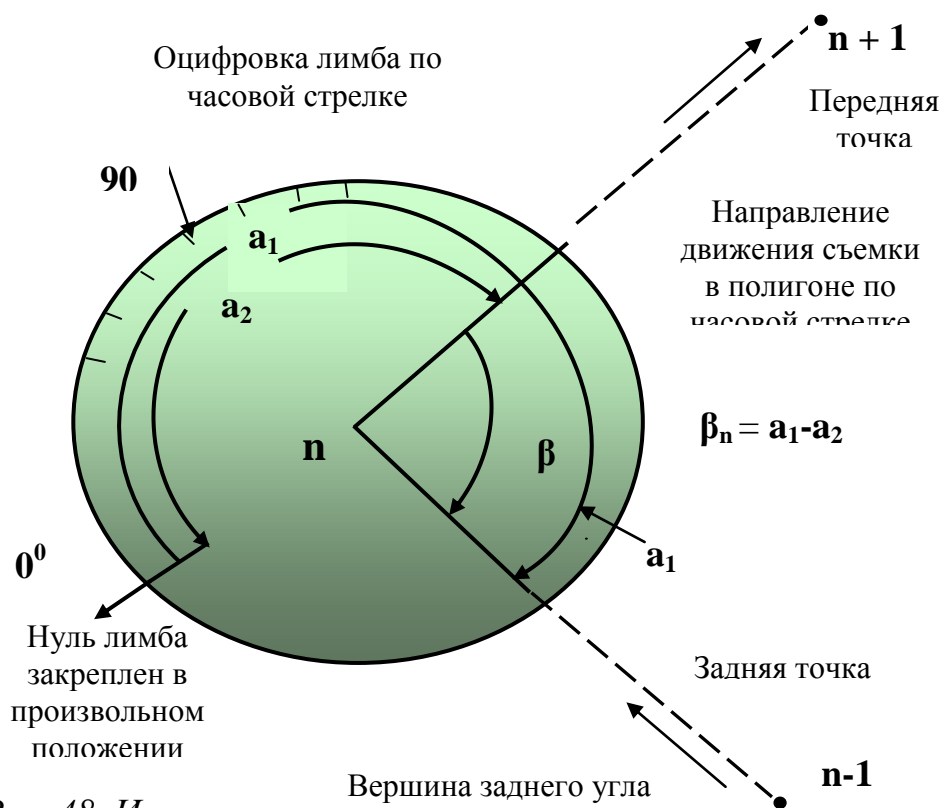


Рис. 48. Измерение горизонтальных углов

На этом первый полуприём заканчивается. Перед вторым полуприёмом переводят трубу через зенит. Кроме того, у теодолитов с двумя отсчётными приспособлениями рекомендуется повернуть горизонтальный круг примерно на 90°.

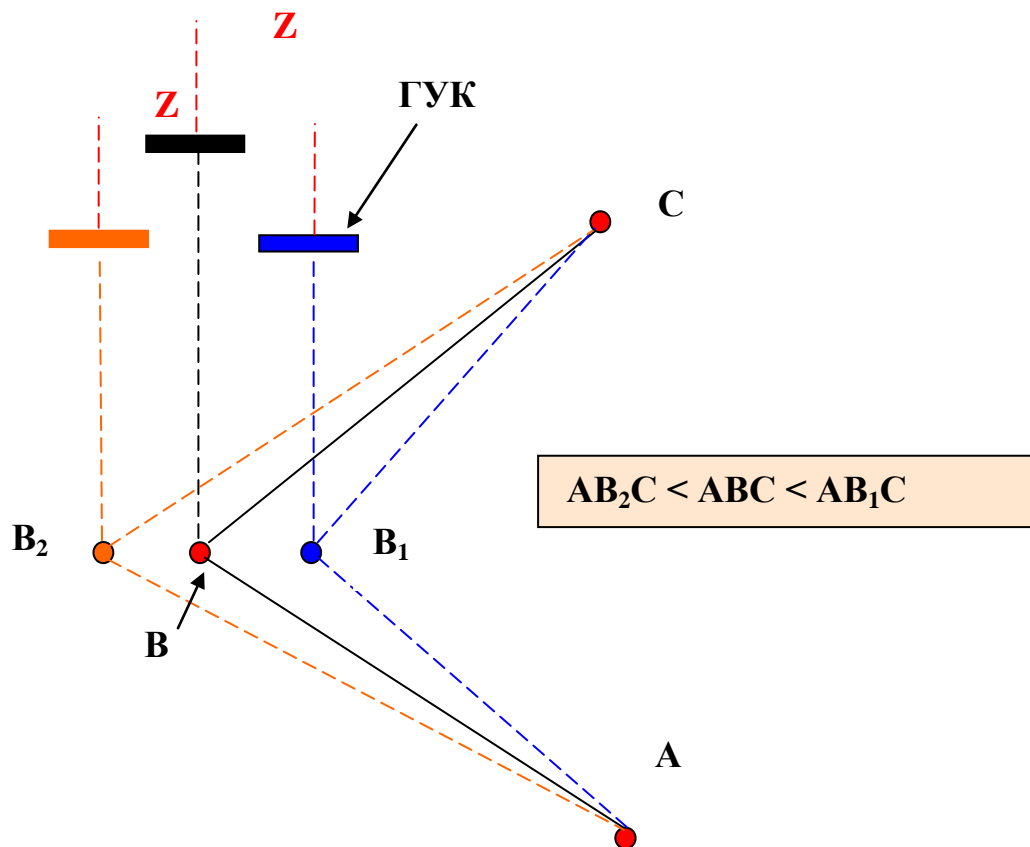
При втором полуприёме измерения производят аналогично, расхождения в значениях угла в двух полуприёмах не должны превышать двойной точности отсчёта. При этом условии значение угла принимают как среднее арифметическое.

#### 7.1.5. Погрешности измерения горизонтальных углов

При измерении любых горизонтальных углов возможны следующие погрешности:

- погрешность центрирования;
- погрешность горизонтирования;
- погрешность визирования.

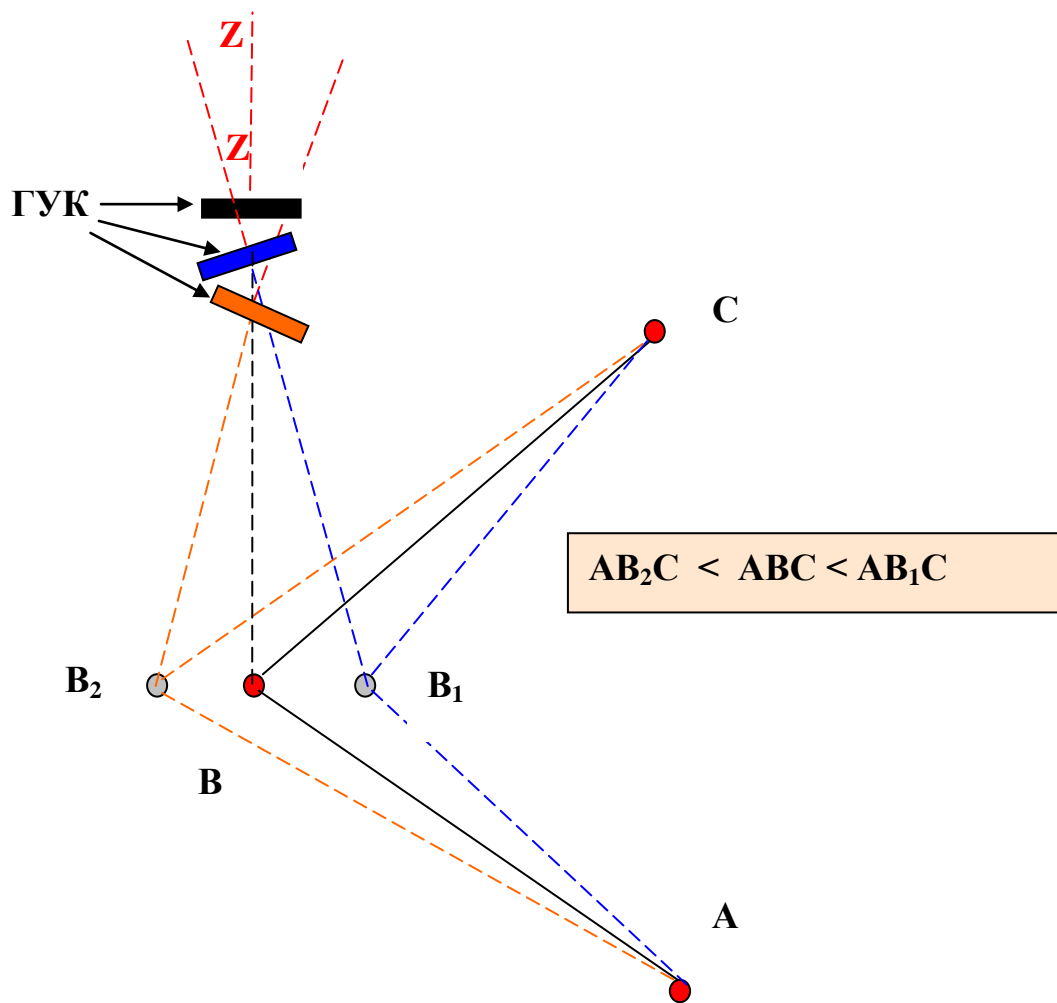
Погрешность центрирования (рис. 49) возникает, если горизонтальный угломерный круг отцентрирован неверно, величина измеряемого угла при этом может быть меньше ( $AB_2C$ ) или больше ( $AB_1C$ ) действительного угла ( $ABC$ ) на местности.



*Рис. 49. Погрешность центрирования*

Погрешность горизонтирования (рис. 50) возникает, если горизонтальный угломерный круг отгоризонтирован неверно, величина измеряемого угла при этом может быть меньше ( $AB_2C$ ) или больше ( $AB_1C$ ) действительного угла ( $ABC$ ) на местности.

Погрешность визирования (рис. 51) возникает, если визирование проведено неверно (рейка или вешка отклонились от вертикального положения), величина измеряемого угла при этом может быть меньше ( $A_1BC_1$ ) или больше ( $A_2BC_2$ ) действительного угла на местности. Для уменьшения этой погрешности используют рейки с круглым уровнем и визируют на основание вешки или пятку рейки.



*Рис. 50. Погрешность горизонтирования*

Для избежания ошибок при измерении горизонтальных углов необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

При измерении углов в равнинной местности погрешности от наклона оси вращения теодолита незначительны, отклонение пузырька цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга можно допускать до двух делений, т. е. требование в отношении горизонтирования прибора не жёсткое. Если линии визирования имеют углы наклона 10-15 %, то отклонение пузырька не должно превосходить 0,5 деления. За горизонтированием прибора необходимо следить тщательно.

Погрешность за счёт неточного центрирования тем больше, чем короче стороны измеряемого угла. Чтобы эта погрешность при использовании отвеса не оказывала существенного влияния на результат измерения, стороны не должны быть короче 100 м. При

меньших сторонах угла центрирование следует производить по оприческому центриру.

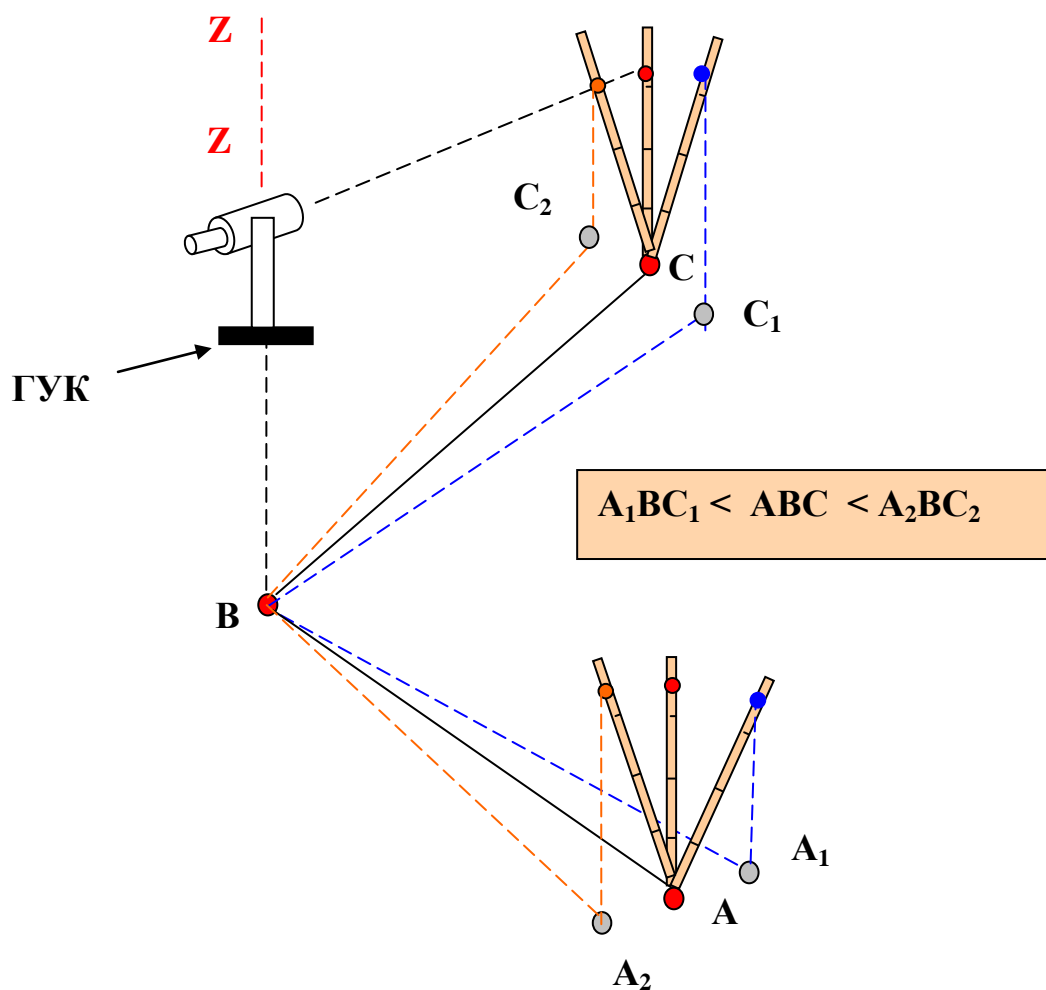


Рис. 51. Погрешность визирования

$A_1$  и  $A_2$  проекции высокой точки визирования на горизонт

## 7.2. Измерение углов наклона линий

### 7.2.1. Определение

Угол наклона линии ( $\nu$ ) - угол, отсчитываемый от горизонтальной плоскости проходящей через центр лимба вертикального угломерного круга до направления линии визирования.

Углы наклона бывают **положительные** ( $+v$ ), **отрицательные** ( $-v$ ), могут изменяться от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  (рис. 52).

Для измерения углов наклона у теодолитов служит **вертикальный угломерный круг (ВУК)**, у которого имеются два конструктивных отличия от круга горизонтального:

- лимб жёстко соединен с осью зрительной трубы и вращается вместе с трубой;
- алидада неподвижна, ее линия  $0 - 180^\circ$  должна совпадать с горизонтом.

Перед каждым отсчётом алидаду необходимо установить в горизонтальное положение. Это положение обеспечивается тогда, когда пузырёк цилиндрического уровня или алидады ВУК находится на середине.

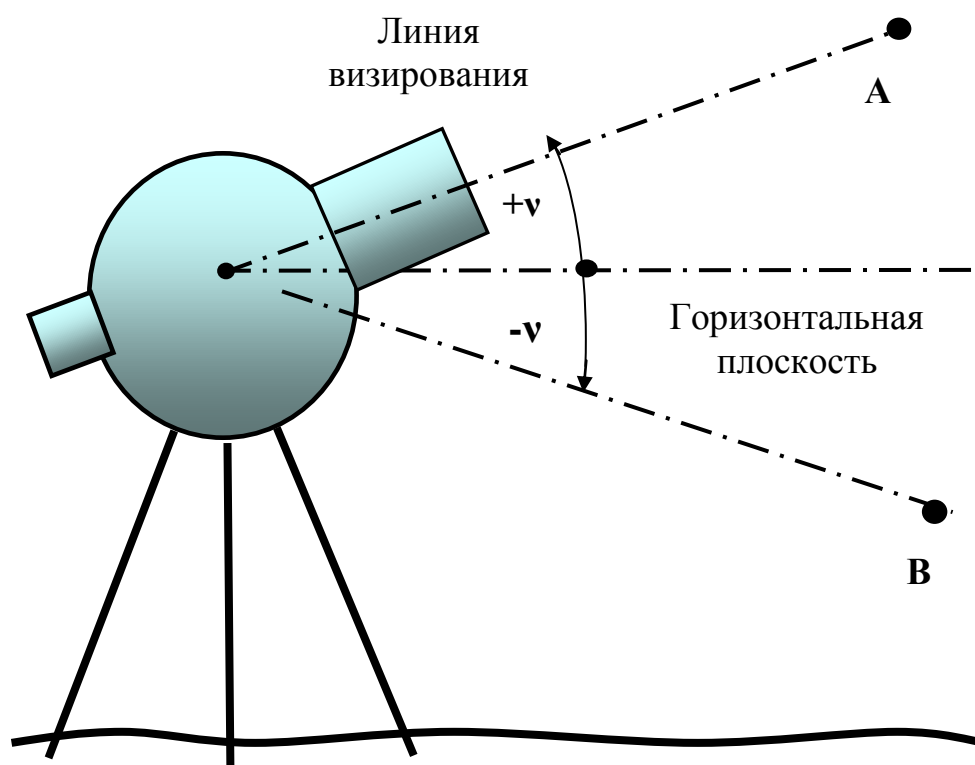


Рис. 52. Измерение вертикальных углов

### 7.2.2. Место нуля вертикального круга

У теодолита с металлическими кругами и у некоторых оптических, цилиндрический уровень прикреплен непосредственно к алидаде вертикального круга (рис. 53). При вращении микрометрического винта алидада поворачивается, соответственно, перемещается пузырёк



цилиндрического уровня. При изменении угла наклона линии, перед взятием отсчёта по вертикальному кругу, пузырёк уровня выводят на середину (микрометричным винтом у теодолитов с металлическими кругами, подъёмными винтами у некоторых оптических теодолитов). Но при этом даже при расположении пузырька уровня на середине линия нулей отсчётного приспособления может составлять некоторый угол с линией горизонта. Этот угол называется **местом нуля вертикального круга (M0)**.

**Место нуля** – отсчет по вертикальному кругу, когда пузырёк уровня при алидаде находится на середине.

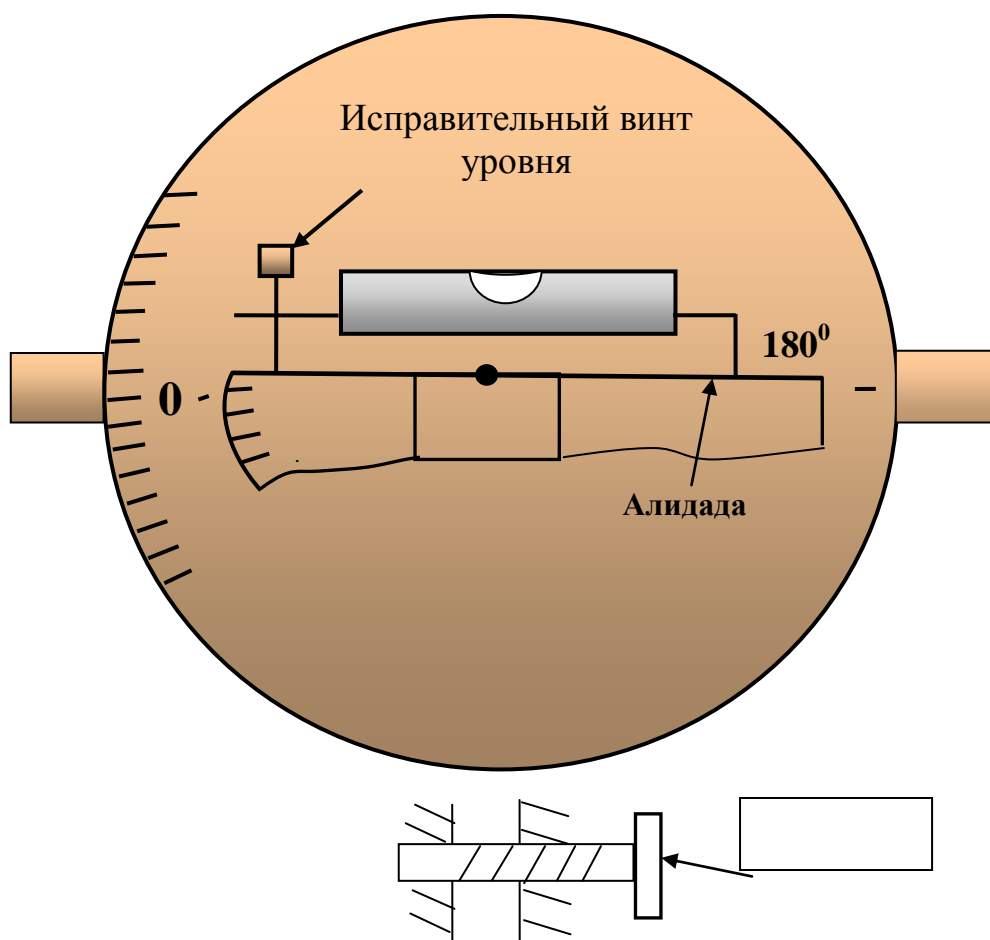


Рис. 53. Цилиндрический уровень вертикального круга (ТТ-50, ТТ-5)

### 7.2.3. Расчётные формулы места нуля для теодолитов с металлическими кругами

Если  $M_0 \neq 0$ , то для приведённой на рисунке 51 оцифровки лимба получаем расчётные формулы, исходя из следующего.

При визировании на точку М обозначим отсчёт по вертикальному кругу при круге право – КП (рис. 54 а), при круге лево – КЛ (рис. 54 б). Тогда

$$КП = \nu + М0 \text{ и } КЛ = 360^\circ - (\nu - М0), \quad (28, 29)$$

соответственно:

$$\nu = КП - М0, \quad (30)$$

$$\nu = М0 - КЛ + 360^\circ. \quad (31)$$

Решая систему, получаем:

$$М0 = \frac{КП + КЛ - 360^\circ}{2}, \quad \nu = \frac{КП - КЛ + 360^\circ}{2}. \quad (32, 33)$$

Итак, визируя на какую-то достаточно удалённую и высоко расположенную точку при двух положениях вертикального круга, взяв отсчёты КП и КЛ для определения М0 и для вычисления угла наклона, можем пользоваться расчётными формулами:

$$М0 = \frac{КП + КЛ}{2}, \quad (34)$$

$$\nu = КП - М0, \quad (35)$$

$$\nu = \frac{КП - КЛ}{2}. \quad (36)$$

При использовании этих формул к отсчётам, меньшим  $90^\circ$ , следует прибавить  $360^\circ$ .

#### 7.2.4. Расчётные формулы места нуля для оптических теодолитов

Приведённые выше расчётные формулы для определения угла наклона получены для теодолитов с металлическими кругами (ТТ-50; ТТ-5 и др.). Конструктивные особенности оптических теодолитов определяют отличие в расчётных формулах и в способах приведения М0 к нулю. Так, для ТЗ0 будет:

$$М0 = \frac{(КЛ + КП + 180^\circ)}{2},$$

$$\nu = КЛ - М0,$$

$$\nu = М0 - (КП + 180^\circ),$$

$$\nu = \frac{КЛ - (КП + 180^\circ)}{2}.$$

При значениях КП и КЛ меньшим  $90^\circ$ , прибавить  $360^\circ$ .

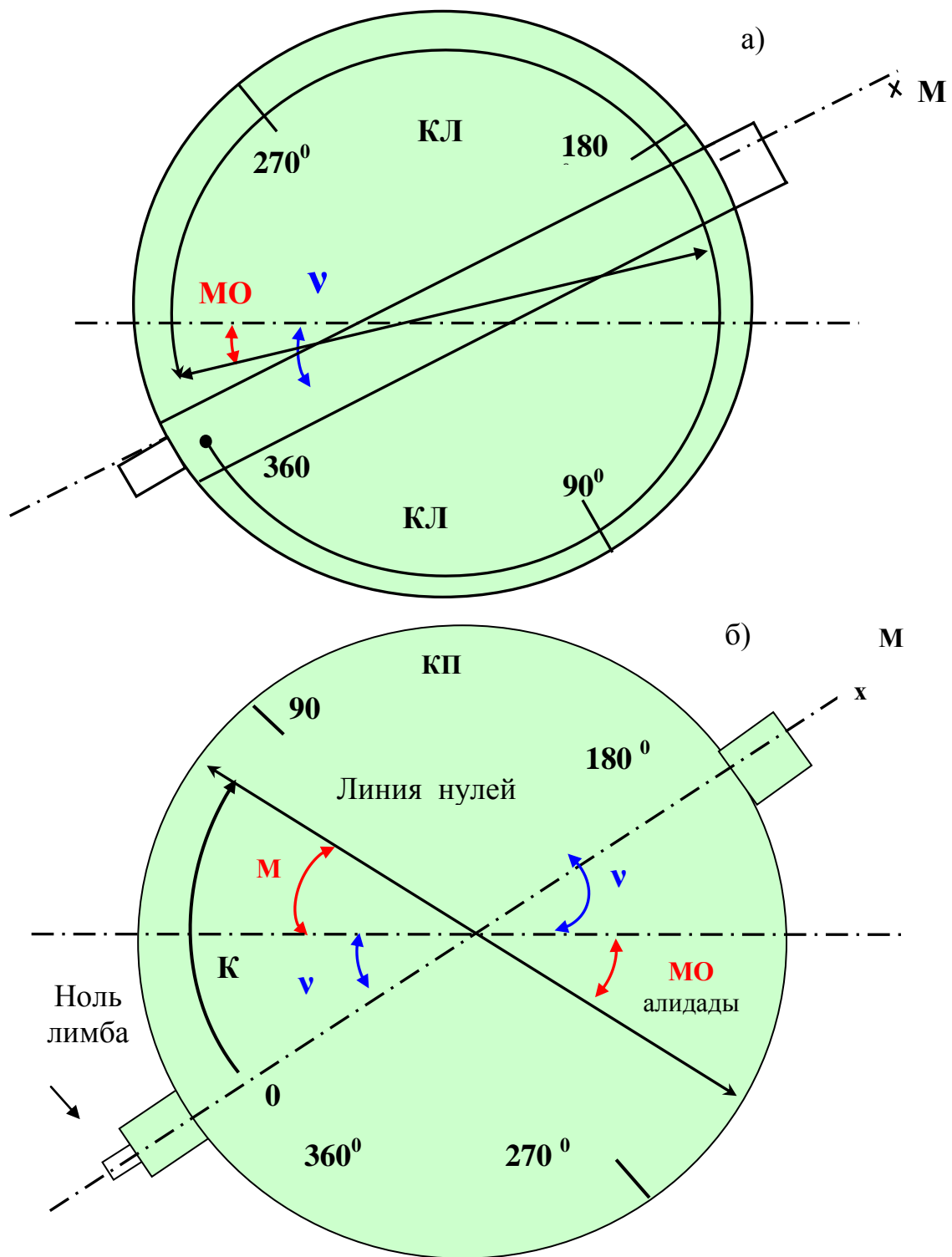


Рис. 54. Отсчет по вертикальному кругу

### 7.2.5. Примеры

**Пример.** При измерении угла наклона теодолитом ТТ-5 получены отсчёты:

$$КП = 355^{\circ}44'; \quad КЛ = 4^{\circ}34';$$

$$\text{Решение: } M0 = \frac{355^{\circ}44' + (4^{\circ}34' + 360^{\circ})}{2} = 360^{\circ}09' = 0^{\circ}09'$$

$$\nu = КП - M0 = 355^{\circ}44' - 360^{\circ}09' = -4^{\circ}25'$$

$$\text{Контроль: } \nu = M0 - КЛ = 0^{\circ}09' - 4^{\circ}34' = -4^{\circ}25'$$

### 7.2.6. Приведение М0 к нулю

Из расчётных формул видно, что при  $M0=0$ , отсчёт по вертикальному кругу равен углу наклона линии. Поэтому, если  $M0 > 2t$ , производят приведение  $M0$  к нулю. **Один из способов приведения следующий:**

- Зная величину  $M0$ , вращением трубы устанавливают на лимбе отсчёт, равный  $M0$  – теперь визирная ось будет горизонтальна (при этом пузырёк уровня будет посередине).
- Вращением микрометричного винта алидады, т. е. поворотом алидады, устанавливают отсчёт  $0^{\circ}00''$  - при этом пузырёк уровня сместится.
- Исправительным винтом уровня возвращают пузырёк на середину.

Для теодолита Т30 приведение  $M0$  к нулю осуществляют перемещением сетки нитей по вертикали, т.е. изменением положения визирной оси.

## 8. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

*Линейные измерения* очень широко распространены в геологии, строительстве и т.д., выполняются на всех этапах геодезической съёмки, в том числе для:

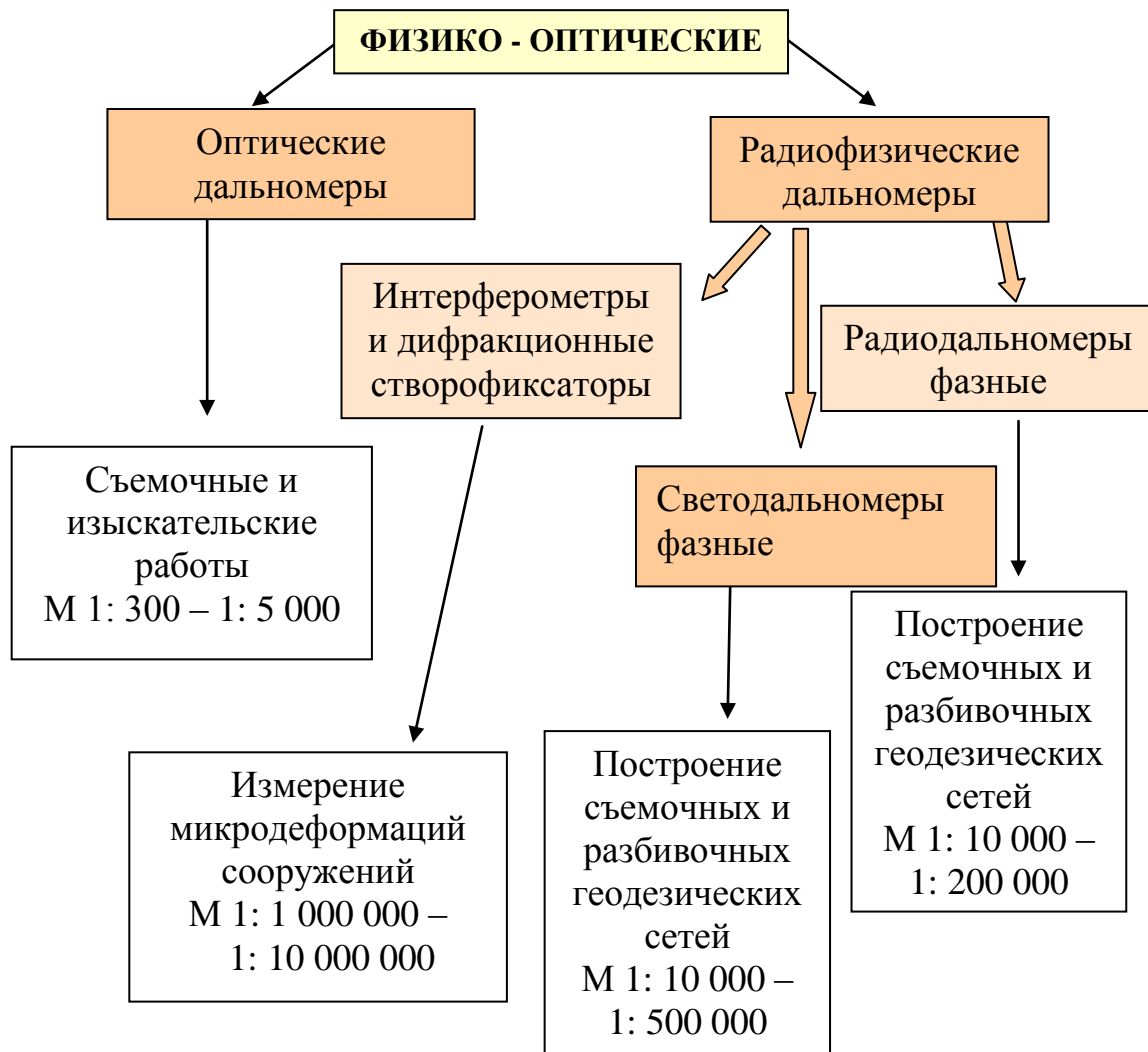
- а) создания опорной геодезической сети на территории стройки;
- б) в процессе топографических, геологических съёмок, контроля монтажа строительных конструкций и т.д.

Единицы меры – метры, сантиметры, миллиметры. В результате измерения получают горизонтальные проложения линий.

Приборы для измерения длин линий, применяемые в настоящее время в инженерной геодезии, можно условно разделить на *механические* и *физико-оптические* (табл. 4,5).

Таблица 4

**Физико-оптические приборы для измерения длин линий,  
применяемые в геодезии**



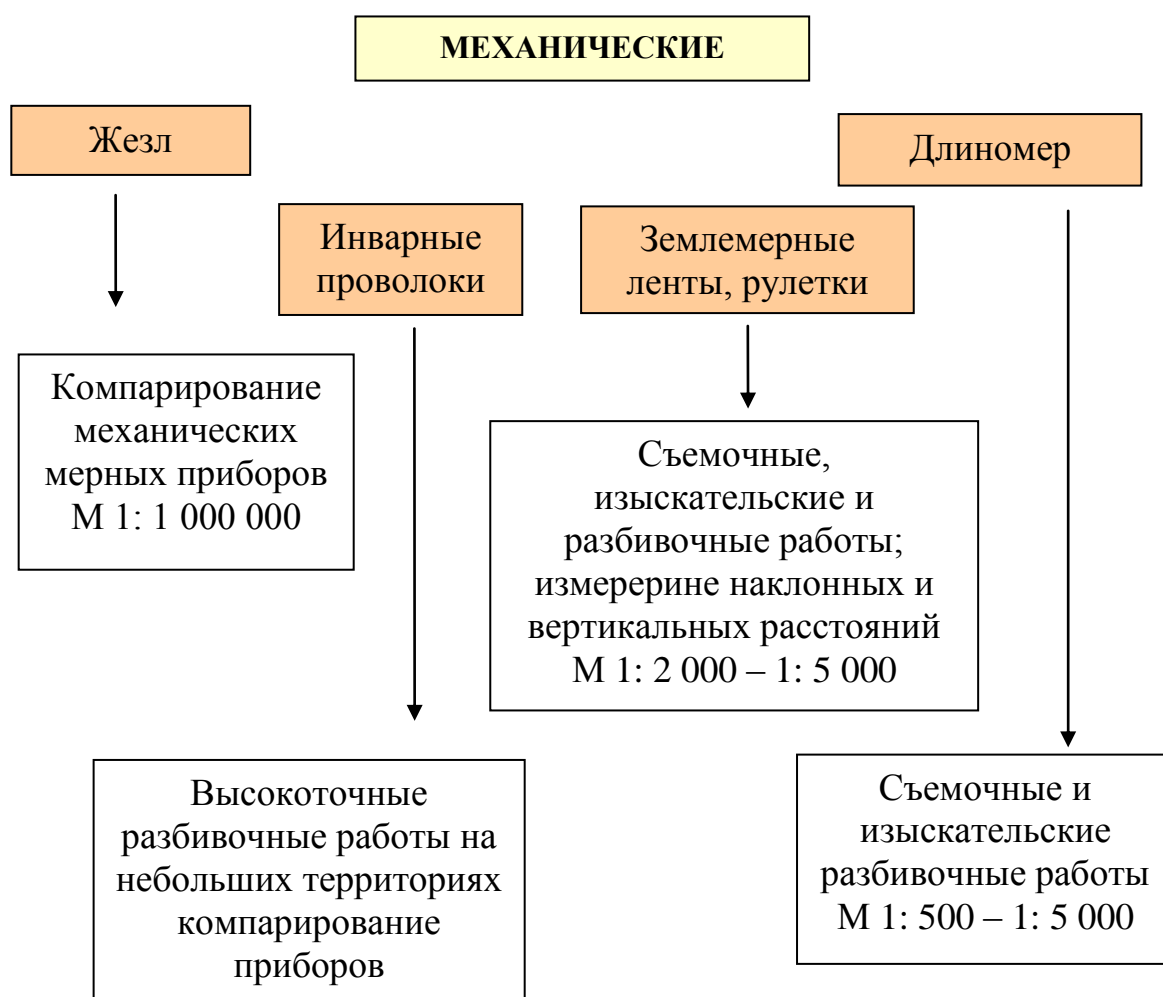
В зависимости от конкретных условий применяются разные методы и различные приборы. Широко применяются в инженерной геодезии *стальные ленты, рулетки, оптические дальномеры*, в последние годы успешно внедряются *длиномеры*.

Измерение расстояний механическими приборами основано на последовательном откладывании длины мерного прибора. Измерения

производят либо по поверхности земли, либо подвешивая мерный прибор на небольшой высоте (1-1,5 м) на специальных штативах. Для получения *горизонтального проложения* измеряют углы наклона линии или отдельных ее частей.

Таблица 5

**Механические приборы для измерения длин линий,  
применяемые в геодезии**



**8.1. Измерение расстояний мерными лентами**

**Стальные землемерные ленты** (ЗЛ) обеспечивают точность измерений в широком диапазоне  $\left(\frac{1}{500} \div \frac{1}{5000}\right)$ , изготавливают их длиной 20 и 50 м, они бывают **штриховые** (например, ЛЗ - 20) и **шкаловые** (ЛЗШ - 20). У штриховых лент на концах нанесены штрихи (рис.52 а), расстояние между которыми и определяет длину ленты  $\ell$  при её расположении на плоскости и натяжении в 10 кгс. У шкаловых для более точных отсчетов на двух концах имеются шкалы с миллиметровыми делениями (рис. 52 б).

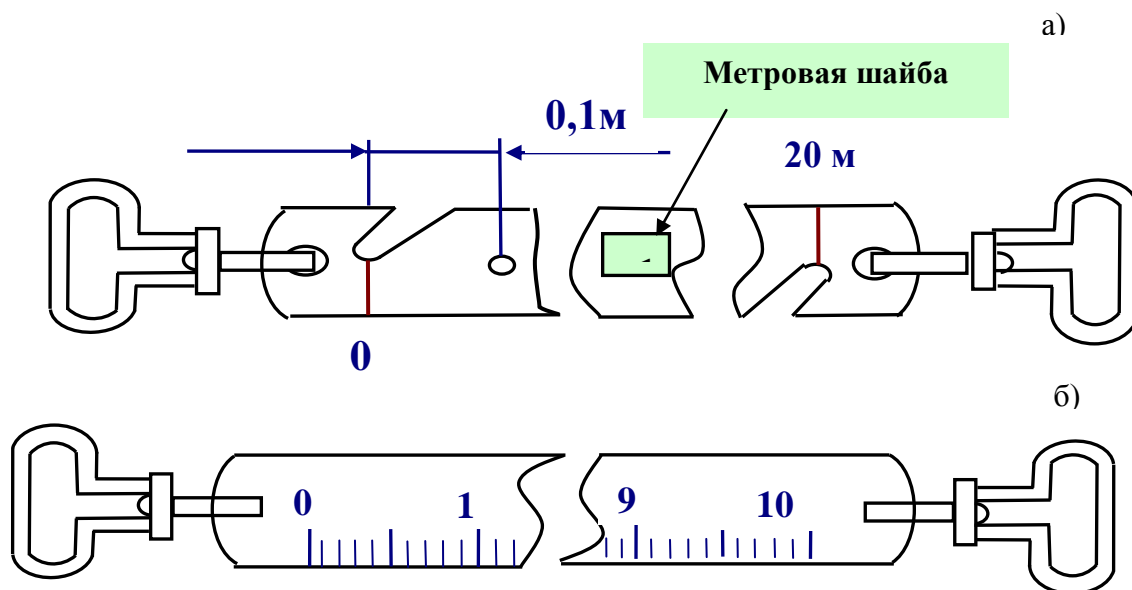


Рис. 52. Мерные ленты: а) штриховая лента; б) шкаловая лента

### 8.1.1. Компарирование ленты

Перед работой ленту **компарируют**, т.е. устанавливают ее действительную длину. Если измерения предполагается выполнять с высокой точностью (порядка  $\frac{1}{5000}$ ), компарирование проводят в специальных лабораториях. При измерениях с обычной точностью  $\left(\frac{1}{1000} \div \frac{1}{3000}\right)$  производится сравнение рабочей ленты с эталонной лентой, длина которой определена в лаборатории. Зная отличие длины рабочей ленты от номинала  $\Delta\ell$ , вводят поправку за компарирование:

$$\Delta D_K = n\Delta\ell, \quad (41)$$

где  $n$  - число отложений ленты  $\left(n = \frac{D}{\ell}\right)$ .

Компарирование производится при определенной температуре  $t_{ком}$ . Температура при измерениях ( $t_{факт}$ ) может существенно отличаться, т.е. длина ленты изменится в соответствии с коэффициентом линейного расширения стали  $\alpha = 125 \cdot 10^{-7} \text{ м/град}$ .

Поправка за температуру будет

$$\Delta D_t = D\alpha (t_{факт} - t_{ком}), \text{ где } D - \text{длина линии.} \quad (42)$$

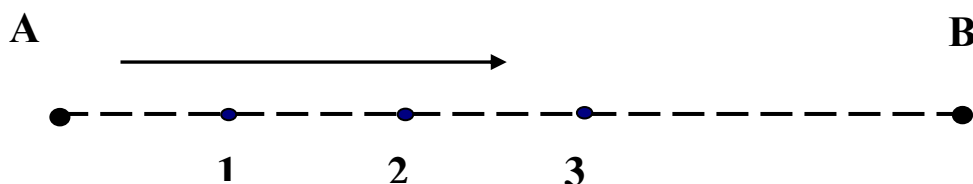
Пример. Дано:  $D = 255,25$ ;  $t_{факт} = -5^\circ$ ;  $t_{ком} = +20^\circ$ .

Определить:  $\Delta D_t$

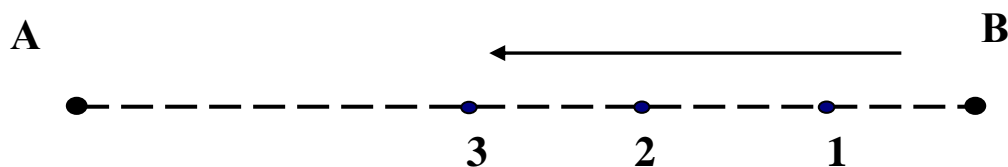
Решение.  $\Delta D_t = 255,25 (-5 - 20) 125 \cdot 10^{-7} = -0,08 \text{ м} = -80 \text{ мм} = 8 \text{ см}$ .

### 8.1.2. Подготовка трассы для измерения мерной лентой

Перед измерением линии лентой трассу необходимо подготовить - расчистить от кустарника, высокой травы и провесить. Вешение производят инструментально или глазомерно двумя способами - «от себя» (рис. 53 а) и «на себя» (рис. 53 б), причём второй способ даёт более точные результаты.



**Установка вех по принципу «от себя»**

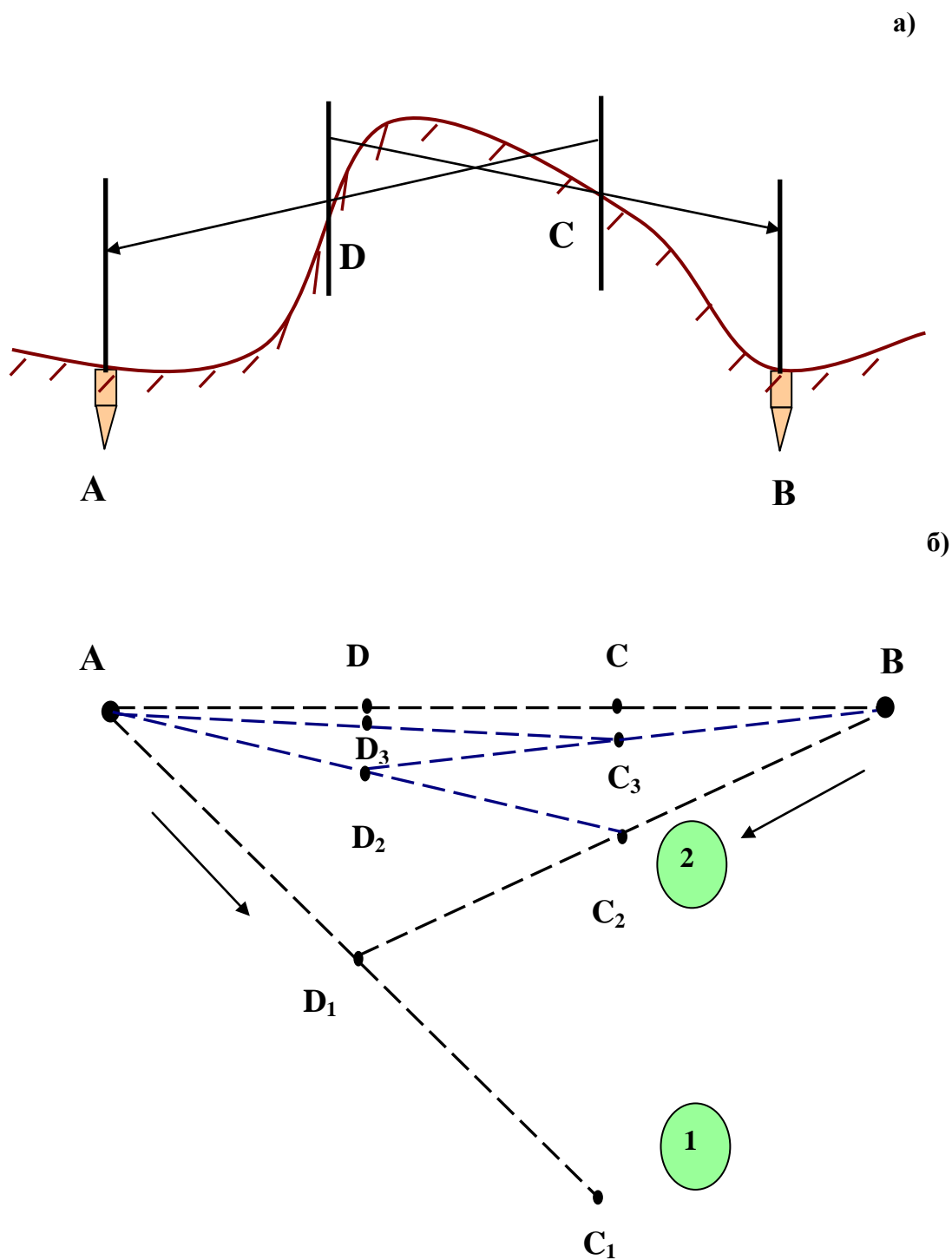


**Установка вех по принципу «к себе»**



*Рис. 53. Способы установки вех*

Если между конечными точками **A** и **B** нет взаимной видимости (рис. 54 а, точки **A** и **B**), то вешение производится двумя дополнительными вехами путем последовательного приближения их к створу. Первая веха ставится в произвольной точке **C<sub>1</sub>** (рис. 54 б), вторая - в створе **C<sub>1</sub>A** в точке **D<sub>1</sub>**. Затем первую веху перемещают в точку **C<sub>2</sub>** (створ **D<sub>1</sub>B**) и так до тех пор, пока обе вехи не окажутся в створе **A-B**.



*Рис. 54. Вешение при отсутствии взаимной видимости между точками A и B.*

Для обозначения створа вехи ставятся в равнинной местности через 70-100 м, в холмистой - через 20-50 м.

Натяжение ленты, уложенной в створе, контролируется динамометром при измерениях с повышенной точностью, при обычной точности динамометр не применяют, конец ленты в натянутом состоянии фиксируется шпильками. В комплект входит обычно 6 шпилек, первая устанавливается в начале измеряемой линии, у переднего мерщика 5 шпилек. Когда им поставлена последняя шпилька - отложено 5 лент (100м).

### 8.1.3. Поправка за наклон линии

Результатом измерения должно быть горизонтальное проложение линии. Следовательно, кроме поправок за компарирование и температуру, в необходимых случаях следует ввести поправку за наклон линии (рис.55), т.е. на отдельных участках измерить угол наклона линии  $\nu$ . Так как  $d = D \cos \nu$ , то поправка за наклон будет составлять:

$$\Delta D_\nu = d - D = D(1 - \cos \nu) \quad (43)$$

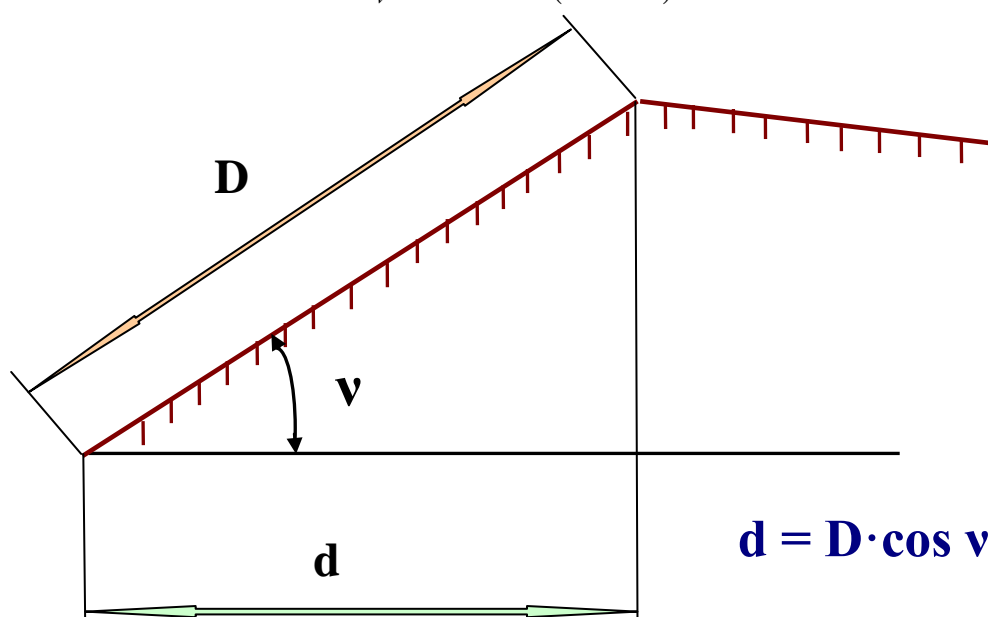


Рис. 55. Поправка за наклон линии

Обычно поправку  $\Delta D_\nu$  берут из специальных таблиц. Угол наклона измеряется теодолитом или упрощенным прибором - эклиметром.

В ряде случаев необходимо непосредственно при измерениях получать горизонтальное проложение линии. Для этого применяют

ватерпасовку с использованием рейки и уровня (рис. 56 а) или располагая мерную ленту горизонтально (рис. 56 б).

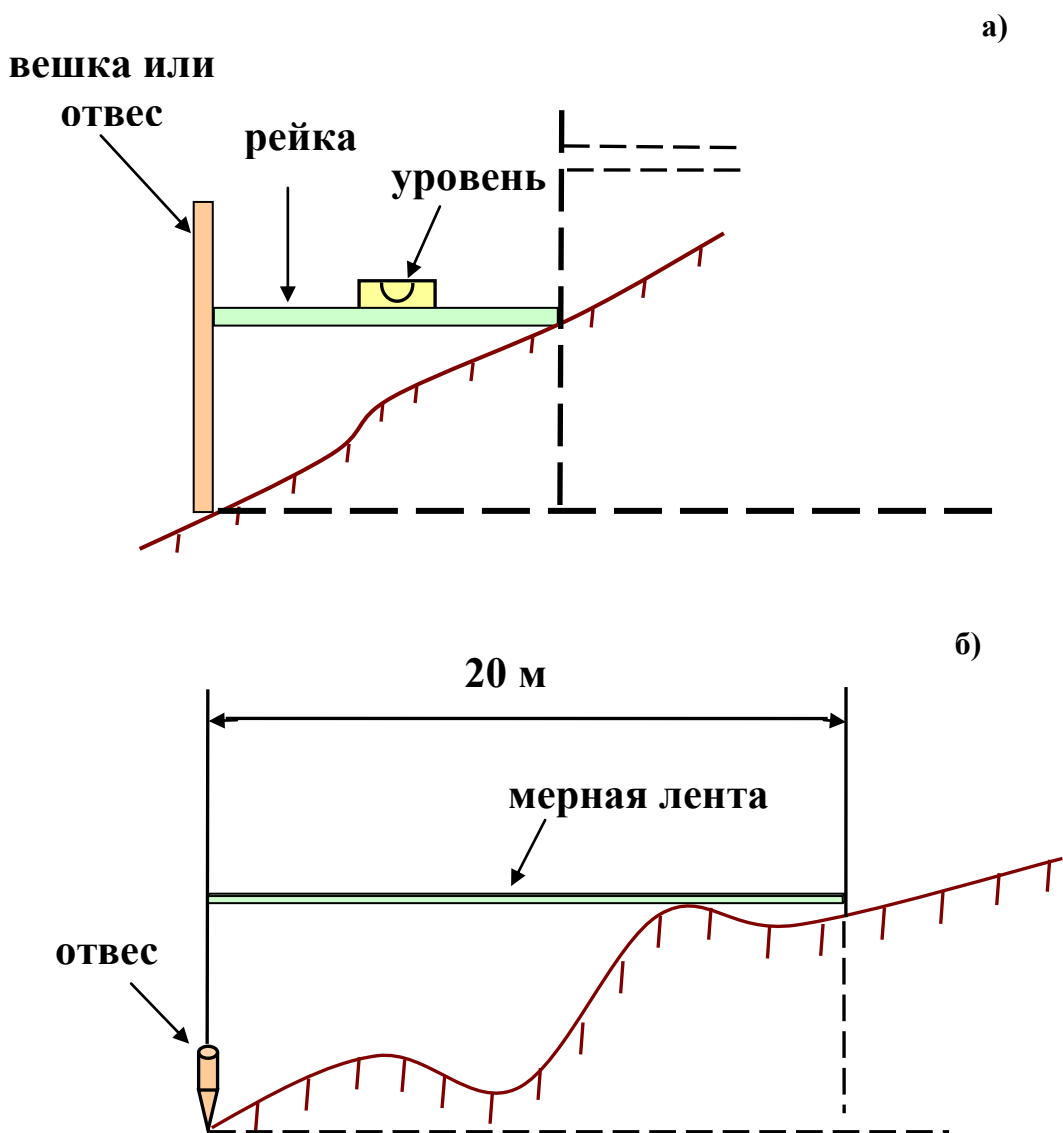


Рис. 56. Ватерпасовка: а) с использованием рейки и уровня ; б) с использованием горизонтально расположенной мерной ленты и отвеса

#### 8.1.4 Точность измерения линий мерными лентами

Необходимость введения различных поправок определяется требуемой точностью измерения (табл. 6).

Для контроля линию измеряют дважды - в прямом и обратном направлениях. Разность между двумя измерениями должна быть в

пределах допуска, иначе линию измеряют вновь. Величину допуска назначают исходя из следующего.

Опыт показывает, что относительная погрешность при измерении линий лентой составляет в благоприятных условиях  $\frac{1}{3000}$ , при средних условиях -  $\frac{1}{2000}$ , при неблагоприятных -  $\frac{1}{1000}$  от длины измеряемой линии. Расхождения между двумя измерениями принимают в  $\sqrt{2}$  больше, т.е. соответственно  $\frac{1}{2000}$ ;  $\frac{1}{1500}$  и  $\frac{1}{700}$ . Так, если измеренная линия в прямом направлении 255,25 м, то при разности двух измерений в  $\frac{1}{2000}$  допустимое расхождение между прямым и обратным измерениями должно быть не более  $255,25 \cdot \frac{1}{2000} = 0,13 \text{ м} = 13 \text{ см}$ .

Таблица 6

### Поправки, подлежащие учёту

Поправки, подлежащие учёту при измерениях стальной мерной лентой	Относительные погрешности масштабов		
	1:1000	1:2000	1:3000
За копирование, если $\Delta l$ более	2 мм	2 мм	2 мм
За температуру, если $(t_{\text{факт}} - t_{\text{комт}})$ более	не учит.	8°	8°
За наклон линии к горизонту, если $\nu$ более	3°	1°30'	1°

Достоинства лент и рулеток - простота устройства и эксплуатации. Недостатки при измерении длинных линий – большая трудоемкость, определяемая необходимостью подготовки трассы, измерения углов наклона отдельных участков.

### 8.2. Измерение расстояний длиномерами

Длиномер - подвесной прибор (рис. 57), которым обеспечивается точность от  $\frac{1}{2000}$  до  $\frac{1}{20000}$ . Сущность измерения линии в данном способе сводится к измерению длины отрезка предварительно натянутой стальной проволокой диаметром 0,8 мм. Длиномер перемещают по проволоке, при этом автоматически

фиксируется длина пройденного отрезка. Масса комплекта длиномера (AD 1 М) - 10 кг, для проведения измерений необходимо 3 человека.

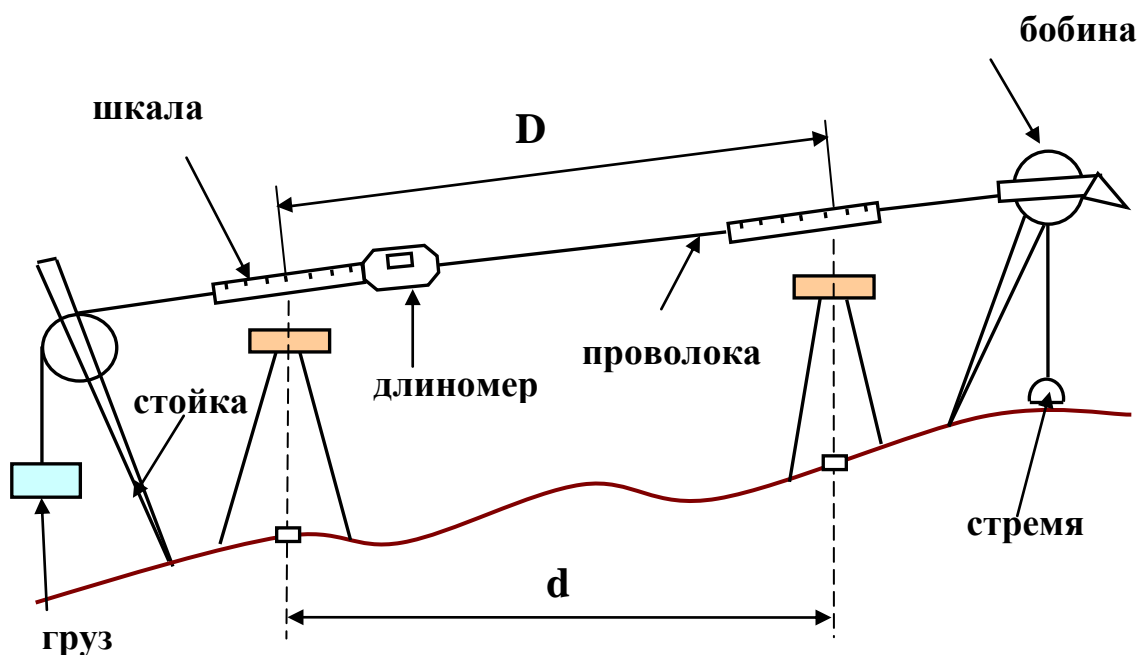


Рис. 57. Измерение расстояния длиномером

### 8.2.1. Измерение расстояний оптическими дальномерами

**Оптические дальномеры** подразделяют на дальномеры с постоянным углом (рис. 58 а) и дальномеры с постоянной базой (рис. 58 б). В первом случае измеряют по рейке дальномерный интервал  $l_i$  и тогда

$$D_i = l_i \operatorname{Ctg} \nu. \quad (43)$$

Обозначая для постоянного угла  $\operatorname{Ctg} \nu = C$ , получаем:

$$D_i = Cl_i, \quad (44)$$

где  $C$  – коэффициент дальномера.

У дальномеров с постоянной базой измеряют угол  $\gamma_i$  т.к.  $l_1 = \text{const}$ , тогда

$$D_i = \ell \operatorname{Ctg} \gamma_i. \quad (45)$$

При этом база (специальная рейка) может либо входить в конструкцию прибора (внутрибазный дальномер), либо располагаться в конце измеряемой линии.

**Радиодальномеры и светодальномеры** состоят из двух основных узлов:

- приемопередатчика, устанавливаемого на начальной точке линии;
- отражателя, устанавливаемого в конечной точке.

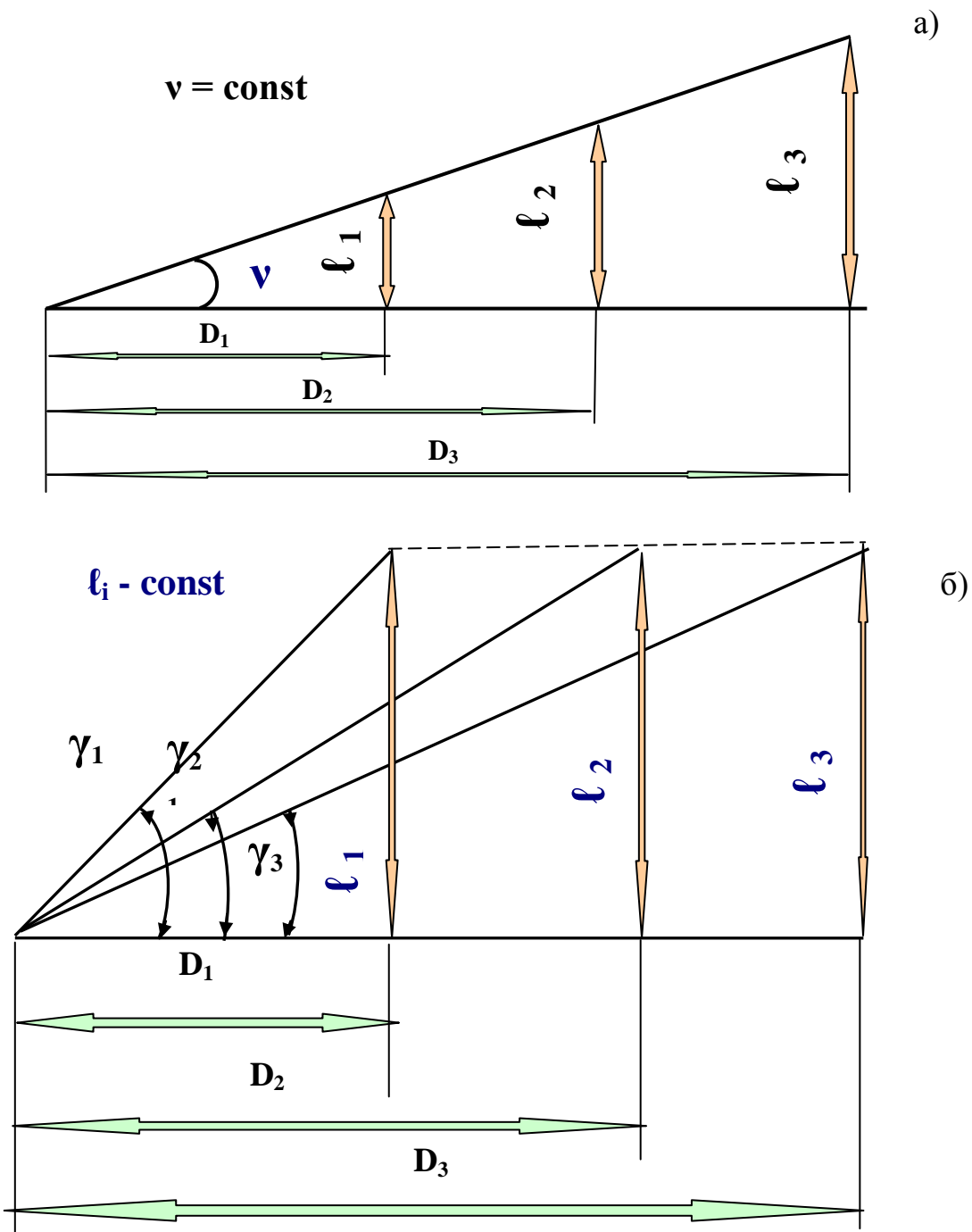


Рис. 58. Принцип измерения дальномерного расстояния оптическим дальномером: а) с постоянным углом; б) с постоянной базой

### 8.2.2. Точность оптических дальномеров

**Оптические дальномеры** различных конструкций характеризуются точностью  $\frac{1}{300} \div \frac{1}{5000}$ . Наиболее распространенным



является нитяной дальномер, обеспечивающий точность  $\frac{1}{300} \div \frac{1}{400}$  при измерении коротких линий (не длиннее 250 м). Это наиболее простой дальномер, имеющийся почти во всех геодезических приборах. Для его получения добавляют у сетки нитей две дополнительные нити, которые называются дальномерными (рис.59).

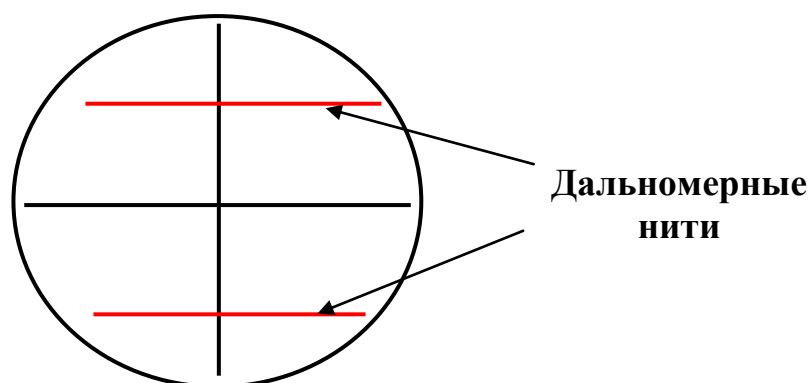


Рис. 59. Дальномерные нити

Пусть требуется определить расстояние от оси вращения прибора (рис. 60 а) точки **А** до точки **В**, в которой установлена рейка. Рассмотрим случай, когда визирная ось горизонтальна.

$$\text{Искомое расстояние} \quad d = d_1 + f_{об} + K, \quad (46)$$

где  $f_{об}$  - фокусное расстояние объектива;  $K$  - расстояние от оси вращения прибора до объектива.

У современных приборов величины  $f_{об}$  и  $K$  малы, их можно не учитывать, т.е. принять  $d = d_1$ .

### 8.2.3. Коэффициент дальномера

Отрезок  $\ell$  (дальномерный интервал) определяется числом сантиметров рейки, заключенных между дальномерными нитями (на рис. 60 б -  $\ell = 117,3 - 100,0 = 17,3 \text{ см}$ ). Аналитическую связь между числом " $\ell$ " и расстоянием  $d_1$  находим из подобия треугольников (рис. 60)

$$\Delta a\omega F \sim \Delta Fcd$$

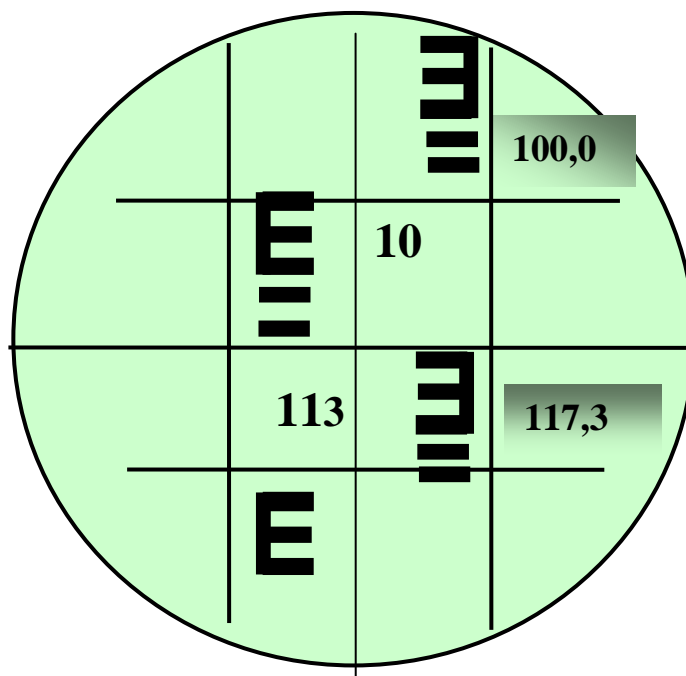
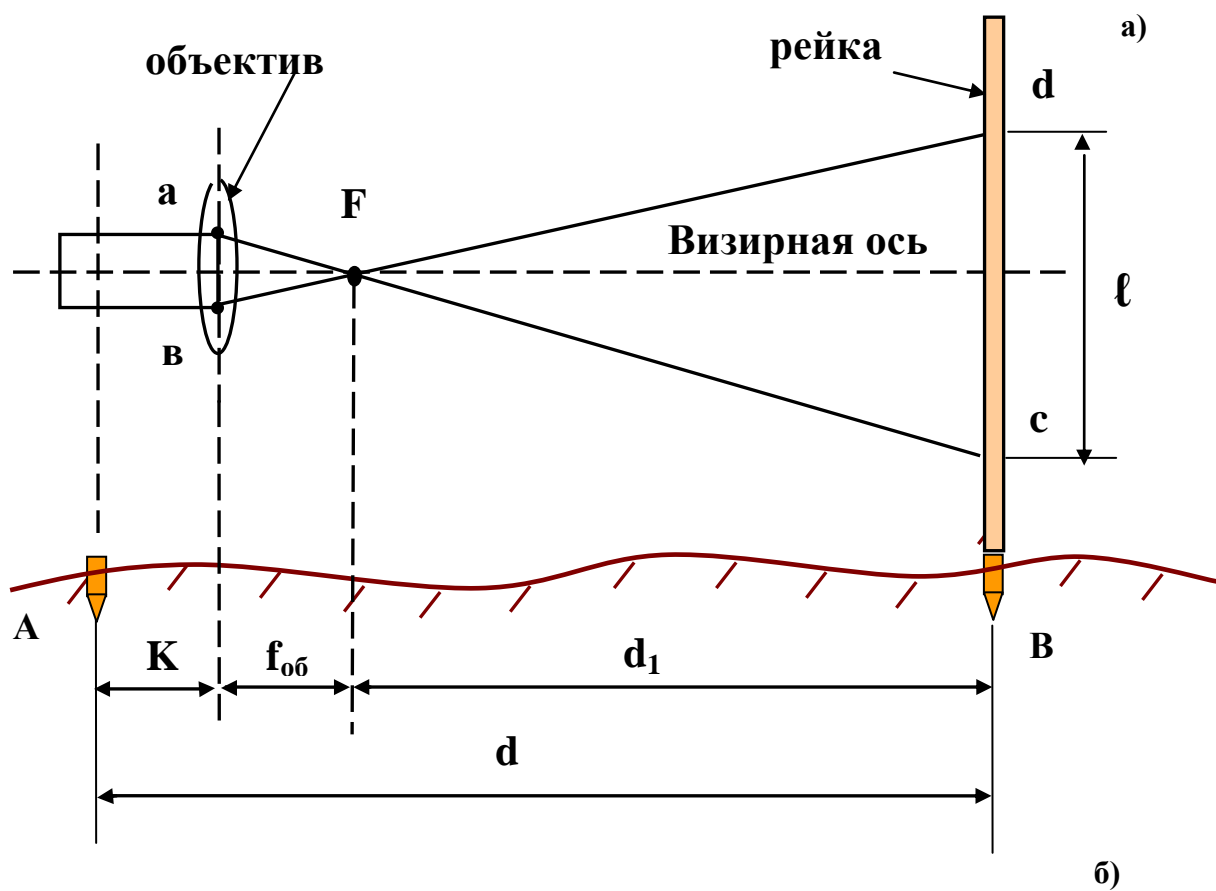


Рис. 60. Определение дальномерного расстояния: а) от оси вращения прибора до искомой точки; б) – по сетке нитей

$$\frac{d_1}{f_{об}} = \frac{\ell}{ав}, \text{ откуда} \quad (47)$$

$$d_1 = \ell \frac{f_{об}}{ав} = \ell C. \quad (48)$$

Отношение  $\frac{f_{об}}{ав}$  для конкретного прибора постоянно, называется коэффициентом дальномера и обозначается символом "С". Тогда

$$d = d_1 = "C" \ell, \quad (49)$$

т.е. для определения расстояния нитяным дальномером достаточно число сантиметровых делений рейки между дальномерными нитями умножить на коэффициент дальномера.

Для определения "С" на местности с необходимой точностью измеряют отрезок ( $d_{изв}$ ), по рейке находят дальномерный интервал " $\ell$ ":

$$C = \frac{d_{изв}}{\ell}. \quad (50)$$

У современных приборов обычно  $C = 100$ , т.е. величина " $\ell$ " в сантиметрах соответствует расстоянию в метрах (на рис. 60 б - расстояние  $d = 17,3$  м).

В случае, когда визирная ось не горизонтальна, для определения горизонтального проложения  $d$  надо учесть угол наклона  $\nu$ . При этом учесть его нужно дважды (рис. 61).

Рейка всегда устанавливается вертикально и поэтому вследствие наличия угла наклона  $\nu$ , она оказывается не перпендикулярной к визирной оси. Следовательно, дальномерный интервал " $\ell$ " оказывается завышенным по сравнению с действительным " $\ell$ ", соответственно будет измерено не действительное наклонное расстояние  $D$ , а завышенное его значение  $D_{изм} = C\ell$ . Из схемы видно:

$$\ell' = \ell \cdot \text{Cos } \nu, \quad (51)$$

тогда 
$$D = C \ell' = C \ell \text{Cos } \nu = D_{изм} \text{Cos } \nu. \quad (52)$$

Но 
$$d = D \text{Cos } \nu, \quad (53)$$

тогда 
$$d = D_{изм} \text{Cos}^2 \nu. \quad (54)$$

В практике после определения  $D_{изм}$  горизонтальное проложение  $d$  берут из таблиц.

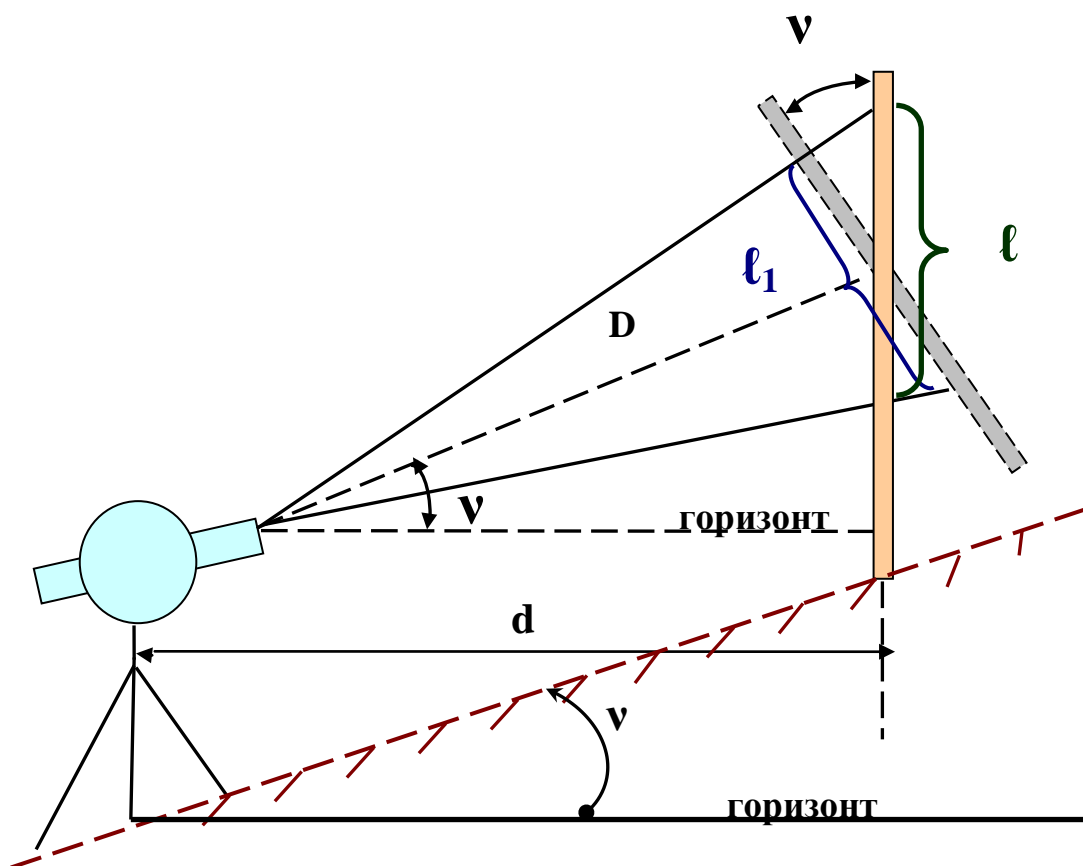


Рис. 61. Двойной учет вертикального угла  $\nu$

### 8.3. Определение недоступных расстояний

Местные объекты могут затруднить непосредственное измерение лентой расстояния между точками **A** и **B** (рис. 62 а, б). Искомые расстояния можно вычислить, построив на местности вспомогательные треугольники **ABC**.

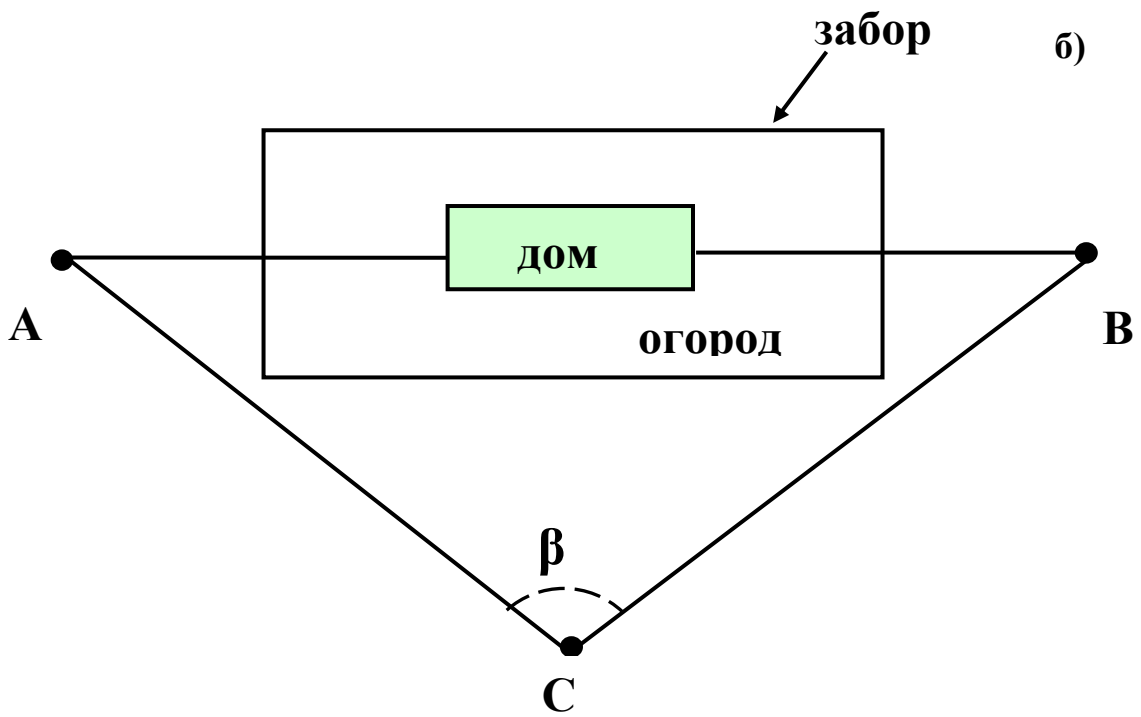
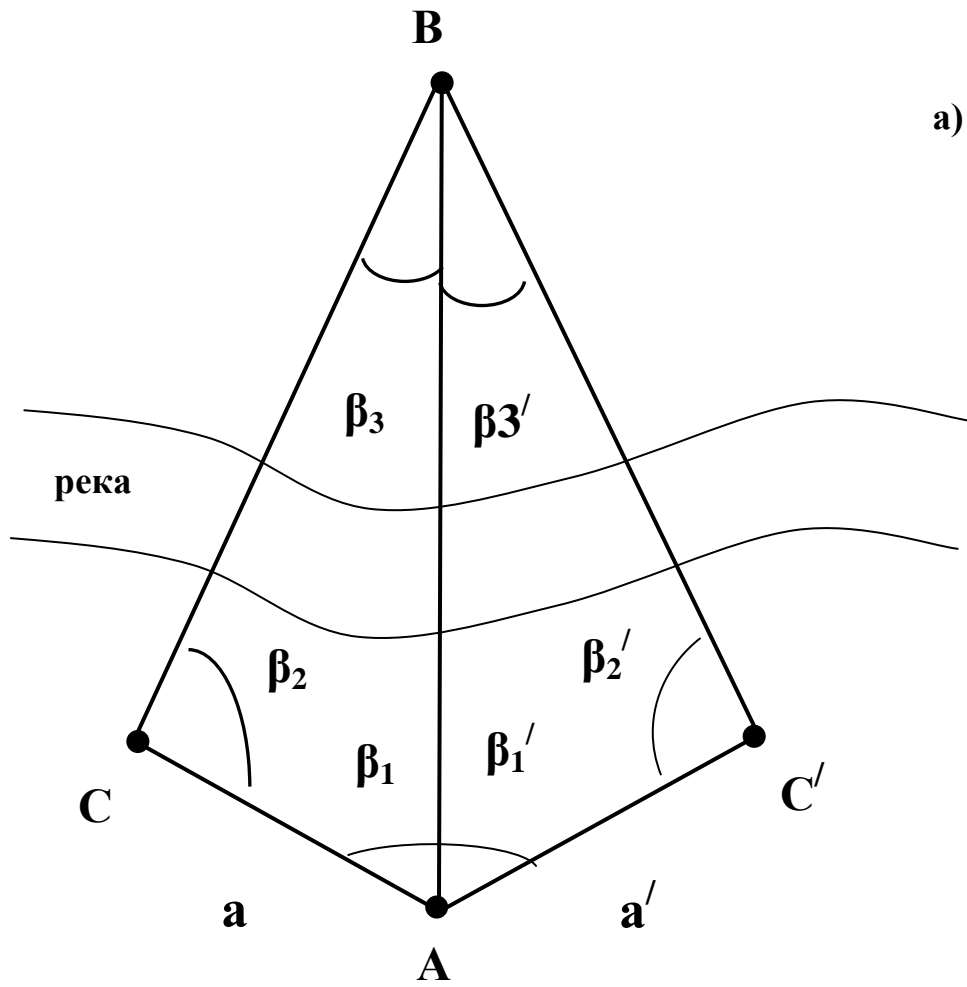
Возможны два случая при определении недоступного расстояния: имеется взаимная видимость точек (рис. 62 а), или такой видимости нет (рис. 62 б).

В первом случае у вспомогательных треугольников **ABC** и **ABC'** измеряются углы  $\beta_i$ , базисы  $a$  и  $a'$  и по теореме синусов вычисляется искомое расстояние **AB**:

$$\frac{AB}{\sin\beta_2} = \frac{a}{\sin\beta_3} \quad \text{и} \quad AB = a \frac{\sin\beta_2}{\sin\beta_3}. \quad (55, 56)$$

Контроль:

$$AB = a' \frac{\sin\beta_2'}{\sin\beta_3}. \quad (57)$$



*Рис. 62. Определение недоступных расстояний*

Ожидаемая точность вычисления линии **АВ** следующая.

При измерении углов теодолитом полным приемом, при измерении базисов с точностью не менее 1:3000, при расхождении двух вычисленных значений **АВ** не более 1:1500 - длина линии **АВ** определяется с точностью 1:2000.

Во втором случае по теореме косинусов  $AB = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta}$ . Если точность измерения линии АВ может быть меньше 1:2000, то в первом случае углы  $\beta_3, \beta_3'$  не измеряют, расчётные формулы будут:

$$AB = a \frac{\sin \beta_2}{\sin(\beta_1 + \beta_2)} \text{ и } AB = a' \frac{\sin \beta_2'}{\sin(\beta_1' + \beta_2')} \quad (58, 59)$$

## 9. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЁМКА

### 9.1. Этапы теодолитной съёмки

*Съёмка - комплекс геодезических работ, выполняемых на местности для получения плана.*

**Теодолитная съёмка выполняется в 4 этапа:**

1. *Рекогносцировка.* В пределах площади съёмки производится рекогносцировка и выбирается местоположение пунктов съёмочного обоснования так, чтобы выполнялись требования инструкций к съёмочному обоснованию и обеспечивались наилучшие условия для последующей съёмки подробностей ситуации.

2. *Прокладка теодолитного хода по точкам съёмочной сети.*

Съёмочная сеть на местности закрепляется, производятся полевые геодезические измерения по созданию съёмочной сети (съёмка обоснования).

3. *Съёмка объектов ситуации*

4. *Камеральная обработка результатов полевых измерений и построение ситуационного или контурного плана.* Полевые данные обрабатываются в камеральных условиях и вычерчивается план (при некоторых съёмках все работы выполняются в полевых условиях).

## 9.2. Особенности теодолитной съёмки

*Теодолитная съёмка* является контурной, ее съёмочным обоснованием является система теодолитных ходов с привязкой к пунктам государственной геодезической сети, в простейшем случае - сомкнутый теодолитный ход (рис. 63, точки I, II, III... VI - вершины углов теодолитного хода).

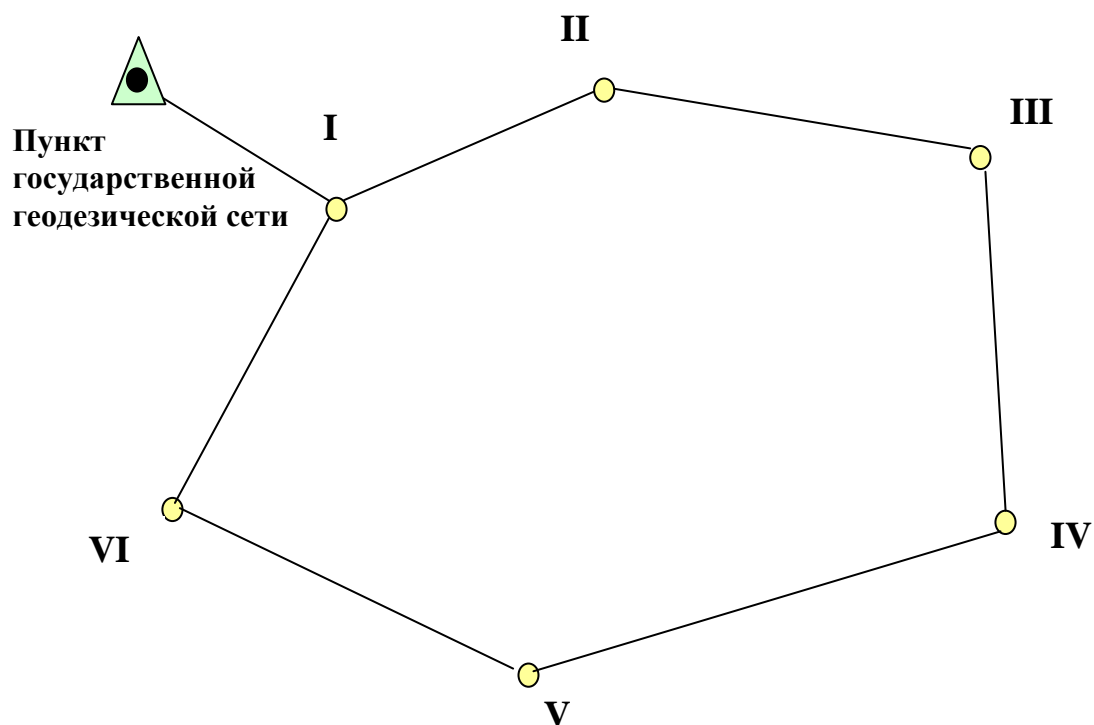


Рис. 63. Сомкнутый теодолитный ход

Предельные длины ходов ограничены инструкциями, длины линий в ходах не должны быть больше 350 м и меньше 40 м на незастроенной и 20 м - на застроенной территории.

Линии в теодолитных ходах измеряют лентой в прямом и обратном направлениях с точностью 1:1000 ÷ 1:3000.

Горизонтальные углы в теодолитных ходах измеряются способом отдельного угла, результаты измерений заносят в *журнал теодолитного хода*. В сомкнутом теодолитном ходе теоретическая сумма внутренних углов определяется по формуле:

$$\sum \beta_{теор} = 180^\circ(n - 2), \quad (60)$$



где  $n$  – число углов полигона.

Фактическая сумма углов  $\sum \beta_{изм}$  определяется суммированием углов измеренных, допустимая невязка должна быть

$$f\beta_{доп} = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_{теор} \leq 1' \sqrt{n}, \quad (61)$$

где  $n$  - количество углов сомкнутой сети.

### 9.3. Способы съёмки объектов местности

Съёмку объектов местности производят следующими способами:

- *прямоугольных координат;*
- *полярных координат;*
- *угловых засечек;*
- *линейных засечек.*

Результаты измерений различными способами заносят в *абрис*.

Абрис - сделанный от руки схематический план участка местности, на котором показаны местные объекты, результаты измерений и другие сведения, необходимые для составления точного плана (рис. 64).

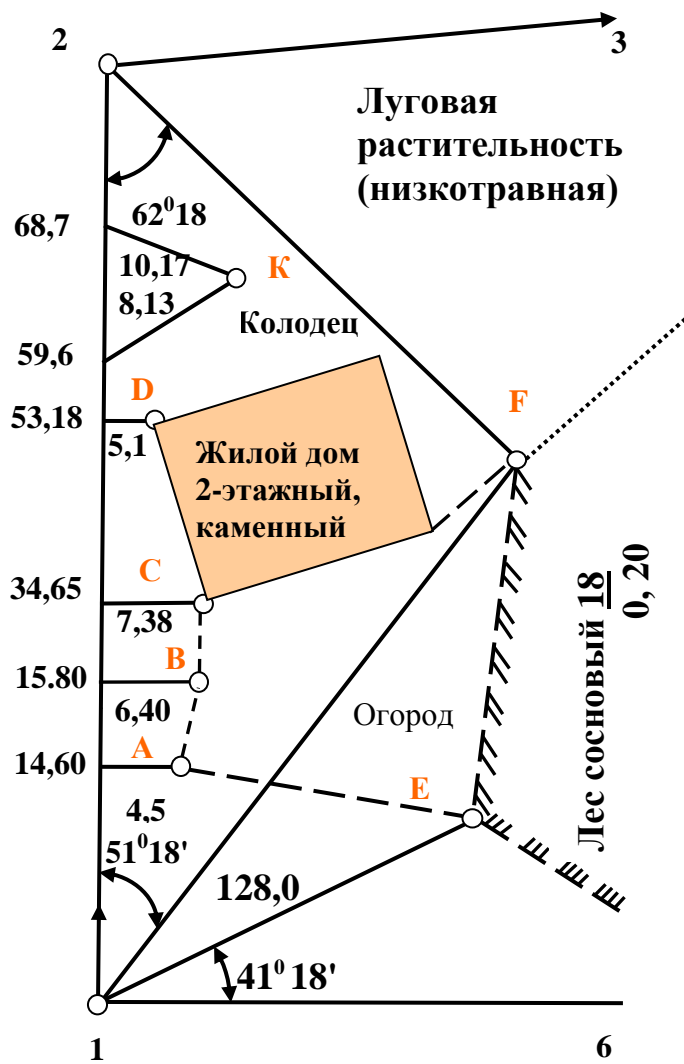


рис. 54. Абрис

### 9.3.1. Способ прямоугольных координат

Способ прямоугольных координат применяют для съемки объектов, расположенных вблизи линии теодолитного хода (рис. 64, точки А, В, С, Д). Линия теодолитного хода принимается за ось абсцисс, положение точки фиксируется величиной абсциссы и ординаты (рис. 96, точка А:  $X = 14,60$  м;  $Y = 4,50$  м). Для обеспечения необходимой точности съемки наибольшая длина перпендикуляров ограничивается. Если направление перпендикуляра определяется глазомерно, то его длина, в зависимости от масштаба съемки, допускается не более  $4 \div 8$  м, если направление определяется инструментально (например, экер) – не более  $20 \div 60$  м.

### 9.3.2. Способ полярных координат

Вершина теодолитного хода принимается за полюс, линия хода - за полярную ось. Определяется полярный угол и полярный радиус (рис. 64, точка **Е**). Наибольшая длина радиуса, в зависимости от масштаба съемки, не должна превышать следующих значений (табл. 7). В таблице указаны максимальные расстояния до твердых и нетвердых (в скобках) контуров.

Таблица 7

**Максимальная длина полярного радиуса**

Способы определения расстояний	Масштаб съемки		
	1:500	1:1000	1:2000
Измерение мерной лентой	120 (150)	180 (200)	250 (300)
Измерение нитяным дальномером	40 (80)	60 (100)	100 (150)

### 9.3.3. Способ угловых засечек

Измеряют горизонтальные углы с двух вершин теодолитного хода (рис. 64, точка **Ф**). Эти углы должны быть\* в пределах  $30^{\circ} \leq \beta_F \leq 150^{\circ}$  - не более максимальных расстояний, указанных в таблице 4 для измерения мерной лентой.

### 9.3.4. Способ линейных засечек

Измеряют расстояния до точки контура от двух соседних точек ( $x=59,6\text{м}$ ,  $x=68,7\text{м}$  линии теодолитного хода (рис. 64, точка **К**). Эти расстояния должны быть больше длины мерной ленты или рулетки.

Итак, результаты геодезических измерений при теодолитной съемке фиксируются в двух полевых документах: в журнале теодолитных ходов приводятся данные по съемочному обоснованию, в абрисах- все необходимые данные для вычерчивания на плане объектов местности.

## **9.4. Камеральная обработка полевых измерений и построение контурного плана**

Для вычисления координат пунктов теодолитного хода необходимо знать:

а) координаты исходного пункта (рис. 65, точка **А**);

б) дирекционный угол исходной линии переведённой в румб (рис. 65, линия АВ).

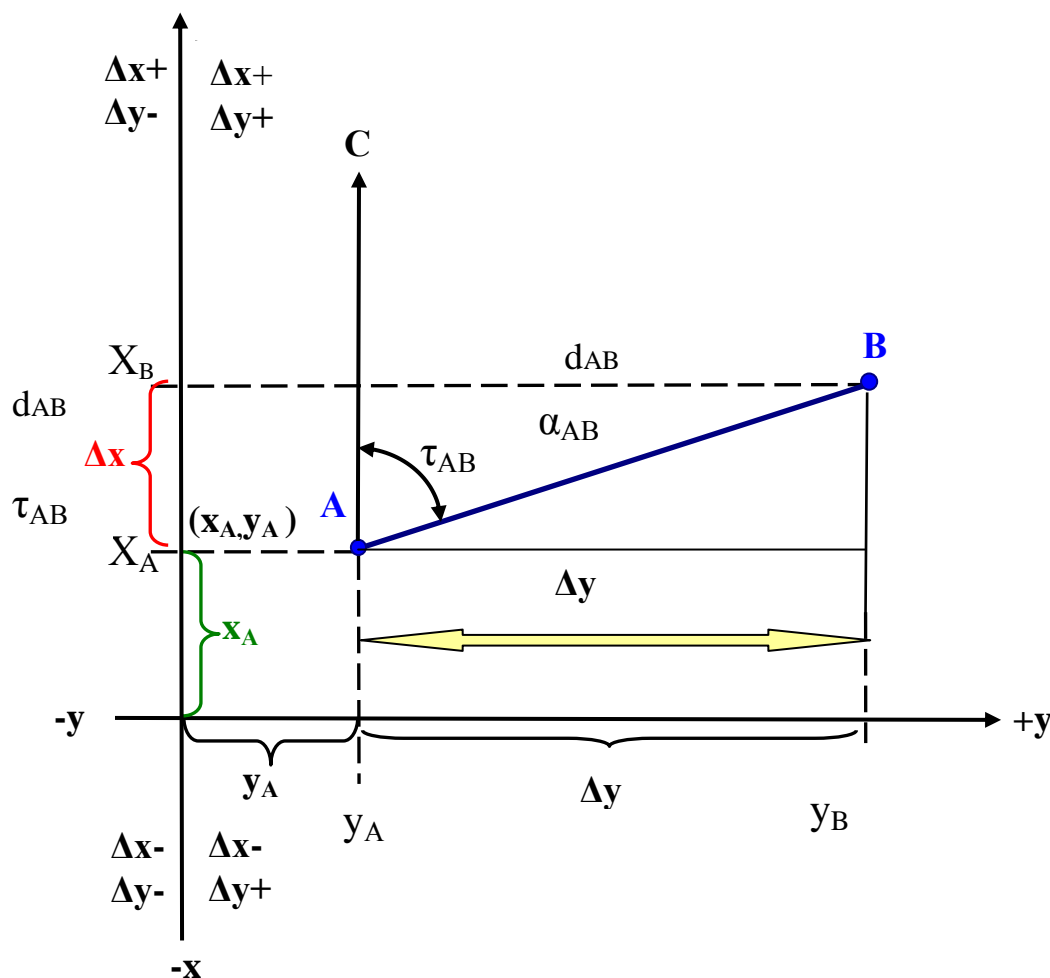


Рис. 65. Определение координат и дирекционного угла исходного пункта

Координаты всех других пунктов вычисляются путем последовательного решения так называемой **прямой геодезической задачи**.

**Прямая геодезическая задача:** известны координаты начальной точки линии, ее дина и румб; определить координаты конечной точки.

При известных координатах точки А координаты точки В будут:

$$X_B = X_A + \Delta X \quad \text{и} \quad Y_B = Y_A + \Delta Y \quad (62, 63)$$

где  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  - приращения координат, которые определяются по формулам:

$$\Delta X = d_{AB} \cos r \quad \text{и} \quad \Delta Y = d_{AB} \sin r . \quad (64, 65)$$

Знаки приращений - в соответствии с принятым направлением координатных осей (рис. 65).

Вычисление координат пунктов теодолитного хода даётся на практических занятиях.

### **9.5. Составление плана теодолитной съемки**

Работы начинают с нанесения на лист бумаги съемочного обоснования. Для этого с необходимой точностью разбивают сетку координат, вычисляют координаты пунктов теодолитного хода.

От точности построения координатной сетки в первую очередь зависит графическая точность плана. Разбить сетку можно различными способами (при помощи линейки Дробышева, линейки ЛБЛ, штангенциркуля и др.), но при любом способе необходимо, чтобы при контроле построенной сетки квадратов отклонение длин сторон и диагоналей квадратов не превышало 0,2 мм.

Имея на листе бумаги построенную сетку координат и координаты всех пунктов теодолитного хода в ведомости координат, наносят эти пункты на лист бумаги, каждый раз проверяя правильность нанесения. Для этого измеряют расстояние между нанесенными пунктами и сравнивают его с длиной горизонтального проложения, приведенного в ведомости координат. Допустимое расхождение не должно превышать 0,3 мм плана (для  $M 1/1000 = 30\text{см} = 0,3\text{м}$ ).

После построения теодолитного хода по абрисам наносят ситуацию, при этом способ нанесения зависит от применённого способа съемки. Горизонтальные углы откладывают по транспортиру, длины линий - с помощью поперечного масштаба и циркуля-измерителя.

Условные знаки должны точно соответствовать тем условным знакам, которые утверждены для плана данного масштаба.

## **10. ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ**

При решении многих задач необходимо знать абсолютные и относительные отметки точек. Для вычисления абсолютных отметок измеряют превышения по отношению к точке с известной абсолютной высотой. Превышения определяются нивелированием.

### **10.1. Виды нивелирования**

В зависимости от применяемых приборов различают следующие виды нивелирования.

- 1) **Геометрическое нивелирование.** Выполняется нивелиром. Средняя квадратическая погрешность от  $\pm 0,5$  до 50 мм на I км расстояния.
- 2) **Тригонометрическое нивелирование.** Выполняется теодолитом или тахеометром. Превышение вычисляют по формулам тригонометрии после измерения расстояния между точками и угла наклона линии. Если применяется теодолит, то погрешность достигает  $\pm 40$  мм на 100м расстояния.
- 3) **Гидростатическое нивелирование.** Основано на свойстве жидкости находиться на одинаковом уровне в сообщающихся сосудах. Метод имеет высокую точность - средняя квадратическая погрешность от  $\pm 0,2$  до 2 мм при расстояниях между точками до 50 м.
- 4) **Барометрическое нивелирование.** Выполняется барометром анероидом (МД-49-2) или микробаронивелирами (МБНП). Превышение определяется по разности давлений, измеренной одновременно на базовой и съёмочной точках. Точность метода – 0,5-2,0 м на 1 км расстояния.
- 5) **Лазерное нивелирование.** Выполняется лазером ПИЛ-1. Позволяет видеть плоскость, линию, определять превышения с погрешностью  $\pm 10$  мм на расстоянии до 250 м.
- 6) **Механическое нивелирование.** Производится при помощи профилографов, устанавливаемых на велосипедах или автомашинах. Профиль вычерчивается в движении автоматически с погрешностью  $\pm 0,1-0,3$  м на I км расстояния.

Из всех видов нивелирования наиболее часто применяют геометрическое нивелирование, а при \*тахеометрической съёмке рельефа - тригонометрическое нивелирование.

## **10.2. Геометрическое нивелирование. Способы геометрического нивелирования**

Для определения превышения одной точки (**В**) над другой (**А**) устанавливаются на эти точки вертикально рейки (рис. 6б), отсчёты берутся по рейкам **при горизонтальном положении** визирной оси нивелира, превышение вычисляется как разность отсчетов.

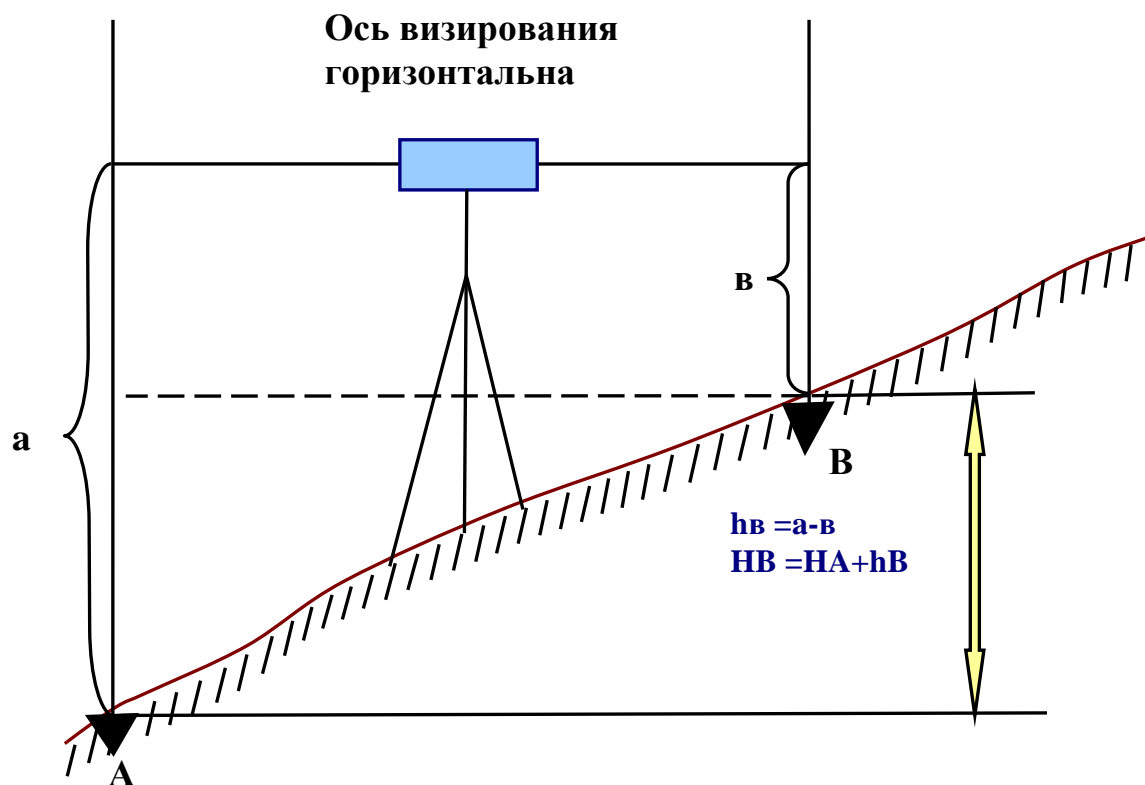


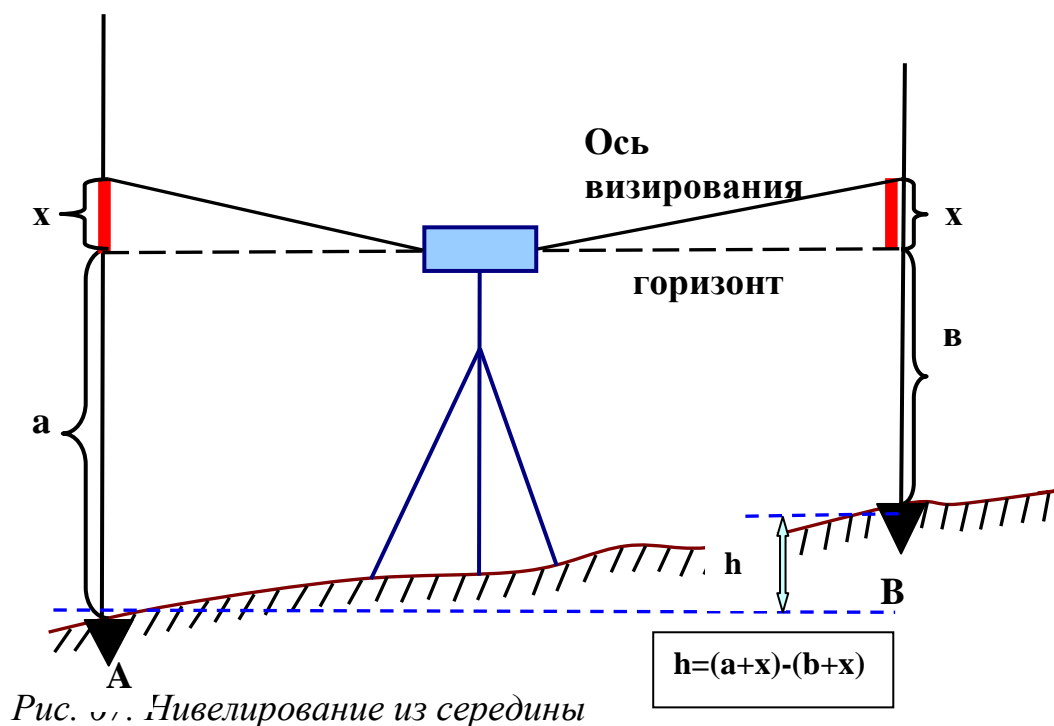
Рис. 66. Геометрическое нивелирование

Различают два способа геометрического нивелирования: нивелирование из середины и нивелирование вперед.

#### 10.2.1. Нивелирование из середины

При нивелировании из середины прибор устанавливают между точками **A** и **B** (рис. 67). Тогда точка **B** называется **передней**, точка **A** - **задней**, отсчет «**в**» - **передним отсчетом**, «**а**» - **задним отсчетом**, рейка в точке **B** – **передней рейкой**, в точке **A** - **задней рейкой**. Превышение будет равно разности отсчетов по задней и передней рейкам.

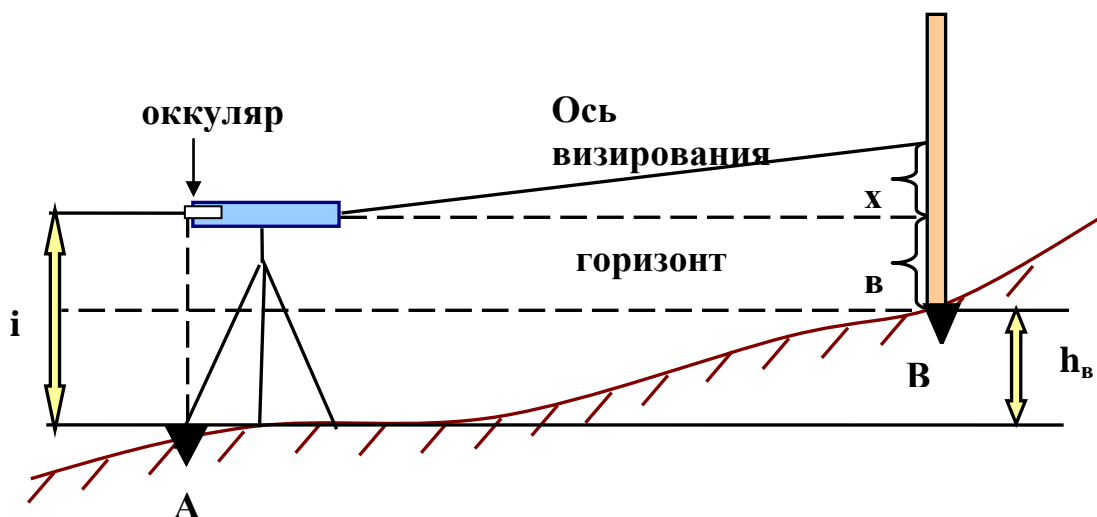
$$h_B = a - b. \quad (66)$$



### 10.2.2. Нивелирование вперед

При нивелировании вперед окуляр прибора должен находиться на одной отвесной линии с точкой А (рис. 68). Измерив высоту прибора  $i$  и взяв отсчет по передней рейке «в» получают превышение:

$$h_B = i - v. \quad (67)$$



При горизонтальности луча визирования  $h_B = i - v$   
 При отклонении луча визирования от горизонта  $h_B = i - (v+x)$



*Рис. 68. Нивелирование вперед*

При известных абсолютной отметке точки **A** ( $H_A$ ) и превышении  $h_B$  отметка точки **B** будет:

$$H_B = H_A + h_B. \quad (68)$$

10.2.3. Преимущества способа нивелирования из середины

В практике применяется главным образом способ нивелирования из середины. Его преимущества по сравнению со способом нивелирования вперед следующие:

1. Исключается возможная погрешность при невыполнении главного условия (параллельность визирной оси и оси уровня).\* Для нивелиров с уровнем при зрительной трубе, отчего ось визирования отклоняется от горизонта. Если нивелир расположен точно посередине между рейками, то изменение обоих отсчетов на величину  $X$  не повлияет на превышения измеренное.
2. Исключается влияние на превышение кривизны Земли.
3. Исключается также влияние рефракции .

Явление рефракции состоит в том, что из-за различной плотности воздуха по высоте визирный луч идет не по прямой, а по некоторой кривой, обращенной вогнутостью к поверхности Земли. Обобщенная схема, отображающая влияние кривизны Земли и рефракции показана на рис. 69. Если нивелир расположен точно посередине между рейками, то  $X_3 = X_4$ , и явление рефракции не повлияет на величину превышения.

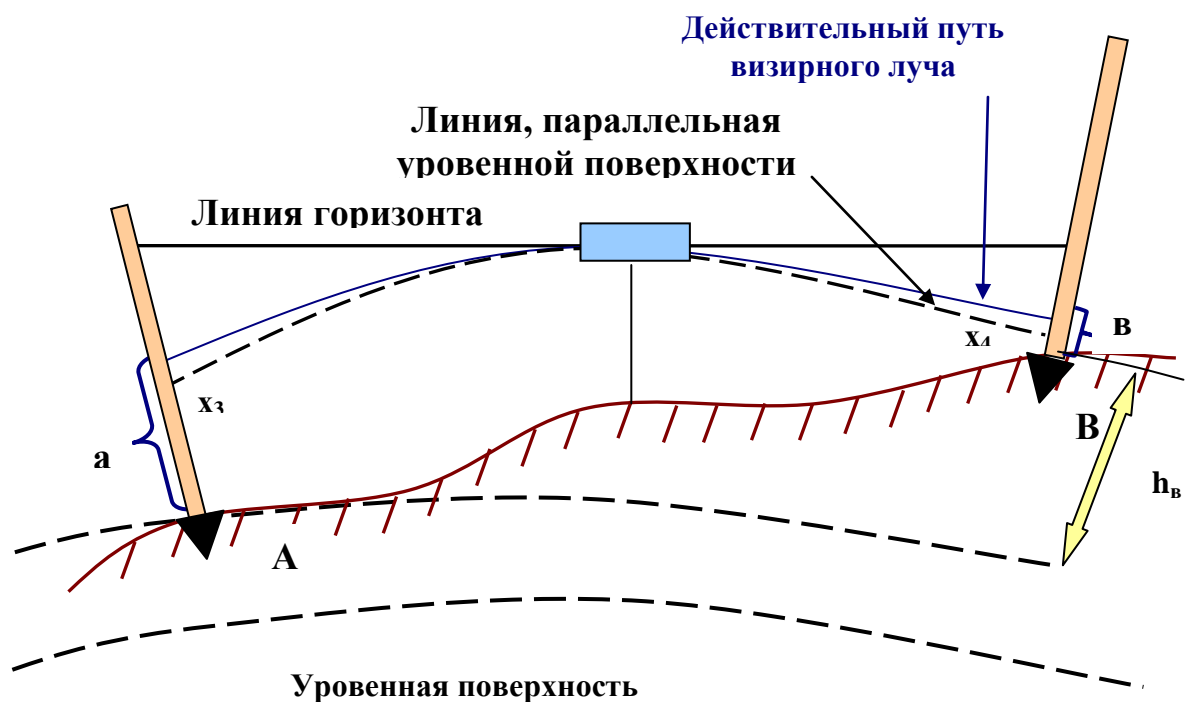


Рис. 69. Влияние кривизны Земли и рефракции на величину превышения

### 10.3. Простое и сложное нивелирование

Различают нивелирование **простое и сложное**. Если превышение между двумя точками получено при одной установке прибора – нивелирование простое, если прибор устанавливался несколько раз – сложное (рис. 70). На рисунке - I, II, III - станции, точки 1 и 2 - общие для двух смежных станций - называются **связующими**.

Связующие точки во всех случаях нивелируются с контролем, т.к. ошибка, допущенная при их нивелировании, передается на все последующие точки.

Если при сложном нивелировании определяется превышение, а затем отметка точки **B**, то

$$h_B = \sum_i^n h = \sum_i^n a - \sum_i^n v, \quad (69)$$

т.е. превышение конечной точки над начальной равно алгебраической сумме превышений на данном участке, которая в свою очередь равна сумме задних отсчетов минус сумма отсчетов передних.

Отметка точки **B** будет:

$$H_B = H_A + \sum_i^n h / \quad (70)$$

Итак, при геометрическом нивелировании для определения превышений используются нивелиры и нивелирные рейки.

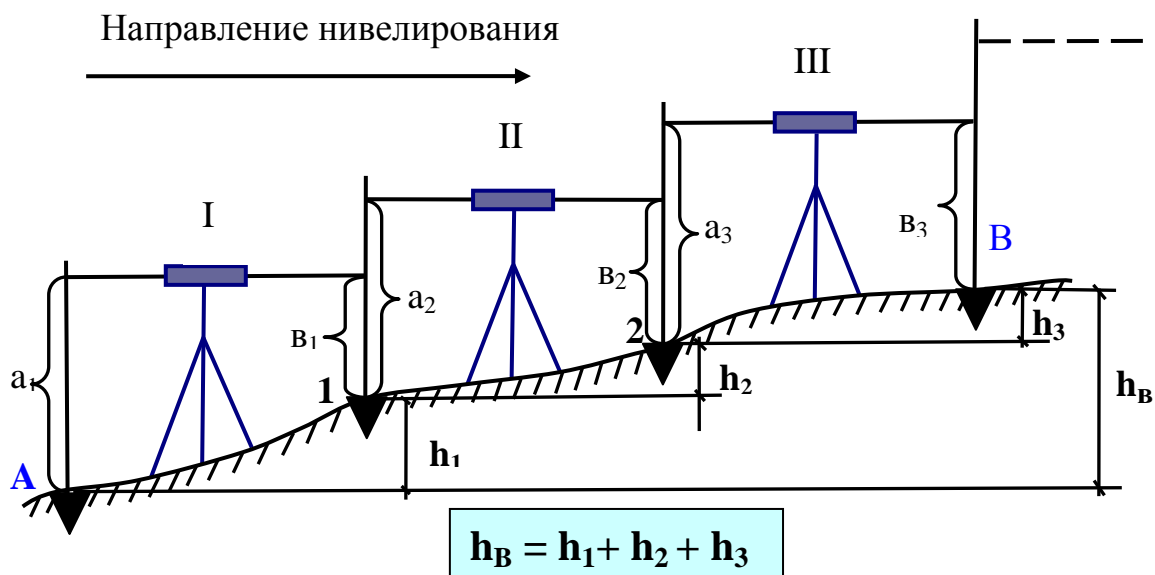


Рис.70. Сложное нивелирование

## 10.4. Нивелиры

**Нивелиром** называется прибор, работающий строго горизонтальным лучом визирования.

Установить визирную ось в горизонтальное положение можно **двумя способами**.

1. С помощью цилиндрического уровня при зрительной трубе (если выполнено главное условие - визирная ось и ось уровня параллельны).

2. С помощью компенсатора, который обеспечивает автоматическую установку визирной оси в горизонтальное положение.

### 10.4.1. Конструктивные особенности нивелиров

- a. В соответствии с двумя способами установки визирной оси в горизонтальное положение нивелиры делят на две группы: **нивелиры с цилиндрическим уровнем и нивелиры самоустанавливающиеся (с компенсатором)**.
- b. Наличие горизонтального круга (лимба) у некоторых нивелиров.
- c. При аналогичных конструктивных решениях нивелиры делятся по точности: **высокоточные** (для нивелирования I и 2 классов), **точные**

(для нивелирования 3 и 4 классов) и **технические**.

В соответствии с двойной классификацией (по конструктивным особенностям и по точности) приняты следующие обозначения нивелиров (точных и технических): Н-3; Н-10Л; Н-3К; Н-10КЛ.

В последнем ГОСТе цифры (3, 10) - значение средней квадратической погрешности на I км двойного хода; буква Л - лимб; К - компенсатор. Следовательно, первые два нивелира - с цилиндрическим уровнем, вторые - самоустанавливающиеся.

#### 10.4.2. Поверки нивелиров (Н-3)

Поверки нивелиров с цилиндрическим уровнем. Основные части нивелиров с цилиндрическим уровнем следующие: зрительная труба, цилиндрический уровень,\*при трубе круглый уровень, на подставке.

***Поверка 1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.***

Поверка и юстировка производятся так же, как цилиндрического уровня при горизонтальном круге теодолита.

***Поверка 2. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.***

Устанавливают ось вращения нивелира в отвесное положение по круглому уровню, визируют на рейку, находящуюся в 20-30 м от прибора, производят отсчеты по краям горизонтальной нити. Для этого плавно перемещают зрительную трубу наводящим винтом. Условие считают выполненным, если отсчеты отличаются не более чем на 2 мм.

Если условие не соблюдено, то поворачивают сетку нитей. Юстировку рекомендуется осуществлять в мастерской, т.к. доступ к винтам окулярной части затруднен.

***Поверка 3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы (главное условие).***

Поверку можно произвести различными способами. Один из них заключается в том, что на местности на расстоянии примерно 50 м забивают колышки в точках 1 и 2 (рис. 71) и определяют превышение точки 2 – ( $h_2$ ) - дважды.

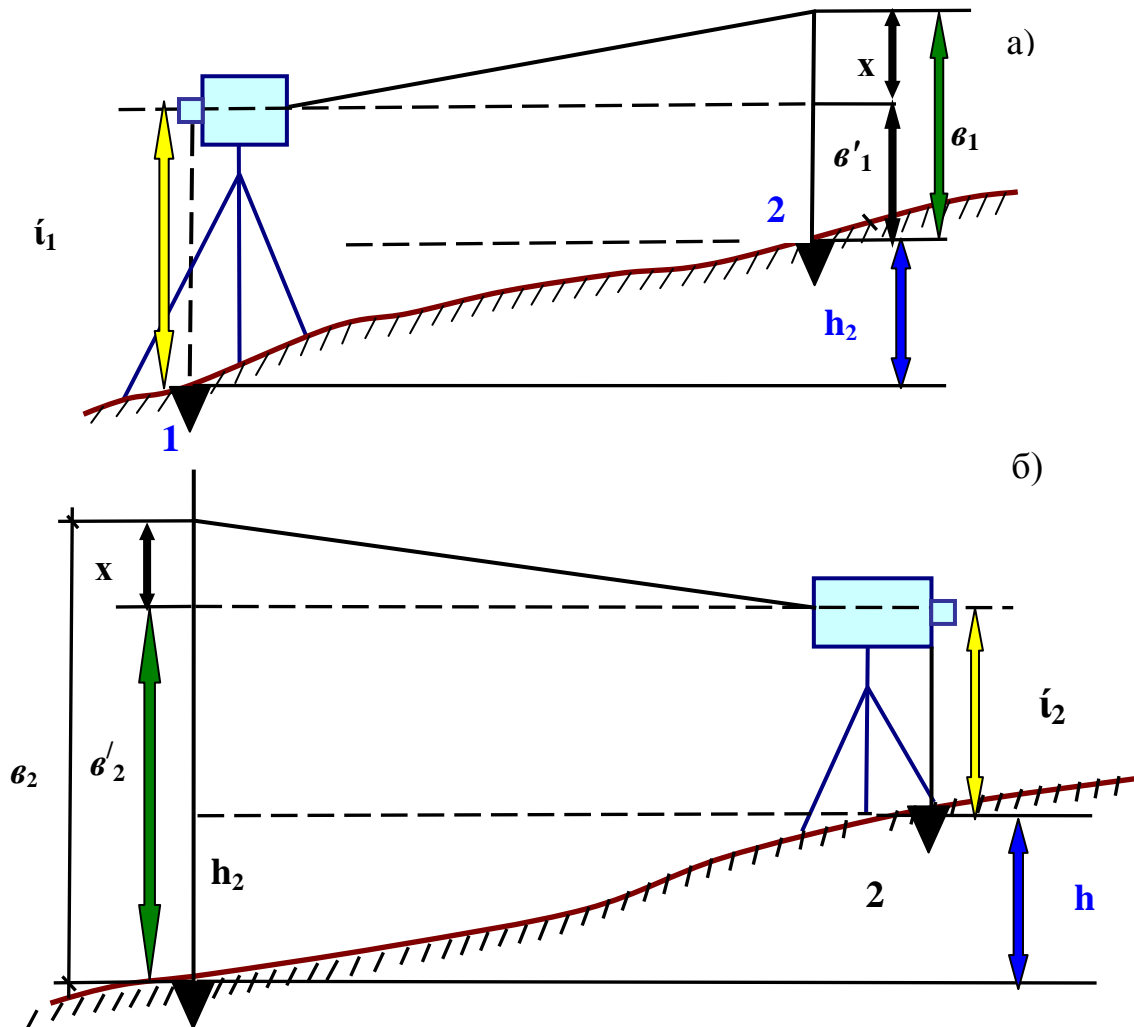


Рис. 71. Проверка визирной оси зрительной трубы

Первый раз нивелир устанавливают в точке 1, в точке 2 - рейку. Если главное условие не выполняется, т.е. визирная ось не параллельна оси цилиндрического уровня, то вместо правильного отсчёта по рейке  $v'_1$  будет отсчет  $v_1$ , содержащий некоторую погрешность  $x$ . Действительное превышение будет

$$h_2 = [i - v'_1 = i_1 - (v_1 - x)], \quad (71)$$

затем нивелир и рейку меняют местами, и тогда

$$h_2 = v'_2 - i_2 = v_2 - x - i_2, \quad (72)$$

следовательно

$$i_1 - (v_1 - x) = (v_2 - x) - i_2, \quad (73)$$

откуда

$$x = \frac{v_1 + v_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (74)$$

Юстировку можно не проводить, если:

- для нивелира Н-3 вычисленное значение  $x \leq \pm 4$  мм;
- для нивелира Н-10Л вычисленное значение  $x \leq \pm 10$  мм;

Если погрешность  $x$  больше приведенных величин, то необходимо устранить погрешность, действуя исправительными винтами цилиндрического уровня.

Поверки нивелиров с компенсатором. У нивелиров с компенсаторами (т.е. у самоустанавливающихся) визирная ось приводится в горизонтальное положение автоматически после предварительного горизонтирования прибора по круглому уровню. Поверки таких нивелиров следующие.

***Поверка 1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.***

Поверка выполняется так же как для нивелиров с цилиндрическим уровнем.

***Поверка 2. Компенсатор должен быть исправен.***

Приводят нивелир в рабочее положение, по направлению одного из подъемных винтов устанавливают рейку, берут отсчет. Затем вращением подъемного винта наклоняют трубу на одно деление круглого уровня вверх, берут отсчет, то же самое при наклоне вниз. Если отсчеты отличаются один от другого не более чем на 2 мм - юстировка не требуется, в противном случае неисправность компенсатора устраняется в мастерской.

***Поверка 3. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.***

Поверку выполняют так же, как для нивелиров с цилиндрическим уровнем.

***Поверка 4. Ось визирования должна быть горизонтальна (главное условие).***

Упрощенный способ поверки главного условия заключается в том, что берутся отсчеты по рейкам при установке нивелира посередине между рейками и в 4-5 м от одной из них. Если разность в полученных значениях превышений не превосходит допустимых величин ( $\pm 4$  мм

или  $\pm 10$  мм), то главное условие соблюдено. В необходимом случае исправление производят в мастерской.

#### 10.4.3. Точность измерения превышений при геометрическом нивелировании

Точность измерения превышений при геометрическом нивелировании зависит от: **точности нивелира, точности установки нивелира, точности установки реек, точности взятия отсчетов по рейкам.**

Практические рекомендации для достижения необходимой точности следующие.

1) Нарушение главного условия происходит в основном под влиянием изменения температуры нивелира, поэтому, он, как правило, должен находиться под зонтом.

2) Для уменьшения погрешностей из-за неравенства расстояний от нивелира до реек эти расстояния измеряют нитяным дальномером или шагами.

3) На мягком грунте рейки устанавливают на металлические башмаки, костыли или деревянные кольца. Для уменьшения влияния наклона рейки снабжают уровнями. При отсутствии уровней рекомендуется рейку покачивать по направлению луча визирования фиксируя наименьший отсчет.

Требуемая точность характеризуется допустимой невязкой

$$\Delta h_{дон} = K \sqrt{l} \text{ (мм)}, \quad (75)$$

где  $l$  - длина хода (км), значение  $K$  для различных классов нивелирования:  $K_{II} = 5 \text{ мм}$ ;  $K_{III} = 10 \text{ мм}$ ;  $K_{IV} = 20 \text{ мм}$ ;  $K_{техн} = 50 \text{ мм}$ .

## 11. ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Техническим называется геометрическое нивелирование с точностью 50 мм на I км хода. Применяется при топографических съемках, при нивелировании трасс линейных сооружений для составления профилей, при строительстве зданий и сооружений.

Для составления продольных и поперечных профилей трассы проводятся два вида работ: разбивка трассы и ее нивелирование. Рассмотрим методику работ применительно к трассе автомобильной дороги.

### 11.1. Разбивка трассы

После проработки вариантов производится разбивка трассы на местности. Содержание работ при разбивке трассы следующее.

1. Закрепляют на местности пикеты через 100 м;
2. Закрепляют на местности кольями или столбами точки поворота трассы;
3. Измеряют теодолитом углы поворота трассы, которые образуются продолжением предыдущего направления трассы и ее новым направлением (рис. 72). Горизонтальные углы " $\beta$ " измеряют теодолитом полным приемом, вычисляют углы поворота трассы " $\alpha$ ", которые получают наименования правых ( $\alpha_n$ ) или левых ( $\alpha_l$ ).
4. Производят привязку начала и конца трассы к ближайшим пунктам (реперам) государственной высотной сети.
5. Вычисляют элементы кривых.

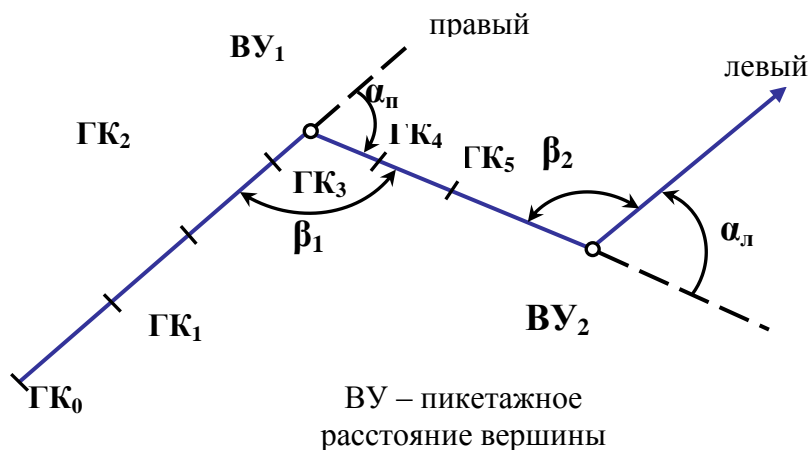


Рис. 72. Углы поворота трассы

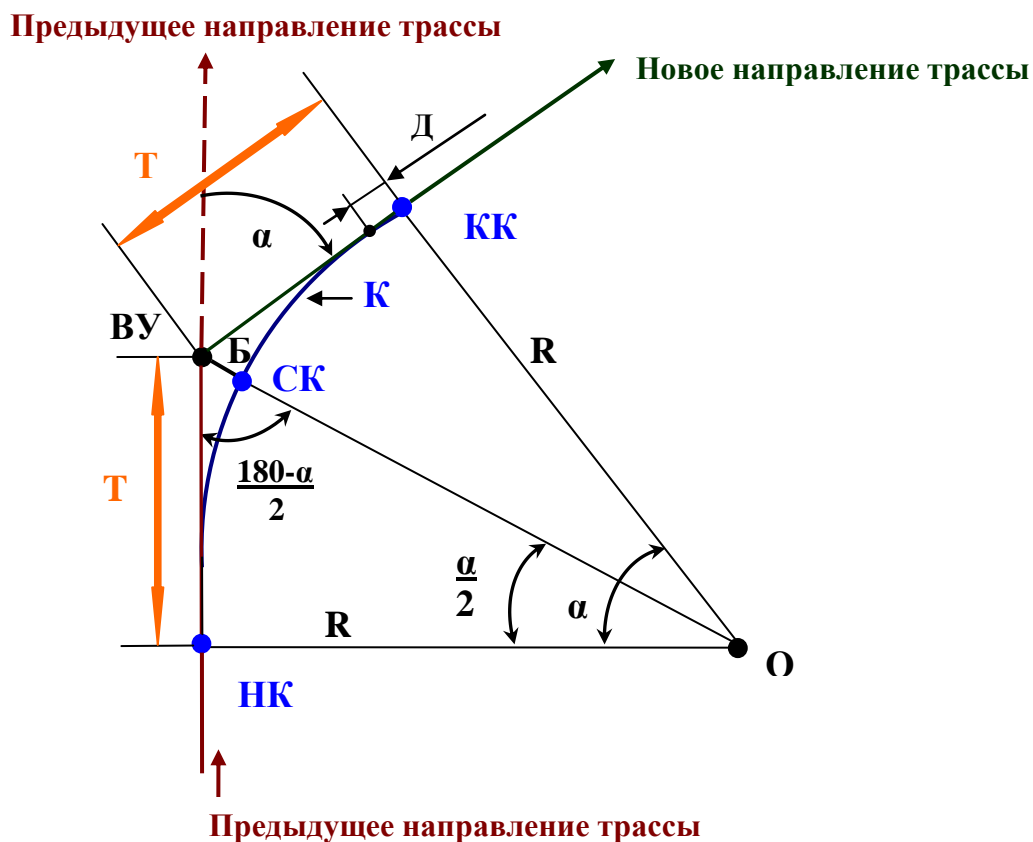
Закругления трассы проектируются по кривым различного вида, в простейшем случае - по круговым кривым (рис. 73). Элементами круговой кривой являются: два тангенса (Т), кривая (К), биссектриса (Б) и домер (Д).

Необходимость учета величины домера определяется следующим.

На участке закругления трасса пройдет по кривой, счёт пикетажа тоже по кривой, а измерения при разбивке трассы производятся по тангенсам! Следовательно, во всех необходимых случаях следует учитывать разность в длинах двух тангенсов и кривой, которая определяется домером ( $D=2T-K$ ). Для этого уменьшают пикетажное расстояние вершины угла на величину



домера  $D$ :  $BУ' = BУ - D$  и от новой  $BУ'$  продолжают разбивку пикетажа.



- К- кривая
- Т- тангенс(касательные в начале кривой (НК) и в конце кривой (КК))
- СК-середина кривой
- Б-биссектриса
- Д-домер
- R-радиус кривой

Рис.73. Проектирование трассы по круговым кривым

При известном значении угла поворота  $\alpha$  и нормативном значении радиуса круговой кривой  $R$  элементы кривой определяются по расчетным формулам:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; K = \frac{\pi R \alpha}{180^\circ}; B = R \left( \operatorname{Sec} \frac{\alpha}{2} - 1 \right). \quad (76)$$

Обычно элементы кривой берут из специальных таблиц или рассчитываются по формулам.

**6. Разбивка пикетажа по трассе, определение пикетных обозначений главных точек кривой.**

Термин «пикет» обозначает 100-метровый участок, а также конечные точки такого участка (рис. 74).

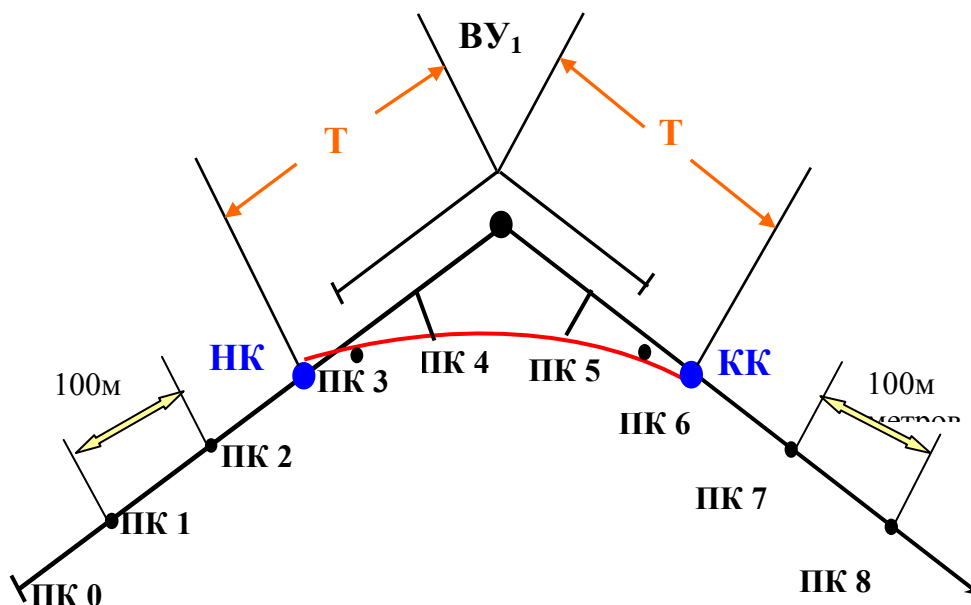


Рис. 74. Пикеты

Последовательно укладывая ленту от начала трассы по направлению ПК 0-ВУ<sub>1</sub> концы стометровых участков закрепляют точкой и сторожком (рис. 75). Когда проходят закругление, то учитывают домер, смещая ленту вперед на величину домера. Пикеты с тангенсов выносят на кривую способом прямоугольных координат, беря координаты из таблиц для детальной разбивки кривых.

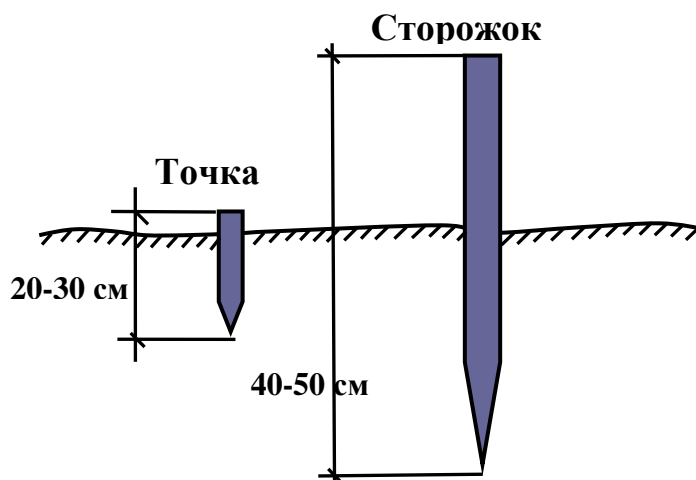


Рис. 75. Закрепление концов стометровых участков

На участке закругления закрепляют главные точки кривой, определяют их пикетажные обозначения.

Главных точек круговой кривой три: начало кривой (НК), середина кривой (СК), конец кривой (КК). Если известно пикетажное обозначение вершины угла (например, ПК = 7 + 00 м), то при известных элементах кривой пикетажные обозначения будут

$$\text{ПК}_{\text{НК}} = \text{ПК}_{\text{ВУ}} - T; \quad \text{ПК}_{\text{КК}} = \text{ПК}_{\text{ВУ}} + T; \quad \text{ПК}_{\text{СК}} = \text{ПК}_{\text{ВУ}} + \frac{K}{2}. \quad (77)$$

Контроль (по второй схеме):

$$\text{ПК}_{\text{КК}} = \text{ПК}_{\text{ВУ}} + T - D. \quad (78)$$

Главные точки закрепляются на местности.

При разбивке пикетажа, кроме **пикетных точек** фиксируются **плюсовые точки**. Необходимость в плюсовых точках определяется двумя условиями. Во-первых, на продольном профиле физическую поверхность земли необходимо отобразить достаточно детально и потому фиксируются характерные точки рельефа, где уклон изменяется по величине или направлению (рис. 76, рис. 77). Во-вторых, при последующем проектировании сооружения существенное значение могут иметь объекты, пересекающие трассу (реки, дороги, трубопроводы и т.д.). Они также фиксируются плюсовыми точками.

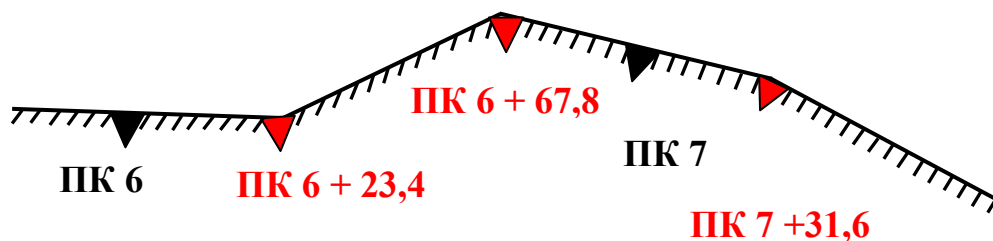
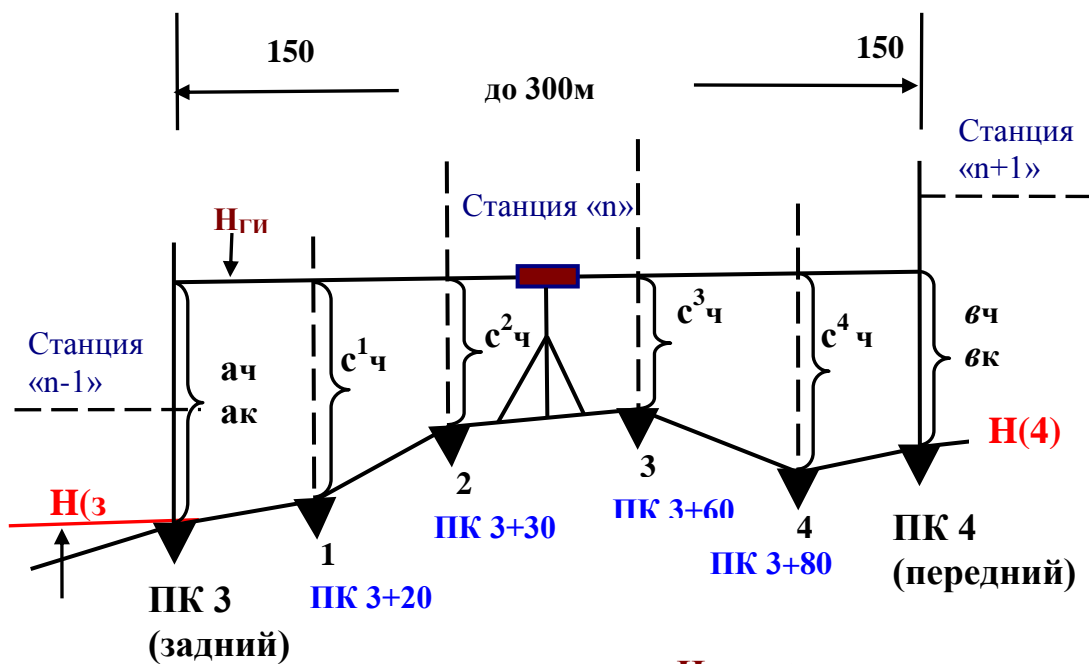


Рис. 76. Плюсовые точки



а<sub>ч</sub>, а<sub>к</sub> - отсчеты по черной и красной сторонам рейки на пикетах  
 с<sup>1</sup><sub>ч</sub> – отсчет по черной стороне рейки на плюсовых точках

**H<sub>ГИ</sub>** - абсолютная высота горизонта инструмента

$$H_{ГИ} = H(3) + a_{ч} \quad H_{ГИ} = H(4) + b_{ч}$$

**абсолютная высота плюсовых точек**

$$H(+1) = H_{ГИ} - c^1_{ч}$$

$$H(+2) = H_{ГИ} - c^2_{ч} \text{ и т.д.}$$

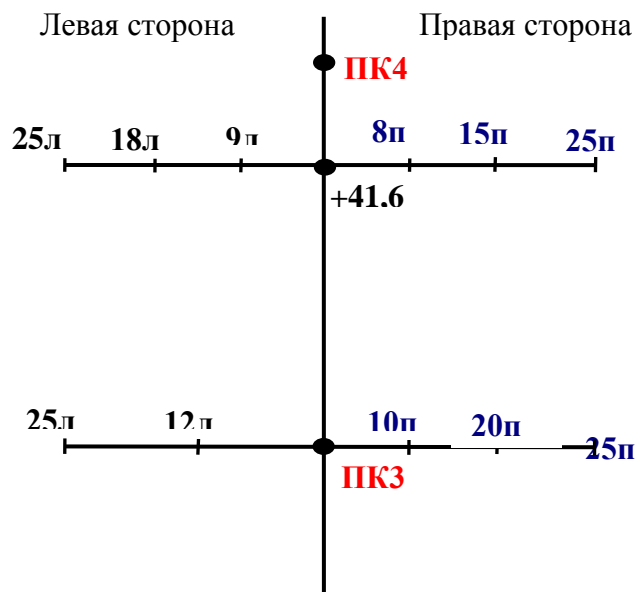
Рис. 77. Разбивка пикетажа с учетом характерных точек рельефа

7. Одновременно с разбивкой пикета выполняют контурную съемку трассы влево и вправо от оси трассы на 20-50 м. - способом прямоугольных координат.

8. На тех участках, где уклон местности следует учитывать при проектировании поперечного профиля сооружения, разбиваются поперечники\* положение которых фиксируется расстоянием от заднего пикета (рис. 78). На поперечниках нивелируются характерные точки излома рельефа, в их обозначении указывается местоположение точки (справа, слева) и расстояние от оси трассы.

9. Все данные по разбивке трассы заносят в абрис (пикетажный журнал, пикетажная книжка) - рис. 79. Обычный масштаб абриса 1/2000, на нем трассу обозначают посередине листа в виде прямой линии. В абрисе показывают пикетные и плюсовые точки,

углы поворота, начало и конец кривых, ситуацию.



*Рис. 78. Поперечники при проектировании поперечного профиля сооружения*

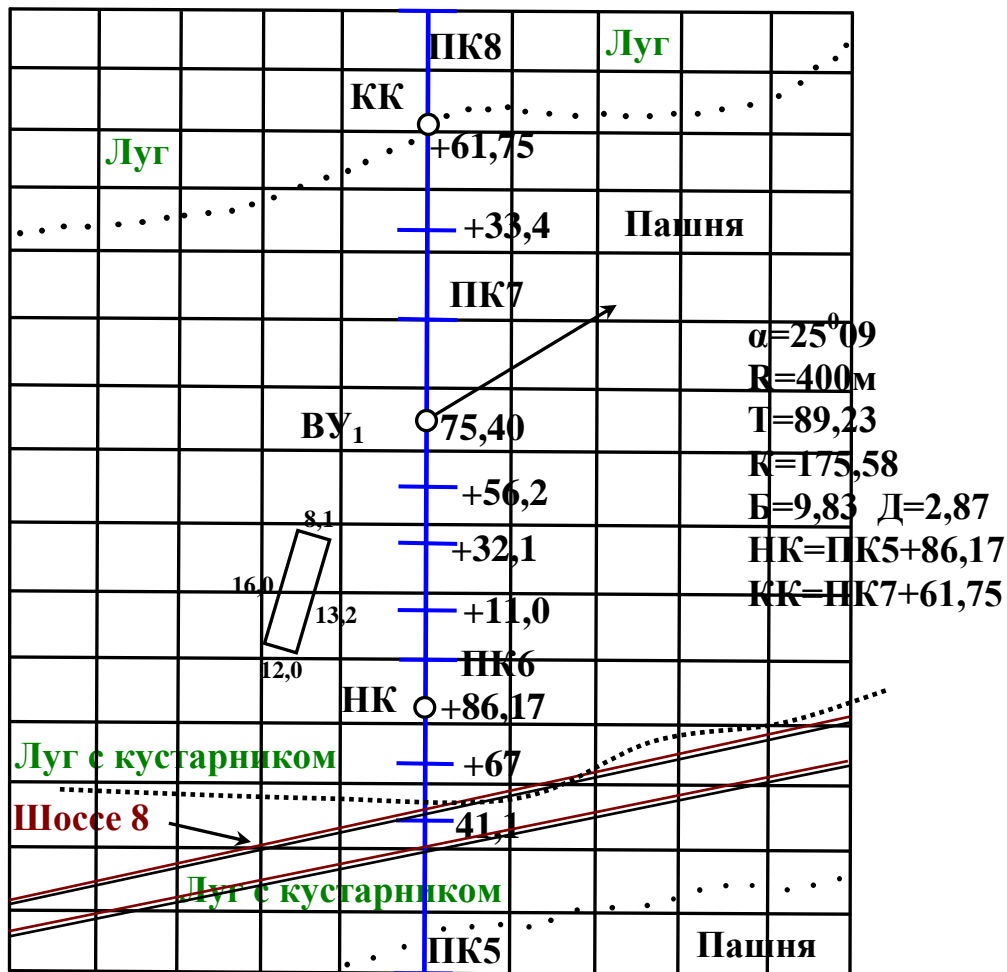


Рис. 79. Абрис

## 11.2. Нивелирование трассы

Нивелирование трассы начинают от репера государственной нивелирной сети или от начального репера трассы, которому придают условную отметку.

При благоприятных условиях расстояние от нивелира до **связующих точек** можно принимать до 150 м, т.е. с одной станции пронивелировать все пикетные и плюсовые точки, расположенные на участке трассы протяженностью порядка 300 м (рис.77). На таком участке кроме точек связующих появляются **плюсовые точки** (точки 1, 2, 3, 4,). Для точек связующих обязателен контроль превышения, плюсовые точки нивелируются без такого контроля (взятием на них одного отсчета по черной стороне рейки).

**Последовательность взятия отсчетов** при работе с двусторонними рейками следующая:

1. отсчет по черной стороне **задней** рейки;

2. отсчет по черной стороне **передней** рейки;
3. отсчет по красной стороне **передней** рейки;
4. отсчет по красной стороне **задней** рейки.

Далее вычисляются оба превышения, их расхождение не должно быть более  $\pm 5$  мм. После такого контроля берут отсчеты по рейкам промежуточных точек только по черным сторонам.

Абсолютные высоты плюсовых точек удобно вычислять через абсолютную высоту горизонта прибора (рис. 1.80). Эта отметка ( $H_{ГП}$ ) при известной отметке задней связующей точки ( $H_3$ ) будет:

$$H_{ГП} = H_{(3)} + a_4 \quad (79)$$

где  $a_4$  - отсчет по черной стороне задней рейки.

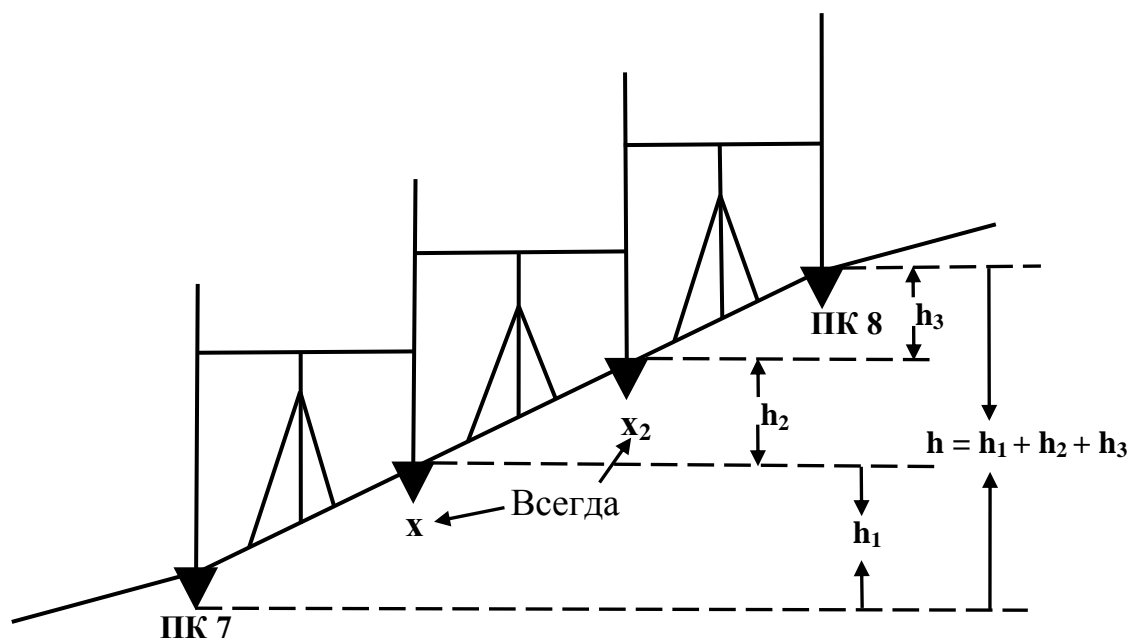
Отметки плюсовых точек будут:

$$H_{(1)} = H_{ГП} - C_4^1; H_{(2)} = H_{ГП} - C_4^2 \text{ и т.д.} \quad (80)$$

где  $C_4^1; C_4^2$  - отсчеты по черной стороне рейки на плюсовых точках.

Нивелирование поперечников осуществляют попутно с нивелированием трассы, при этом точки поперечников нивелируются как плюсовые точки.

На участках трассы с большими уклонами, когда нивелирование двух соседних пикетов с одной станции оказывается невозможным вследствие ограниченной длины реек, получают на местности необходимое количество дополнительных точек, которые называются иксовыми (рис. 80, X-точки). Они являются связующими точками и нивелируются так же, как и пикетажные, по двум сторонам рейки.



*Рис. 80. Иксовые точки*

Итак, при техническом нивелировании трасс имеют место пять различных по назначению точек.

При разбивке трассы:

- **пикетные**, ограничивающие 100-метровые участки;
- **плюсовые** в характерных точках излома рельефа трассы между пикетами и на всех пересечениях оси трассы с наземными и подземными объектами.

При нивелировании трассы:

- **связующие**, служащие для передачи абсолютных отметок (пикеты);
- **промежуточные**, между связующими в пределах станции (плюсовые);
- **иксовые** (в необходимых случаях), которые всегда являются связующими.

Все данные нивелирования заносят в журнал технического нивелирования (табл. 8).

Для исключения ошибок при вычислениях каждая страница журнала заканчивается постраничным контролем: сумма задних отсчетов (графа 3) минус сумма передних отсчетов (графа 4) должна равняться сумме вычисленных превышений и удвоенной сумме превышений средних (здесь возможно отклонение, т.к. средние превышения вычисляются с округлением до I мм).

$$\sum a - \sum b = \sum h = 2 \sum h_{CP}. \quad (81)$$



## Журнал технического нивелирования

№ станции	Нивелирная ременная точка	Отсчёты по сторонам рейки			Превышения		Средние превышения		Отметка горизонта прибора	Отметки		Примечание
		чёрной и красной		чёрной	+	-	+	-		вычисленные	исправленные	
		задние	передние									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1 2	1 3

Постраничный контроль возможен только в том случае, когда на странице записаны отсчеты целого числа станций. Следовательно, при ведении журнала нельзя переносить часть записи отсчетов для конкретной станции с одной страницы на другую.

***Контроль при нивелировании трассы осуществляется следующими способами.***

1. Нивелирование в два нивелира: первый нивелирует связующие и промежуточные точки, второй - только связующие.
2. Нивелирование по сомкнутому ходу, теоретическая сумма превышений в котором должна равняться нулю.
3. Нивелирование двойным ходом, в прямом и обратном направлениях.
4. Нивелирование между реперами или марками, отметки которых известны.

## 12. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

### 12.1. Тахеометрическая съемка

Тахеометрия означает скороизмерение (быстрая съемка). Эта съемка обеспечивает получение топографического плана в короткие

сроки с точностью, которая оказывается достаточной при решении многих геологических и инженерно-строительных задач.

Быстрота съёмки обеспечивается тем, что все измерения производятся одним прибором – тахеометром, в результате одного визирования получают все необходимые данные для определения планового положения точки и ее высотной отметки. (рис. 81а)

#### 12.1.1. Приборы, применяемые при тахеометрической съёмке

В основном используют тахеометры, реже теодолиты.

Виды тахеометров:

- тахеометр электрооптический ТЭ;
- тахеометр с авторедукционным дальномером двойного изображения – ТД;
- тахеометр номограмный – ТН;
- тахеометр внутрибазовый – ТВ.

Наиболее удобным является ТЭ с автоматической регистрацией угловых и линейных измерений на табло в цифрах и на магнитном носителе в коде. Им можно измерять расстояния до 2-х км с точностью 2 см на 100 м, а горизонтальные и вертикальные углы измеряются со среднеквадратичными погрешностями в 3" и 5". Соответственно информация с носителя вводится в ЭВМ и автоматически строится топографический план.

#### 12.1.2. Общая характеристика тахеометрической съёмки

Этапы производства работ те же, что и при теодолитной съёмке.

При тахеометрической съёмке планово-высотное обоснование создается прокладкой **тахеометрических ходов**, которые в сравнении с ходами теодолитными **имеют два основных отличия**:

1. измерения производятся не только для определения координат, но и для определения высотных отметок точек хода;
2. допустимая длина стороны тахеометрического хода между точками съёмочной сети известными меньше допустимой длины теодолитного хода.

При тахеометрической съёмке **расстояния определяют по нитяному дальномеру**. В сравнении с измерениями лентой здесь скорость измерения выше, точность – ниже. Однако современные тахеометры (например тахеометр электрооптический ТЭ) обеспечивают высокую точность.



### Примечания.

Если необходимо учесть кривизну Земли и рефракцию, то вводят поправку

$$f = 0,42 \frac{d^2}{R}, \quad (84)$$

и тогда расчетная формула примет вид

$$h = h' + i - l + f. \quad (85)$$

Горизонтальное проложение  $d$  определяют при углах наклона  $\nu \geq 3^\circ$ , при меньших углах наклона принимают  $d = D$ .

#### 12.1.3. Создание съёмочного обоснования

Съёмочное обоснование создаётся прокладкой тахеометрических ходов, при этом горизонтальные углы измеряются полным приемом, расстояния между точками хода - по нитяному дальномеру в прямом и обратном направлениях, расхождение в измеренных расстояниях не должно превосходить 1/400.

Превышения точек хода определяются тригонометрическим нивелированием, углы наклона измеряют при двух положениях вертикального круга в прямом и обратном направлениях. Расхождения при двойных измерениях горизонтальных углов и углов наклона линии не должны превосходить 2 т.

В необходимых случаях точность тахеометрической съёмки повышают за счет повышения точности измерений съёмочного обоснования. Плановое положение точности получают при измерении расстояний между точками хода лентой, а превышения определяют геометрическим нивелированием. При этом допустимая высотная невязка рассчитывается по формуле

$$\Delta h_{\text{дон}} = \pm 100 \sqrt{\ell} \text{ мм}. \quad (86)$$

Такой ход называют теодолитно-высотным.

#### 12.1.4. Съёмка контуров и рельефа

Съёмку контуров и рельефа местности производят со станций полярным способом, для чего теодолит (тахеометр) центрируют, горизонтируют и ориентируют. Ориентирование заключается в том, что ноль лимба располагают по направлению на заднюю или переднюю точку хода, т.е. выбирают соответствующее направление полярной оси. Затем составляется абрис по которому в выбранных **характерных** в отношении ситуации (рис. 82 а) и рельефа (рис. 82 б) точках последовательно устанавливают рейку – такие точки (1, 2...5, 6) называются **речными**. Расстояние от теодолита до

речной точки и расстояния между речными точками ограничены инструкцией и зависят от масштаба съемки, высоты сечения рельефа, характера контуров. Во всех возможных случаях речные точки рельефа и ситуации совмещают. Для последующего нанесения на план точек ситуации и рельефа измеряют полярный угол, дальномерное расстояние и вертикальный угол.

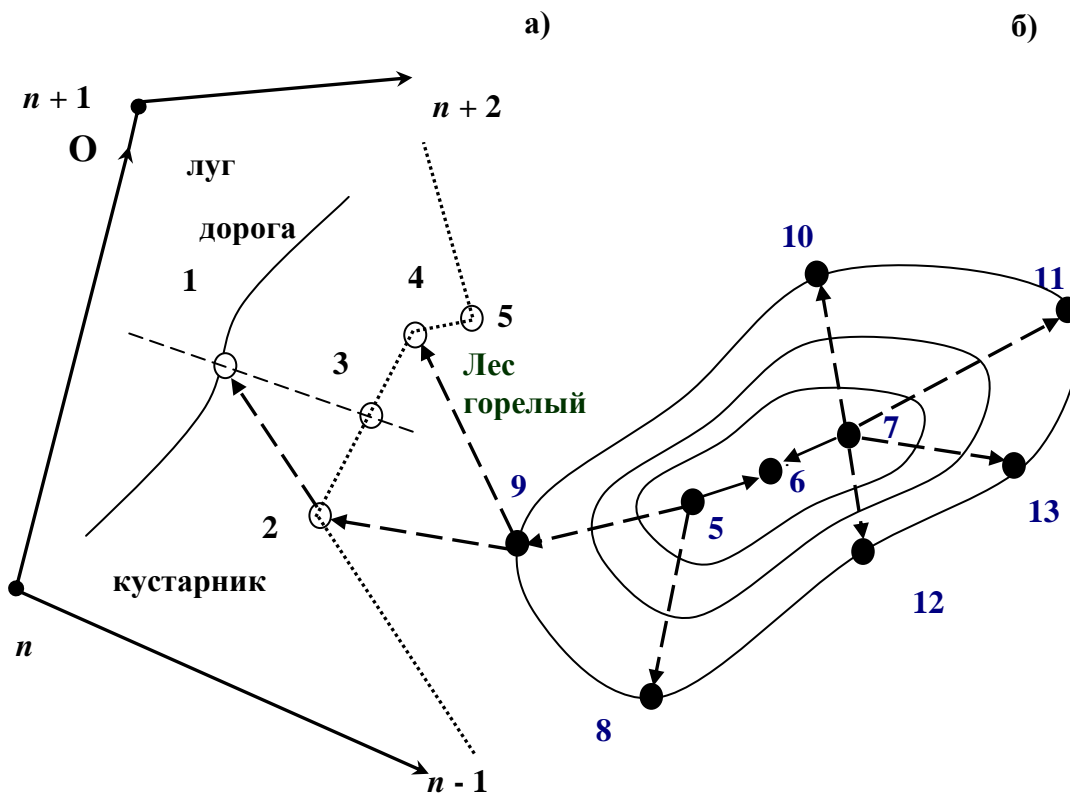


Рис. 82. Речные точки

#### 12.1.5. Общий порядок наблюдений на станции при прокладке тахеометрического хода

1. Устанавливают прибор над точкой, центруют и горизонтируют его.
2. Измеряют высоту прибора ( $i$ ) с точностью до  $\pm 1$  мм и отмечают на двух рейках.
3. Визируют на высоту задней рейки, измеряют расстояние по дальномеру, берут отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам, фиксируют высоту вехи ( $l$ ), если визируют не на отметку  $i$ .
4. Визируют на рейку передней точки хода, производят такие

же измерения.

5. Переводят трубу через зенит, визируют на переднюю точку, производят измерения.

6. Визируют на заднюю точку и повторяют измерения.

7. Данные измерений заносят в журнал тахеометрической съёмки, результаты измерений обрабатывают сразу же. Если погрешности в расстояниях, горизонтальных углах и углах наклона допустимы, рассчитывают средние значения, записывают в журнал и переходят на следующую точку хода или приступить к съёмке.

#### 12.1.6. Общий порядок наблюдений на станции при проведении съёмки

1. Прибор на станции центрируют, горизонтируют и ориентируют.

2. Измеряют высоту прибора и отмечают ее на обеих рейках.

3. Составляют абрис местности, где намечают все речные точки (плановые и высотные), наносят станцию, линию ориентирования, контуры местных объектов, характерные линии рельефа и соединяют стрелками точки, между которыми необходимо производить интерполяцию при построении горизонталей (рис. 82).

4. При одном положении вертикального круга (при КЛ) визируют на  $i$  рейки, измеряют расстояние, берут отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам.

5. Данные измерений заносят в журнал тахеометрической съёмки.

Закончив измерения по всем речным точкам на станции, проверяют ориентирование прибора.

#### 12.1.7. Камеральные работы при тахеометрической съёмке

Для построения плана по материалам тахеометрической съёмки обрабатывается ведомость вычисления координат так же, как и для теодолитной съёмки.

Невязка в приращениях координат считается допустимой, если

$$\frac{f d}{P} \leq \frac{1}{400 \sqrt{n}}, \quad (87)$$

где  $n$  – число линий в ходе.

Определение превышений и затем абсолютных отметок точек тахеометрического хода производится в журнале. Допустимая высотная невязка хода вычисляется по зависимости:

$$\Delta h_{\text{дон}} \leq \pm \frac{0,04P}{100 \sqrt{n}}. \quad (88)$$

Поправки в превышения вводят пропорционально длинам сторон хода. После вычисления отметок точек хода вычисляют отметки речных точек непосредственно в журнале тахеометрической съемки.

План составляют так же, как при теодолитной съемке. Около каждой речной точки пишут ее номер и абсолютную отметку. Затем **строят горизонтали и наносят ситуацию.**

После составления плана производят его проверку в поле.

Расхождения в расстояниях и отметках контрольных речных точек и точек плана не должны превышать допусков, указанных в табл. 9.

Таблица 9

### Допуски в расхождениях измерений

Масштаб	Высота сечения рельефа $h_{зоп}$ , м	Расхождение в расстояниях от станции до точки, м	Расхождение в отметках при углах крутизны ската		
			$v < 2^\circ$	$2^\circ < v < 6^\circ$	$v < 6^\circ$
1:500	0,5	0,3	$\frac{1}{2}h_{зоп}$	$\frac{2}{3}h_{зоп}$	Число горизонталей должно соответствовать разностям высот, определенных на перегибах скатов
1:1000	0,5	0,6	$\frac{1}{2}h_{зоп}$	$\frac{2}{3}h_{зоп}$	
1:2000	0,5 и 1,0	1,2	$\frac{1}{3}h_{зоп}$	$\frac{2}{3}h_{зоп}$	
1:5000	1,0 и 2,0	4,0	$\frac{1}{3}h_{зоп}$	$\frac{2}{3}h_{зоп}$	

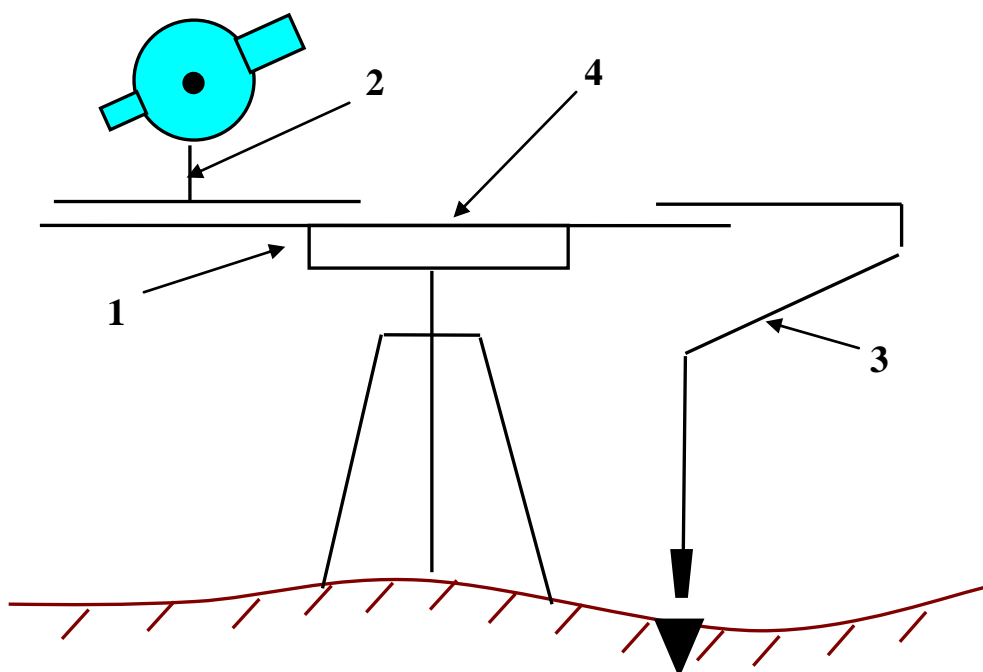
### 12.2. Мензальная съёмка

При мензальной съемке, в отличие от других видов съемки, план вычерчивается непосредственно в поле, что позволяет непрерывно контролировать изображение местности на плане.

К недостаткам мензульной съемки следует отнести большое влияние погоды на производство съемочных работ и возможность составления плана только в одном масштабе.

При мензульной съемке применяется **мензульный комплект** (рис. 83), в который входит:

- мензула (4); - рабочий стол на штативе
- кипрегель (2); - измеритель вертикальных углов и дальномерных расстояний
- мензульные рейки;
- ориентир-буссоль;
- вилка для центрирования (3) точек съемочной сети на планшете над точками местности;
- геодезический зонт.



*Рис. 83. Мензульный комплект*

Планово-высотным съёмочным обоснованием обычно являются теодолитно-нивелирные ходы, закреплённые на местности и нанесённые в принятом масштабе на листе бумаги с планшета, закреплённом на **мензульном столе** (4). На станции мензульный планшет горизонтируют, центрируют и ориентируют, съемку ведут полярным способом. Визируя на реечную точку, расстояние определяют по оптическому дальномеру кипрегеля, по линейке кипрегеля откладывают это расстояние и получают точку на плане.



Превышения определяют тригонометрическим нивелированием, вычисленную отметку фиксируют на плане, строят горизонтали, вычерчивают контуры объектов местности. Таким образом, получают фрагмент топографической карты со станции I. Затем работают на станции II и т.д.

Для развития съёмочного обоснования используют способ засечек, т.е. графически получают дополнительные пункты, необходимые для проведения съёмки.

Кипрегели-автоматы позволяют определять превышения и горизонтальные проложения линий без привлечения таблиц или расчетов по измеренным углам наклона и дальномерным расстояниям.

### 12.3. Нивелирование поверхности

На участках, предназначенных для строительства сооружений, обычно предварительно выполняется земляные работы с тем, чтобы естественный рельеф привести к виду, соответствующему условиям застройки. Поэтому одной из основных задач проектирования является проект вертикальной планировки.

Для разработки такого проекта надо иметь топографический план, на котором рельеф отображен достаточно детально. Обычно для этого производят **нивелирование поверхности** одним из трёх способов:

1. по параллельным линиям (рис. 84);
2. способом полигонов;
3. по квадратам.

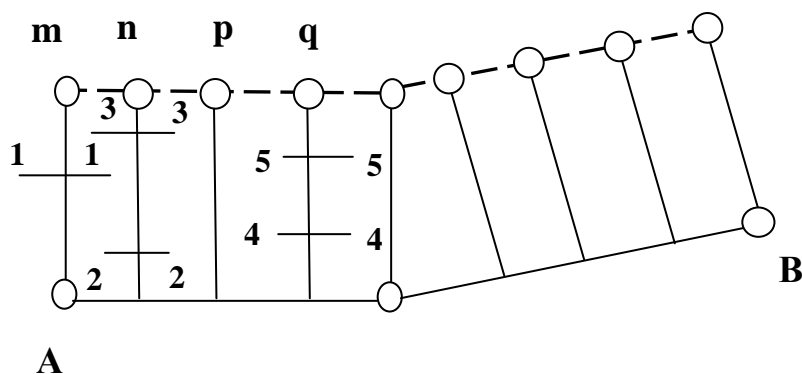


Рис. 84. Нивелирование по параллельным линиям

Чаще всего используется **нивелирование по квадратам**. При нивелировании по квадратам на участке с помощью теодолита и

ленты разбивается сетка квадратов. Размеры квадратов обычно принимают в зависимости от масштаба съемки:

$$M = \frac{1}{2000} - 40 \times 40 \text{ м}; \quad M = \frac{1}{1000} - 30 \times 30 \text{ м}; \quad M = \frac{1}{500} - 20 \times 20 \text{ м}.$$

Вершины квадратов закрепляют на местности колышками и, в необходимых случаях, для обеспечения требуемой точности при съемке рельефа, намечают дополнительные точки на сторонах квадратов или внутри их (рис. 85, точки *m, n, p...*). Одновременно с разбивкой сетки квадратов ведут съёмку ситуации.

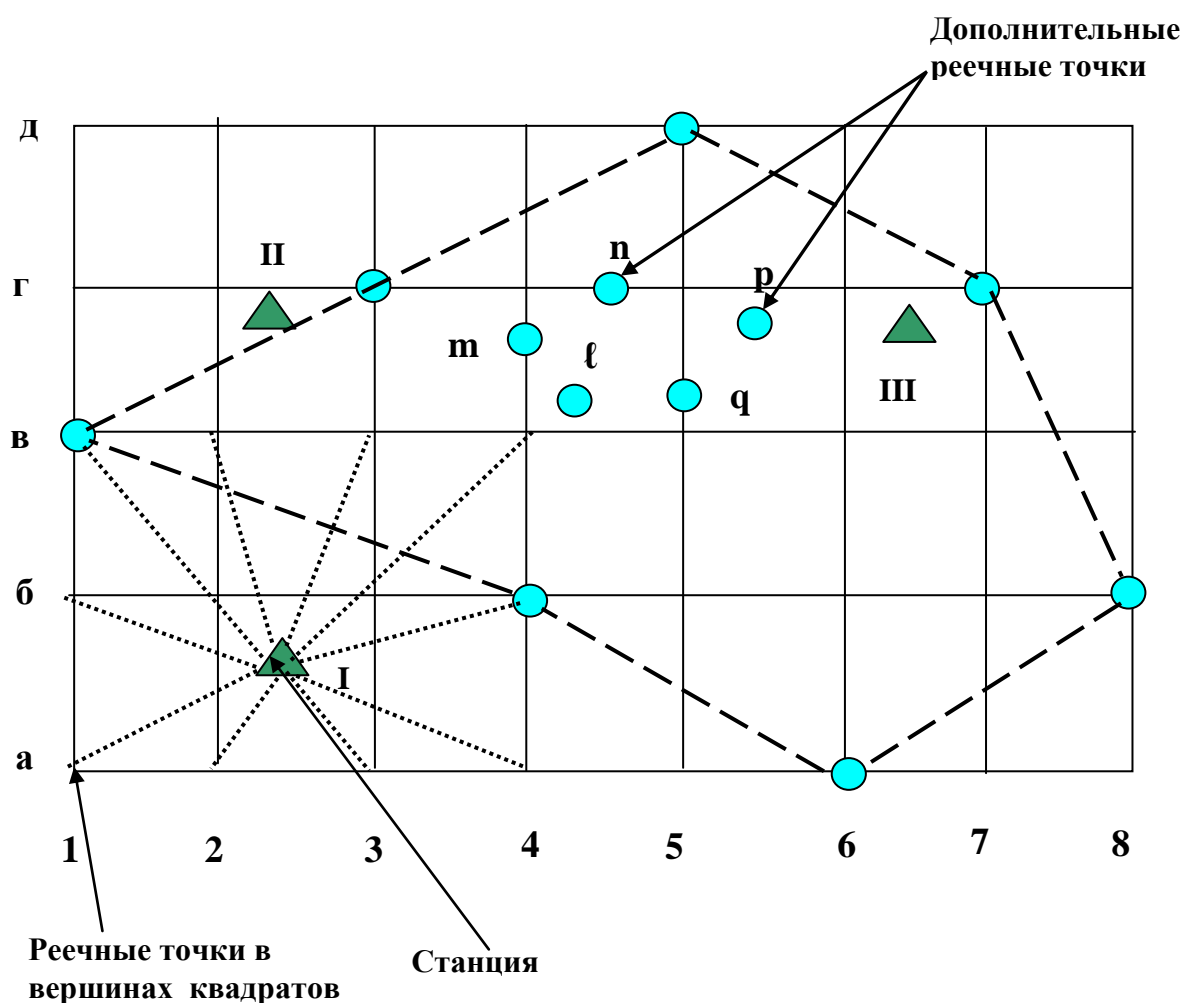


Рис. 85. Нивелирные ходы

При нивелировании прокладывают нивелирные ходы, опирающиеся на геодезические пункты более высокого класса или сомкнутые ходы в пределах участка съемки (рис. 85, пунктирная линия).

Одновременно с нивелированием связующих точек при прокладке нивелирного хода производится нивелирование вершин квадратов и дополнительных точек (рис. 85, точки  $\frac{a}{1}; \frac{б}{1}; \frac{a}{2}$  и т.д.). В отдельных случаях принимают квадраты 10x10 м. При съемке больших участков вначале разбивают квадраты со сторонами 200 или 400 м, которые называют основными, с закреплением их вершин знаками реперного типа (рис. 86). В пределах основных квадратов разбивают сетку малых квадратов с необходимой длиной сторон. При нивелировании вершины основных квадратов будут связующими точками. Допустимая невязка в нивелирном ходе:

$$\Delta h_{\text{дон}} = 30 \text{ мм} \sqrt{L} . \quad (89)$$

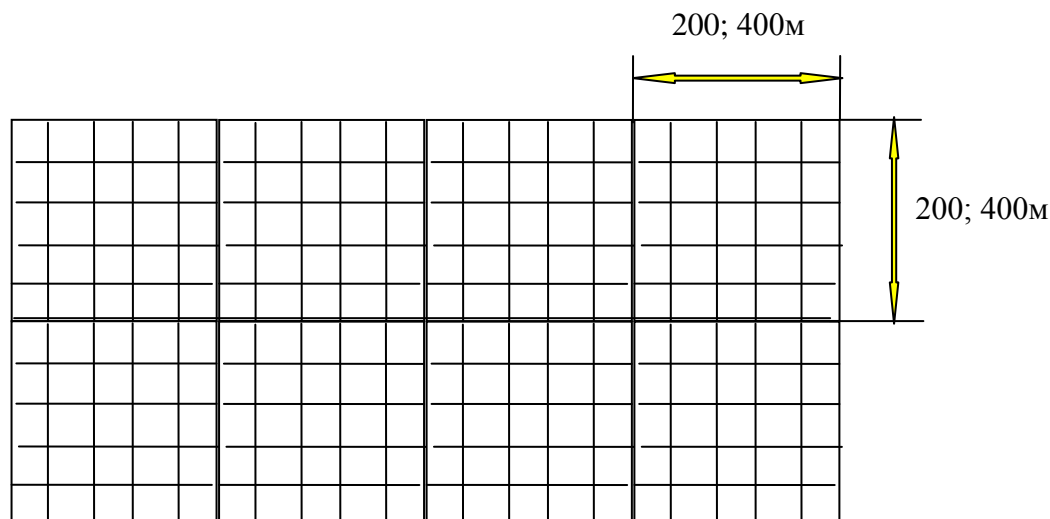


Рис. 86. Сетка нивелирования

При нивелировании по квадратам журнал не ведут, отсчеты по рейкам записывают на схеме квадратов у соответствующих точек.

При нивелировании по **параллельным линиям** (рис. 84) разбивают поперечники, длина которых может достигать 1,0 км. В зависимости от рельефа местности, цели нивелирования и требуемой точности расстояние между поперечниками принимают от 10 до 100 м. На поперечниках разбивают пикетаж, намечают плюсовые точки, ведут съемку ситуации. В необходимых случаях разбивают поперечники второго порядка (рис. 84, 1-1, 2-2 и т.д.). Нивелирование начинают с магистрали и после увязки превышений нивелируют поперечники, при этом часть точек на поперечниках будет связующими, остальные - промежуточными. В конце

нивелирных работ следует проложить ход от точки **A** через конечные точки поперечников **m, n, p** и т.д. до точки **B**, при этом невязка должна быть

$$\Delta h \leq 30 \sqrt{L} \text{ мм.} \quad (90)$$

Имея топографический план, построенный по материалам нивелирования поверхности, разрабатывается проект вертикальной планировки, при котором естественная поверхность преобразуется в проектную совокупность плоскостей (в простейшем случае - горизонтальная площадка).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федотов Г.А. Инженерная геодезия. – М.: ВШ, 2004. – 463с.
2. Инженерная геодезия. Под ред. Д.Ш. Михалева. – М.: Академия, 2004. – 480с.
3. Куштин И.Ф., Куштин В.И. Инженерная геодезия. – Р. -на Дону: Феникс, 2002. – 416с.
4. Фельдман В.Д., Михелев Д.Ш. Основы инженерной геодезии. – М.: ВШ, 2001. – 314с.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	
<b>1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГЕОДЕЗИИ</b> .....	
1.1. История развития геодезии.....	
1.2. Разделы геодезии.....	
1.3. Форма и размеры Земли.....	
1.4. Метод проекций при составлении карт и планов.....	
1.4.1. Искажения при проектировании точек на плоскость.....	
1.4.2. Оценка искажения длин линий при проектировании их на плоскость.....	
1.4.3. Оценка искажения в высоте точки при проектировании её на плоскость.....	
<b>2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК И ОБЪЕКТОВ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ</b> .....	
2.1. Географическая система координат.....	
2.2. Зональная система плоских прямоугольных координат.....	
2.3. Определение координат по карте.....	
<b>3. ОРИЕНТИРОВАНИЕ</b> .....	
3.1. Углы ориентирования в географической системе координат..	
3.2. Углы ориентирования в прямоугольной системе координат...	
3.3. Углы ориентирования на местности.....	
3.4. Ориентирование карты на местности.....	
<b>4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ</b> .....	
4.1. Виды планов.....	
4.2. Виды геодезических измерений.....	
4.3. Принципы геодезических съёмок.....	
4.4. Виды геодезических съёмок.....	
4.5. Наземные съёмки.....	
4.6. Плановые геодезические сети.....	
4.7. Высотные геодезические сети.....	
<b>5. ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ</b> .....	
5.1. Зрительные трубы.....	
5.2. Уровни.....	
5.3. Поверка и юстировка уровней.....	
5.4. Угломерные круги.....	
5.5. Взятие отсчётов по отсчетному микроскопу.....	
<b>6. ТЕОДОЛИТЫ</b> .....	
6.1. Устройство теодолита.....	

6.2. Точность измерений.....	
6.3. Поверки теодолитов.....	
6.3.1. Поверки теодолитов с металлическими кругами.....	
6.3.2. Поверки оптических теодолитов.....	
<b>7. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ.....</b>	
7.1. Определение горизонтальных углов.....	
7.1.1. Подготовка прибора к работе.....	
7.1.2. Способы измерения горизонтального угла.....	
7.1.3. Принцип измерения горизонтального угла.....	
7.1.4. Способ приёмов (способ отдельного угла).....	
7.1.5. Погрешности измерения горизонтальных углов.....	
7.2. Измерение углов наклона линий.....	
7.2.1. Определение.....	
7.2.2. Место нуля вертикального круга.....	
7.2.3. Расчётные формулы места нуля для теодолитов с металлическими кругами.....	
7.2.4. Расчётные формулы места нуля для оптических теодолитов.....	
7.2.5. Примеры.....	
7.2.6. Приведение МО к нулю.....	
<b>8. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ.....</b>	
8.1. Измерение расстояний мерными лентами.....	
8.1.1. Компарирование ленты.....	
8.1.2. Подготовка трассы для измерения мерной лентой.....	
8.1.3. Поправка за наклон линии.....	
8.1.4. Точность измерения линий мерными лентами.....	
8.2. Измерение расстояний длинномерами.....	
8.2.1. Измерение расстояний оптическими дальномерами.....	
8.2.2. Точность оптических дальномеров.....	
8.2.3. Коэффициент дальномера.....	
8.3. Определение неприступных расстояний.....	
<b>9. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЁМКА.....</b>	
9.1. Этапы теодолитной съёмки.....	
9.2. Особенности теодолитной съёмки.....	
9.3. Способы съёмки объектов местности.....	
9.3.1. Способ прямоугольных координат.....	
9.3.2. Способ полярных координат.....	
9.3.3. Способ угловых засечек.....	
9.3.4. Способ линейных засечек.....	
9.4. Камеральная обработка полевых измерений и построение контурного плана.....	

9.5. Составление плана теодолитной съёмки.....	
<b>10. ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ.....</b>	
10.1. Виды нивелирования.....	
10.2. Геометрическое нивелирование. Способы геометрического нивелирования.....	
10.2.1. Нивелирование из середины.....	
10.2.2. Нивелирование вперёд.....	
10.2.3. Преимущества способа нивелирования из середины.....	
10.3. Простое и сложное нивелирование.....	
10.4. Нивелиры.....	
10.4.1. Конструктивные особенности нивелиров.....	
10.4.2 Поверки нивелиров.....	
10.4.3. Точность измерения превышений при геометрическом нивелировании.....	
<b>11. ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ.....</b>	
11.1 Разбивка трассы.....	
11.2. Нивелирование трассы.....	
<b>12. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ.....</b>	
12.1. Тахеометрическая съёмка.....	
12.1.1. Приборы, применяемые при тахеометрической съёмке	
12.1.2. Общая характеристика тахеометрической съёмки.....	
12.1.3. Создание съёмочного обоснования.....	
12.1.4. Съёмка контуров и рельефа.....	
12.1.5. Общий порядок наблюдений на станции при прокладке тахеометрического хода.....	
12.1.6. Общий порядок наблюдений на станции при проведении съёмки.....	
12.1.7. Камеральные работы при тахеометрической съёмке....	
12.2. Мензурная съёмка.....	
12.3. Нивелирование поверхности.....	
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	



Передерин Велиор Митрофанович  
Чухарева Наталья Вячеславовна  
Антропова Наталья Алексеевна

## ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И ТОПОГРАФИИ

Учебное пособие

Научный редактор, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ  
В.Г. Лукьянов

Подписано к печати      формат      Бумага