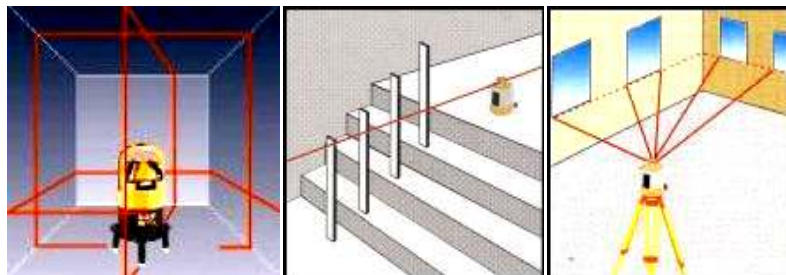


**КОЧЕТОВА ЭЛЕОНОРА ФЕДОРОВНА**

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ**



**МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)

**КОЧЕТОВА ЭЛЕОНОРА ФЕДОРОВНА**

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ**

Учебное пособие

Нижний Новгород  
ННГАСУ  
2012

УДК528.48(07)

К 21

Кочетова Э.Ф. Инженерная геодезия: Учебное пособие.- Нижний Новгород: ННГАСУ, 2012.-153 с.

Рецензенты: профессор Волжского государственного инженерно-педагогического университета, кандидат технических наук Китов А.Г., профессор Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, кандидат технических наук Мозжухин О.А., директор ООО «Геодимер», кандидат технических наук, доцент Оболенский Н.Н.

Учебное пособие представляет собой конспект лекций по инженерной геодезии для студентов, изучающих эту дисциплину и для производственников, занятых в строительстве. В учебном пособии кратко рассмотрены вопросы, начиная с вопросов общей геодезии и заканчивая вопросами специальной части – инженерно-геодезические работы на строительной площадке.

## Введение

Инженерно-геодезические работы являются важной и неотъемлемой частью комплекса работ по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений, автомобильных дорог и сооружений на них, аэродромов, гидромелиоративных систем, объектов лесного хозяйства и лесного инженерного дела. Эти работы во многом определяют как стоимость и качество строительства, так и условия последующей эксплуатации инженерных объектов. Поэтому инженер-строитель, инженер-землеустроитель, инженер лесного хозяйства должны хорошо владеть традиционными методами геодезии. Только зная эти методы, можно овладеть новыми высокопроизводительными методами инженерно-геодезических работ, необходимых на современном этапе научно-технического прогресса.

Учебное пособие написано в соответствии с программой курса, с учетом того, что студенты закончили изучение таких дисциплин, как высшая математика, физика и другие общетехнические науки. В пособии рассмотрены теоретические вопросы, методы и точность измерений, приборы таким образом, чтобы максимально облегчить самостоятельную работу студентов при изучении основ инженерной геодезии.

## 1. Общие сведения

### 1.1. Предмет и метод геодезии как науки

Дословный перевод слова «геодезия» означает «землеразделение». Зародившись в странах древнего Востока как необходимая составная часть хозяйственных работ, она переросла это узкое понятие и выделилась в самостоятельную науку, имеющую свой предмет изучения и свои методы.

Объектом изучения геодезии являются Земля и другие планеты солнечной системы. Выделяют следующие методы изучения Земли:

1. Непосредственный – заключается в непосредственном измерении определенных величин на поверхности земли с помощью геодезических инструментов (теодолиты, нивелиры, дальнометры, тахеометры и др.). Виды измерений: углы и расстояния, направления меридианов, сила тяжести и т.д.

2. Фотометоды: решение задач путем преобразований фотоснимков (земной) поверхности. По месту расположения фотографирующего устройства они делятся на наземные и воздушные.

3. Космические методы: а) наблюдение и фотографирование Земли и других планет из космоса; б) наземные наблюдения за движением космических аппаратов с помощью оптических, фотографических и лазерных систем.

4. Комбинированные методы.

Геодезия решает научные и практические задачи.

*Научные задачи:*

1. Определение формы и размеров Земли.

2. Изучение движений земной коры.

3. Определение внешнего гравитационного поля Земли.

4. Изучение внутреннего строения Земли.

5. Геодезическое изучение и картографирование небесных тел

*Практические задачи:*

1. Составление планов и карт земной поверхности, а также рельефа дна морей и океанов в прибрежной зоне – шельфе; составление их электронных аналогов – цифровых моделей местности и электронных карт.

2. Решение инженерных задач в различных областях народного хозяйства: строительстве, сельском хозяйстве, землеустройстве, ирригации и др.

Ввиду большого разнообразия и сложности решаемых задач геодезия делится на ряд дисциплин: высшая геодезия (решает научные задачи), топография или просто геодезия (1-я практическая задача), космическая геодезия, морская геодезия, фототопография, маркшейдерское дело и инженерная геодезия (прикладная).

На основании вышеизложенного геодезию можно определить как науку об измерениях на поверхности Земли и измерениях других космических объектов. Это наука, изучающая методы определения их фигур и размеров для получения их изображений в графическом и электронном видах и измерения этих изображений. Геодезия изучает также способы проведения специальных измерений для решения инженерных задач в народном хозяйстве.

## 1.2. История развития геодезии, ее значение и связь с другими науками. (Эту тему студенты прорабатывают самостоятельно.)

### 2. Общая фигура Земли и определение положения точек земной поверхности

#### 2.1. Форма и размеры Земли

Точное знание фигуры Земли необходимо для наиболее правильного изображения поверхности Земли на картах, для космонавтики, авиации, мореплавания и т.д.

Форма всякого тела определяется ограничивающей его поверхностью. Для определения фигуры Земли в геодезии используется четыре вида поверхностей:

1. Физическая поверхность – совокупность всех неровностей суши и дна океанов, а также поверхности воды. Она не может быть выражена конечным математическим уравнением, поэтому используется для решения лишь некоторых практических задач геодезии.

2. Уровенная поверхность – поверхность воды Мирового океана в спокойном состоянии, мысленно продолженная под материками. В 1873 году немецкий ученый Листинг назвал ее поверхностью геоида. Океаны составляют 71%, суша – 29%. Поверхность воды всюду горизонтальна, т.е. перпендикулярна к отвесным линиям (направление силы тяжести). Поверхность суши и дна океанов изучают относительно поверхности геоида. Расстояния от точек физической поверхности Земли до уровенной поверхности по направлению отвесных линий называют высотами точек, а их числовое выражение называют отметками. Они могут быть положительными и отрицательными. В России за поверхность, совпадающую с геоидом, принята поверхность Балтийского моря (ноль Кронштадского футштока). Высоты, отсчитываемые от уровня Балтийского моря, называются абсолютными, от другой какой-либо уровенной поверхности – условными. Геоид пригоден для решения практических задач. Для теоретических расчетов он не пригоден, так как не имеет конечного математического выражения из-за непостоянства направления отвесных линий вследствие неравномерного распределения масс внутри Земли. Кроме того, уровень поверхности воды в различных океанах различен; имеются приливы и отливы.

3. Поверхность эллипсоида вращения получается при вращении эллипса вокруг малой (полярной) полуоси. Эллипсоид характеризуется тремя величинами:  $a$  – большая полуось,  $b$  – малая полуось,  $\alpha$  – полярное сжатие:

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

Эллипсоид ориентируется в теле Земли определенным образом. Постановлением Совета министров СССР №760 от 7 апреля 1946 года в нашей стране для геодезических работ принят эллипсоид Красовского Ф.Н.

Его размеры:  $a=6378245$  м,  $b=6356863$  м.

По наблюдениям ИСЗ Козаи И. в 1961 году получил  $\alpha=1: 298,31$ ; Жонголвич И.Д. в 1960 –  $\alpha=1: 298,2$ ; Козаи И. в 1962 –  $1: 298,3$ .

Эллипсоид, относительно которого ведутся все геодезические работы в данной стране, называется референц-эллипсоид.

4. Для решения многих практических задач достаточно за фигуру Земли принять шар с радиусом  $R=6371$  км.

## 2.2. Метод проекций и системы координат в геодезии

Для изображения физической поверхности Земли на бумаге ее сначала проецируют отвесными линиями на горизонтальную (уровненную поверхность). Поскольку отвесные линии перпендикулярны геоиду, то мы имеем ортогональную (прямоугольную) проекцию, как и в технике. В геодезии эта проекция называется горизонтальной (рис. 1). А, В, С, Д – точки физической поверхности, а, в, с, д – их горизонтальные проекции.

Предположим, что наш участок имеет размеры, меньшие  $25 \text{ км}^2$ , и его можно принять за горизонтальную плоскость.

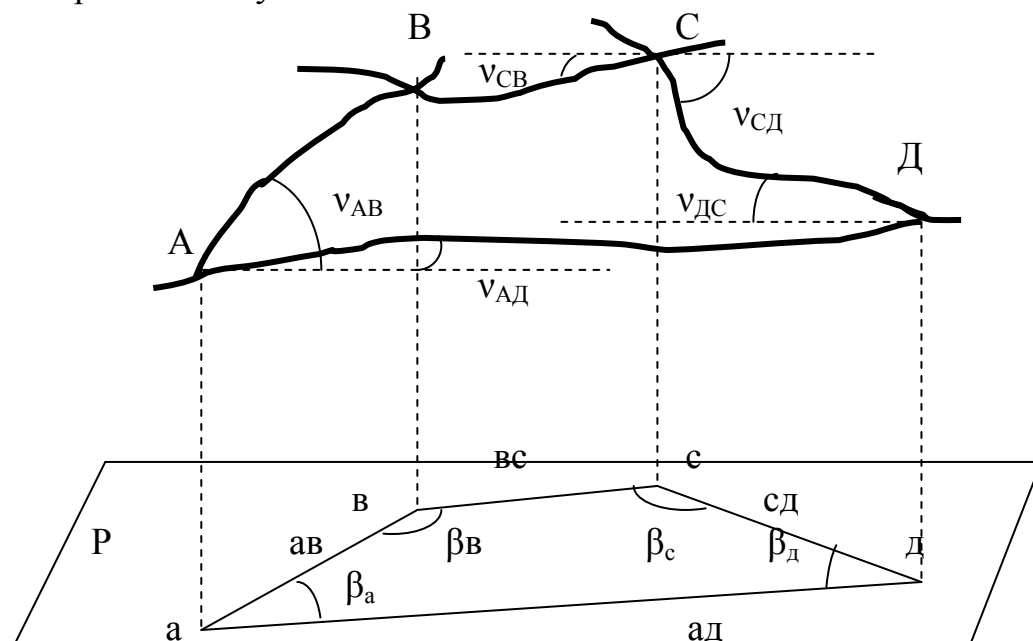


Рис. 1. Метод проекций в геодезии

АВСД – четырехугольник в пространстве, авсд – его горизонтальная проекция. Участок менее  $25 \text{ км}^2$ , Р – горизонтальная плоскость (рис.1).

Проекция линии местности на горизонтальную плоскость называется горизонтальным проложением этой линии: ав есть горизонтальное проложение линии АВ и т.д.

Проекции пространственных углов на горизонтальную плоскость называются горизонтальными углами: вад, авс и т.д. есть горизонтальные углы.

Угол между линией местности и ее проекцией на горизонтальную плоскость называется углом наклона ее или вертикальным углом:  $v_1, v_2$  и т.д. являются углами наклона.

Чтобы на листе бумаги изобразить горизонтальную проекцию участка местности, необходимо знать горизонтальные проложения линий и горизонтальные углы между ними. Горизонтальные проложения можно найти, если известно наклонное расстояние между точками и угол наклона:  
 $ав=АВ \cdot \cos v_1$ ;  $вс =ВС \cdot \cos v_2$ .

Таким образом, для получения проекций точек на горизонтальную плоскость необходимо знать три величины: наклонное расстояние, угол наклона (вертикальный угол) и горизонтальный угол. Именно эти три величины и измеряют в геодезии.

Для того чтобы после проецирования определить положения проекций на фигуре Земли, в геодезии используется несколько систем координат.

Географическая система координат служит для определения положения проекций точек на сферической поверхности. Началом счета являются нулевой меридиан и нулевая параллель (рис. 2). Меридиан – есть линия пересечения поверхности фигуры Земли с плоскостью, проходящей через ее ось вращения. Параллель – линия пересечения поверхности фигуры Земли с плоскостью, перпендикулярной ее оси вращения. За нулевой меридиан принимается Гринвичский, за нулевую параллель – параллель наибольшего диаметра, называемая экватором. Положение точки определяется тремя величинами:  $\lambda$  – долготой,  $\varphi$  – широтой,  $H$  – абсолютной высотой. Долгота и широта точек определяются по градусной сетке на картах. Долгота – это двугранный угол между плоскостью нулевого меридиана и плоскостью меридиана данной точки. Долготы считаются от Гринвича на запад и на восток, называются «западная» и «восточная» и изменяются от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Широта есть угол между отвесной линией в данной точке и плоскостью экватора. Отсчитываются широты от экватора на север и юг, называются «северными» и «южными» и изменяются от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ .

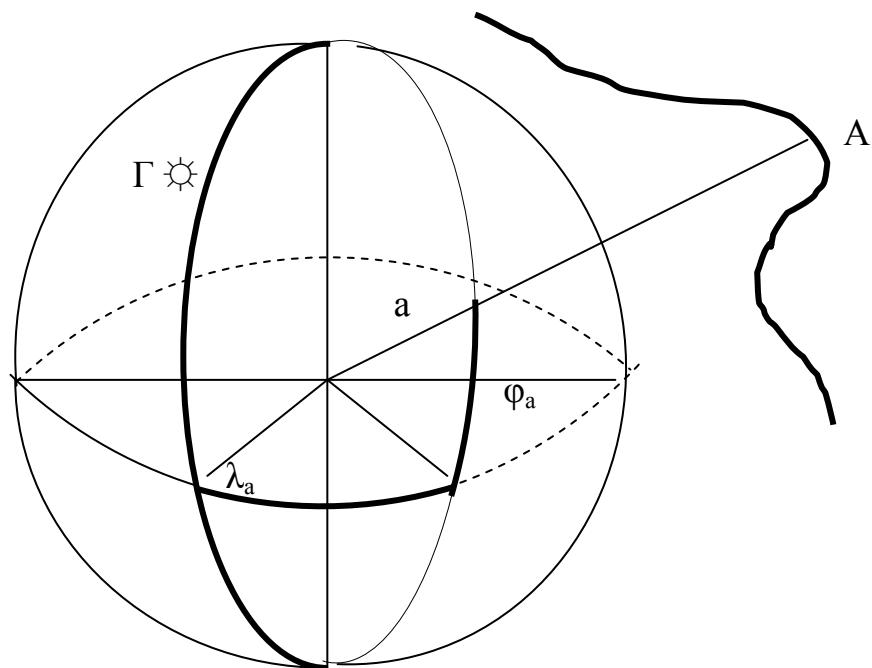


Рис. 2. Географическая система координат

На рис. 2 А – точка физической поверхности Земли; а – ее проекция на поверхность эллипсоида.

Прямоугольная система координат служит для определения положения точек на плоскости. Эту систему образуют две взаимно перпендикулярные прямые, называемые осями координат. Ось  $x$  (абсцисс) обычно совмещают с осе-



вым меридианом (ось симметрии зоны). Положительное направление – северное. Положение точки определяется тремя величинами:  $x$ ,  $y$ ,  $H$  с их знаками (рис. 3).

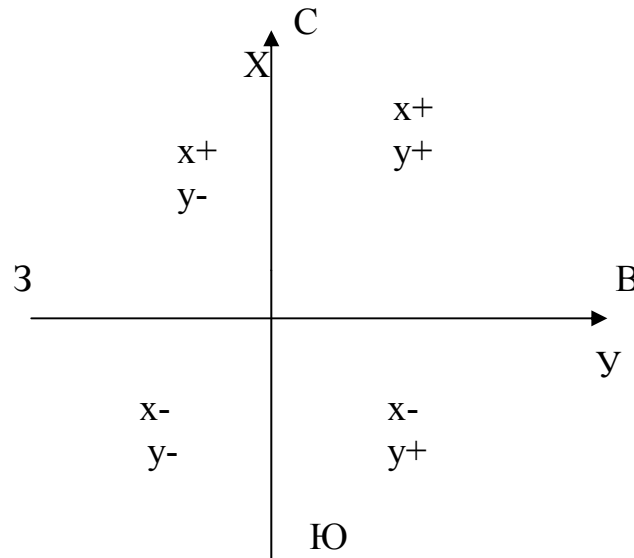


Рис. 3. Прямоугольная система координат

Если за направление оси  $X$  принята любая линия, то система координат называется условной.

Полярная система координат применяется на плоскости. Ее основой служат начало координат, называемое полюсом, и полярная ось, совмещаемая обычно с полуденной линией (меридианом в точке  $O$ ). Положение точки  $a$  (рис. 4) определяется полярным углом  $\beta_a$ , отсчитываемым по часовой стрелке от полярной оси до направления на данную точку, полярным расстоянием (радиусом – вектором)  $r_a$ , равным горизонтальному расстоянию от полюса до данной точки, и абсолютной отметкой  $H_a$ .

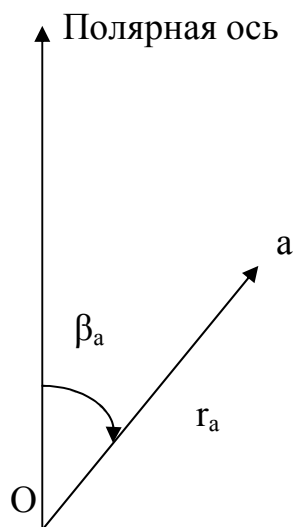


Рис. 4. Полярная система координат

Равноугольная поперечно – цилиндрическая проекция Гаусса – Крюгера (зональная система координат). Для того чтобы представить сферическую поверхность Земли на плоскости (бумаге) без разрывов и с минимальными искажениями, чтобы иметь возможность перехода от географических координат к прямоугольным и обратно, применяется указанная проекция. Весь земной шар делится меридианами на зоны по  $6^\circ$  (рис. 5б). Их счет ведется от Гринвича на восток от 1 до 60. Затем каждая зона разворачивается самостоятельно на плоскость с помощью цилиндра. Для этого зона помещается в цилиндр того же радиуса что и шар так, чтобы касание шара и цилиндра происходило по среднему (осевому) меридиану зоны (рис. 5а). Затем все точки зоны проецируются с шара на цилиндр при условии равенства горизонтальных углов на шаре и цилиндре. Длины при этом искажаются:  $y_{\text{цил.}} = y_{\text{ш}} (1 + y_{\text{ш}}^2 / 6R^2)$  – по направлению  $y$  - ов.  $S_{\text{цил.}} = S_{\text{ш}} (1 + y_{\text{ш}}^2 / 2R^2)$  – по вертикальному направлению.

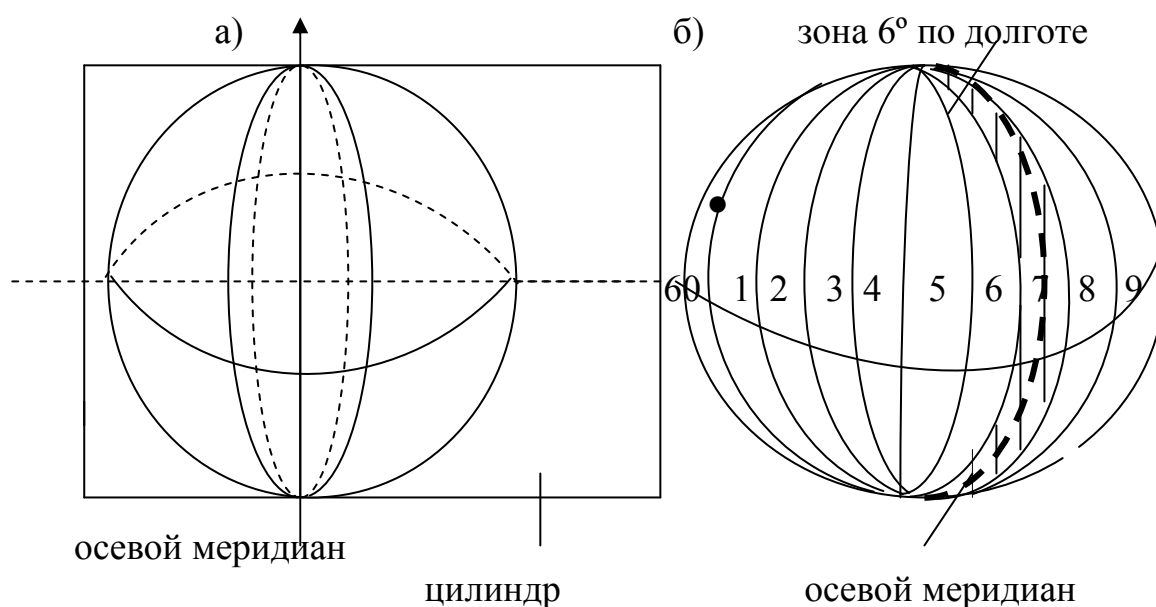


Рис. 5. Проекция Гаусса-Крюгера

После проектирования цилиндр разрезают по образующей и разворачивают на плоскость без искажений. Осевой меридиан принимают за  $x$ , линию пересечения экватора с цилиндром за  $y$  (рис.6). Для получения положительных значений  $y$ , ось  $x$  относят на 500 км к западу. Перед значением  $y$  ставят номер зоны, так как системы координат в зонах одинаковы.

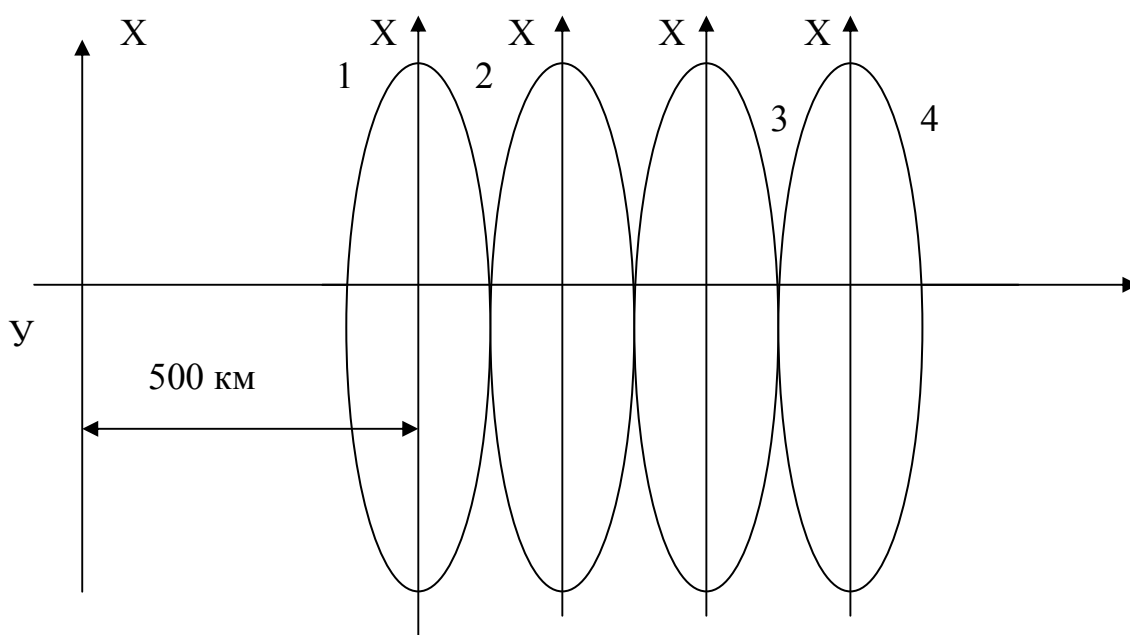


Рис. 6. Зональная система координат

На планах и картах существует координатная сетка, которая служит для определения прямоугольных координат точек. Вертикальные линии сетки параллельны осевому меридиану, а горизонтальные – линии экватора.

Например,  $x_a=2295,8$  км;  $y_a=14637,3$  км, 14 – номер зоны. Долгота осевого меридиана  $N$  – ой зоны равна  $\lambda=6^\circ N-3^\circ$ .

Для перехода от географических координат к прямоугольным и обратно приближенно принимают длину дуги  $1^\circ$  – 111,11км;  $1'$  – 1852 м;  $1''$  – 31 м. 1метр = 1: 10000000 часть четверти меридиана =  $1650763,73\lambda$  (длин волн),  $\lambda$  – длина волны оранжевой спектральной линии излучения атома криптона, с атомной массой 86.

Постановлением правительства Российской Федерации от 28 июля 2000 г. «Об установлении единых государственных систем координат» установлены:

- единая государственная система геодезических координат 1995 г. (СК – 95) для использования в геодезических и картографических работах Российской Федерации начиная с 1 июля 2002 года;
- единая государственная геоцентрическая система координат (ПЗ – 90) для геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач.

Новая единая система государственных координат СК – 95 в стране введена взамен действовавшей с 1946 г. единой системы государственных геодезических координат 1942 г.

В результате введения в стране СК – 95 повысится точность, оперативность и экономическая эффективность решения задач геодезического обеспечения экономики, науки и обороны государства на уровне современных требований.

СК – 95 была получена по результатам двух этапов уравнивания [11].

За отсчетную поверхность в СК – 95 принят Референц-эллипсоид Красовского, началом системы координат 1995 года является центр отсчетного эл-

липсоида. Положение пунктов в СК – 95 определяется пространственными прямоугольными координатами  $X, Y, Z$ ; геодезическими координатами – широтой  $B$ , долготой  $L$  и высотой  $H$ ; плоскими прямоугольными координатами  $x, y$ , вычисляемыми в проекции Гаусса - Крюгера. Направление оси  $Z$  совпадает с осью вращения отсчетного эллипсоида, ось  $X$  лежит в плоскости нулевого меридиана, ось  $Y$  дополняет систему до правой, геодезическая высота  $H$  образуется как сумма нормальной высоты и высоты квазигеоида над эллипсоидом Красовского.

СК – 95 строго согласована с единой государственной системой координат ПЗ – 90 (Параметры Земли 1990 г.), которая закреплена на местности пунктами космической геодезической сети.

### 3. Ориентирование

Ориентировать линию местности значит – определить ее направление относительно какого – либо другого направления, принимаемого за исходное. В геодезии исходными являются: истинный (географический) меридиан, магнитный меридиан и осевой меридиан зоны. Для ориентирования линий служат углы: азимут, румб и дирекционный угол.

Истинный азимут линии это горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления истинного меридиана или параллельной ему линии по ходу часовой стрелки до направления данной линии местности.

Плоскость истинного меридиана проходит через отвесную линию в данной точке и ось вращения Земли, определяется из астрономических наблюдений. Горизонтальной проекцией истинного меридиана является полуденная линия. Изменяются азимуты от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . В геодезии различают прямое направление линии  $AB$  и обратное  $BA$  (рис. 7). Соответственно различают истинный азимут прямого направления (прямой  $AB$ ) и истинный азимут обратного направления (обратный  $AB$ ). Для одной точки они отличаются ровно на  $180^\circ$ :  $A_{пр.} = A_{обр.} \pm 180^\circ$ .

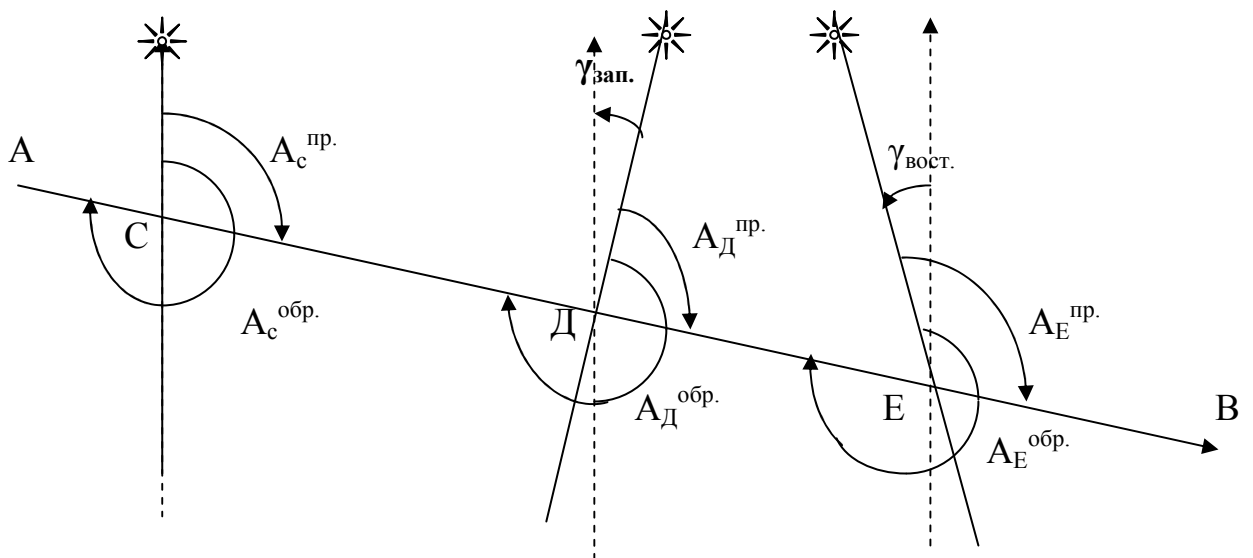


Рис. 7. Истинный азимут

$$A_C^{\text{обр.}} = A_C^{\text{пр.}} + 180^\circ; A_D^{\text{обр.}} = A_D^{\text{пр.}} + 180^\circ; A_E^{\text{обр.}} = A_E^{\text{пр.}} + 180^\circ; A_D^{\text{обр.}} = A_C^{\text{пр.}} + 180^\circ - \gamma_{\text{зап.}}; A_E^{\text{обр.}} = A_C^{\text{пр.}} + 180^\circ + \gamma_{\text{вост.}}$$

Из рис. 7 видно, что истинные азимуты одной и той же линии в различных ее точках отличаются на величину  $\gamma$ , а прямой и обратный азимуты – на  $(180^\circ + \gamma)$ .

Магнитные азимуты линий есть горизонтальные углы, отсчитываемые от северного направления магнитного меридиана или линии ему параллельной по ходу часовой стрелки до направления заданной линии местности. Направление магнитного меридиана определяется магнитной стрелкой, оно не совпадает с направлением истинного меридиана в данной точке на угол  $\delta$ , называемый склонением магнитной стрелки. Склонение может быть западным (-) и восточным (+), в пределах России  $\delta$  меняется от  $0^\circ$  до  $\pm 15^\circ$ .

Существует связь между истинным и магнитным азимутами:  $A_{\text{ист.}} = A_{\text{маг.}} + \delta$ . Все вышесказанное об истинных азимутах в равной мере относится и к магнитным азимутам.

Дирекционный угол есть горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, до направления данной линии местности. Изменяется он от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Дирекционные углы одной и той же линии в различных ее точках одинаковы, а прямые и обратные дирекционные углы всегда отличаются ровно на  $180^\circ$  (рис. 8):  $\alpha = \alpha_c = \alpha_d$ ;  $\alpha_{d'} = \alpha + 180^\circ$ ;  $\alpha_{c'} = \alpha_d + 180^\circ$ . Поэтому на практике используется именно  $\alpha$ .

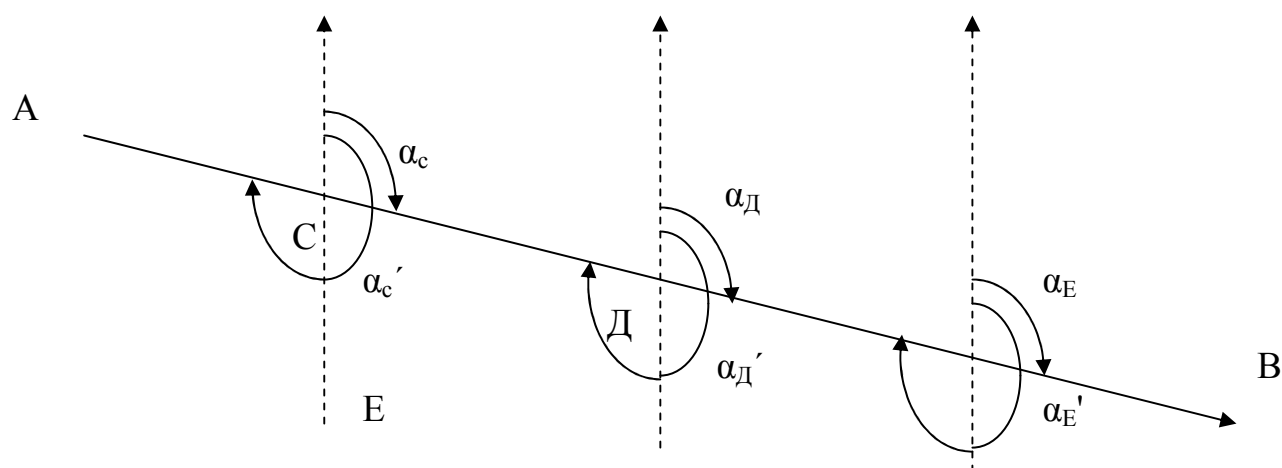


Рис. 8. Дирекционный угол

Поскольку меридианы в различных точках не параллельны и сходятся к полюсам, то их направления, выраженные полуденными линиями, тоже не будут параллельны. Этот угол между полуденными линиями называется в геодезии сближением меридианов  $\gamma$ . Оно может быть западным (в точке С) и восточным (в точке Д). В пределах зоны оно не может быть более  $3^\circ$ . Условились считать, что  $\gamma_{\text{вост.}}^+$ ,  $\gamma_{\text{зап.}}^-$ . В пределах координатной зоны линии, параллельные

осевому меридиану, не совпадают с географическими меридианами, а образуют с ними некоторый угол, называемый гауссовым сближением меридианов. В восточной половине зоны линии, параллельные осевому меридиану, отклоняются к востоку от географического меридиана, сближение называется восточным и обозначается знаком «плюс». В западной половине зоны линии отклоняются к западу от географического меридиана, сближение называется западным и обозначается знаком «минус».  $\gamma = \Delta\lambda \cdot \sin\varphi$ ,  $\varphi = 0^\circ$  на экваторе,  $\varphi = 90^\circ$  на полюсе. В пределах 6°-ой зоны  $\gamma_{\max} = 3^\circ$ .

Румбом линии называется острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления меридиана – северного или южного до направления линии местности. В зависимости от используемого меридиана румбы бывают истинные, магнитные и осевые. Они изменяются от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и имеют названия по сторонам света (четвертям): СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ. Прямой и обратный румбы в данной точке равны по величине, но противоположны по наименованию. Истинные и магнитные румбы отличаются, кроме того, на величину склонения и сближения меридианов, как и азимуты.

От азимутов и дирекционных углов можно переходить к румбам и обратно, используя очевидные формулы (рис. 9):

$$\begin{aligned} \text{СВ: } r &= \alpha \\ \text{ЮВ: } r &= 180^\circ - \alpha \\ \text{ЮЗ: } r &= \alpha - 180^\circ \\ \text{СЗ: } r &= 360^\circ - \alpha. \end{aligned}$$

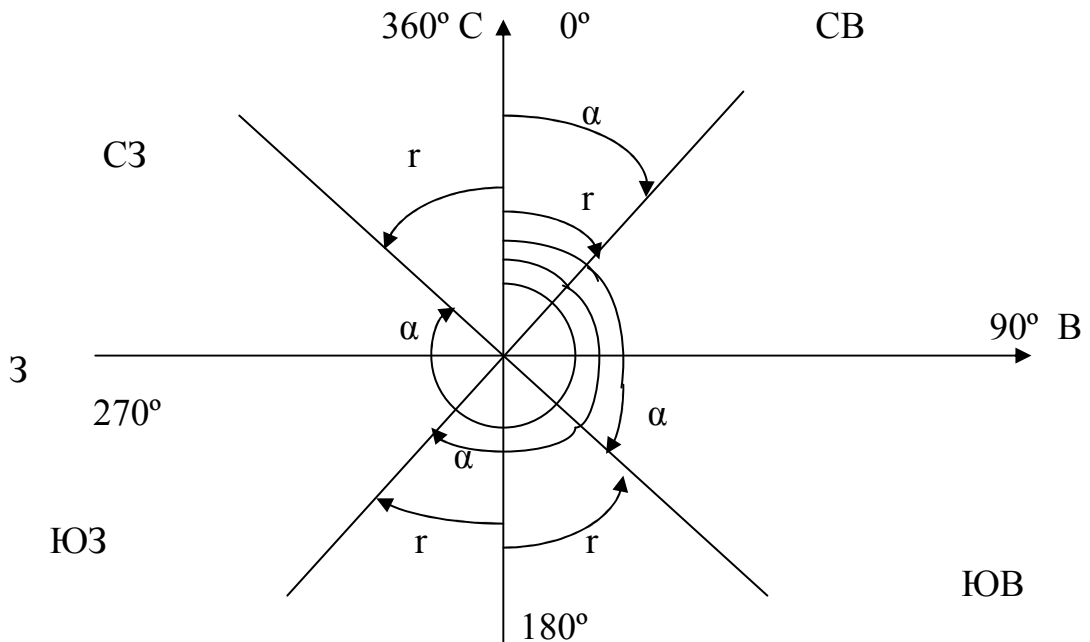


Рис. 9. Схема румбов и дирекционных углов

#### 4. Связь дирекционных углов и горизонтальных углов полигона

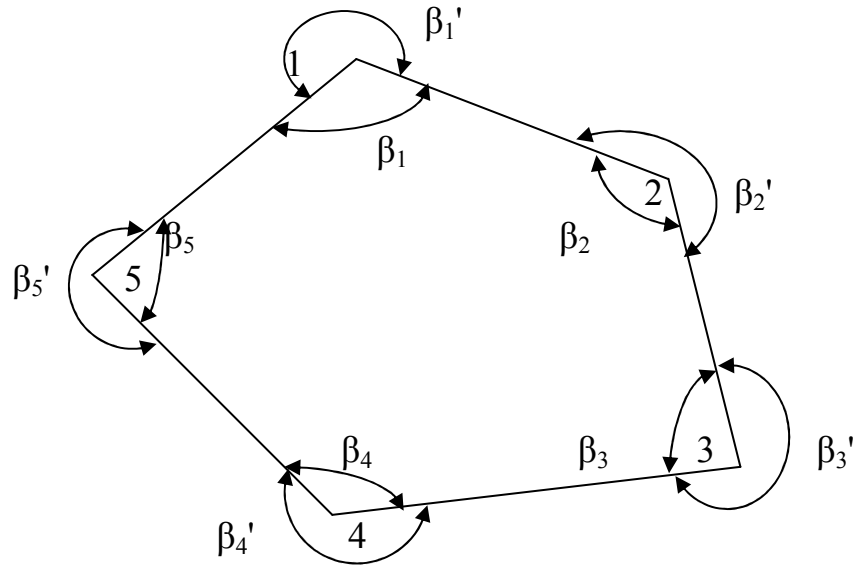


Рис. 10. Схема теодолитного хода

Ломаная линия с закрепленными на местности точками излома и с измеренными длинами сторон и горизонтальными углами называется полигоном. Полигоны могут быть разомкнутые и замкнутые (на рис.10 замкнутый полигон). Точки полигона закрепляют временными знаками – деревянными кольями.

$\beta_1, \beta_2 \dots$  - внутренние углы – правые;  $\beta_1', \beta_2' \dots$  - внешние углы – левые.

Зная дирекционный угол одной стороны полигона, можно всегда вычислить по горизонтальным углам дирекционные углы всех остальных сторон.  $\alpha_{1-2}$  – дано,  $\beta_1, \beta_2 \dots$  - измерены.

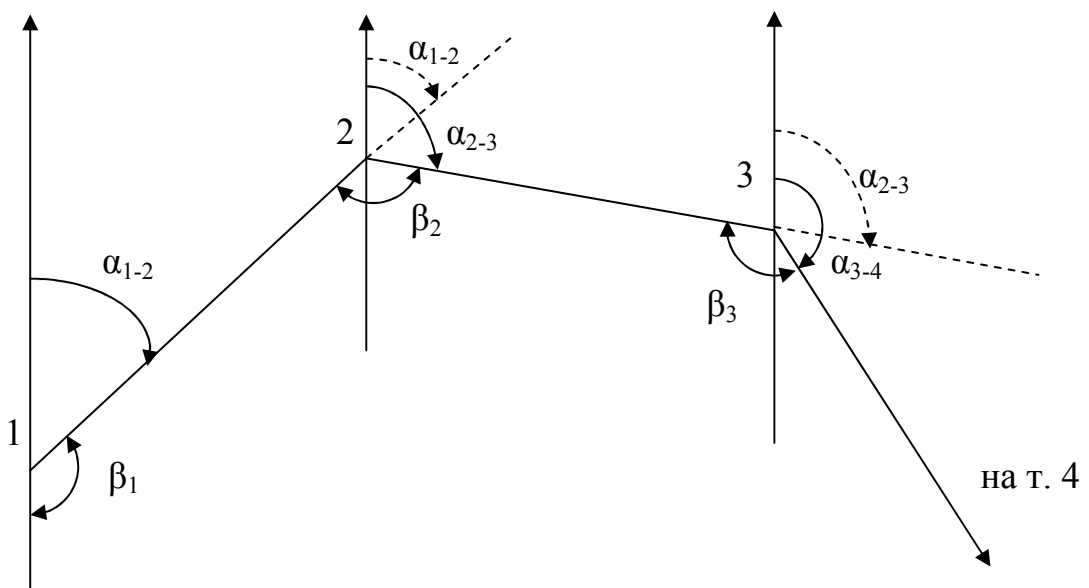


Рис. 11. Связь последующего и предыдущего дирекционных углов полигона

Из рис. 11 видно, что  $\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_1$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_2$$

.....

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n \quad \text{- формула для правых углов.}$$

Так как  $\beta_{\text{прав.}} = 360^\circ - \beta'_{\text{лев.}}$ , то для левых углов  $\alpha_n = \alpha_{n-1} + \beta'_n - 180^\circ$ .

### 5. Прямая и обратная геодезические задачи

Прямая геодезическая задача заключается в том, что по известным координатам одной точки, дирекционному углу и расстоянию до другой определяют координаты последней. При вычислениях чаще всего дирекционные углы переводят в румбы. Прямая геодезическая задача решается и при вычислении координат вершин полигонов.

Дано:  $x_1; y_1$  – координаты начальной точки;  $\alpha_{1-2}; \alpha_{2-3}; \alpha_{3-4}; \alpha_{4-5}; \alpha_{5-1}$  – дирекционные углы сторон полигона.  $d_{1-2}; d_{2-3}; \dots; d_{5-1}$  – горизонтальные проложения сторон полигона. Найти:  $x_2$  и  $y_2; x_3$  и  $y_3; \dots; x_5$  и  $y_5$ . Разница между координатами соседних точек называется приращением координат:  $x_2 - x_1 = \Delta x_{1-2}; y_2 - y_1 = \Delta y_{1-2}$ . Отсюда  $x_2 = x_1 + \Delta x_{1-2}; y_2 = y_1 + \Delta y_{1-2}$ . Из треугольника следует (рис. 12):  $\Delta x_{1-2} = d_{1-2} \cdot \cos r_{1-2}; \Delta y_{1-2} = d_{1-2} \cdot \sin r_{1-2}$ .

Из рис. 13 следует:  $x_3 = x_2 + \Delta x_{2-3}; y_3 = y_2 + \Delta y_{2-3}; \Delta x_{2-3} = d_{2-3} \cdot \cos r_{2-3}; \Delta y_{2-3} = d_{2-3} \cdot \sin r_{2-3}$ .

Перейдем к общему случаю:  $x_n = x_{n-1} + \Delta x_n; y_n = y_{n-1} + \Delta y_n; \Delta x_n = d_n \cdot \cos r_n; \Delta y_n = d_n \cdot \sin r_n$ .

При вычислениях учитываются знаки приращений координат в зависимости от четверти, в которую направлена линия (см. выше). Если вместо румбов использовать дирекционные углы, то знаки перед приращениями координат получаются сами собой.

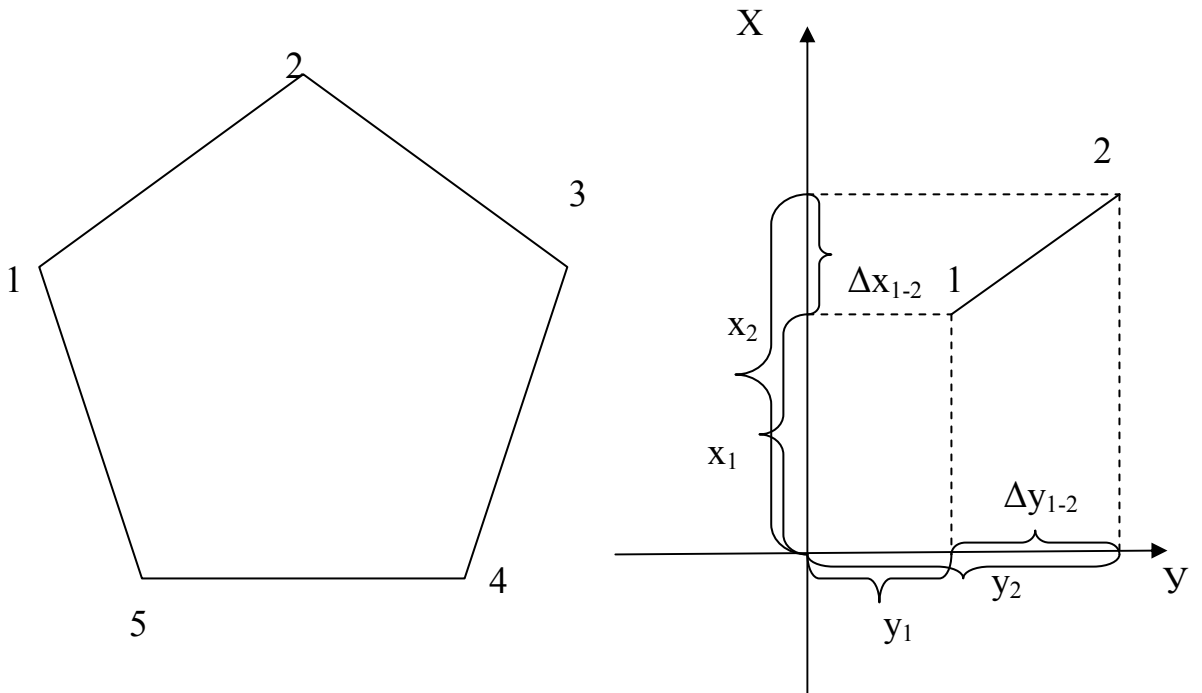


Рис. 12. Решение прямой геодезической задачи для линии 1-2



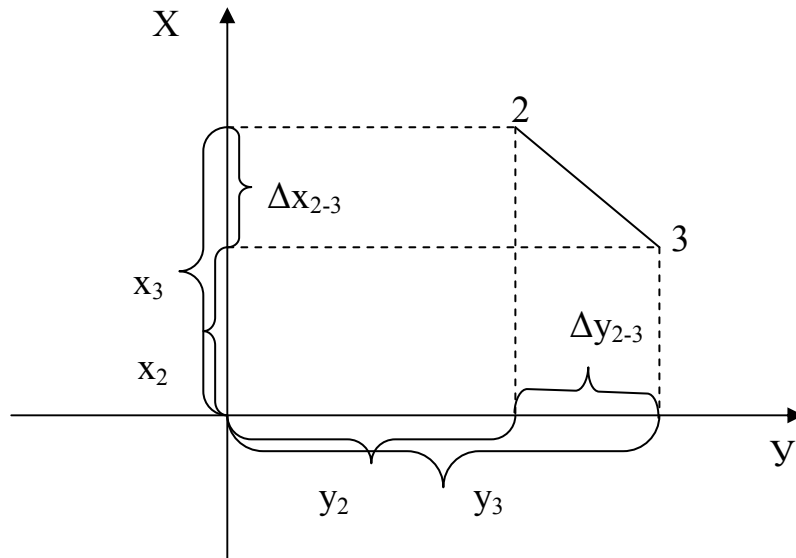


Рис. 13. Решение прямой геодезической задачи для линии 2-3

Координаты  $n$ -ой точки полигона можно выразить и через координаты первой точки:

$$\begin{aligned}
 x_2 &= x_1 + \Delta x_{1-2}; \\
 x_3 &= x_2 + \Delta x_{2-3} = x_1 + (\Delta x_{1-2} + \Delta x_{2-3}); \\
 x_4 &= x_3 + \Delta x_{3-4} = x_1 + (\Delta x_{1-2} + \Delta x_{2-3} + \Delta x_{3-4}); \\
 x_5 &= x_4 + \Delta x_{4-5} = x_1 + (\Delta x_{1-2} + \Delta x_{2-3} + \Delta x_{3-4} + \Delta x_{4-5}); \\
 \dots\dots \\
 x_n &= x_1 + \sum_1^n \Delta X \text{ и } y_n = y_1 + \sum_1^n \Delta Y.
 \end{aligned}$$

$\sum \Delta x$  и  $\sum \Delta y$  – суммы приращений координат.

Отсюда запишем:

$$\begin{aligned}
 x_n - x_1 &= \sum \Delta x \\
 y_n - y_1 &= \sum \Delta y
 \end{aligned}$$

В случае замкнутого полигона, когда, обойдя все вершины поочередно, мы возвращаемся в исходную,  $x_n - x_1 = 0$  и  $y_n - y_1 = 0$ . Следовательно, для замкнутого полигона сумма приращений координат по обеим осям равна нулю.

$$\sum \Delta x_{\text{теор.}} = 0 \text{ и } \sum \Delta y_{\text{теор.}} = 0.$$

Однако в связи с ошибками в угловых и линейных величинах эта сумма будет несколько отличаться от 0. Мы возвратимся не в точку 1, а в 1' (рис. 14).

Полученная разница в суммах приращений координат называется невязкой:

$$\begin{aligned}
 \sum \Delta x_{\text{изм.}} &= f_x \neq 0 \text{ – невязка по } x; \\
 \sum \Delta y_{\text{изм.}} &= f_y \neq 0 \text{ – невязка по } y.
 \end{aligned}$$

Для оценки точности полигона вычисляют абсолютную невязку:

$$(1 - 1') = f_{\text{абс.}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2},$$

а затем относительную ошибку:

$$f_{\text{отн.}} = \frac{f_{\text{абс.}}}{P} \leq \frac{1}{2000}; P - \text{периметр.}$$

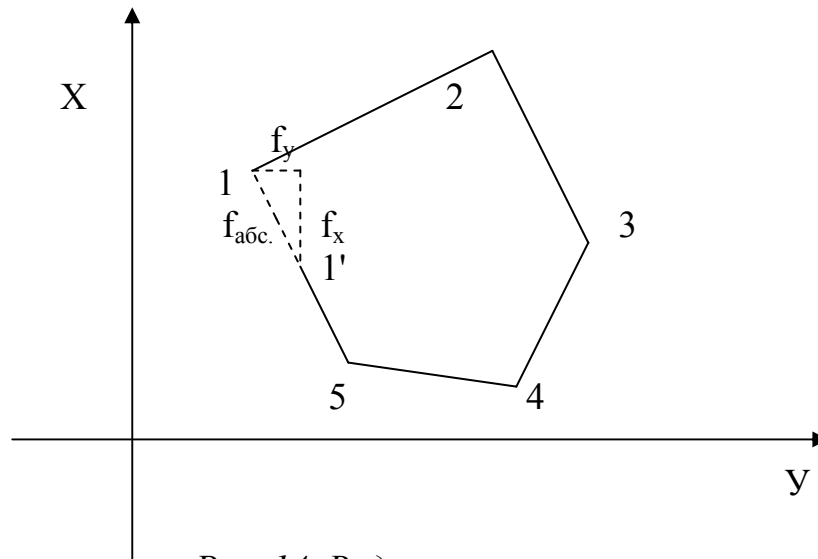


Рис. 14. Виды невязок в полигоне

Если условие неравенства выполняется, полученную невязку по осям координат распределяют в вычисленные приращения в виде поправок с обратным невязке знаком, пропорционально значениям горизонтальных проложений: большую поправку в большее значение проложения.

*Обратная геодезическая задача* заключается в вычислении дирекционного угла и горизонтального проложения линии, по известным координатам ее начальной и конечной точек. Из предыдущих рисунков видно, что

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}; \operatorname{tgr} = \frac{\Delta y}{\Delta x}; r = \operatorname{arctgr}; d = \frac{\Delta x}{\cos r} = \frac{\Delta y}{\sin r}.$$

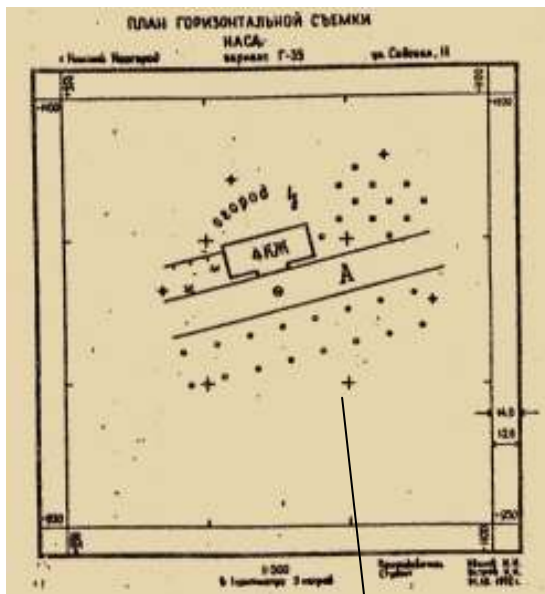
Дирекционный угол находят по полученному румбу, учитывая четверть, в которую направлена прямая. Четверть определяется по знакам приращений координат:

$$\begin{array}{ll} \frac{+\Delta y}{+\Delta x} & 1 \text{ четверть } \alpha = r; \quad \frac{+\Delta y}{-\Delta x} & 2 \text{ четверть } \alpha = 180^\circ - r; \\ \frac{-\Delta y}{-\Delta x} & 3 \text{ четверть } \alpha = r + 180^\circ; \quad \frac{-\Delta y}{+\Delta x} & 4 \text{ четверть } \alpha = 360^\circ - r. \end{array}$$

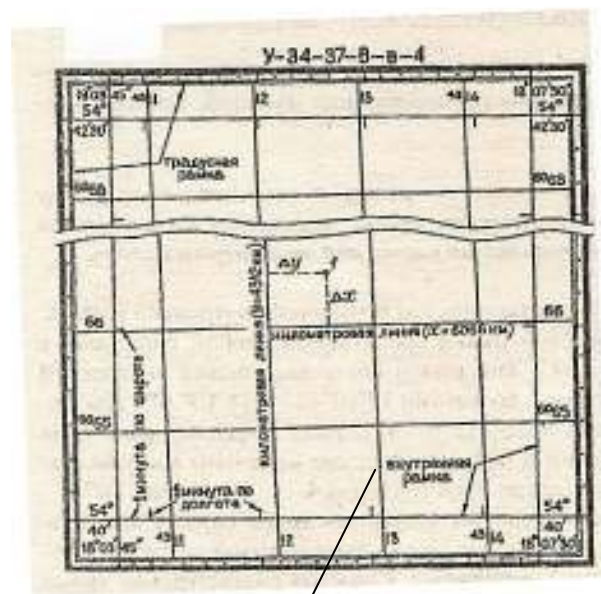
## 6. Топографические карты и планы

### 6.1. Понятие о плане, карте, профиле

План есть уменьшенное и подобное изображение на бумаге горизонтальной проекции сравнительно небольшого участка местности. Размеры участка до 25 км<sup>2</sup>. В этом случае не учитывается кривизна Земли. Степень уменьшения изображения сравнительно небольшая: 100, 200, 500...5000раз. Для удобства пользования на планах наносится координатная сетка. Планы могут быть горизонтальными (контурными), высотными и контурно-высотными (топографическими).



План М 1:1000  
координатная сетка



Карта М 1:10000  
километровая сетка

Рис. 15. План, карта

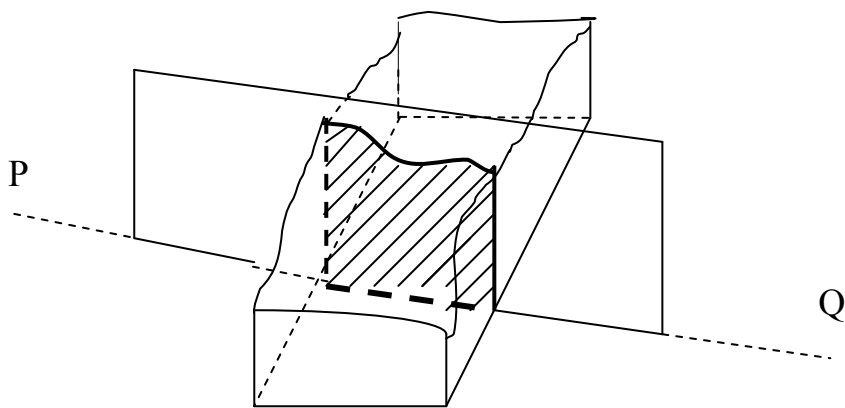
Карта – уменьшенное и закономерно искаженное вследствие влияния кривизны Земли изображение на бумаге горизонтальной проекции значительной части или всей земной поверхности. Степень уменьшения больше по сравнению с планом: 10000 раз, 50000..... . Искажения происходят из-за невозможности разворачивания сферических поверхностей (геоид, эллипсоид) в плоскость (бумага плоская) без разрывов и складок. На картах наносят градусные и километровые сетки. Все карты контурно – высотные (топографические).

По планам и картам можно решать ряд задач:

1. Определение расстояний между точками.
2. Определение прямоугольных и географических координат точек.
3. Определение абсолютных отметок точек.
4. Ориентирование линий местности.
5. Построение профилей по заданным направлениям.
6. Определение крутизны ската.
7. Определение водосборной площади и другие.

Порядок решения задач смотри [5].

*Профиль местности* есть линия пересечения земной поверхности с отвесной (вертикальной) плоскостью, расположенной в заданном направлении (PQ) (рис. 16). Его уменьшенное изображение на бумаге также называется профилем. Направление сечения может быть прямолинейным, ломаным или криволинейным.



*Рис. 16. Профиль*

## **6.2. Цифровые и электронные топографические карты**

В последние годы для проектирования сооружений с использованием ЭВМ местность представляют массивом аналитических координат и отметок в виде цифровой модели местности (ЦММ), создаваемой на основе стереофотограмметрических, картографических или полевых топографических измерений. Цифровая карта (ЦК) – цифровая модель местности, записанная на машинном носителе информации в установленных структурах и кодах, сформированная на базе законов картографии в принятых для карт проекции, разграфке, системе координат и высот, по точности и содержанию соответствующая карте определенного масштаба.

ЦММ – называют совокупность точек местности с известными трехмерными координатами и различными кодовыми обозначениями, предназначенную для аппроксимации местности с ее природными характеристиками, условиями и объектами. Общая ЦММ – это многослойная модель, которая в зависимости от назначения может быть представлена сочетанием частных цифровых моделей (слоев): рельефа, ситуационных особенностей, почвенно-грунтовых, гидрогеологических, инженерно-геологических, гидрометеорологических условий, технико-экономических показателей и других характеристик местности.

Математической моделью местности (МММ) называют математическую интерпретацию цифровых моделей для компьютерного решения конкретных инженерных задач.

Необходимая точность модели обязательно должна быть увязана с требуемой точностью решаемых по ней инженерных задач.

При использовании для построения ЦММ материалов традиционных топографических съемок точность ситуационных контуров принимают в соответствии с точностью выполняемых топографических съемок равной 1 мм в масштабе плана. Точность представления рельефа не должна выходить за пределы  $\frac{1}{4}$  высоты сечения горизонталей в равнинной местности,  $\frac{1}{2}$  высоты сечения – в пересеченной местности и 1 высоты сечения – в горной. Точность ЦММ при использовании материалов топографических съемок, выполненных с помощью

электронных тахеометров или приемников спутниковой навигации «GPS», учитывая, что запись информации ведется безошибочно на магнитные носители, зависит главным образом от точности используемых приборов.

При построении ЦММ по существующим топографическим планам и картам характерные точки местности снимают с точностью, принимаемой равной: 0,5 мм – для отображения ситуационных особенностей местности и 0,2, 0,3 и 0,5 высоты сечения – для отображения соответственно равнинного, пересеченного и горного рельефа.

При создании ЦММ по материалам аэросъемок или фототеодолитных съемок точность отображения ситуационных особенностей местности и рельефа определяется точностью считывания фотограмметрических координат, которую обеспечивает тот или иной используемый фотограмметрический прибор.

Для обеспечения необходимой точности аппроксимации рельефа местности плотность исходного массива точек (среднюю удаленность друг от друга) для регулярных и нерегулярных (статистических) моделей принимают:

- в равнинной местности – 20 - 30 м;
- в пересеченной местности – 10 - 15 м;
- в горной местности – 5 - 7 м.

Электронная карта (ЭК) – векторная или растровая топографо-тематическая карта, сформированная на машинном носителе информации в принятой проекции, системе координат и высот, условных знаков, предназначенная для отображения, анализа и моделирования, а также для решения расчетных и информационных задач по данным о местности и обстановке.

В числе многих задач, решаемых с использованием цифровых и математических моделей, являются: оптимальное пространственное трассирование автомобильных дорог, лесовозных дорог и каналов; получение продольных по оси трассы и поперечных инженерно-геологических разрезов; получение исходной инженерно-гидрологической информации для проектирования водопропускных сооружений и системы поверхностного водоотвода (площади водосборов, живые сечения, морфостворы и гидростворы, уклоны логов и их склонов, математическое моделирование стока ливневых и талых вод и т. д.); проектирование системы дорожного поверхностного водоотвода; решение задачи распределения земляных масс и подсчеты объемов земляных работ; решение задач вертикальной планировки; пространственное моделирование полотна автомобильных дорог и прилегающего ландшафта.

### **6.3. Масштабы**

Степень уменьшения горизонтальных проложений линий местности при изображении их на плане или карте называется масштабом.

В геодезии различают масштабы: численный, именованный (словесный), линейный и поперечный. Численный масштаб есть отвлеченная дробь, числителем которой является единица, а знаменателем – число, показывающее во сколько раз уменьшены горизонтальные проложения линий местности при изображении их на плане или карте (иначе – отношение горизонтального про-

ложения линии на плане или карте к горизонтальному проложению той же линии на местности, рис. 17).

$$1:M=ab: AB \quad \left\{ \begin{array}{l} ab - \text{горизонтальное проложение линии на плане} \\ AB - \text{горизонтальное проложение линии на местности} \end{array} \right.$$

1:M; 1:100; 1:2000; 1:10000.....1см:10000см

Именованный масштаб можно выразить словами: в 1см карты содержится 20 м местности (М 1:2000); в 1см – 100м (М 1:10000). Если горизонтальное проложение линии на местности обозначить S, на плане – d, то можно записать:

$$d = \frac{S}{M} \quad \text{или} \quad S=d \cdot M \quad (\text{пусть } d=1 \text{ см, } S=10 \text{ м; } 1: M=1:1000).$$

Чем больше M, тем мельче масштаб, чем меньше M, тем масштаб крупнее. 1:50000 мельче 1:25000 вдвое и т.д.

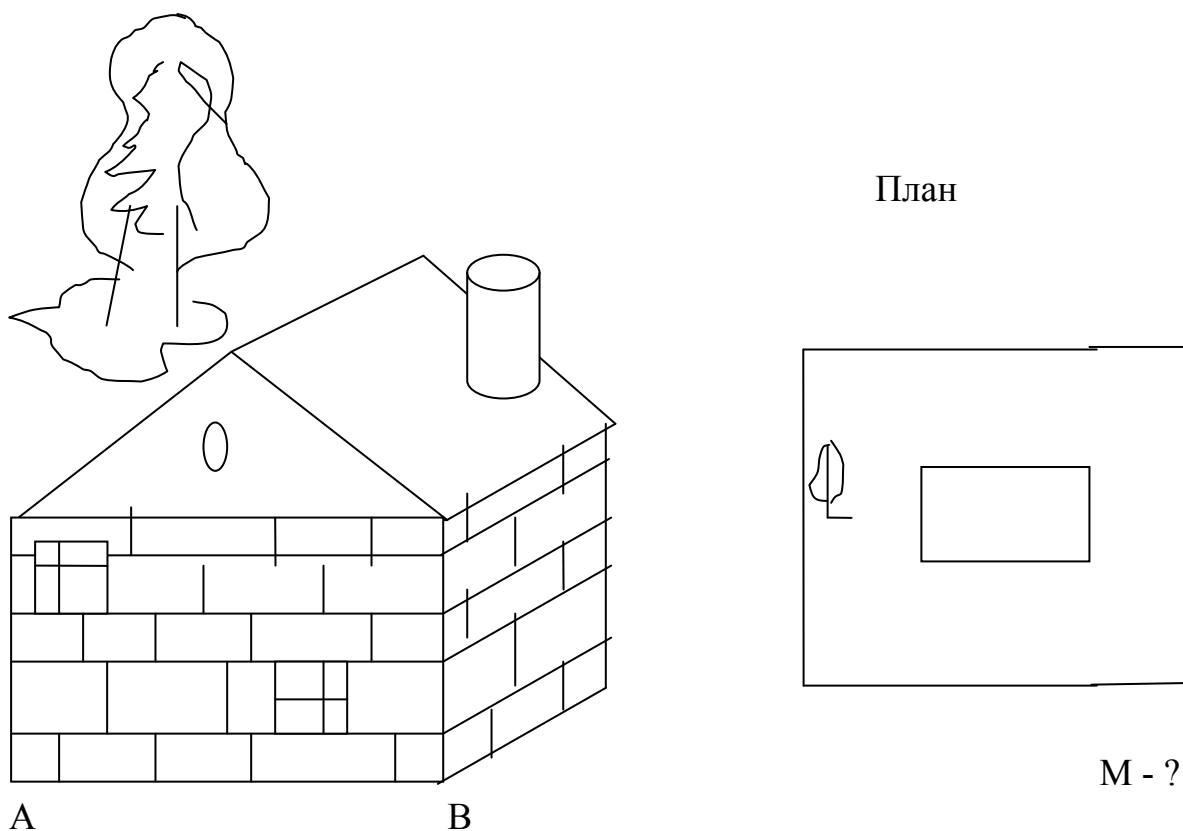


Рис. 17. Определение масштаба

Линейный масштаб строится графически. Он служит для ускорения работ по переходу от измерений на местности к измерениям на плане (карте) и обратно при большом объеме работ. Он строится путем откладывания равных отрезков, называемых основанием масштаба (нормальный масштаб имеет основание,  $a=2$ ), вдоль прямой линии и оцифровкой правых концов отрезков, начиная со второго, в соответствии с численным масштабом. Для повышения точности измерений первое основание делят на мелкие части, на концах которого ставят нуль. Доли мелких делений оценивают на глаз. Линейный масштаб не отличается высокой точностью.

Поперечный масштаб является также графическим изображением численного масштаба, строится он на основе линейного масштаба, но отличается более высокой точностью. Для построения поперечного масштаба из концов оснований линейного масштаба восстанавливают перпендикуляры, на двух крайних из них откладывают  $n$  равных отрезков и через одноименные точки проводят прямые, параллельные линии линейного масштаба (рис.18). Первые нижнее и верхнее основания делят на  $m$  равных частей, нулевую точку нижнего основания соединяют с первой точкой верхнего основания, а через все остальные проводят линии, параллельные только что проведенной. Эти линии называются трансверсалиями.

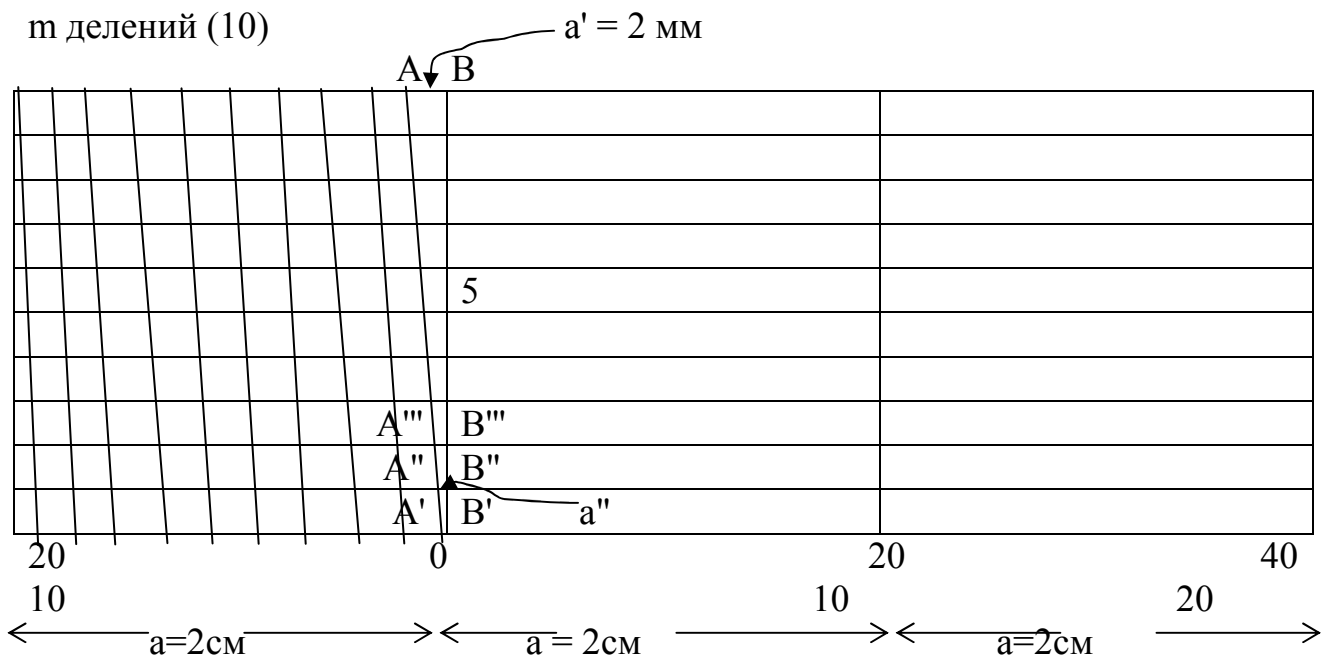


Рис. 18. Поперечный масштаб

Определим величину наименьшего деления поперечного масштаба.

Из построения:  $AB = a : m$ ;  $OB'$  в  $n$  раз меньше  $OB$ , то есть  $OB' : OB = 1 : n$ . Из подобия  $\triangle OA'B' \sim \triangle OAB$  имеем:

$$\frac{OB'}{OB} = \frac{A'B'}{AB} \text{ или } \frac{1}{n} = \frac{A'B'}{a : m}; A'B' = a'' = \frac{a}{m \cdot n}.$$

Обычно  $m=n=10$  (сотенный масштаб) и  $a=2\text{см}$ . Тогда  $A'B' = \frac{20}{10 \cdot 10} = 0,2\text{мм}$ .

Из рисунка видно, что

$$A''B'' = 2A'B' = 0,4 \text{ мм},$$

$$A'''B''' = 3A'B' \dots,$$

$$a = 20 \text{ мм}; a' = 2 \text{ мм}; a'' = 0,2 \text{ мм},$$

$$A'B' = a'' = 0,2 \text{ мм}; A''B'' = 2a'' = 0,4 \text{ мм}; A'''B''' = 3a'' = 0,6 \text{ мм}; \dots; AB = 10a'' = 2 \text{ мм}.$$

Один и тот же чертеж поперечного масштаба можно подписать для любого численного масштаба и пользоваться им. Сначала определяют сколько метров содержится в целом основании, в его десятой доли, сотой доли (то есть в наименьшем делении 0,2 мм) с учетом выбранного численного масштаба. Только

потом откладывают длины. Точность измерения длины линии по плану или карте равна половине наименьшего деления поперечного масштаба. Однако предельной *точностью масштаба* называется горизонтальное проложение линии местности, соответствующее 0,1 мм на карте данного масштаба (так как укол циркуля 0,1 мм, разрешающая способность глаза тоже 0,1 мм).

#### **6.4. Условные знаки ситуации и рельефа [5]**

Понятие местность при изображении ее на планах и картах объединяет два более конкретных понятия: рельеф (совокупность неровностей поверхности Земли) и ситуация (совокупность местных предметов, сооружений, угодий, водных объектов и т.д.). При составлении планов и карт для обозначения ситуации и рельефа пользуются условными знаками (их насчитывается более 500). Условные знаки ситуации делятся на четыре вида: контурные (масштабные), немасштабные, пояснительные и линейные.

1. Условные контурные знаки служат для изображения местных предметов, выражающихся в масштабе карты (плана). При этом сначала пунктиром или сплошной линией вычерчивается контур предмета, который затем заполняется значками. Примерами таких знаков могут служить знаки, изображающие дома, границы различных контуров.

2. Условные немасштабные знаки служат для изображения важных местных предметов, не изображающихся в масштабе карты из-за малости своих размеров. Определенная точка в каждом знаке соответствует положению предмета на местности (это может быть центр, вершина, основание, угол знака). По этим условным знакам нельзя судить о величине предметов местности (километровые столбы, ветряные двигатели, памятники, радиомачты).

3. Условные пояснительные знаки дополняют характеристику изображенных на карте предметов.

4. Линейные сооружения, ручьи выделяют в условные знаки, называемые линейными. Те же предметы на плане (в крупном масштабе) могут изображаться масштабными знаками.

5. Условные знаки рельефа вычерчиваются всегда коричневым цветом. Они включают горизонтали, бергштрихи и специальные знаки для отдельных форм рельефа (овраги, скалы, террасы, промоины и т.д.), невыражаемых горизонталями.

#### **6.5. Основные формы рельефа и их изображение на картах и планах.**

Различают пять основных форм рельефа (рис. 19).

1. Гора – возвышенность конусообразной формы на земной поверхности. Характерные линии – ската (линия, образующая боковую поверхность какой-либо формы рельефа), подошвы (соединяет точки подошвы). Характерные точки – вершина (точка, имеющая максимальную высоту), точки скатов, перегиба скатов (там, где линия ската меняет направление) и подошвы в местах изгибов контура и перегибов рельефа внизу горы.

2. Котловина (впадина, яма) – углубление конической формы на поверхности земли. Характерные линии – скаты (склоны), бровка (кромка). Характер-



ные точки – дно (имеет минимальную высоту), точки скатов, перегиба скатов и бровки в местах изгибов контура и перегибов рельефа вверх у котловины.

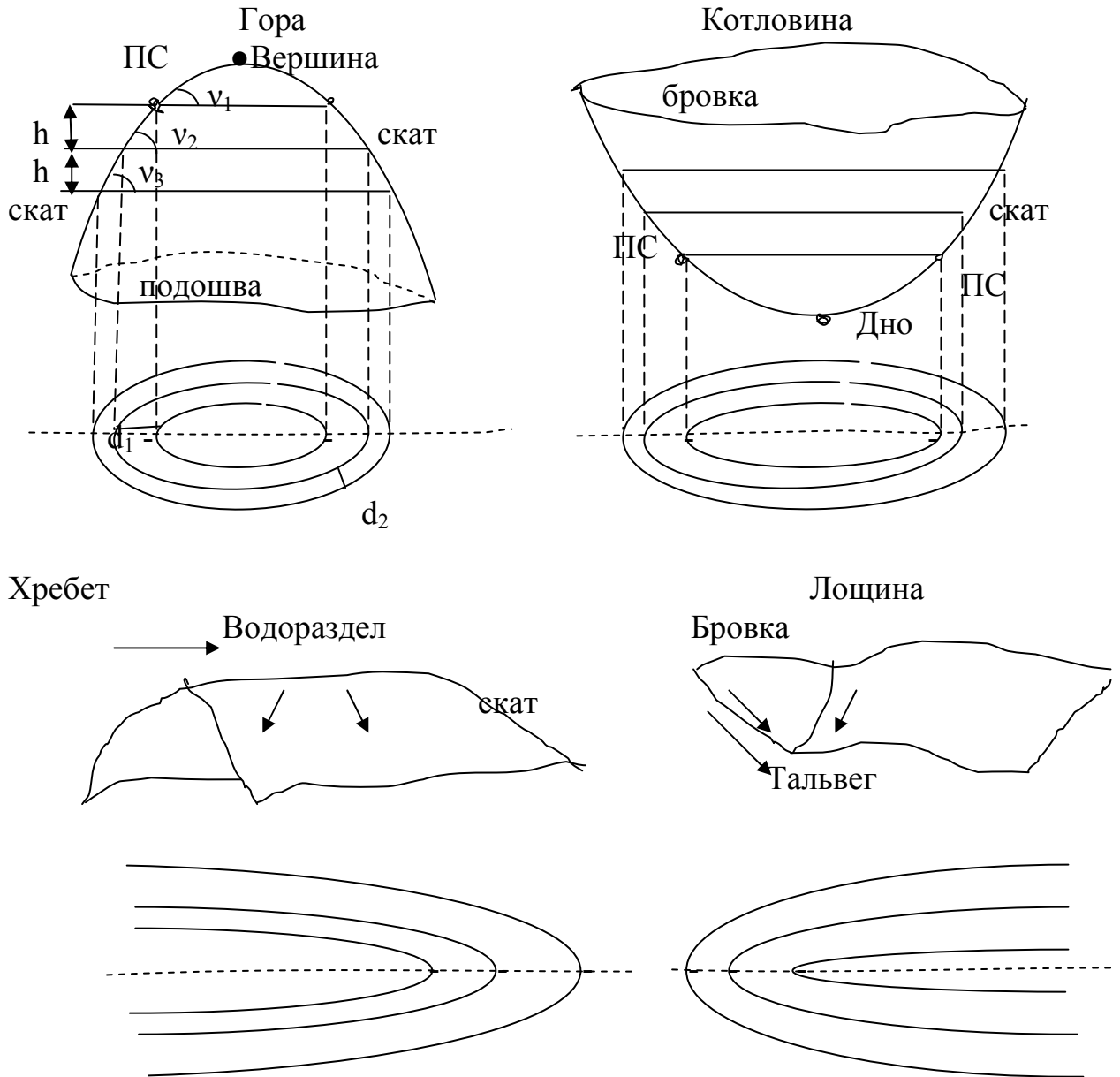


Рис. 19. Формы рельефа местности

3. Хребет – возвышенность вытянутой формы на земной поверхности, постепенно понижающаяся в одном направлении. Характерные линии - водораздел (линия вдоль хребта, проходящая по самым высоким его точкам), скаты, подошва; характерные точки – перегиба водораздела, перегиба скатов, подошвы – точки на характерных линиях в местах изгибов и перегибов.

4. Лощина – углубление вытянутой формы на поверхности земли, постепенно понижающееся в одном направлении. Характерные линии – тальвег или водослив (линия вдоль лощины, проходящая по самым низким ее точкам), скаты, бровки. Характерные точки – перегиба тальвега, перегиба скатов, бровки – точки на характерных линиях в местах изгибов контура и перегибов рельефа.

5. Седловина – образуется двумя возвышенностями и двумя лощинами. Характерные линии – линия седла и линии двух гор; характерные точки – точка седла (в ней сходятся две линии водораздела и расходятся две линии тальвега) и точки двух гор (рис. 20).

Другие формы рельефа: овраги, дюны и т.д.

Наиболее часто рельеф изображают на картах и планах горизонталями (нижняя часть рисунков). Закрытая кривая, соединяющая точки земной поверхности с одинаковыми высотами называется горизонталью. Горизонтали имеют следующие свойства: горизонталь всегда замкнутая кривая; горизонтали не могут пересекаться; по величине заложения горизонталей можно судить о крутизне ската (чем меньше заложение, тем круче скат). Получается горизонталь в результате сечения рельефа горизонтальной плоскостью (рис. 19).

Расстояние (h) между соседними секущими уровнями поверхностями называется высотой сечения рельефа. Расстояние (d) между соседними горизонталями в плане называется заложением. Чем меньше заложение, тем круче скат, чем больше заложение, тем скат положе. Значение высоты сечения рельефа задается в соответствии с масштабом карты и бывает 5 м (М 1:25000); 2,5 м (М 1: 10000); 1 м (1:1000, 1: 500); 0,5 м (1:500, 1:250); 0,25 м

(М 1:500, 1: 250). Кроме того, высоту сечения рельефа выбирают, руководствуясь сложностью рельефа: если местность непересеченная, выбирают меньшее значение высоты сечения рельефа, при гористой – большее.

Крутизну линии местности характеризуют углом наклона  $v$  или уклоном  $i = \operatorname{tg} v = h/d$ ;  $d$  – берут с карты;  $h$  для данной карты – постоянно. Линия наибольшей крутизны называется скатом. Направление ската нормально к горизонталям.

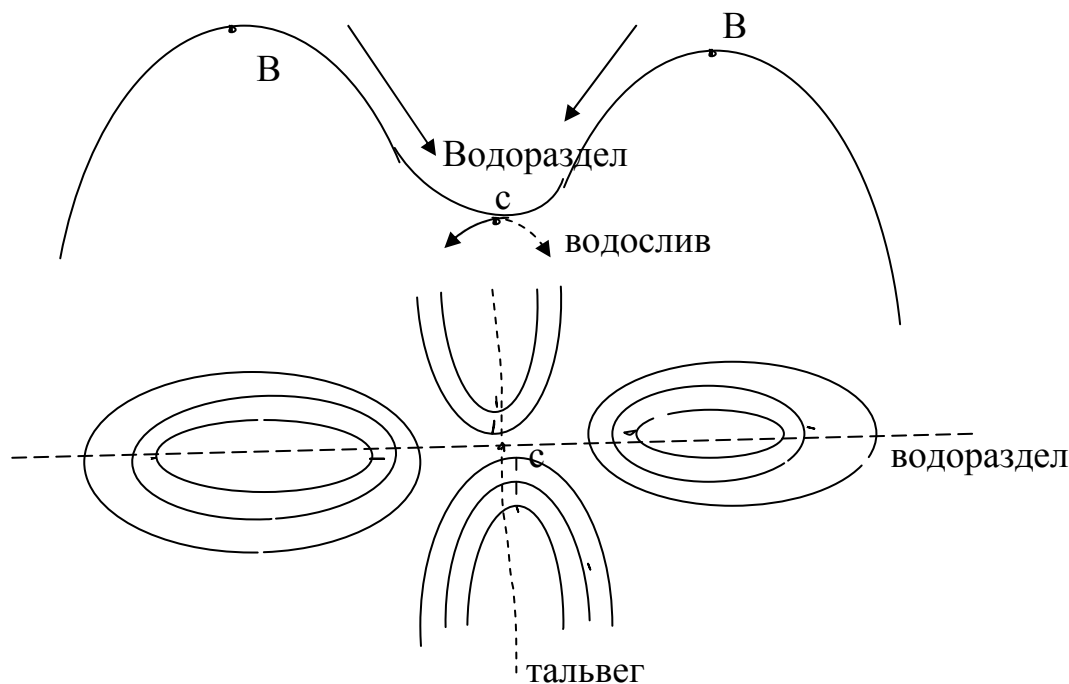


Рис. 20. Седловина

Для более быстрого определения крутизны линий местности на карте (плане) по их заложению строят специальные графики, называемые масштабами заложений: масштаб заложений для углов наклона, для уклонов (рис. 21).

Величины  $d$ , вычисленные для углов  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ \dots$  или уклонов  $10\%, 20\%, 30\% \dots$  откладывают на перпендикулярах из концов равных отрезков в масштабе карты или плана.

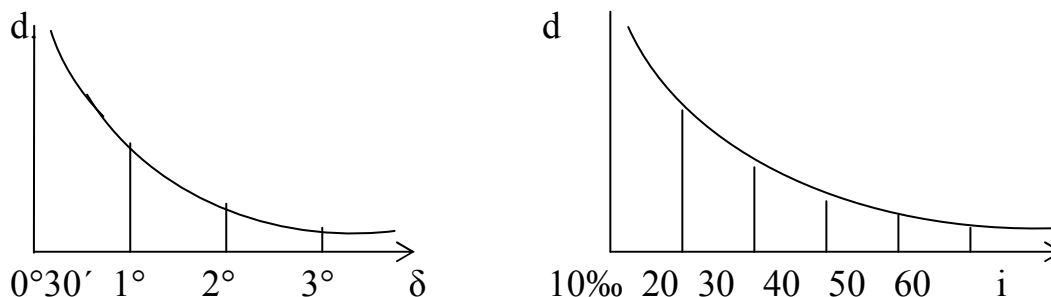


Рис. 21. Масштабы заложений

Горизонтали проводят по отметкам точек, выполняя интерполяцию. Выполнить интерполяцию – это найти между двумя точками с известными высотами точки, высоты которых кратны высоте сечения рельефа. Интерполяционные линии (по которым выполняют интерполяцию) проводят только между соседними точками, линии не могут пересекаться. Выполнив интерполяцию по нескольким линиям, точки с одинаковыми высотами соединяют плавными кривыми, то есть проводят горизонтали.

### 6.6. Номенклатура топографических карт и планов.

Номенклатурой называется система обозначения (нумерации) отдельных листов топографических карт различных масштабов; система их взаимного расположения устанавливается принятой разграфкой.

В России основой разграфки и номенклатуры служит международная разграфка листов карты масштаба  $1:1000000$ . Эта разграфка производится путем условного деления земного шара параллелями по  $4^\circ$  от экватора к северу и к югу и меридианами от  $180^\circ$  (напротив Гринвича) по  $6^\circ$ . В результате деления параллелями получаются ряды, обозначаемые буквами латинского алфавита от А до V, начиная от экватора к северу и к югу. При делении поверхности земного шара меридианами получаются колонны; они нумеруются от 1 до 60 с запада на восток, начиная от меридиана с долготой  $180^\circ$ , то есть противоположного Гринвичу. Территория России находится в колоннах со 2 по 34.

Номенклатура листа карты масштаба  $1:1000000$  складывается из названия ряда и номера колонны, (номер колонны отличается на 30 единиц от номера зоны), например, N – 37. Лист карты  $1:1000000$  масштаба делится на 144 листа масштаба  $1:100000$ , которые нумеруются от 1 до 144 и имеют размер трапеции  $\Delta\varphi=20'$  и  $\Delta\lambda=30'$ . Номенклатура листа складывается из

номенклатуры листа 1:1000000 и номера трапеции. Листы карты масштаба 1:50000 получаются делением листа карты масштаба 1:100000 на четыре части, обозначаемые заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г. Размер трапеции 10'×15'. Номенклатура листа получается присоединением к номенклатуре сотысячного листа соответствующей буквы, например, α-49 – 133 – В (заштриховано на рис. 22).

Листы карты масштаба 1:25000 получают делением листов карты масштаба 1:50000 на 4 части, обозначаемые строчными буквами русского алфавита а, б, в, г. Размер трапеции 5'×7'30". Номенклатура листа получается путем присоединения к номенклатуре листа карты масштаба 1:50000 соответствующей буквы. Например, α – 49 – 133 – Б – в (заштриховано на рисунке).

Листы карты масштаба 1:25000 получают делением листов карты масштаба 1:50000 на 4 части, обозначаемые строчными буквами русского алфавита а, б, в, г. Размер трапеции 5'×7'30". Номенклатура листа получается путем присоединения к номенклатуре листа карты масштаба 1:50000 соответствующей буквы. Например, α – 49 – 133 – Б – в (заштриховано на рисунке).

Делением каждого листа карты масштаба 1:25000 на 4 части получают листы карты масштаба 1:10000 размером 2'30"×3'45", обозначаемые арабскими цифрами 1, 2, 3, 4, которые при указывании номенклатуры записывают после номенклатуры соответствующего листа карты масштаба 1:25000, например, L – 49 – 133 – Б – г – 4 (заштриховано на рис. 22).

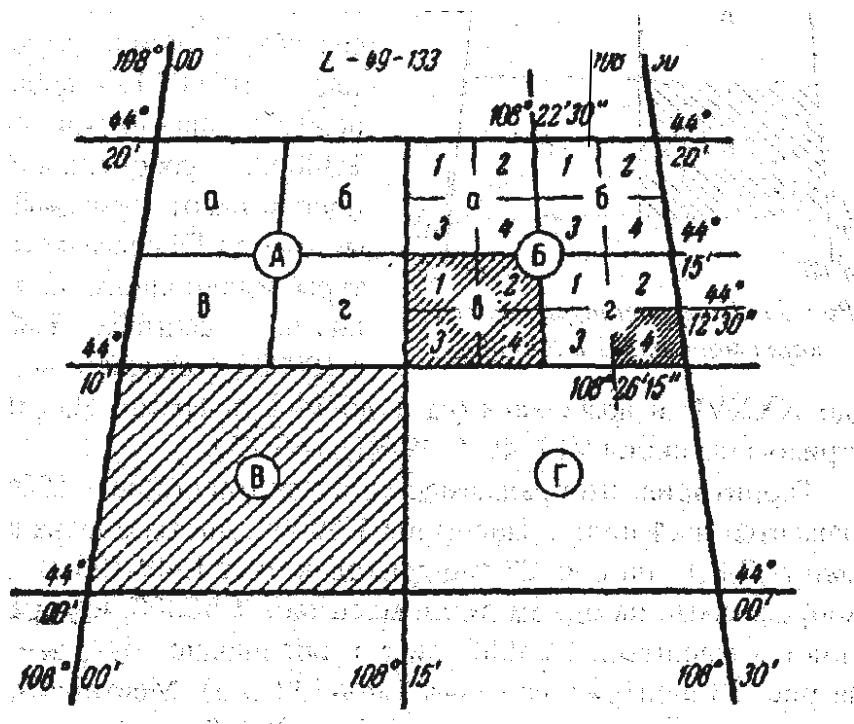


Рис. 22. Номенклатура листов карт масштабов 1:50000, 1:25000, 1:1000

Разграфка листов карты масштаба 1:5000 осуществляется путем деления листов карты масштаба 1:100000 на 256 частей (16×16) или делением листа карты масштаба 1:10000 на 4 части. Их размер 1'15"×1'52,5", нумерация от 1 до 256. Номенклатура листа образуется путем присоединения к номенклатуре листа карты масштаба 1:100000 соответствующего номера, взятого в скобки, например, L – 49 – 133 – (16).

Листы карты масштаба 1:2000 получают делением листов карты масштаба 1:5000 на 9 частей, обозначаемых строчными буквами русского алфавита а, б, ...и.

## 7. Угловые измерения

### 7.1. Принцип измерения горизонтального угла и схема угломерного прибора

На рис. 23: ВАС – пространственный угол; В'А'С' - горизонтальный угол, то есть проекция пространственного угла на горизонтальную плоскость Н, осуществленная вертикальной плоскостью Р, поворачиваемой вокруг отвесной линии АА'.

Л – круг с делениями (лимб), плоскость которого параллельна плоскости Н, а центр совмещен с прямой АА' (отвесная линия, проходящая через вершину угла).

Поскольку план есть горизонтальная проекция участка поверхности Земли, то нам необходимы не пространственные углы, а горизонтальные. Из рис. 23 видно, что если навести вертикальную плоскость на точку В и отсчитать на лимбе отсчет в (он равен дуге), затем совместить плоскость с направлением АС и тоже взять отсчет с, то

$$\angle \text{вОс} = \beta = \text{с} - \text{в}.$$

Отсюда следует, что для измерения горизонтального угла необходимо:

1. Иметь горизонтальный круг с делениями, центр которого лежит на отвесной прямой, проходящей через вершину угла, то есть отцентрированный над вершиной угла.

2. Вертикальную плоскость для совмещения со сторонами пространственного угла и проектирования его на плоскость горизонтального круга.

Этим требованиям отвечает геодезический угломерный прибор, называемый «теодолит». К теодолиту придаются отвес, буссоль, штатив.

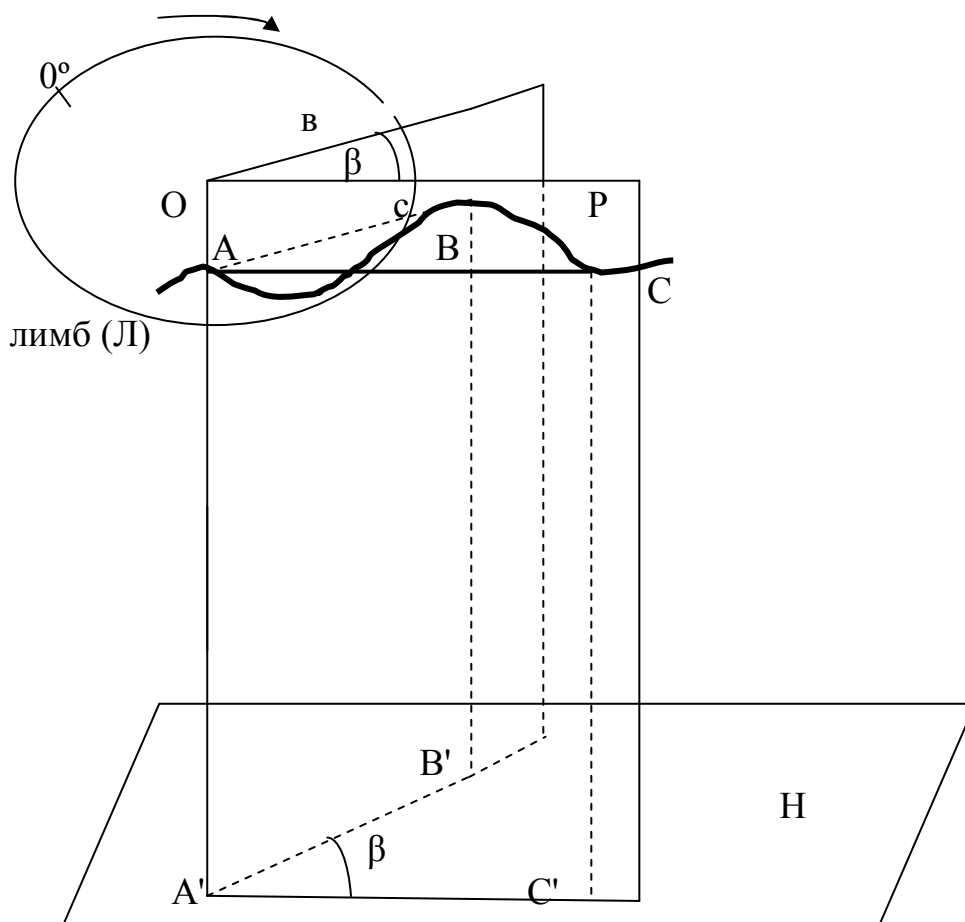


Рис. 23. Схема угломерного прибора

Рассмотрим его устройство на примере теодолита 2Т30. Его основными частями являются: 1 – кремальера, для получения четкого изображения визирной цели; 2 – закрепительный винт зрительной трубы; 3 – визир, для приближенного наведения на цель; 4 – колонка; 5 – закрепительный винт лимба горизонтального круга; 6 – гильза; 7 – юстировочный винт цилиндрического уровня, для исправления положения пузырька уровня; 8 – закрепительный винт алидады; 9 – цилиндрический уровень при алидаде для горизонтирования прибора (рис. 24, б), то есть для приведения его оси вращения в отвесное положение; 10 – горизонтальный круг, для измерения горизонтальных углов; 11 – вертикальный круг для измерения вертикальных углов; 12 – зрительная труба. Закрепительные винты служат для закрепления соответственных частей, наводящие – для точного наведения на цель, то есть для их малых, но точных перемещений. На рис. 24, в 1 – наводящий винт лимба горизонтального круга; 2 – окуляр микроскопа, для взятия отсчетов по лимбам; 3 – зеркало подсветки, для освещения поля зрения микроскопа; 4 – боковая крышка; 5 – посадочный паз для буссоли; 6 – уровень при трубе; 7 – юстировочная гайка; 8 – колпачок; 9 – диоптрийное кольцо окуляра; 10 – наводящий винт трубы; 11 – наводящий винт алидады; 12 – подставка – основание прибора; 13 – подь-

емные винты (3 штуки), для горизонтирования прибора при помощи цилиндрического уровня; 14 – втулка; 15 – основание; 16 – крышка.

Кроме того, в приборе имеются исправительные (юстировочные винты) для исправления положения пузырька цилиндрического уровня, сетки нитей.

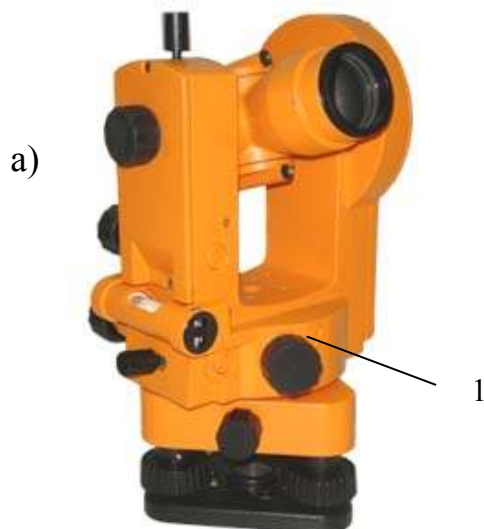
Лимб горизонтального круга представляет собой стеклянный круг, проградуированный по часовой стрелке от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Цена деления (величина наименьшего деления) равна  $1^\circ$ . Алидада представляет собой стеклянную пластинку, расположенную соосно с лимбом. Эта «линия нулей» фиксирует на лимбе отдельные положения зрительной трубы и выполняет функцию отсчетного устройства.

Зрительная труба состоит из объектива, служащего для формирования изображения цели на плоскости сетки нитей; окуляра – для увеличения изображения; двояковогнутой фокусирующей линзы, перемещаемой внутри трубы при помощи винта кремальеры для получения четкого изображения цели; сетки нитей на плоскопараллельной пластинке (рис. 25а). На трубе имеется оптический визир для приближенного наведения на цель. Сетка нитей представляет собой среднюю горизонтальную и вертикальную нити, которые в пересечении образуют точку, называемую перекрестием сетки нитей (рис. 25в). Двойная часть вертикальной нити называется биссектором. Кроме того, имеются две короткие горизонтальные нити, которые называются соответственно верхняя и нижняя дальномерная нить.

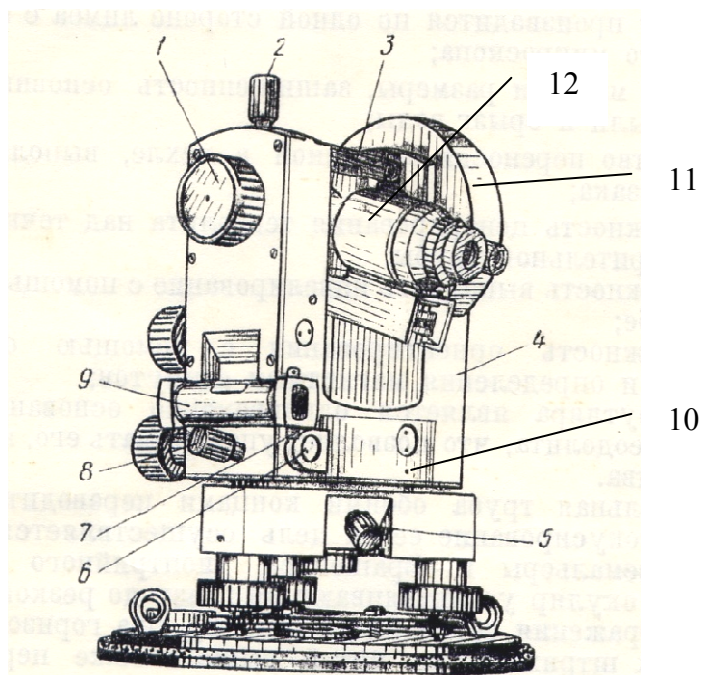
На рис. 24а представлен теодолит 4Т30П. Это теодолит 4-ой модификации. Основное отличие от теодолита 2Т30 в том, что он простой, т.е. лимб не имеет закрепительного и наводящего винта. Лимб не жестко закреплен, его можно перемещать поворотом рукоятки перевода лимба 1, поэтому теодолит может быть переконструирован в повторительный. Теодолит 4Т30П имеет зрительную трубу прямого изображения.

Рассмотрим такие характеристики зрительной трубы, как поле зрения трубы и увеличение. Поле зрения трубы – это пространство, видимое в трубу при неподвижном ее положении. В геодезических приборах оно составляет  $1,5^\circ$  –  $3^\circ$ . Увеличение зрительной трубы – это отношение угла, под которым видно изображение предмета в трубу к углу, под которым видно изображение этого же предмета невооруженным гла-

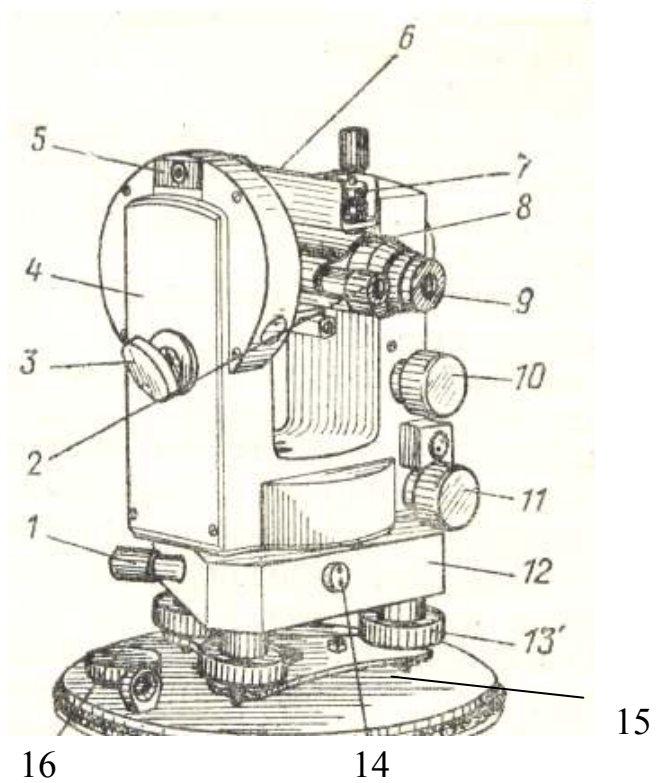
зом  $\Gamma = \frac{\alpha}{\beta}$  ( $15^x \div 42^x$ -крат).



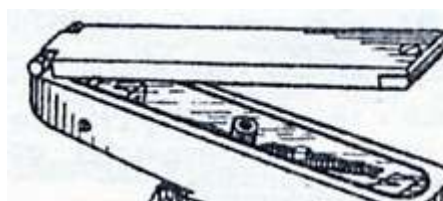
б)



в)



г)



ориентир – буссоль

Рис. 24. Внешний вид теодолита: а) 4Т30П и б), в) 2Т30



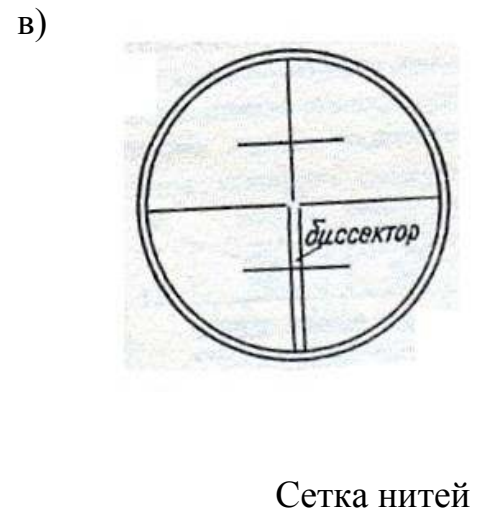
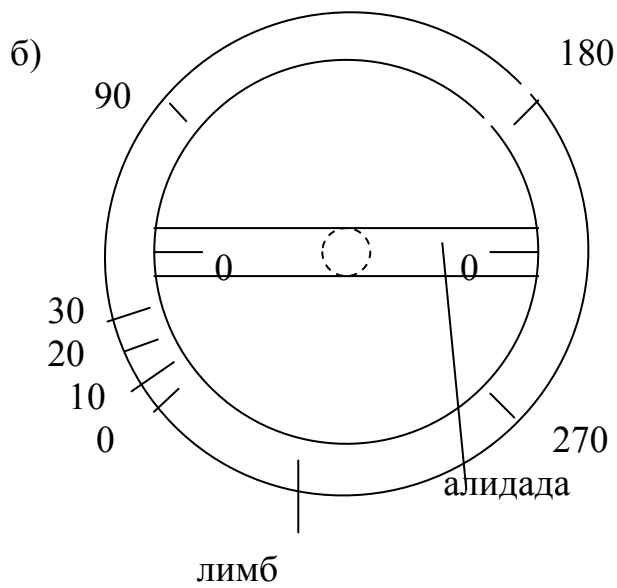
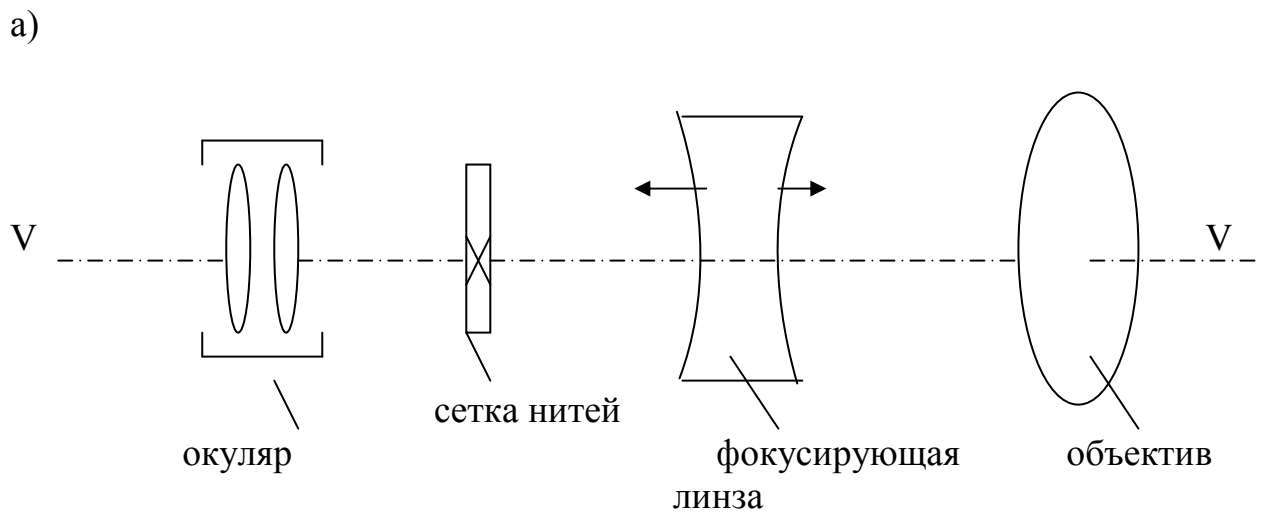


Рис. 25. Части теодолита: а) оптическая схема зрительной трубы; б) лимб горизонтального круга; в) сетка нитей

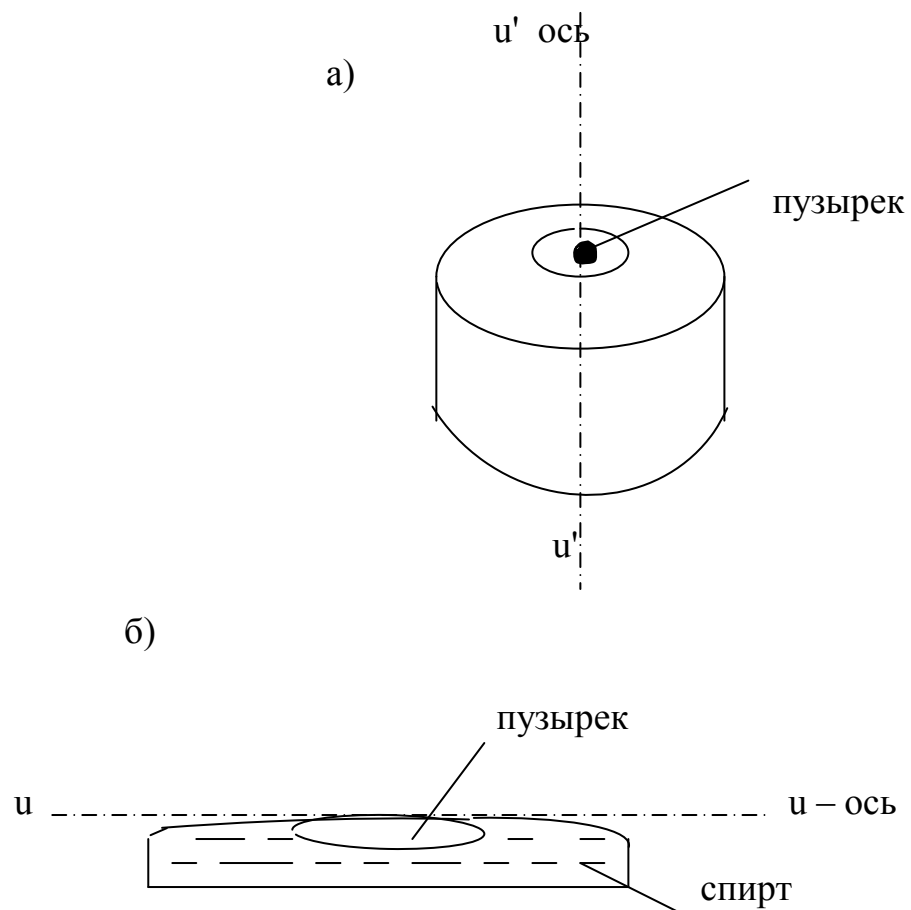


Рис. 26. Уровни: а) – круглый уровень; б) – цилиндрический уровень

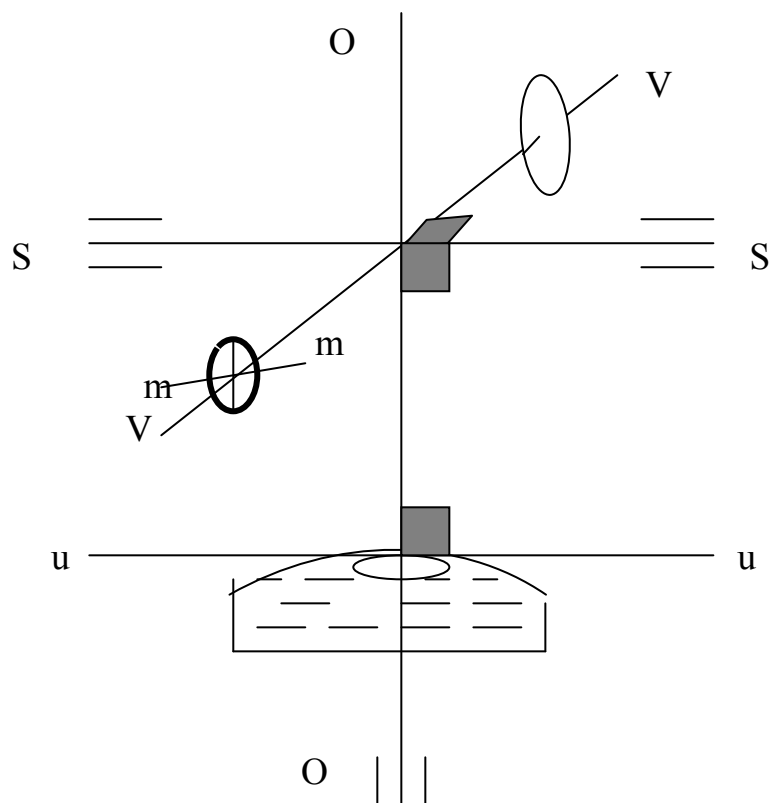


Рис. 27. Схема осей теодолита

Основными осями теодолита являются (рис. 27):

ОО – основная ось вращения прибора, проходит через точку пересечения визирной оси и горизонтальной оси вращения трубы и через центр лимба горизонтального круга;

SS – горизонтальная ось вращения зрительной трубы;

UU – ось цилиндрического уровня, мнимая прямая, касательная к внутренней поверхности ампулы в средней ее точке;

VV – визирная ось зрительной трубы, мнимая прямая, проходящая через перекрестье сетки нитей и центр объектива.

## 7.2. Классификация теодолитов

Теодолиты подразделяются по различным признакам.

По конструкции осевой системы они могут быть повторительными (лимб и алидада могут вращаться независимо друг от друга) и простыми (лимб жестко соединен и не вращается).

По точности теодолиты классифицируются на:

высокоточные – Т05, Т1; ошибка измерения угла  $\leq 1''$ ,

точные – Т2, Т5, Т5К;..... $\leq 5''$ ,

технические – Т15, Т20, Т30..... $\leq 30 - 60''$ .

В зависимости от конструктивных особенностей следует различать теодолиты следующих исполнений: с уровнем при вертикальном круге (традиционные, обозначение не применяется); К – с компенсатором углов наклона; А – с автоколлимационным окуляром (автоколлимационные); М – маркшейдерские; Э – электронные. Допускается сочетание указанных исполнений в одном приборе (ГОСТ 10529-96).



*Рис. 28. Электронный теодолит VEGA TEO-20*

*Увеличение 30 крат. Точность измерения углов (СКО измерения угла одним приемом) 20''.*

Электронные теодолиты предназначены для измерения вертикальных и горизонтальных углов. При использовании электронных теодолитов исключают-

ся ошибки снятия отсчета – значения углов выводятся автоматически на дисплей, расположенный на каждой стороне прибора (рис. 28). Предусмотрена установка нулевого значения на исходное направление и фиксирование отсчета по горизонтальному кругу.

### 7.3. Отсчетные приспособления теодолитов

Отсчитывание по лимбам оптических теодолитов производится с помощью микроскопов, увеличение которых  $10 - 70^{\times}$  и более. При этом изображение обоих лимбов сводится в одно поле зрения. Применяемые в теодолитах микроскопы подразделяются на три вида: штриховые, шкаловые и микрометры (рис. 29). В первом типе цена деления делается по возможности меньшей, оценка десятых долей деления производится на глаз по штриху на пластинке в поле зрения микроскопа. В шкаловых микроскопах в поле зрения имеется шкала, длина которой равна длине наименьшего деления на лимбе, переданного в поле зрения микроскопа. Отсчет складывается из отсчета целых интервалов на лимбе (относительно нуля шкалы) и отсчета по шкале, отсекаемого штрихом лимба, находящимся на шкале. Микроскопы – микрометры используются в точных и высокоточных теодолитах. В их поле зрения имеется либо биссектор, либо противоположное изображение того же лимба. Отсчет складывается из отсчета по лимбу целых интервалов и отсчета по барабанчику микрометра после совмещения биссектора с определенным штрихом или бинарным делением лимба.

Таким образом, при любом способе отсчитывания по лимбам отсчет можно выразить формулой:

$$a=N\lambda+\Delta\lambda,$$

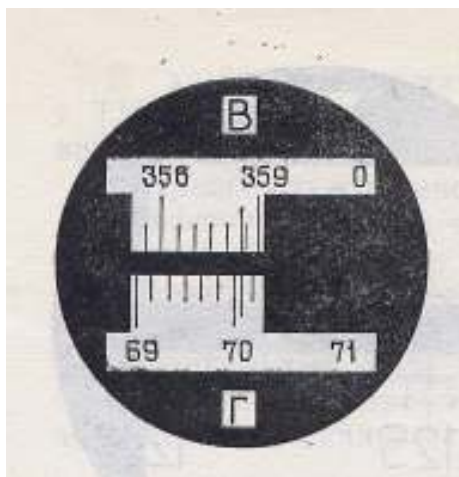
где  $N\lambda$  – отсчет по лимбу целых делений до нулевого штриха,  $\lambda$  – цена деления лимба, то есть количество угловых единиц, содержащихся в одном его делении,  $\Delta\lambda$  – отсчет дробной части деления.

Одно из отличий электронного теодолита от оптического – наличие цифрового дисплея, на котором отображаются результаты измерений во время наблюдений (рис. 28). Кроме того, электронный теодолит позволяет полностью автоматизировать процесс угловых измерений. Вся совокупность средств и методов автоматизации угловых измерений по принципу считывания направлений и углов подразделяется на две группы: *позиционные и накопительные (импульсные)*. В первой группе горизонтальный угол получается как разность отсчетов (позиций) двух направлений визирования по аналогии с классическим методом приемов. Во второй группе угол получается как разность числа импульсов от произвольно расположенного нуля до правого направления угла и числа импульсов до левого направления.

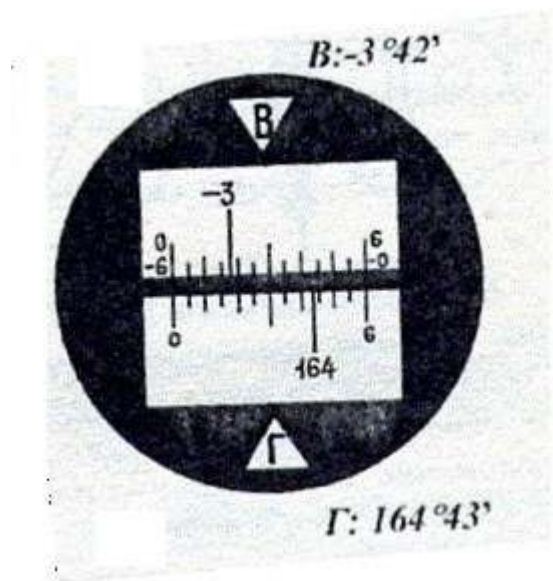
Штриховой (Т30)

Шкаловый (2Т30)

В: 358°49'

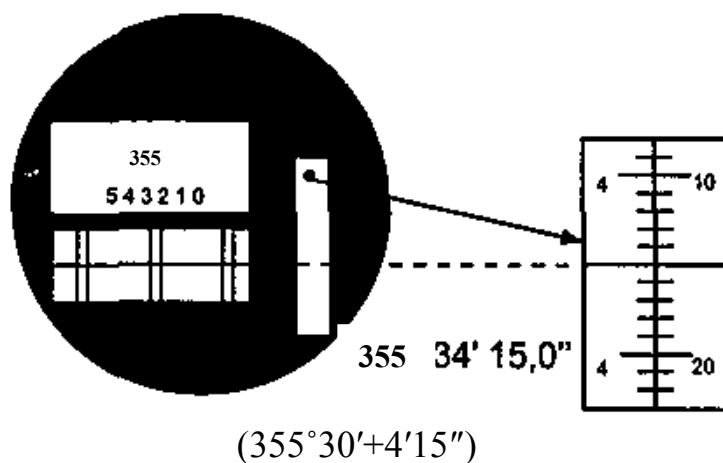


Г: 69°58' (69°50'+8')



(164°+43')

Микрометр (ЗТ2КП)



(355°30'+4'15")

Рис. 29. Виды микроскопов

В отличие от оптических теодолитов, где измерения происходят по минутам, градусам, секундам, электронные теодолиты используют двоичную систему исчислений. Проще говоря, измеренный угол отображается в двоичном коде, при этом лимб делится на белые и черные полосы (рис. 30). Когда эти полосы просвечиваются, возникают сигналы (0 и 1), которые обрабатываются и записываются в память прибора. Эта система исчислений позволяет существенно уменьшить объем информации и произвести автоматическую запись в память электронного теодолита.

Считывание закодированной информации проводится с помощью механических, индуктивных, магнитных, фотоэлектрических преобразователей и электроннолучевой трубки. В геодезическом приборостроении более рациональными оказались фотоэлектрические преобразователи.

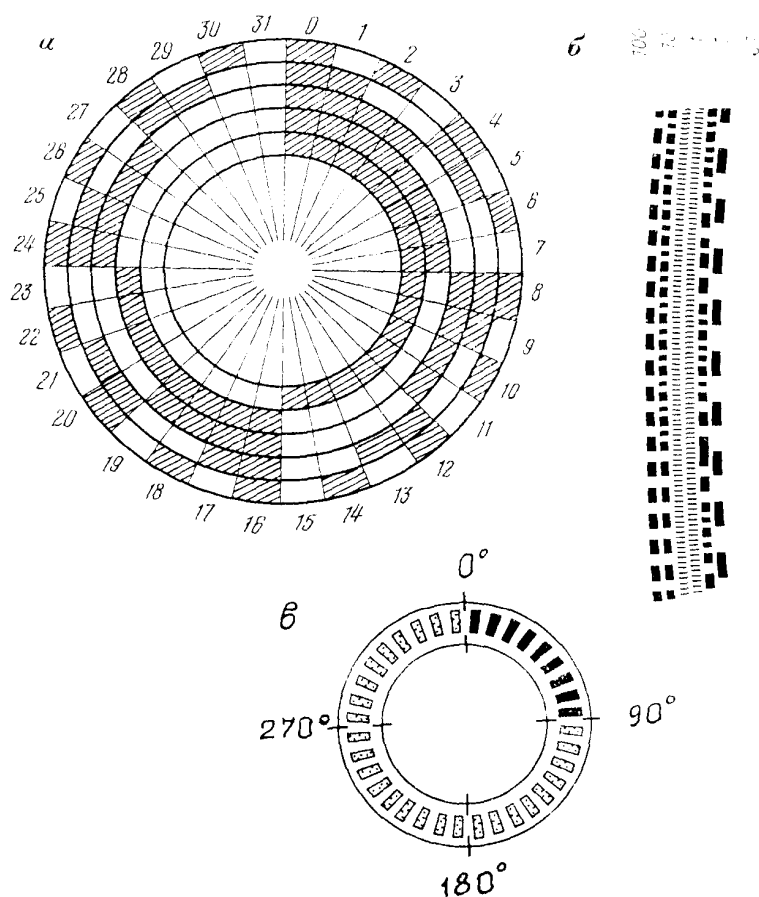


Рис. 30. Способы кодирования информации: а, б – кодирование угломерной шкалы; в – импульсные диски

#### 7.4. Поверки и юстировка теодолитов

Поверка средств измерений (далее также – поверка) – совокупность операций, выполняемых аккредитованной метрологической службой с целью определения и подтверждения соответствия средств измерений (СИ) метрологическим требованиям (ГКИНП 17-195-99 – инструкция поверки). Так, определяются характеристики зрительной трубы – увеличение, поле зрения, разрешающая сила, яркость. Характеристики цилиндрического уровня – цена деления уровня, чувствительность и др. Основной метрологической характеристикой прибора является средняя квадратическая ошибка измеряемой величины – СКО (раздел 13). Для теодолитов серии Т30 существуют следующие метрологические характеристики: СКО измерения горизонтального угла, с – 20; СКО измерения вертикального угла, с – 45; коэффициент нитяного дальномера, % -  $100 \pm 1$ ; коллимационная ошибка, с – 60; место нуля вертикального круга, с – 120. Другие метрологические характеристики в этом курсе рассматриваться не будут в связи с тем, что данное учебное пособие предназначено для студентов не геодезических вузов.

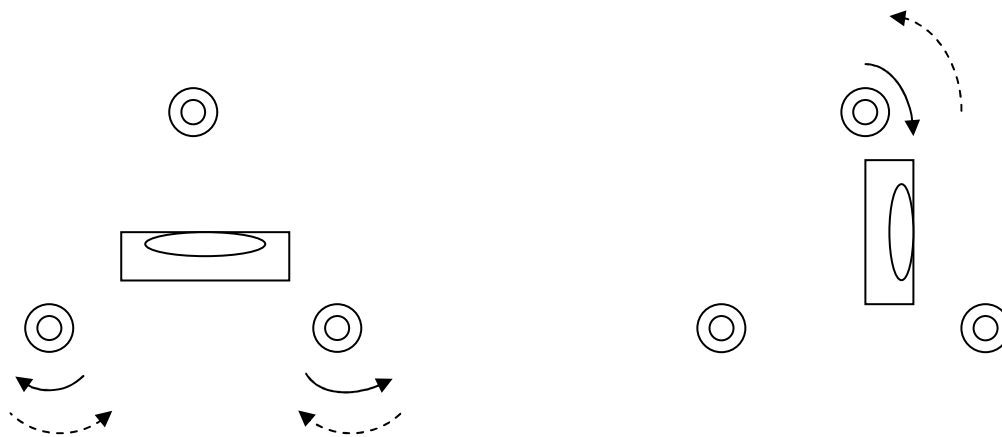
Технологическая поверка геодезического СИ – совокупность операций, выполняемых исполнителем до начала и (или) в процессе геодезических работ с

целью определения технических характеристик СИ, необходимых для подтверждения готовности СИ к измерениям.

Юстировка – есть совокупность действий с геодезическим прибором, направленных на устранение геометрических нарушений в приборе (СИ).

В теодолитах правильность их геометрии определяется в основном правильным расположением основных осей.

Перед проверкой предварительно приводят основную ось вращения теодолита в вертикальное положение, то есть горизонтируют прибор. Устанавливают уровень параллельно двум подъемным винтам. Вращая их одновременно в разные стороны, приводят пузырек цилиндрического уровня на середину. Затем поворачивают алидаду на  $90^\circ$ , то есть устанавливают уровень по направлению третьего винта и его вращением опять приводят пузырек в нульпункт (рис. 31).

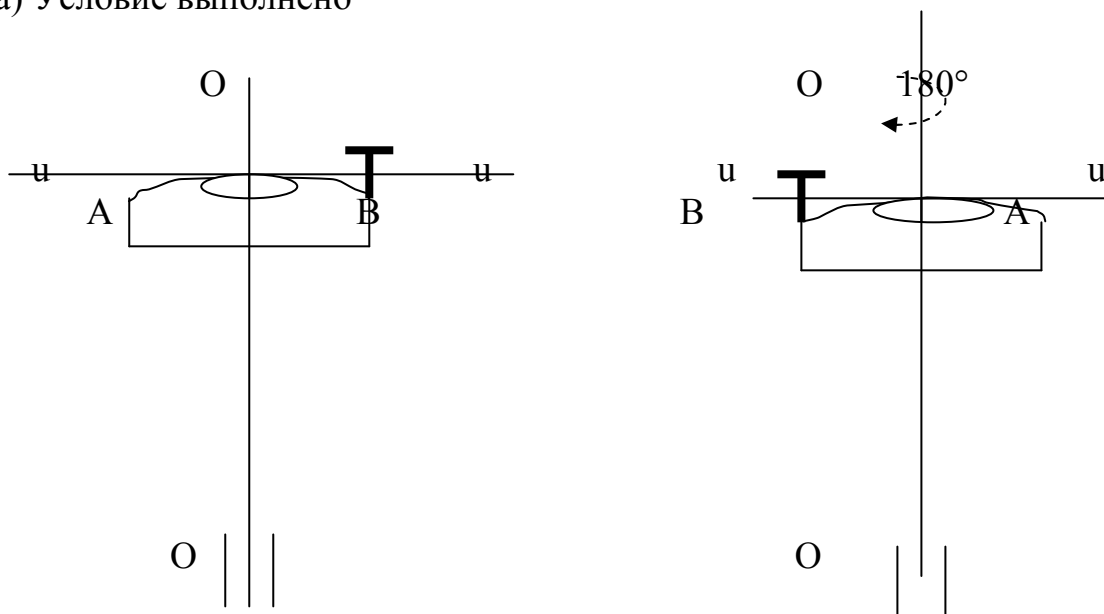


*Рис. 31. Горизонтирование теодолита*

После этого выполняют следующие проверки:

1. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна основной оси вращения инструмента –  $uu \perp OO$ . Устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и их вращением в противоположные стороны приводят пузырек в нульпункт, поворачивают алидаду на  $180^\circ$ : если пузырек остался в нульпункте, то условие выполнено, если сместился – необходимо исправление. Юстировка осуществляется исправительными винтами уровня: пузырек смещается ими к середине на половину схода и окончательно возвращается в нульпункт при помощи подъемных винтов. После исправления проверку повторяют (рис. 32).

а) Условие выполнено



б) Условие не выполнено

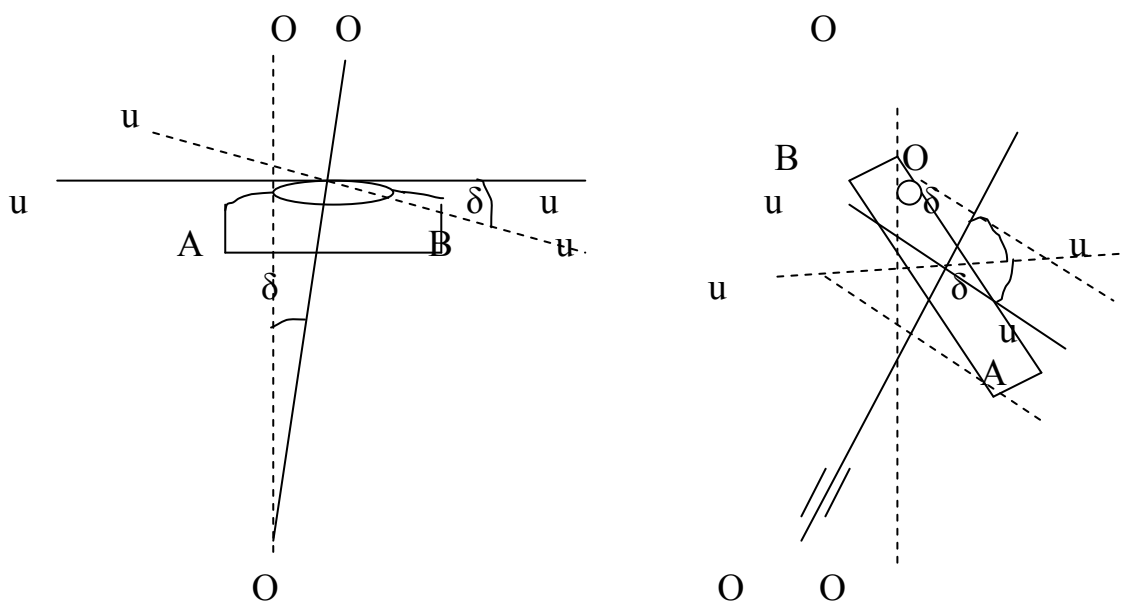


Рис. 32. Первая поверка теодолита

Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения зрительной трубы –  $VV \perp SS$ . Иначе: зрительная труба не должна иметь коллимационной ошибки (рис. 33). Плоскость, проходящая через визирную ось отвесно, называется коллимационной. Поверка выполняется следующим образом. После установки теодолита в рабочее положение, визируют на одну и ту же удаленную точку (100 – 200 м) при двух положениях вертикального круга и получают по горизонтальному кругу разность отсчетов  $КЛ_1 - КП_1$ .

Затем открепляют закрепительный винт лимба (у теодолита 2Т30, у 4Т30П – винт подставки), поворачивают теодолит на  $180^\circ$ , горизонтируют прибор,

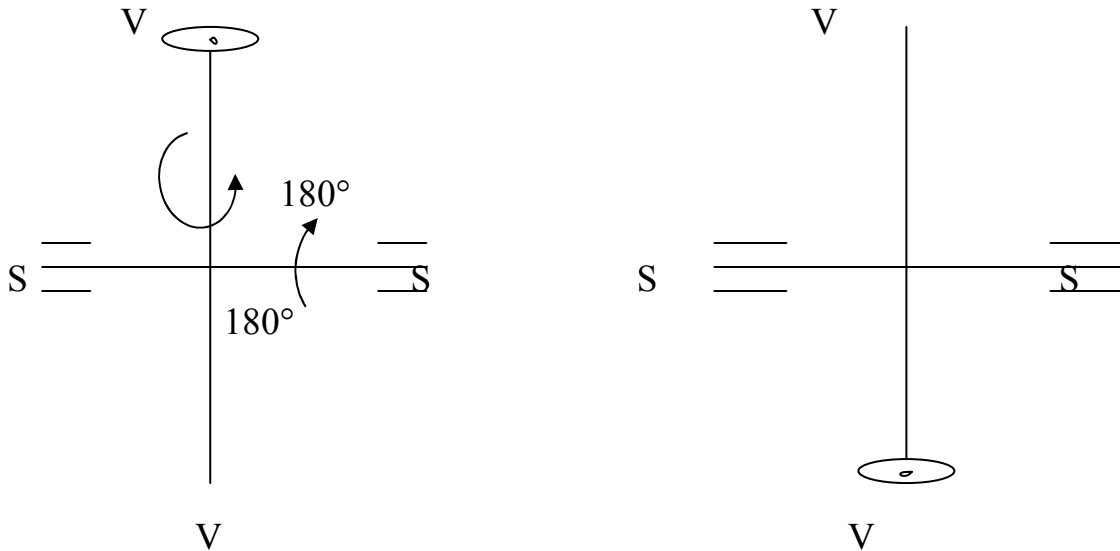


вновь наводят на ту же точку при двух положениях круга и получают разность  $КЛ_2 - КП_2$ . Величина двойной коллимационной погрешности будет:

$$2C = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{2}$$

Значение коллимационной ошибки должно быть постоянным, колебание её величины в процессе производства работ не должно превышать  $2t=1'$  (для теодолитов серии Т30).

а) Условие выполнено



б) Условие не выполнено

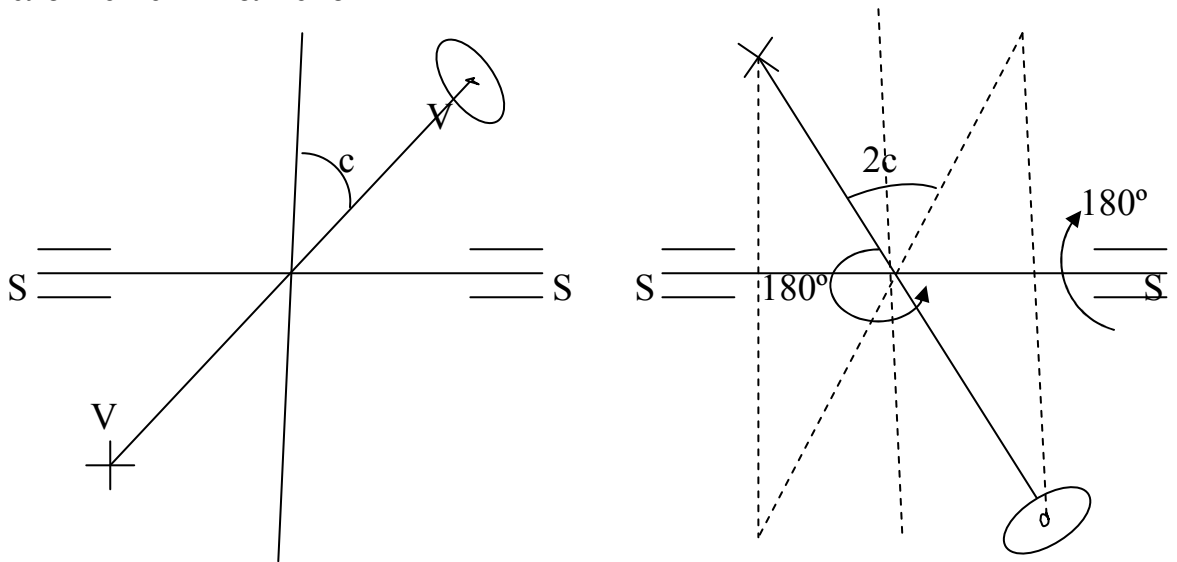


Рис. 33. Проверка коллимационной ошибки

Юстировка производится установкой на лимбе горизонтального круга среднего отсчета при помощи наводящего винта алидады и последующим совмещением перекрестья сетки нитей с изображением выбранной точки путем вращения исправительных винтов сетки нитей. После исправления проверку нужно повторить. При измерениях ошибка может быть исключена измерением угла при двух положениях вертикального круга.

2. Горизонтальная ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна основной оси вращения прибора –  $SS \perp OO$ .

Проверка выполняется проектированием высокорасположенной точки (А, расположенной под углом не менее  $15^\circ$  к горизонту) вниз при двух положениях вертикального круга.

$a'$  – проекция А при КП;  $a''$  – проекция А при КЛ.

Если угол  $\gamma \leq 2t$  или проекции точки А отличаются не более чем на 0,5 ширины биссектора, то условие проверки выполнено. В противном случае инструмент нужно отправить в мастерскую.

3. Вертикальная нить сетки должна быть вертикальна (горизонтальная – горизонтальна) или горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна основной оси вращения прибора –  $mm \perp OO$ . Проверка выполняется визированием вертикальной нитью на висящий отвес. При совпадении нитей отвеса и сетки условие проверки выполнено. Иначе выбирают точку на местности, удаленную не менее чем на 30 метров от теодолита, наводят на нее перекрестие сетки нитей и, работая наводящим винтом алидады, следят за перемещением сетки нитей по точке наводки. Если средняя нить сетки перемещается по точке наводки, то условие проверки выполнено. В противном случае отверткой ослабляют крепящие винты всего окуляра и поворачивают окуляр до требуемого положения. После этого закрепляют винты и повторяют проверки 2,4.

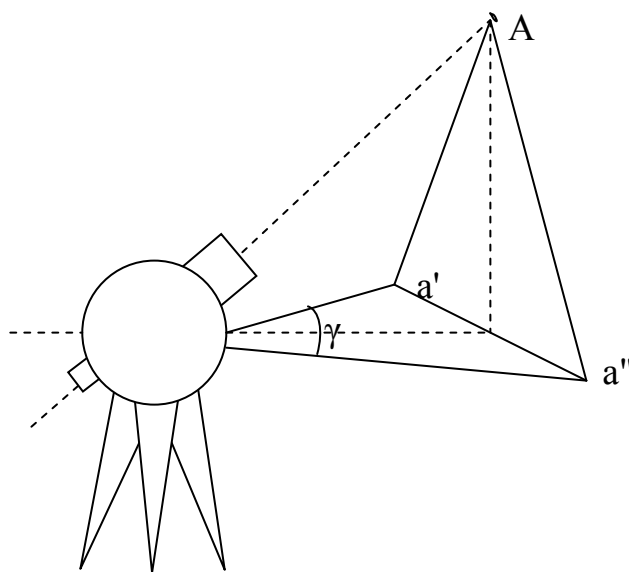


Рис. 34. Третья проверка теодолита

### 7.5. Способы измерения горизонтальных углов.

В геодезии наиболее часто используется три способа измерения горизонтальных углов: способ приемов, способ круговых приемов и способ повторений. В любом случае перед измерением угла теодолит устанавливают в вершине измеряемого угла и приводят в рабочее положение.

Способ *приемов* (полуприемов, рис. 35) заключается в том, что:

1. Теодолит устанавливают в вершине измеряемого угла и приводят в рабочее положение (центрируют и горизонтируют при помощи подъемных винтов, рис. 31).

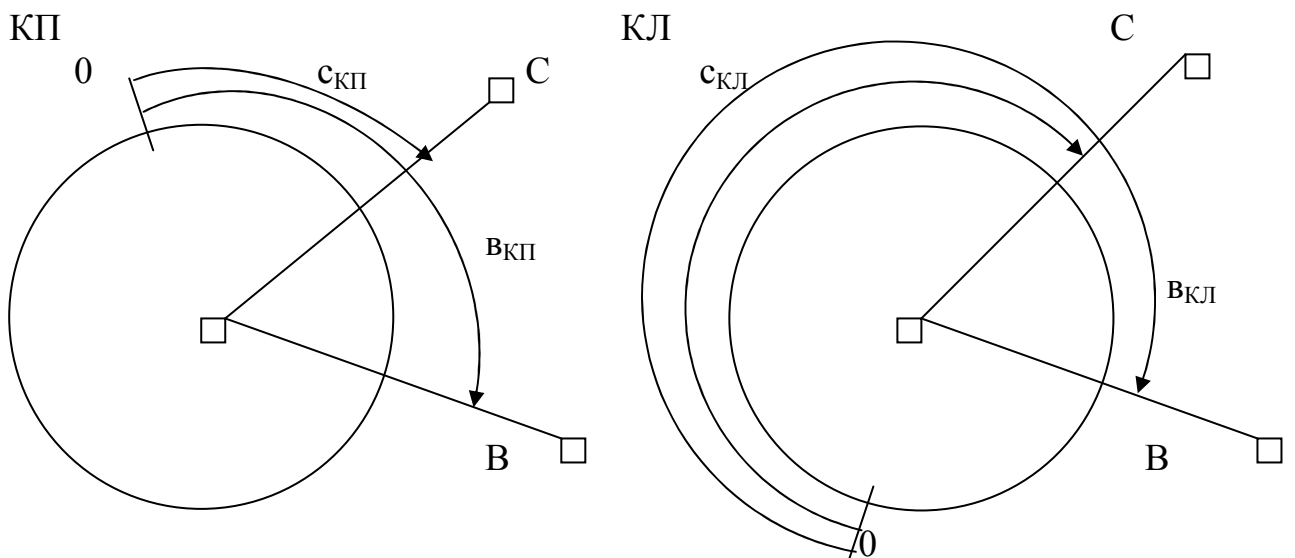
2. Закрепляют лимб и при открепленной алидаде визируют на первую точку (В), расположенную справа от наблюдателя и берут отсчет по лимбу горизонтального круга  $v_{кп}$ .

3. Открепляют алидаду, визируют на вторую точку (С) и берут по лимбу горизонтального круга второй отсчет  $s_{кп}$ .

4. Вышеуказанные действия составляют первый полуприем. Вычисляют угол  $\beta_{кп} = v_{кп} - s_{кп}$ .

5. Смещают лимб горизонтального круга грубо на  $2^\circ \div 5^\circ$  поворотом его наводящего винта, переводят трубу через зенит и выполняют второй полуприем при другом положении вертикального круга, повторяя действия 2. и 3. Получают  $\beta_{кл} = v_{кл} - s_{кл}$ ; если  $\beta_{кл} - \beta_{кп} \leq 2t$ , то  $\beta = \frac{\beta_{кл} + \beta_{кп}}{2}$ . Результаты измерений записывают в журнал специальной формы (см. лабораторную работу).

При визировании на точки работают закрепительными и наводящими винтами алидады и зрительной трубы. Лимб должен быть *закреплен и неподвижен*. Лимб смещают после первого полуприема, чтобы измерения выполнялись на разных участках лимба и были независимы друг от друга.



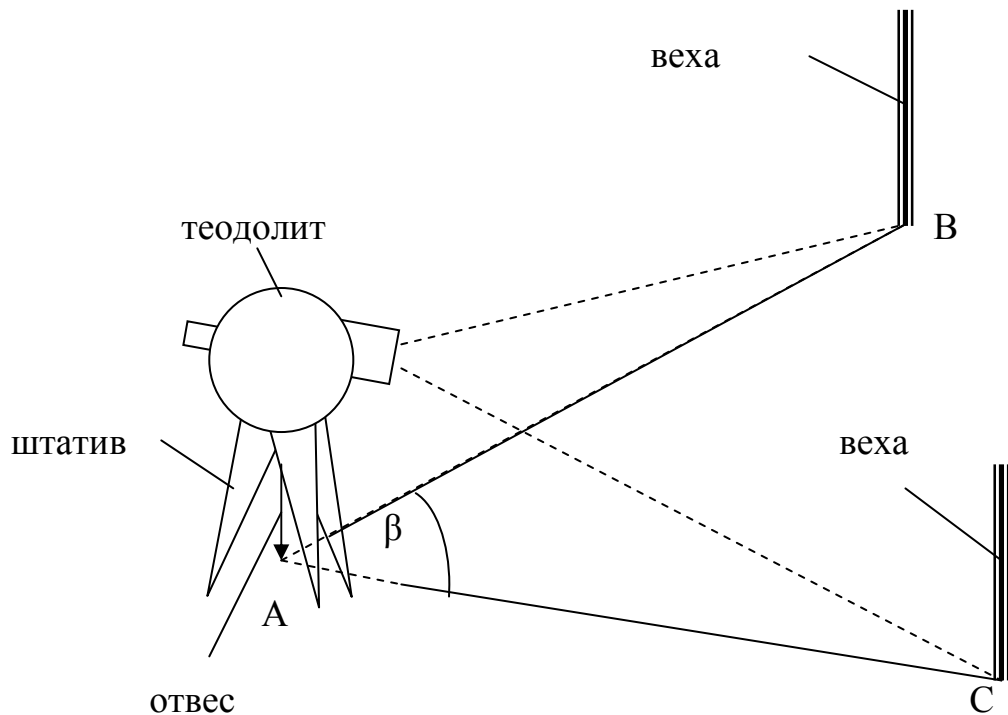


Рис. 35. Схема измерения горизонтального угла

### 7.6. Устройство вертикального круга. Измерение вертикальных углов

Вертикальный круг, служащий для измерения вертикальных углов, как и горизонтальный круг состоит из лимба и алидады (рис. 36). Его принципиальным отличием является то, что алидада с отсчетным устройством (индексом, штрихом, шкалой, биссектором) связана с подставкой зрительной трубы и при измерении углов наклона неподвижна. Лимб же жестко связан с осью вращения зрительной трубы и вращается вместе с ней. Линия, соединяющая нули алидады, должна быть вертикальна в оптических теодолитах. Для придания ей такого положения в теодолитах имеется цилиндрический уровень при алидаде вертикального круга или автоматический индекс и наводящий винт. В современных теодолитах используются компенсаторы, автоматически приводящие линию нулей алидады вертикального круга в требуемое положение. Лимб вертикального круга в большинстве случаев имеет секторную оцифровку – два сектора положительных и два отрицательных. При этом линия нулей лимба вертикального круга должна быть параллельна линии визирования зрительной трубы. За основное положение лимба вертикального круга может быть принят либо «круг право», либо «круг лево» (теодолит 2Т30).

Расчетные формулы по определению места нуля и вертикальных углов приводятся в паспортах приборов и зависят от типа оцифровки и основного положения вертикального круга – «круг лево» (КЛ) или «круг право» (КП).

Если принять за основное положение «круг лево», предположить, что линия нулей алидады горизонтальна при положении пузырька уровня на середине, а линия нулей лимба параллельна оси визирования зрительной трубы, то угол наклона всегда будет равен отсчету по вертикальному кругу при «круге лево». Отсчет же по вертикальному кругу при горизонтальном положении трубы будет равен нулю. Если линия нулей алидады наклонена к горизонту, то

если место нулей (нуля) изменено, то в угол наклона необходимо ввести поправку за счет места нуля – МО (рис. 37).

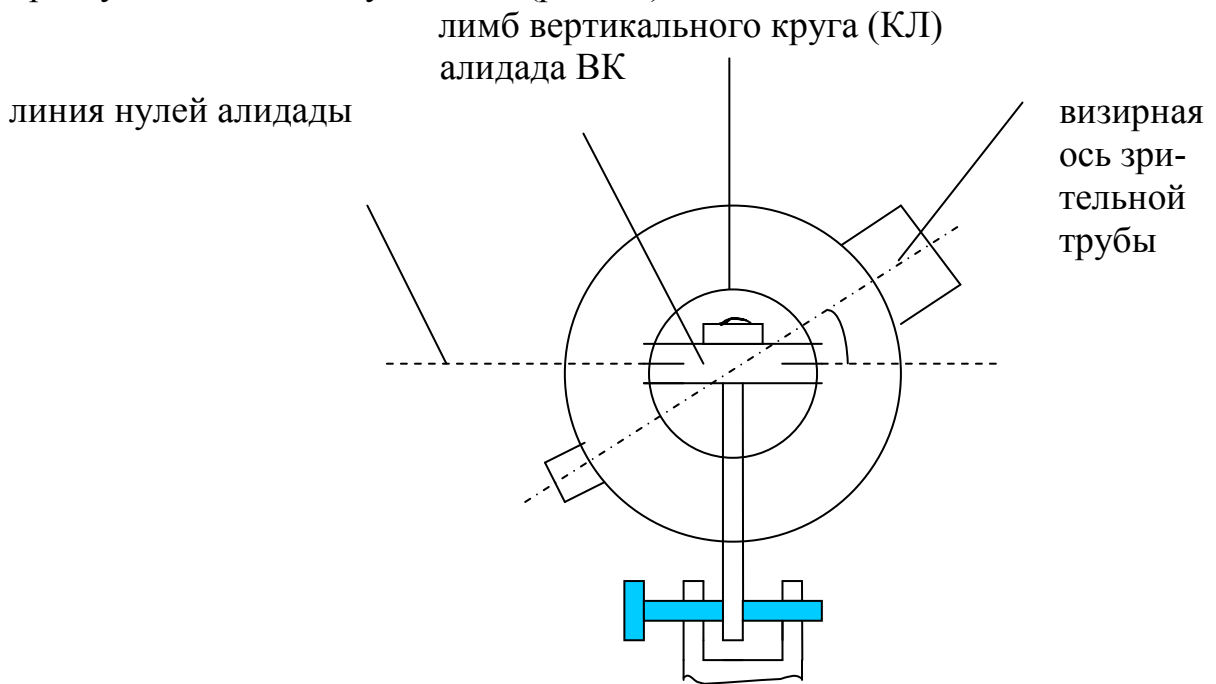


Рис. 36. Устройство вертикального круга

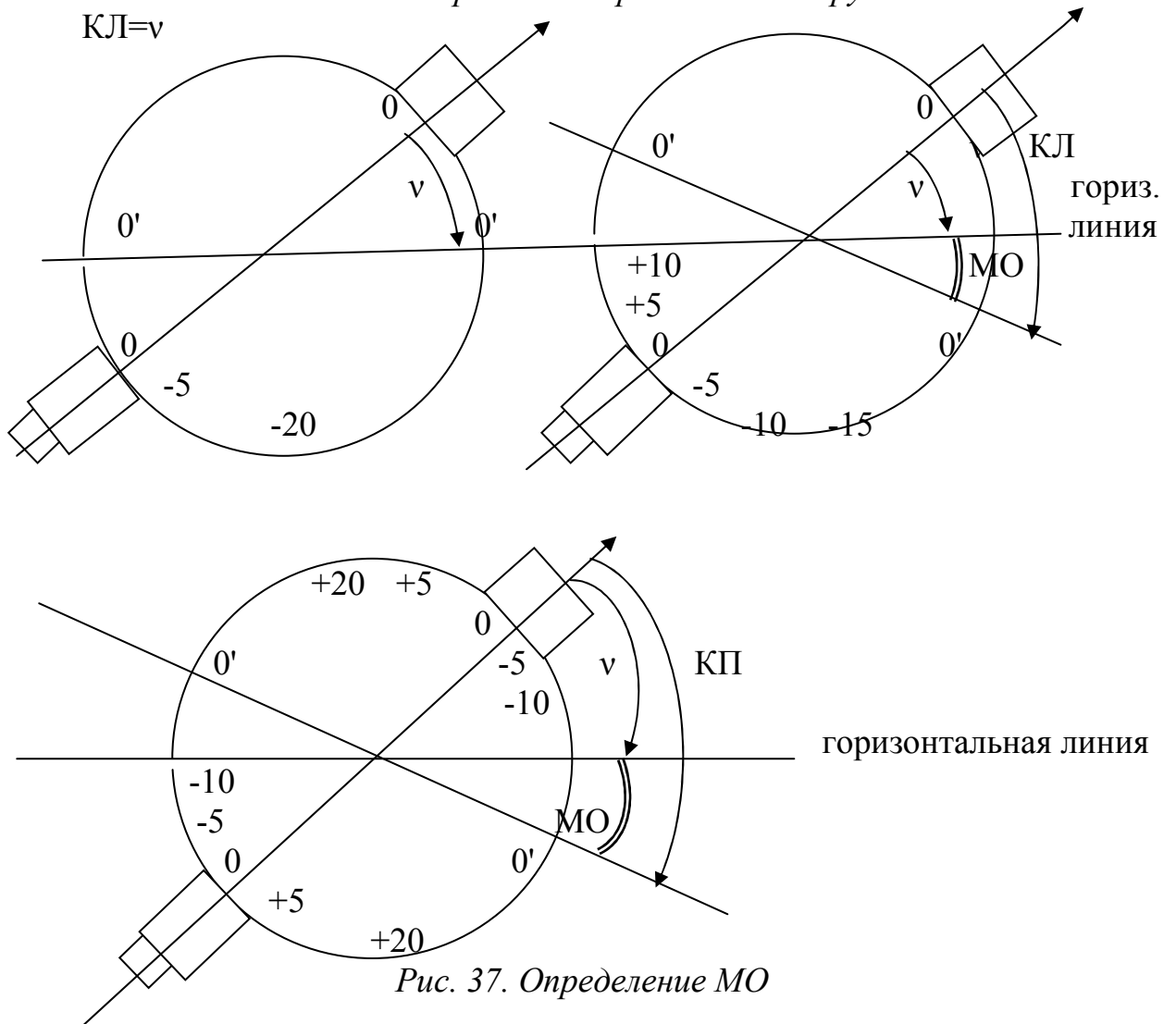


Рис. 37. Определение МО

Из рис. 37 видно:  $v = КЛ - МО$ ;  $v = МО - КП$ ;  $v = \frac{КЛ - КП}{2}$ ;  $МО = \frac{КЛ + КП}{2}$ .  
 $0'0'$  – линия нулей алидады;  $v$  – угол наклона (вертикальный угол); КЛ, КП – отсчеты по вертикальному кругу при положении зрительной трубы слева и справа.

Место нуля в теодолите для упрощения вычислений делают близким или равным нулю. Сначала определяют значение МО. Визируют на удаленную высокорасположенную точку при двух положениях вертикального круга, берут отсчет по лимбу вертикального круга. Затем вычисляют место нуля, угол наклона. Если значение МО не близко к  $0^\circ$ , то на лимбе вертикального круга при помощи наводящего винта зрительной трубы устанавливают значение угла наклона. При этом перекрестие сетки нитей сместится с точки наведения. Возвращают его назад при помощи пары вертикальных исправительных винтов сетки нитей (исправление для теодолитов технической точности).

После исправления повторяют измерение МО. Значение МО должно быть постоянно для данного прибора. Колебание его величины в процессе производства работ не должно превышать  $2t=1'$  (для теодолитов серии Т30).

### 7.6.1. Порядок измерения угла наклона

Предположим, нужно измерить угол наклона линии 1 – 2. Для этого устанавливают теодолит в точке 1, приводят в рабочее положение, измеряют высоту инструмента (рис. 38). Отмечают значение высоты инструмента на вехе или рейке, которую устанавливают в точке 2. Наводят перекрестие сетки нитей на отмеченное место, то есть визируют на высоту инструмента при двух положениях вертикального круга КЛ и КП, берут отсчеты по лимбу вертикального круга. Далее вычисляют МО и угол наклона по приведенным выше формулам.

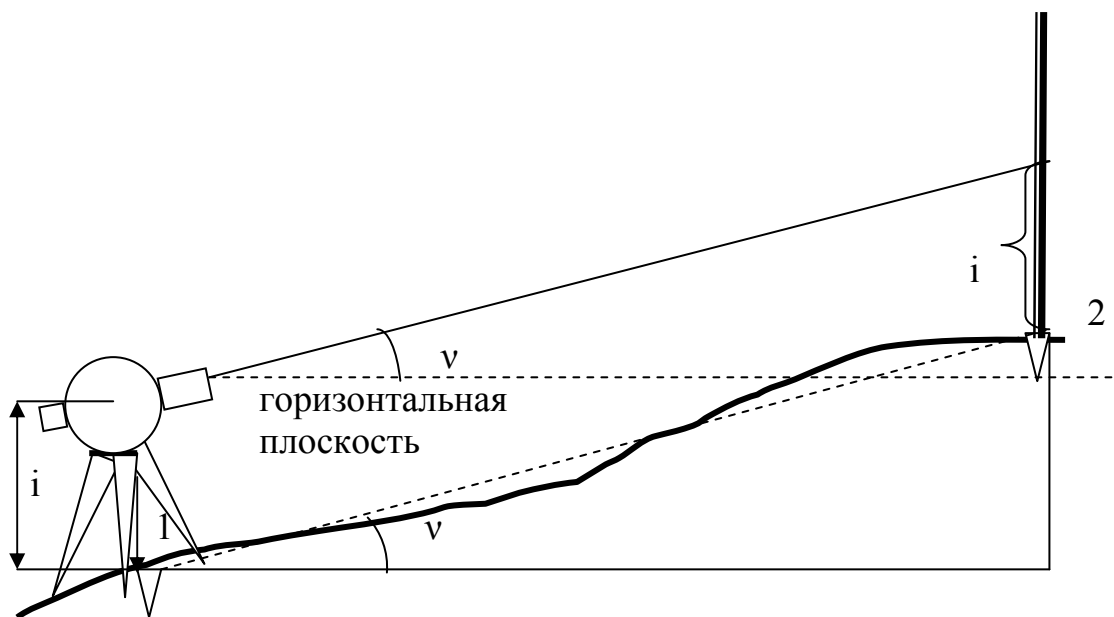


Рис. 38. Измерение угла наклона

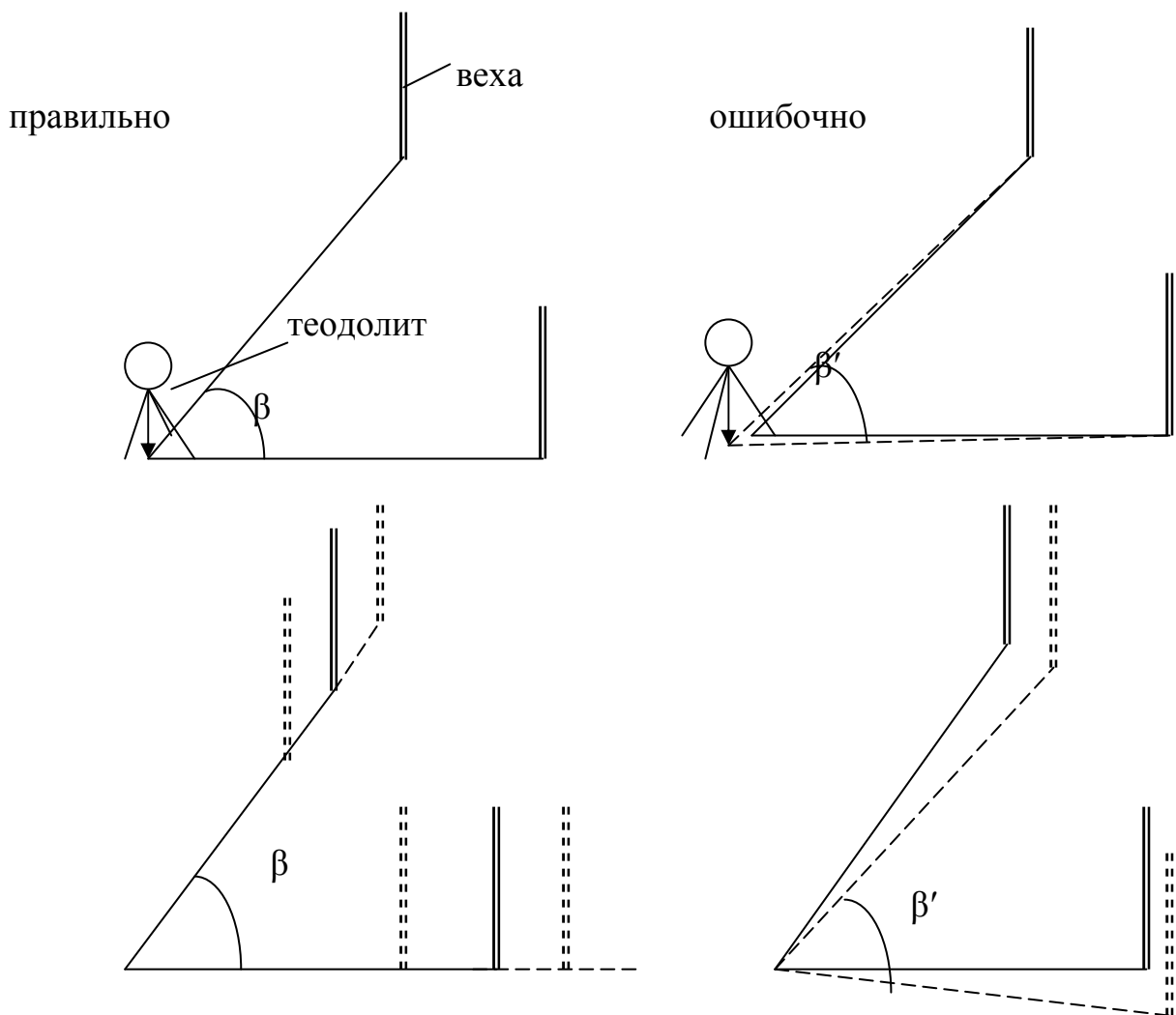
### 7.7. Точность измерения углов

На точность измерения горизонтальных углов влияют как возможные ошибки прибора (ошибки отсчетного устройства, градуировки лимбов, фокусировки трубы, расположения отдельных частей прибора), так и условия производства работ (квалификация исполнителя, погодные – климатические условия, растительность, рельеф и т.д.).

Точность измерения угла способом приемов определяется как:

$$m_{\beta} = \frac{t}{2}, \text{ где } t \text{ – точность взятия отсчета.}$$

Кроме того, точность измерения горизонтальных углов зависит от точного центрирования прибора, и правильной расстановки визирных целей (рис. 39).



*Рис. 39. Ошибки при измерении горизонтальных углов из-за неточного центрирования теодолита и неправильной установки визирных целей*

Точность измерения вертикальных углов в основном зависит от точности установки прибора, ошибки взятия отсчета и рефракции атмосферы. Для тех-

нических теодолитов точность измерения вертикальных углов в 1,5 раза ниже точности измерения горизонтальных углов.

## 8. Линейные измерения

### 8.1. Способы измерения расстояний

Линейные измерения в геодезии разделяют на непосредственные и косвенные. Цель любых линейных измерений – получение горизонтальных проложений линий местности.

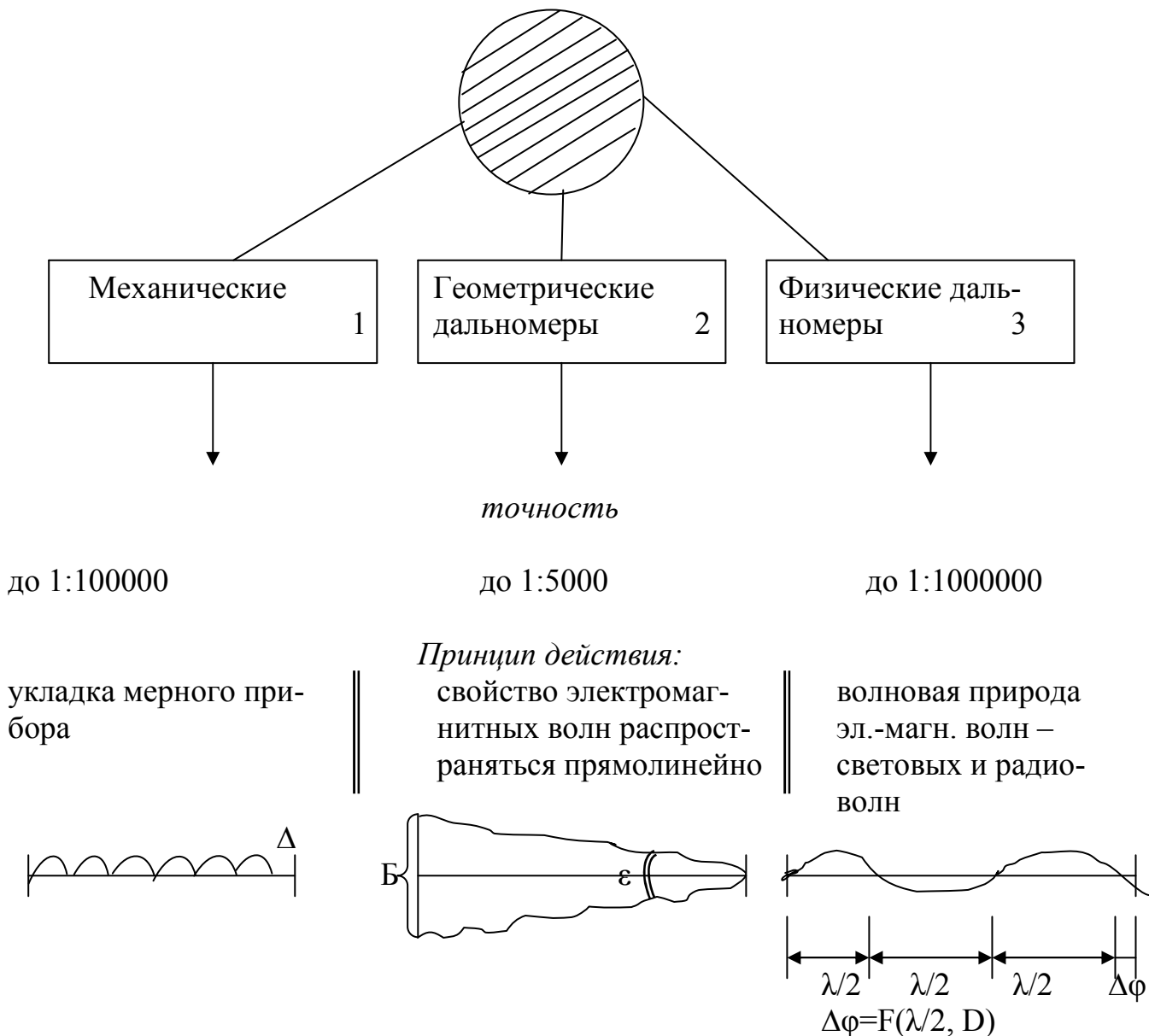


Рис. 40. Классификация приборов для линейных измерений

При непосредственном способе длину линии местности измеряют при помощи механических мерных приборов: мерных лент, рулеток (ГОСТ 7502-89): из нержавеющей стали (Н), углеродистой стали (У) с защитным антикоррозионным покрытием; инварных проволок (длина 24, 48 м); дальномеров АД-1 (500м) и АД-2 (1000м); инварными жезлами с концевыми марками для короткобазисного метода измерений (длина 2 м). Отечественная промышленность



выпускает рулетки со шкалами номинальной длины: 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 м. Зарубежные фирмы выпускают рулетки, в которых используются ленты следующих видов: стальная лента трех типов, лента из нержавеющей стали, фибerglassовая лента с капроновым кордом. Шкалы рулеток наносят с миллиметровыми, сантиметровыми, дециметровыми и метровыми интервалами. По точности нанесения шкал рулетки могут изготавливаться двух классов: 3-го и 2-го.

Таблица 1 – Нормативные относительные погрешности измерений механическими мерными приборами<sup>1</sup>

Обозначение типоразмеров	Наименование	Длина, м	Ширина Толщина, мм	Нормативная сред. квадратическая относительная погрешность измерения	Преимущественное назначение
ЛЗ	Лента землемерная	20, 24, 50	$\frac{10 \div 15}{0,4 \div 0,5}$	1:1500	Топ.-геод. съемки и разбивочные работы в строительстве.
ЛТ	Трос землемерный	50, 100	2	1:1000	То же+ геодезич. обеспеч. геологических работ.
ЛЗШ	Лента землемерная шкаловая	20, 24, 50	$\frac{10 \div 15}{0,4 \div 0,5}$	1:2000	Инж.-геодезич. съемочные и разбивочные работы на дневной поверхности и под землей.
РК	Рулетка на крестовине	50; 75; 100	$\frac{10 \div 12}{0,20 \div 0,25}$	1:2000	То же и в строительстве
РС	Рулетка стальная простая	2; 5; 10; 20; 30; 50	$\frac{10 \div 12}{0,16 \div 0,22}$	1:2000 1:5000	Разбивочные работы средней точности.

*Ленты типа ЛЗ (штриховые).* В комплект входят: сама лента, металлическая кольцевая оправа и комплект из 6 или 11 шпилек. Лента на концах вблизи ручек имеет косые вырезы для шпилек и нарезанные штрихи. За общую длину ленты принимают расстояние между этими штрихами. Каждый метр на ленте отмечен металлической оцифрованной пластиной, полуметры обозначены металлическими заклепками, а дециметры – сквозными круглыми отверстиями, расположенными по оси ленты. Сантиметры считывают «на глаз».

При перевозке и хранении ленту наматывают на металлическую кольцевую оправа и закрепляют винтами.

<sup>1</sup> По ГОСТ 10815-64 и 7502-89

*Ленты типа ЛЗШ* (шкаловые) – имеют на концах сантиметровые и миллиметровые шкалы длиной 10-15 см, благодаря этому повышается точность измерений длин линий. Точность отсчитывания  $0,2 \div 0,5$  мм, отсчеты по задней и передней шкалам берутся одновременно. Натяжение ленты производится динамометром. Остаток длины линии  $\leq 10$  см измеряют с помощью рулетки. Длину линии вычисляют по формуле:

$$D = \ell \cdot n + \sum_1^n (\Pi - 3) + r,$$

где  $\ell$  – длина ленты,  $n$  – количество уложений ленты,  $\Pi$  и  $3$  соответственно отсчеты по задней и передней шкалам ленты,  $r$  – остаток (домер).

Если при измерении длины линии ленту не укладывать на землю, а подвешивать, точность измерений увеличивается в 2-2,5 раза по сравнению с точностью, указанной в таблице 1.

*Трос землемерный ЛТ* – стальной 7-ми жильный канатик в пластмассовой изоляции. Трос разделен на метры кольцевыми металлическими поясками. Отсчеты берут с точностью 0,1 м.

*Рулетка типа РК* – первый дециметр разбит через 1 мм, остальная часть через 1 см.

*Рулетка типа РС* – по всей длине имеет деления через 1 мм, используется для измерения расстояний, не превышающих ее длины.

*Длиномер* – мерный диск со счетным механизмом и направляющими роликами.

## 8.2. Измерение длин линий землемерной лентой

Перед измерениями необходимо выполнить проверку внешнего состояния и опробование лент и рулеток и проверку длины шкалы (компарирование) мерного прибора. Поверка бывает первичная и периодическая (МИ 1780-87). Проверку длины шкалы лент и рулеток выполняют путем сравнения их длины с длиной эталона, сравнение может производиться на интервалах контрольных базисов, длина которых известна с погрешностью не более  $1/10\ 000$ . Проверку длины шкалы лент и рулеток определяют сличением с образцовой измерительной лентой 3-го разряда. Общую длину и интервалы поверяемой рулетки сравнивают с соответствующими делениями образцовой ленты при помощи лупы. Погрешность отсчета при этом не должна превышать 0,1 мм. При обработке результатов измерений учитывают поправки на общую длину и интервалы образцовой измерительной ленты 3-го разряда, взятые из свидетельства о поверке образцовой ленты. Допускаемое отклонение действительной длины рулетки в миллиметрах для интервалов: миллиметровый –  $\pm 0,15$ ;  $\pm 0,20$ ; сантиметровый –  $\pm 0,20$ ;  $\pm 0,30$ , дециметровый  $\pm 0,30$ ;  $\pm 0,4$  для класса точности 2 и 3 соответственно. Отрезок шкалы 1 м и более  $\pm [0,30 + 0,15(L - 1)]$ ,  $\pm [0,40 + 0,20(L - 1)]$ ,  $L$  – число полных и неполных метров в отрезке (ГОСТ 7502-98). Поверка лент и рулеток должна выполняться не реже одного раза в год специализированными организациями.

Пример условных обозначений рулеток в соответствии с ГОСТ 7502-98: рулетка со шкалой номинальной длины 5 м, лентой из углеродистой стали,

3-го класса точности, прямоугольным торцом на вытяжном конце ленты – Р5УЗП ГОСТ 7502-98.

Измерение длины линии АВ осуществляют два исполнителя следующим образом. Задний исполнитель берет одну шпильку из комплекта, остальные шпильки берет передний мерщик.

Закрепив шпилькой задний конец ленты в начальной точке А, задний исполнитель ориентирует переднего таким образом, чтобы лента легла строго в створе измеряемой линии. Передний исполнитель, слегка встряхнув ленту, натягивает ее и закрепляет передний конец ленты шпилькой в точке 1. После этого задний исполнитель вынимает шпильку, а передний оставляет свою в земле, и оба перемещаются вперед на длину ленты. Затем задний исполнитель закрепляет конец ленты за шпильку, оставленную передним исполнителем, и ориентирует его по створу измеряемой линии. Передний исполнитель, встряхнув и натянув ленту, закрепляет шпилькой ее передний конец в точке 2, и процесс измерения повторяется. Таким образом, число шпилек в руке заднего исполнителя соответствует количеству отложенных лент.

После того как в руке переднего исполнителя не остается ни одной шпильки, задний исполнитель, вынув последнюю шпильку из земли и оставив ленту на месте, передает ему шпильки. Каждая такая передача фиксируется производителем работ. Число передач шпилек задним исполнителем переднему соответствует количеству отложенных 100- или 200-метровых отрезков от начала измеряемой прямой (рис.41).

Поскольку расстояние между измеряемыми точками, как правило, не кратно числу уложенных лент, то всегда остается отрезок от последней шпильки до конечной точки измеряемой линии. Этот отрезок называют остатком (доме-ром). Его измеряют по метровым и дециметровым меткам ленты.

Линию для контроля измеряют дважды, в прямом и обратном направлении, и в качестве окончательного результата принимают среднее арифметическое двух измерений. При выполнении измерений в благоприятных условиях расхождение между двумя измерениями не должно превышать относительной ошибки 1:2000. Для контрольного измерения нередко используют другой мерный прибор.

Общую длину измеренной линии при комплекте из 6 шпилек определяют по формуле:

$$D=5\ell n + \ell m + r,$$

где  $\ell$  – длина ленты;  $n$  – число передач шпилек от заднего исполнителя переднему;  $m$  – число шпилек в руке заднего исполнителя, не считая находящейся в земле;  $r$  – длина остатка.

Во избежание поломок, деформаций и ржавления при пользовании стальными землемерными лентами следует соблюдать следующие обязательные правила:

- при разматывании ленты с кольцевой оправы нельзя допускать образования петель;
- нельзя складывать ленту восьмеркой или кругами;
- при работе на дорогах нельзя допускать проезда транспорта по ленте;

- при переноске ленты исполнители должны держать ее за ручки, а не влочить по земле;
- перед наматыванием ленты на кольцевую оправу ее нужно насухо протереть;
- при укладке на продолжительное время хранения ленту необходимо смазать машинным маслом.

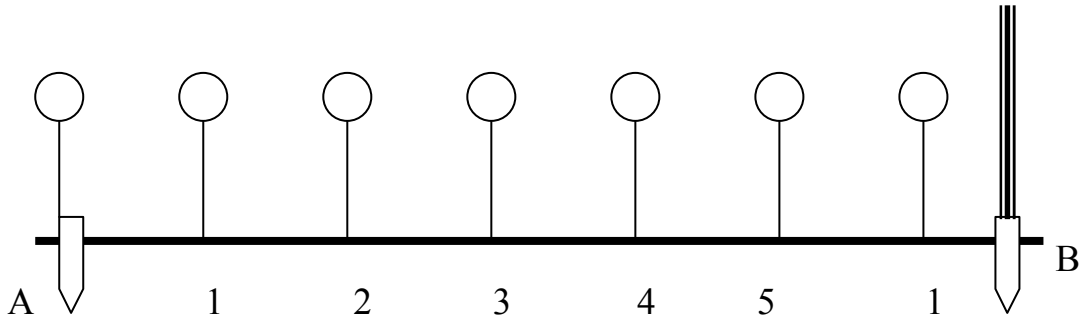


Рис. 41. Измерение длины линии землемерной лентой

Для того чтобы получить горизонтальное проложение линии местности, необходимо в измеренную длину линии ввести поправки (рис. 42).

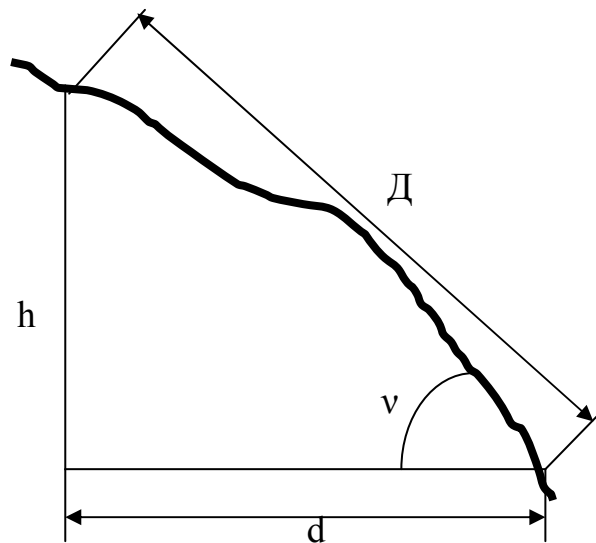


Рис. 42. Определение поправок для вычисления горизонтального проложения измеренной линии

Д – измеренная длина линии местности;  
 d – ее горизонтальное проложение;  
 v – угол наклона;  
 h – превышение.

Из рис. 42 видно:  $d = D \cos v$ .

Поправка за наклон  $\Delta_v = D - d = D - D \cos v = D (1 - \cos v) = 2D \sin^2 \frac{v}{2}$ . Эта поправка вводится в измерения всегда со знаком «-».

Поправка за температуру  $\Delta_t = \alpha \cdot (t - t_0) \cdot D$ , где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения металла, из которого изготовлен мерный прибор;  $t$  – температура воздуха при измерении длины линии;  $t_0$  – температура при компарировании мерного прибора. Для стали  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ . Данная поправка вводится в том случае, если  $(t - t_0) > 8^\circ\text{C}$ .

Поправка за компарирование  $\Delta_k = \ell - \ell_0$ , где  $\ell$  – длина мерного прибора;  $\ell_0$  – длина эталона или компаратора.

Таким образом, если длина мерного прибора меньше длины эталона, поправка вводится со знаком «-», если больше – со знаком «+».

Горизонтальное проложение линии местности вычисляют следующим образом:

$$d = D + \Delta_v + \Delta_t + \Delta_k.$$

Если линия местности имеет неравномерный уклон, то аналогичные действия выполняют для каждого участка уклона, и горизонтальное проложение линии вычисляют следующим образом:  $d = d_1 + d_2 + \dots + d_n$ , где  $n$  – число участков разных уклонов на данной линии местности.

### 8.3. Косвенные линейные измерения

Выполняют при помощи дальномеров геометрического типа, физических дальномеров и путем вычислений по формулам тригонометрии.

#### 8.3.1. Дальномеры геометрического типа

Длину линии получают из решения параллактического треугольника, в котором измеряют параллактический (горизонтальный) угол и сторону – базу (рис. 43).

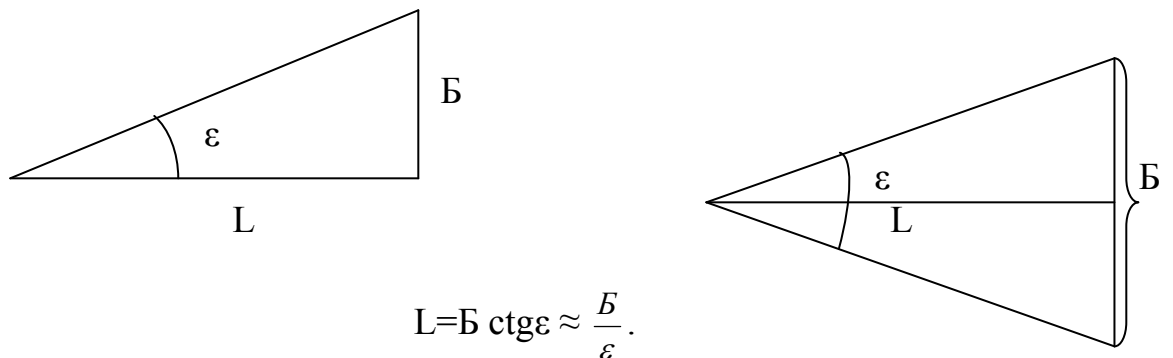
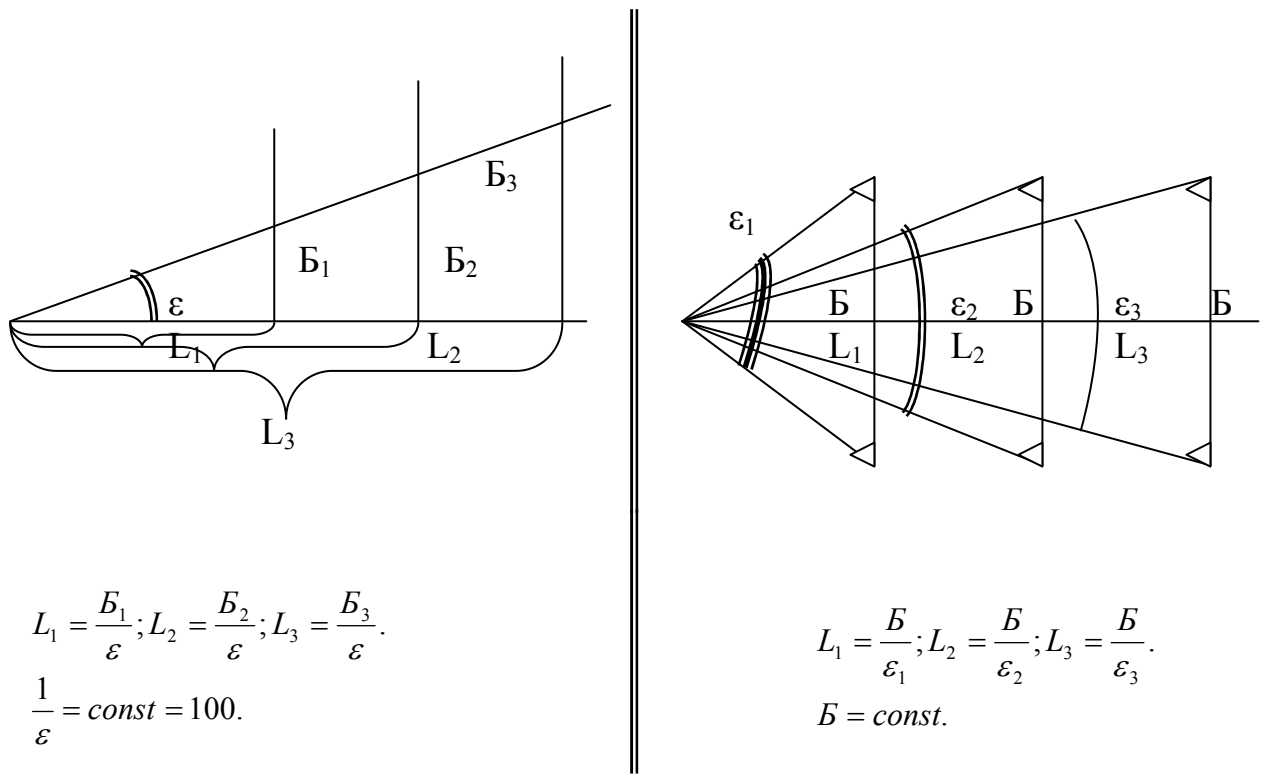


Рис. 43. Принцип измерения длины линии дальномерами геометрического типа

Оптические дальномеры бывают с постоянным параллактическим углом и с переменной базой в виде вертикальной рейки, устанавливаемой вне прибора (нитяной дальномер), и с переменным параллактическим углом с постоянной базой (дальномеры двойного изображения, в настоящее время мало применяются). На рис. 45 показан принцип измерения длины линии местности этими дальномерами.

С постоянным углом

С постоянной базой



$$L_1 = \frac{B_1}{\varepsilon}; L_2 = \frac{B_2}{\varepsilon}; L_3 = \frac{B_3}{\varepsilon}.$$

$$\frac{1}{\varepsilon} = const = 100.$$

$$L_1 = \frac{B}{\varepsilon_1}; L_2 = \frac{B}{\varepsilon_2}; L_3 = \frac{B}{\varepsilon_3}.$$

$$B = const.$$

Рис. 44. Принцип измерения длины линии дальномерами различного типа

Теорию нитяного дальномера можно рассмотреть на примере нитяного дальномера теодолита, который состоит из средней горизонтальной нити и двух дальномерных нитей – верхней и нижней. В качестве переменного базиса используют нивелирную рейку.

Из рис. 46, поясняющего теорию нитяного дальномера, видно, что если визирный луч перпендикулярен базе (рейке), то расстояние между теодолитом и рейкой равно произведению  $S$  – коэффициента дальномера на количество сантиметровых делений между дальномерными нитями. Постоянной дальномера –  $s$  можно пренебречь из-за ее малой величины. У современных приборов  $S = 100$ , это значит, что одному сантиметровому делению рейки на местности соответствует 1 метр.

Рассмотрим случай, когда визирный луч не перпендикулярен базису (рис. 47). Тогда:

$$d_{AB} = L \cdot \cos v; L = K \cdot n'; n' = n \cdot \cos v; \text{отсюда } L = K \cdot n \cdot \cos v.$$

Окончательно получаем, что горизонтальное проложение

$$d = K \cdot n \cdot \cos v \cdot \cos v = K \cdot n \cdot \cos^2 v = L \cdot \cos^2 v,$$

где  $K$  – коэффициент дальномера,  $n$  – количество сантиметровых делений между верхней и нижней дальномерными нитями,  $v$  – угол наклона линии  $AB$ .

Точность измерения расстояний нитяным дальномером относительно невелика и составляет порядка 1:300 измеряемого расстояния. Однако для многих практических задач инженерной геодезии (прежде всего для выполнения теодолитных и топографических съемок) этой точности оказывается достаточно.

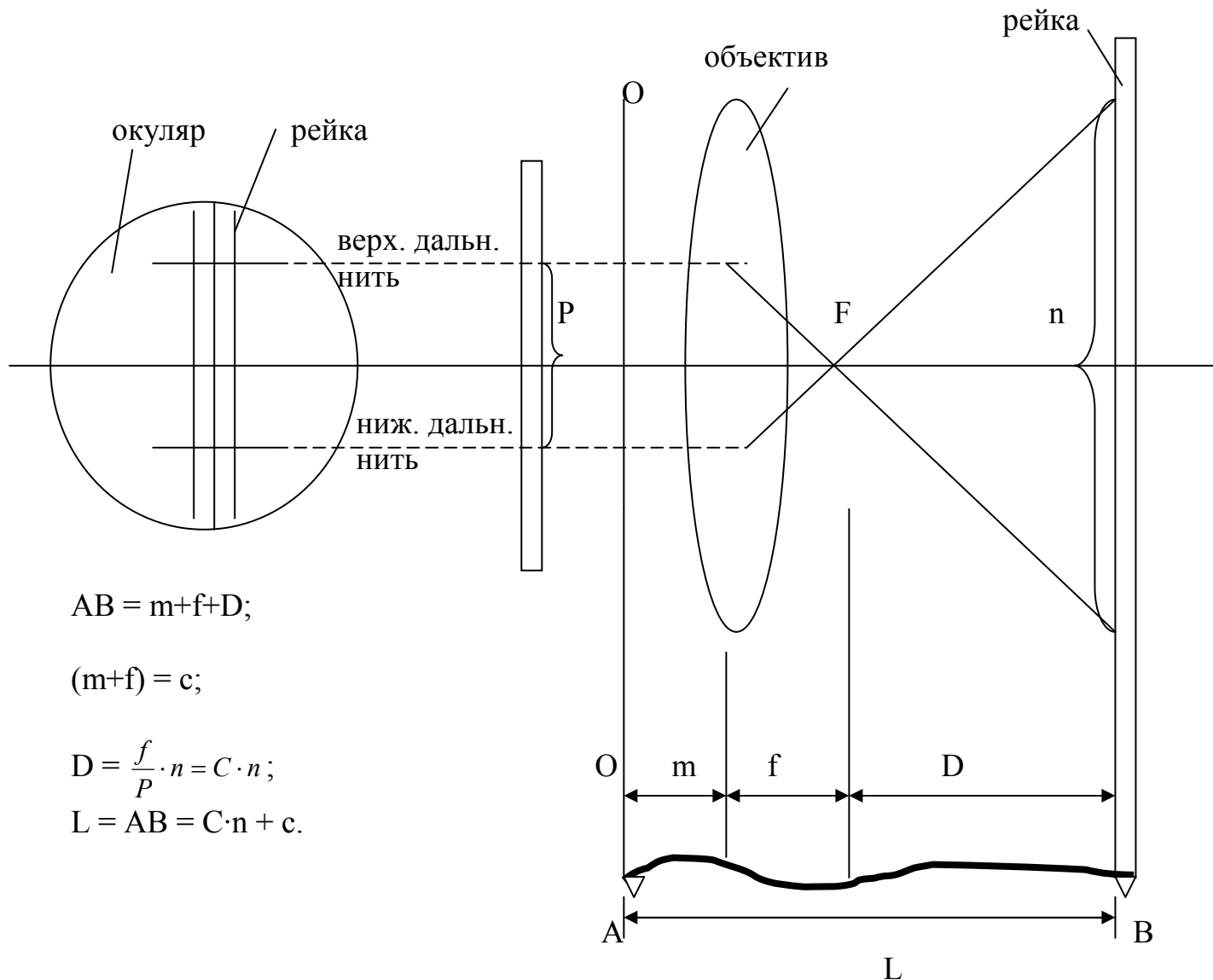


Рис. 45. Теория нитяного дальномера: визирный луч перпендикулярен базису

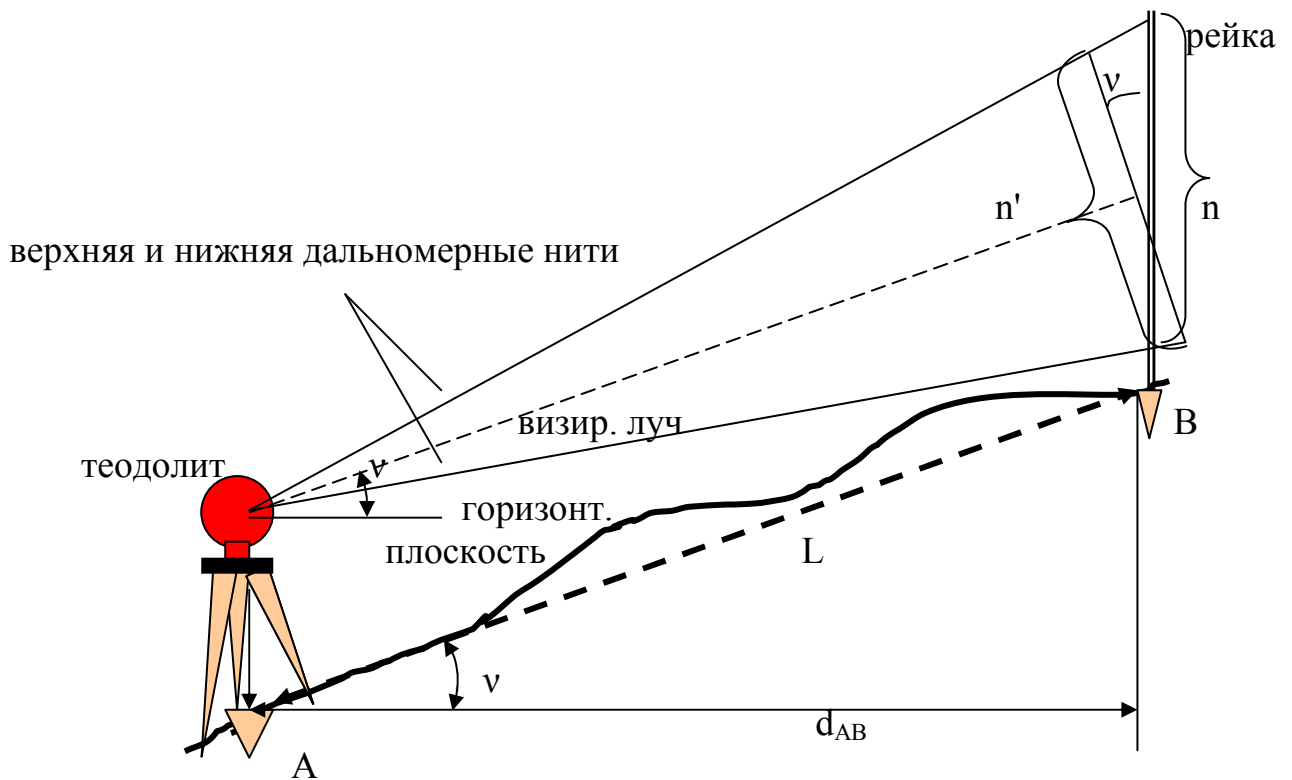


Рис.46. Теория нитяного дальномера: визирный луч не перпендикулярен базису

### 8.3.2. Физические дальномеры

По области применения светодальномеры бывают (по ГОСТ 23543-88):

а) СГ – светодальномеры геодезические для измерения длин линий в государственных геодезических сетях, дальность действия до 50 км, точность  $6 \div 110$  мм. Марки СГ-50 (10, 20, 50 км), СГ-20, СГ-10.

б) СТ – светодальномеры топографические, применяемые для измерений в геодезических сетях сгущения и для выполнения топографических съемок, дальность действия до 15 км, точность  $5 \div 80$  мм. Выпускаются СТ-15, СТ-10, СТ-5.

в) СП – светодальномеры, применяемые для измерений длин линий при решении задач прикладной геодезии и маркшейдерии, дальность действия до 3 км, точность  $0,3 \div 11$  мм.

Радиодальномеры:

«Луч» - дальность действия 50 км, точность измерений  $\pm 15$  см, масса 21 кг, 60Вт, 12В.

«Волна» - дальность действия 15 км, точность измерений  $\pm 3$  см, масса 10 кг, 10Вт, 12В.

«Трап» - дальность действия 15 км, точность измерений  $\pm 3$  см, масса  $< 10$  кг, 10Вт, 12В.



Светодальномеры и радиодальномеры различают по принципу действия:

а) Импульсные

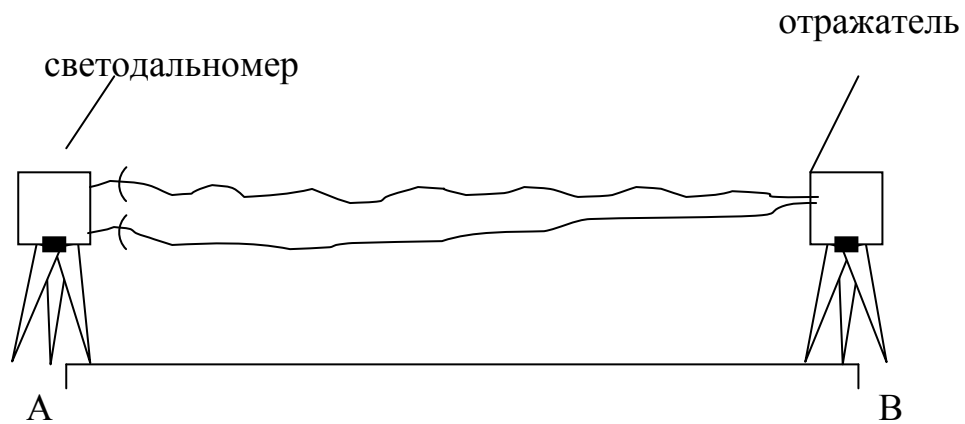


Рис. 47. Принцип измерения длины линии светодальномерами

Длину линии вычисляют следующим образом:

$AB = \frac{ct}{2}$ , где  $c$  – скорость распространения электромагнитной волны;  $t$  – время.

Если средняя квадратическая ошибка времени  $m_t = 1 \cdot 10^{-6}$  сек., то средняя квадратическая ошибка измерения длины линии  $m_{AB} \approx 300$  м.

б) Фазовые

Длина линии равна:  $AB = N \frac{\lambda}{2} + \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot \frac{\lambda}{2}$ ,  $\Delta\varphi$  измеряют фазометром;  $N$  – количество полуволн.

в) Частотные

Принцип работы светодальномеров базируется на определении времени  $\tau$  распространения электромагнитных волн видимого или инфракрасного излучения вдоль измеряемого расстояния  $l$  (рис. 49,а), на одном конце которого установлен приемно-передатчик ПР-ПЕР, а на другом – светоотражатель ОТР. Поскольку световые сигналы проходят двойное расстояние  $2D$ , то

$$D = c \cdot \tau / 2n,$$

где  $c$  – скорость распространения световых волн в вакууме, равная 299792456 м/сек;  $n$  – показатель преломления воздушной среды, зависящий от ее температуры, плотности и влажности.

Определение времени прохождения электромагнитными волнами измеряемого расстояния производится импульсным и фазовым методами (или их комбинацией).

В импульсных светодальномерах (рис. 49, б) счет времени ведется в первом варианте непосредственным измерением интервала между высланным на дистанцию импульсом 1 и принятым отраженным импульсом 2. Точность измерения времени 1-10 нс., а ошибка в измеренном расстоянии достигает 10 м.

Повышение точности достигнуто во втором варианте – импульсный метод с преобразованием временного интервала (счетно-импульсный метод). Сущность метода состоит в том (рис. 49, б низ), что промежуток времени между импульсами 1 и 2, соответствующий расстоянию  $2D$ , преобразуется в непрерывный прямоугольный импульс, длительностью  $\tau$ . Полученный прямоугольный импульс заполняется с помощью генератора счетными импульсами высокой частоты и малого периода  $T_c$ , которые поступают на специальный счетчик импульсов. Таким образом, время распространения сигнала в прямом и обратном направлениях будет равно:

$$\tau = T_c \cdot n,$$

где  $n$  – число счетных импульсов генератора, полученное со счетчика импульсов.

В фазовых светодальномерах вместо индикатора времени применен индикатор разности фаз. Существует два типа фазовых светодальномеров: с фиксированной (рис. 49в) и с плавно изменяющейся частотой (рис. 49г). В первом типе дальномеров имеющееся в приборе фазоизмерительное устройство измеряет разность фаз  $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1)$  для высланного на дистанцию ( $\varphi_1$ ) и принятого с дистанции ( $\varphi_2$ ) сигналов. Эта разность фаз соответствует домеру к измеряемому расстоянию  $\Delta D = \lambda \cdot \Delta\varphi / 360^\circ$ , а измеряемое расстояние будет:

$$D = (\lambda/2) \cdot (N + \Delta\varphi / 360^\circ),$$

где  $N$  – целое число волн, уложившихся в  $2D$ ;  $\lambda$  – длина волны.

Во втором типе фазовых светодальномеров частоту модуляции плавно изменяют до тех пор, пока в двойном расстоянии от приемопередатчика до отражателя не уложится целое число  $N$  волн или полуволн. Тогда:

$$D = \lambda \cdot N / 2.$$

Для определения числа  $N$  измерения ведут на нескольких частотах.

В настоящее время выпускают ручные фазовые дальномеры (лазерные рулетки). Лазерный дальномер (рис. 48) позволяет измерять расстояния от 0,3 до 150 метров (без отражателя) и более с максимальной погрешностью в  $\approx 3$  мм. Встроенная память на 20 и более последних измерений и одна константа, помимо функций Пифагора (вычисления высоты, ширины), расчета неприступных отрезков, площади, объема, сложения, вычитания, значительно расширяют возможности лазерной рулетки при выполнении математических операций. Появляется возможность измерять наклоны в пределах  $\pm 45^\circ$ , вычислять горизонтальное расстояние по датчику наклона, рассчитывать углы стыка стен, выносить в натуру проектные размеры.

Дальномер оборудован резьбой для установки на штатив и может вести отсчет от задней и передней поверхности дальномера.



*Рис. 48. Лазерный дальномер Leica Disto A5*

Многофункциональная откидная скоба на торце прибора позволяет производить измерения из внутренних углов, щелей и от различных краев и уступов. Положение откидной скобы прибор автоматически отслеживает и задает соответствующие поправки к результатам замера, это позволяет избежать ошибок при замерах.

Автоматический датчик освещения дальномера включает подсветку дисплея и кнопки "DIST" в условиях плохой освещенности.

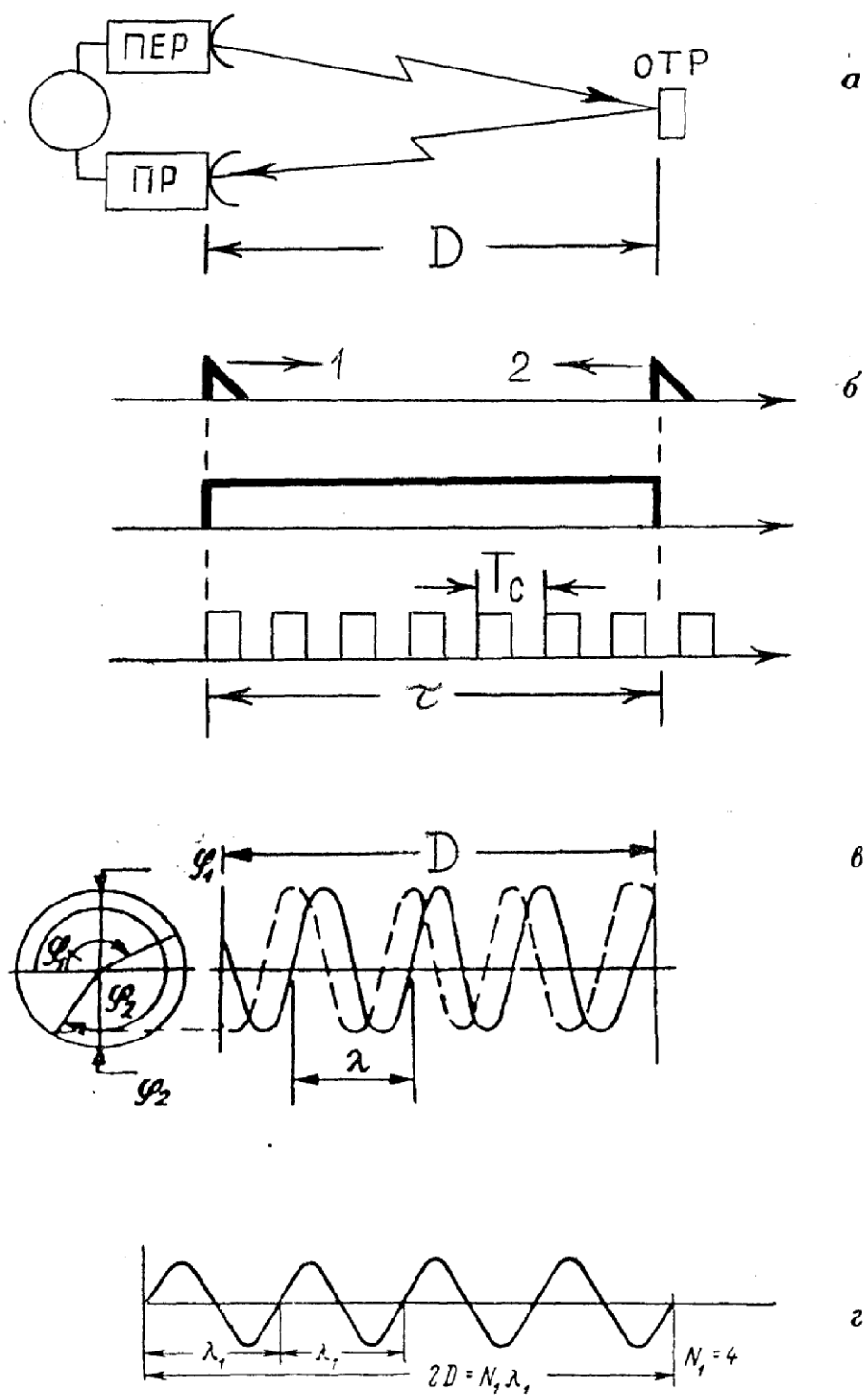


Рис. 49. Принцип действия импульсных и фазовых светодальномеров

Светодальномер 2СТ-10\_предназначен для измерения линий в полигонометрических ходах, при сгущении геодезических сетей с длинами сторон до 10 км. Его можно устанавливать как на самостоятельной подставке, так и на теодолитах серий 2Т и 3Т. В светодальномере 2СТ-10 использован импульсный метод измерения расстояний с преобразованием временного интервала (рис. 49).

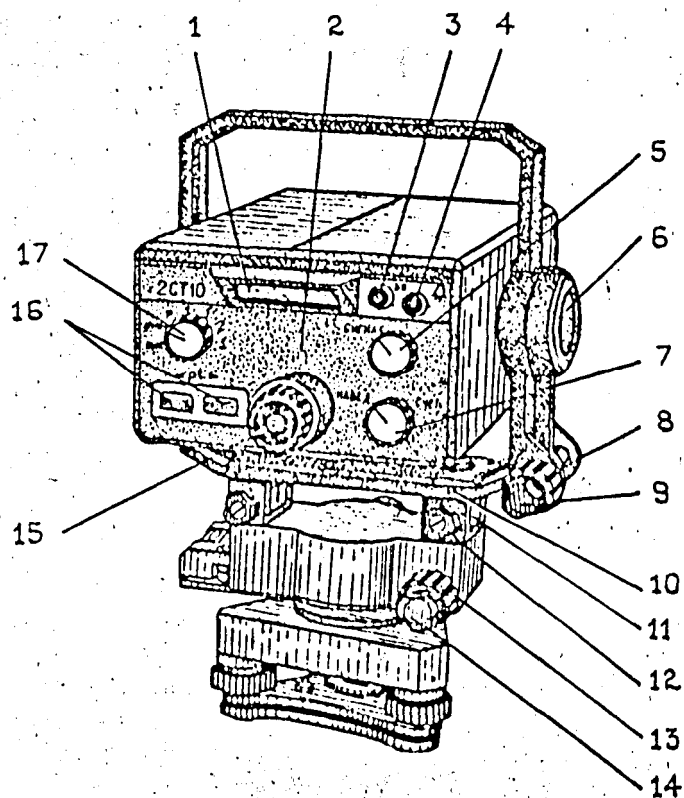


Рис. 50. Светодальномер 2 СТ-10

1 – цифровое табло, 2 – лицевая панель, 3 – ручка КО, 4 – ручка  $\Omega$ ; 5 – ручка СИГНАЛ, 6 – крышка, 7 – переключатель НАВЕД-СЧЕТ, 8 – рукоятка наводящего устройства, 9 – рукоятка закрепительного устройства, 10 – винт юстировочный, 11 – стойка, 12 – винт-фиксатор, 13 – рукоятка наводящего устройства, 14 – рукоятка закрепительного устройства, 15 – окуляр визирного канала, 16 – кнопки pt, 17 – переключатель режимов работы

В комплект светодальномера 2СТ-10 входят: отражатели, источники питания, зарядное устройство, барометр, термометр, штативы, набор инструментов для юстировки и мелкого ремонта. Оптическая и электронная части светодальномера заключены в корпус с объективом, замкнутый крышками и лицевой панелью 2 (рис. 50). На лицевой панели 2 расположены переключатель 17 режимов работы, кнопка 16 «pt» ввода значений атмосферного давления и температуры воздуха, ручка 3 КО установки контрольного отсчета, записанного в формуляре светодальномера, ручка 4 (рис. 50) регулировки подсвета сетки визирного канала, ручка 5 СИГНАЛ регулировки уровня сигнала, переключатель 7 НАВЕД-СЧЕТ, цифровое табло 1, окуляр 15 визирного канала. Со стороны объектива на корпусе расположены соединитель для подключения регистрирующего устройства или частотомера и соединитель для подключения кабеля питания. Под заглушкой на крышке расположен конденсатор подстройки частоты задающего генератора. Механизм наведения в вертикальной плоскости выполнен с соосным расположением рукоятки 8 наводящего устройства и рукоятки 9 закрепительного устройства. В основании расположен оптический центрир и цилиндрический уровень для пространственной ориентации свето-

дальномера в горизонтальной плоскости и точной установки его над точкой. Механизм наведения в горизонтальной плоскости выполнен с соосным расположением рукоятки 13 наводящего устройства (рис. 50) и рукоятки 14 закрепительного устройства. Отличительной особенностью 2СТ-10 является то, что в нем приемопередатчик и зрительная труба объединены в один канал. Для исключения влияния временных и фазовых задержек, создаваемых электрическими цепями и приводящих к искажению результатов измерений, в схему дальномера введена специальная оптическая ветвь оптического короткого замыкания (ОКЗ), которая включается попеременно с оптической ветвью передатчика, направляющей излучение на отражатель (на ДИСТАНЦИЮ). Разность результатов измерения ДИСТАНЦИИ и ОКЗ, содержащих одни и те же величины временных и фазовых задержек, освобождается при этом от их влияния. ОКЗ образуется путем автоматического перекрытия пучка лучей, идущих от излучателя к объективу, и направления его непосредственно на фотоприемное устройство (ФЭУ). Управление переключающим устройством ОКЗ, обработка результатов измерений на различных частотах и вычисление окончательного результата осуществляется микропроцессорным вычислительным устройством (МПВУ), которое вмонтировано в 2СТ-10. Кнопки и рукоятки управления расположены на лицевой панели (рис.51).

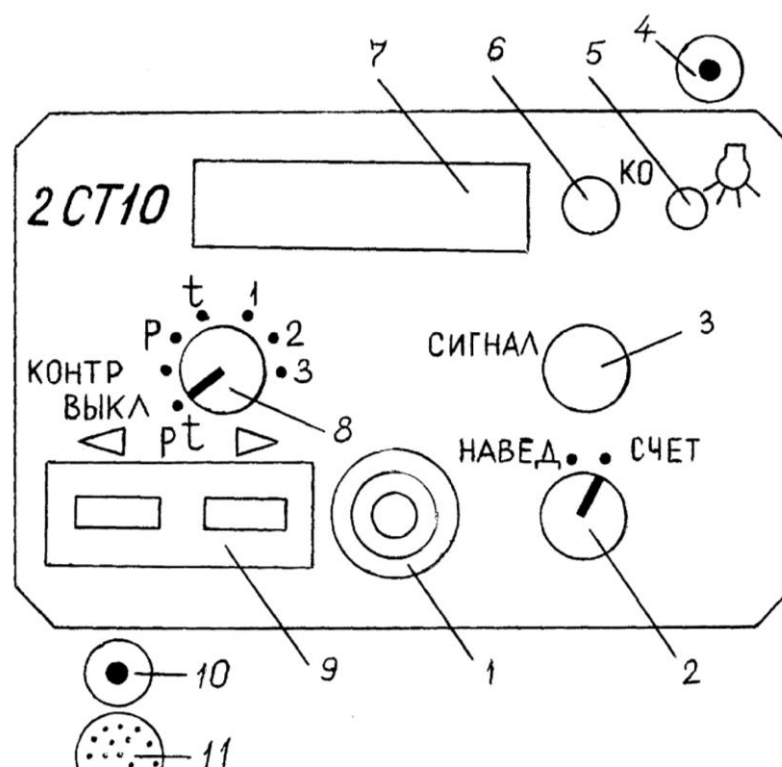


Рис. 51. Лицевая панель светодальномера 2 СТ-10

1 – зрительная труба (приемо-передатчик); 2,8 – переключатели; 3 – регулятор сигнала; 4 – разъем для подключения кабеля питания, 5 – регулятор подсветки сетки, 6 – рукоятка установки контрольного отсчета; 7 – цифровое табло; 9 – кнопки ввода атмосферных поправок; 10 – разъем для подключения накопителя информации; 11 – микротелефон.

#### 8.4. Измерение недоступных расстояний

При выполнении измерительных работ нередко возникают ситуации, когда та или иная линия не может быть измерена непосредственно (водные преграды, непроходимые болота и т.д.). В этих случаях, в зависимости от того, какими техническими средствами располагает исполнитель (землемерными лентами и рулетками, оптическими теодолитами, светодальномерами, электронными тахеометрами, приборами спутниковой навигации «GPS» и т.д.), недоступное расстояние может быть определено одним из следующих способов: базисов; равных треугольников; прямого промера по оси; наземно-космическим.

*Способ базисов* состоит в измерении недоступного расстояния с помощью прямой угловой засечки (рис. 52).

На удобных участках местности для производства линейных измерений с использованием землемерной ленты или рулетки от точки А измеряемой линии строят два базиса  $b_1$  и  $b_2$  таким образом, чтобы между ними и измеряемой прямой линией образовались два треугольника с углами при основании не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ . Базисы измеряют землемерной лентой или рулеткой дважды и при допустимых расхождениях в промерах определяют среднее значение каждого из них. Полным приемом теодолита измеряют горизонтальные углы при основаниях полученных треугольников  $ABC_1$  и  $ABC_2$ , соответственно  $\gamma_1$ ;  $\alpha_1$ ;  $\gamma_2$ ;  $\alpha_2$ . По теореме синусов дважды определяют значение искомого недоступного расстояния:

$$x_1 = \frac{b_1 \sin \gamma_1}{\sin \beta_1}; \quad x_2 = \frac{b_2 \sin \gamma_2}{\sin \beta_2} \quad \text{или} \quad x_1 = \frac{b_1 \sin \gamma_1}{\sin(\gamma_1 + \alpha_1)}; \quad x_2 = \frac{b_2 \sin \gamma_2}{\sin(\gamma_2 + \alpha_2)}.$$

Если относительная погрешность между двумя измерениями не превышает допустимой  $\frac{x_1 - x_2}{x_{cp}} \leq \frac{1}{N_{дон.}}$ , то окончательно принимают в качестве искомого

результата среднее значение  $x = \frac{x_1 + x_2}{2}$ .

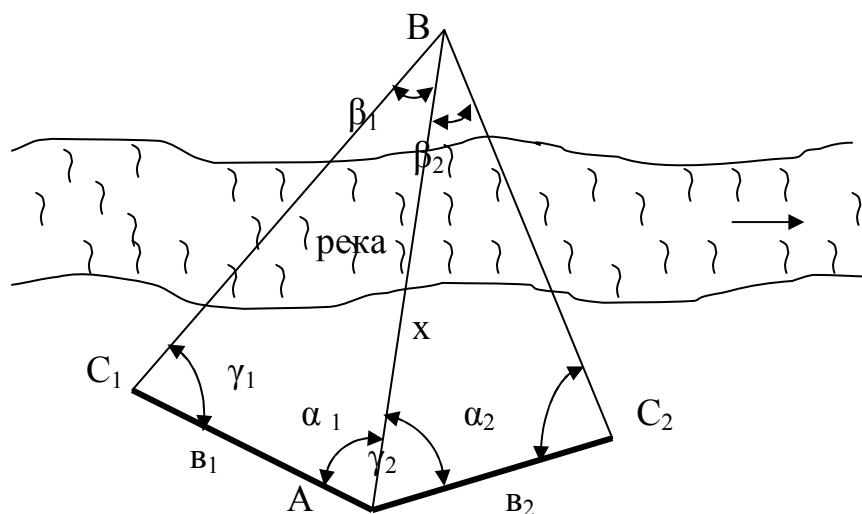


Рис. 52. Схема измерения недоступного расстояния

## 9. Нивелирование и его виды

Нивелирование – это такой вид геодезических работ, при котором определяют абсолютные или условные высоты точек, или превышения между точками. Если высоты точек определяют относительно уровня Балтийского моря (нуля Кронштадского футштока – рейки с делениями на водомерном посту), высоты называют абсолютными (рис. 53), а систему высот Балтийской. В случае, когда за уровенную принимают какую-либо произвольную поверхность, высоты называют условными.

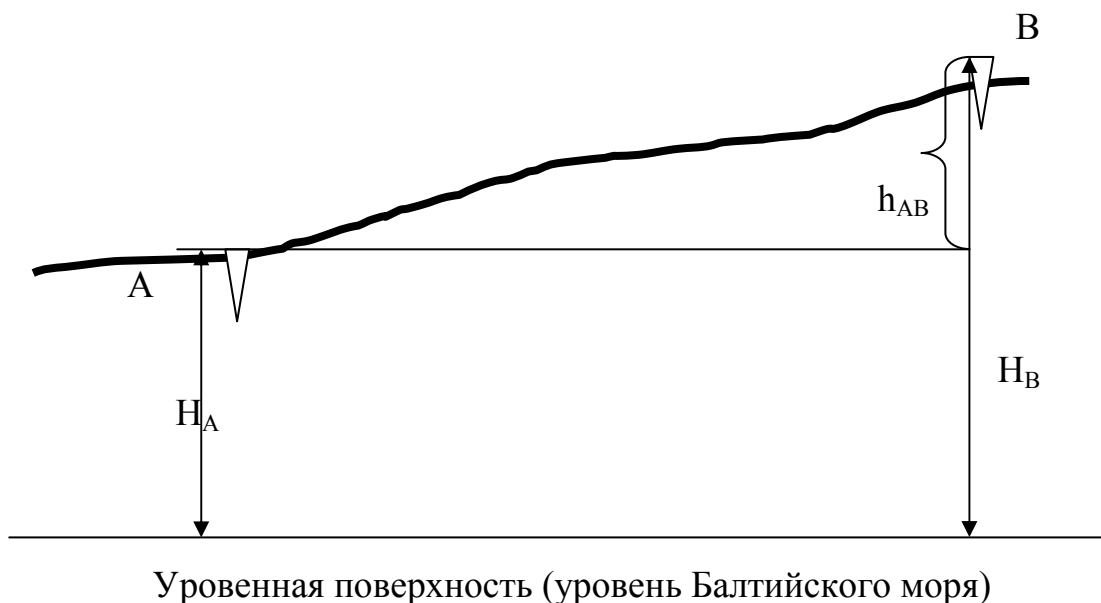


Рис. 53. Абсолютные высоты точек, превышение

$H_A$ ,  $H_B$  – абсолютные отметки точек A и B. Абсолютной отметкой точки называется численное значение ее высоты.  $h$  – превышение точки B над точкой A.

$h = H_B - H_A$ . Превышение может быть со знаком «+» (B выше A) и «-» (B ниже A).

Существует несколько видов нивелирования:

1. Геометрическое (при помощи горизонтального луча визирования).
2. Тригонометрическое (при помощи наклонного луча визирования).
3. Физическое: барометрическое, гидростатическое.
4. Механическое.
5. Азрорадиогеодезическое.
6. Стереофотограмметрическое.

Барометрическое нивелирование выполняется путем измерения барометрами – anerоидами давления в точках на физической поверхности Земли, между которыми измеряют превышение. Гидростатическое нивелирование основано на свойстве жидкости в сообщающихся сосудах (в сообщающихся сосудах уровень жидкости одинаков).



### 9.1. Сущность и способы геометрического нивелирования

Для выполнения геометрического нивелирования необходимо наличие горизонтального луча визирования и отсчетной шкалы. Горизонтальный луч визирования формирует в пространстве специальный геодезический прибор – нивелир. Согласно ГОСТу 11158-83 выпускают три типа реек: РН-05, РН-3, РН-10 (для соответственно высокоточного, точного и технического нивелирования). Рейка представляет собой деревянную планку с делениями. Рейки изготавливают односторонние и двухсторонние. Последние имеют черную сторону – основную, оцифрованную от 0 мм и красную – контрольную, обычно оцифрованную от 4687 мм или 4700 мм (рис. 57, а, б, в). Разность отсчетов по красной и черной сторонам рейки называется пяткой рейки, которая должна быть постоянна во время измерений (контроль взятия отсчетов).

В зависимости от точности нивелирования применяют штриховые рейки с инварной полосой и круглым уровнем, односторонние, имеющие основную и дополнительную шкалы (РН-05) и шашечные рейки. Комплект штриховых реек состоит из двух трехметровых реек (по 6 кг каждая) и подвесной реечки длиной 1,2 метра. Шашечные рейки изготавливают длиной от 1,5 до 4 – х метров, они бывают складные и нескладные (рис. 57, д). Каждое деление рейки, затененное и белое равно 10 мм, они образуют дециметровые деления, подписанные на рейке. Для нивелирования кроме нивелира и реек используют металлический «башмак» с целью временного закрепления точки для установки рейки.

Различают два способа геометрического нивелирования в зависимости от места установки нивелира: «из середины» (рис. 54) и «вперед» (рис. 55) Расстояние от нивелира до рейки называется длиной визирного луча или «плечом».

Точка А – исходная, с нее начинают измерения на станции нивелирования, ее называют задней, точка В – определяемая, ее называют передней. Одна установка нивелира называется станцией. Н – отметка точки; h – превышение, h = задний отсчет – передний отсчет.

По отметке точки А –  $H_A$  и превышению можно вычислить отметку  $H_B$  точки В двумя способами:

1. При помощи превышения  $H_B = H_A + h$ .

2. Через горизонт инструмента. Выразим h через (a – в)

$H_B = H_A + a - в$ . Обозначим ГИ =  $H_A + a$ , тогда  $H_B = ГИ - в$ .

Горизонт инструмента (ГИ) – высота визирного луча над исходной уровенной поверхностью. На данной станции он равен отметке точки плюс отсчет по рейке, установленной в этой точке.

По сложности нивелирование делят на простое и сложное или последовательное.

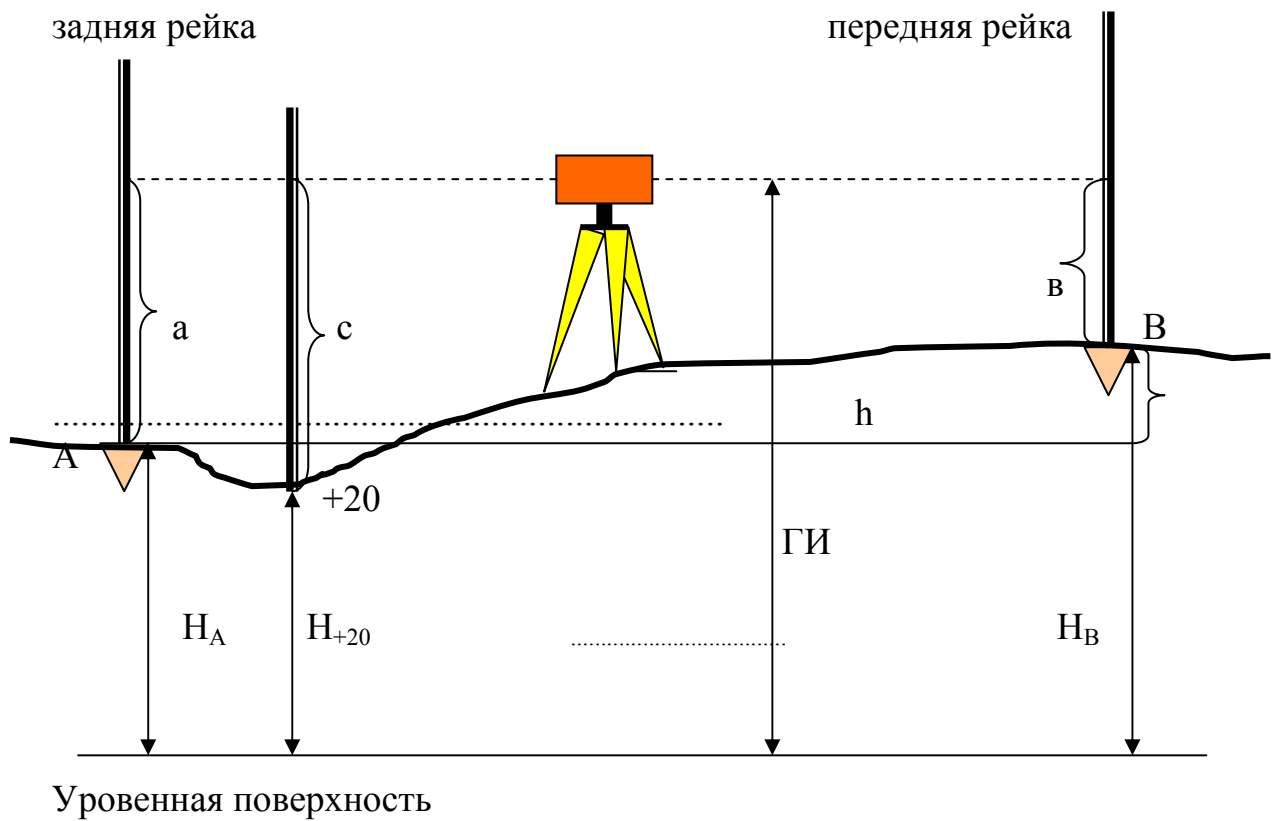


Рис. 54. Способ геометрического нивелирования «из середины»

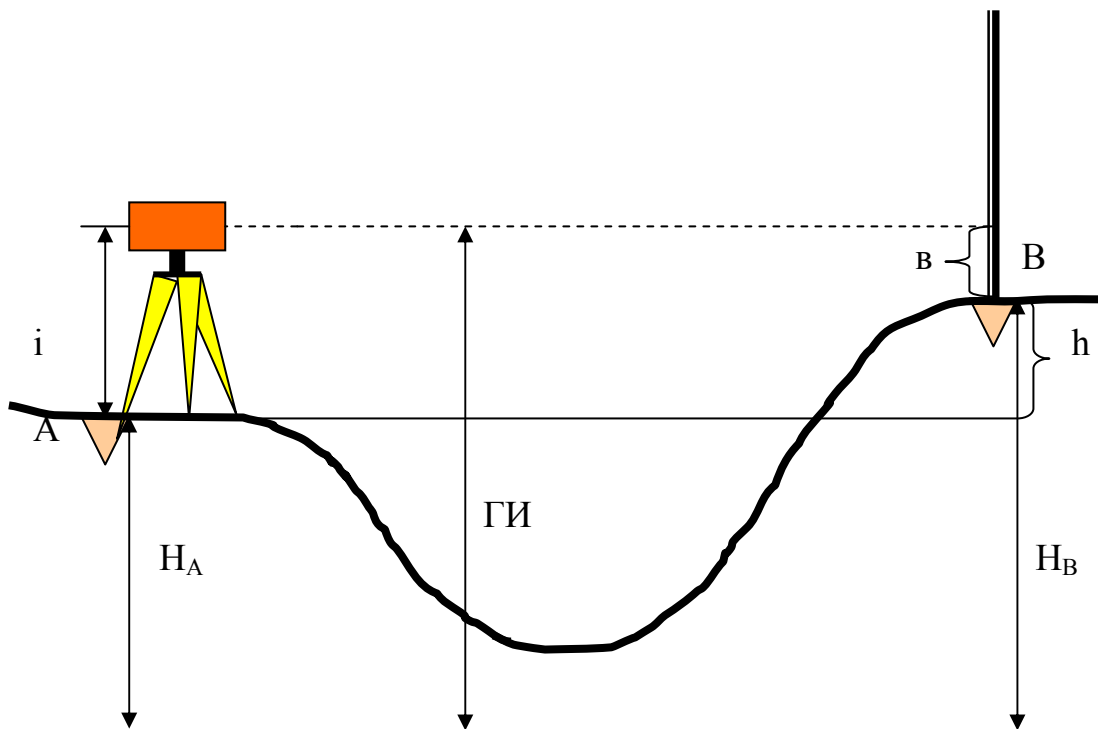


Рис. 55. Способ геометрического нивелирования «вперед»

Простое нивелирование выполняется с одной установки нивелира. Сложное – путем нескольких установок, образующих нивелирный ход (высотный). Оно применяется при определении превышений между точками, расположенными на большом расстоянии друг от друга или намного отличающимися по высоте.

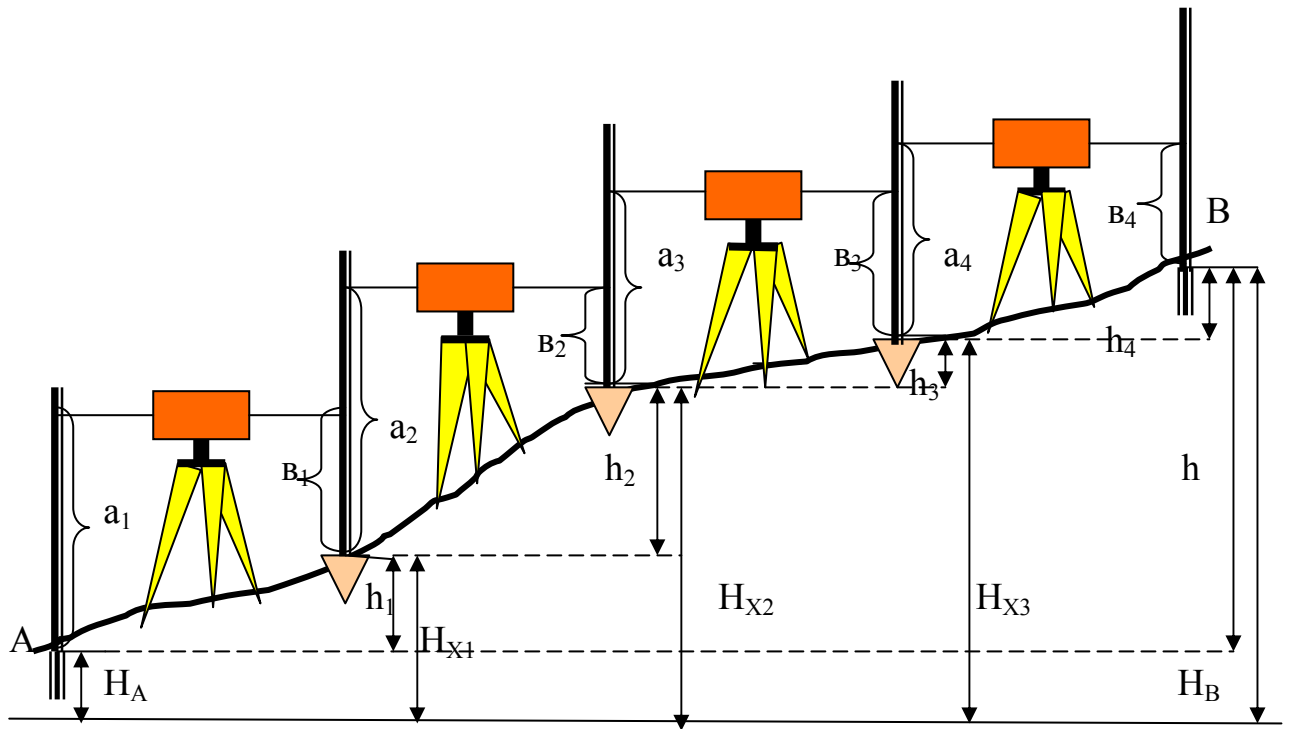


Рис. 56. Сложное геометрическое нивелирование

На рис. 56 (А – X<sub>1</sub> – X<sub>2</sub> – ... – В) – нивелирный ход. Точки, являющиеся задними и передними, называются связующими. Их нивелируют по двум сторонам рейки.

а – задние отсчеты, в – передние отсчеты. Из рисунка видно:

$$h_1 = a_1 - b_1, h_2 = a_2 - b_2, h_n = a_n - b_n.$$

Отметки связующих точек вычисляют следующим образом:

$$H_{X1} = H_A + h_1^{\text{испр.}}$$

$$H_{X2} = H_{B1} + h_2^{\text{испр.}}$$

$$\dots\dots\dots$$

$$H_n = H_{n-1} + h_n^{\text{испр.}},$$

где  $h_i^{\text{испр.}}$  – исправленное среднее превышение (с учетом распределенной невязки, т.е. с учетом поправки).

Если необходимо знать отметку только конечной точки, то

$$H_B = H_A + \sum_1^n h_i^{\text{испр.}}.$$

Кроме связующих точек на местности могут быть пронивелированы характерные точки рельефа, расположенные между двумя соседними связующими и называемые промежуточными (рис. 54). Нивелирование их производится после взятия отсчетов а и в взятием отсчета с по рейке, установленной в этой точке, только по черной стороне рейки. Отметки промежуточных точек вычисляют через горизонт инструмента по ранее приведенной формуле

$$H_{+20} = \text{ГИ} - c.$$

Точки нивелирования закрепляют постоянными и временными знаками. К постоянным знакам относятся реперы – грунтовые и стенные и нивелирные марки. Грунтовые реперы – это металлические трубы, которые закладывают в пробуренную скважину и цементируют. Реперы, закладываемые на глубину до коренных пород, называются глубинными. При нивелировании определяют

отметку верха репера. Стенные реперы цементируют в цокольную часть капитальных сооружений. К временным знакам относятся деревянные и металлические колья (костыли), рис. 57, и и «башмаки», рис. 57, ж, з.

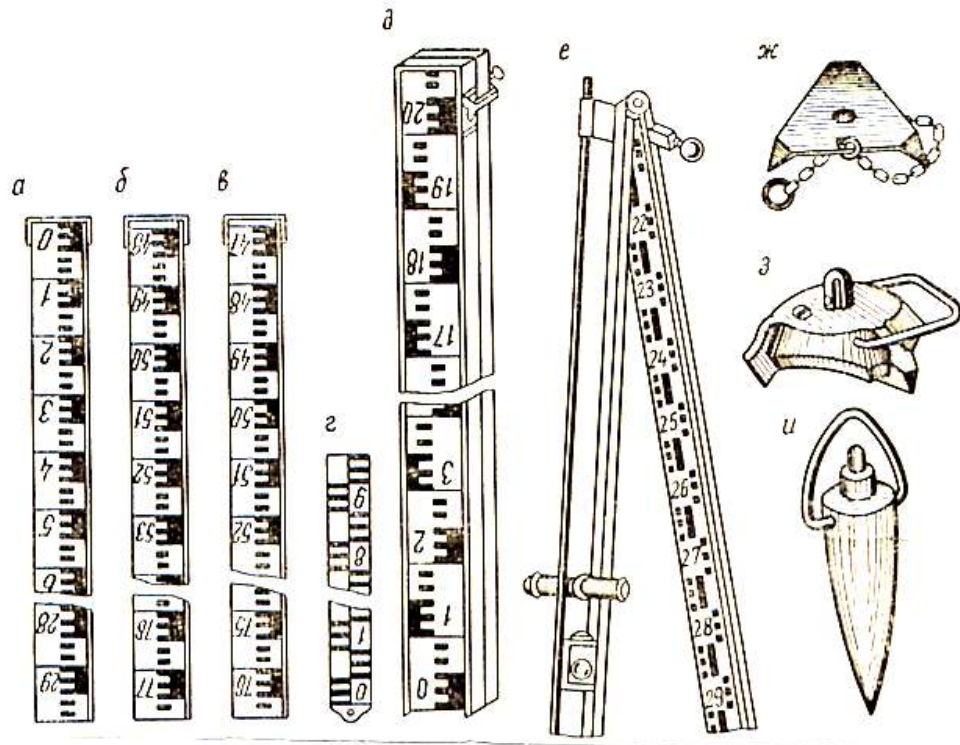


Рис. 57. Нивелирные рейки и временные знаки

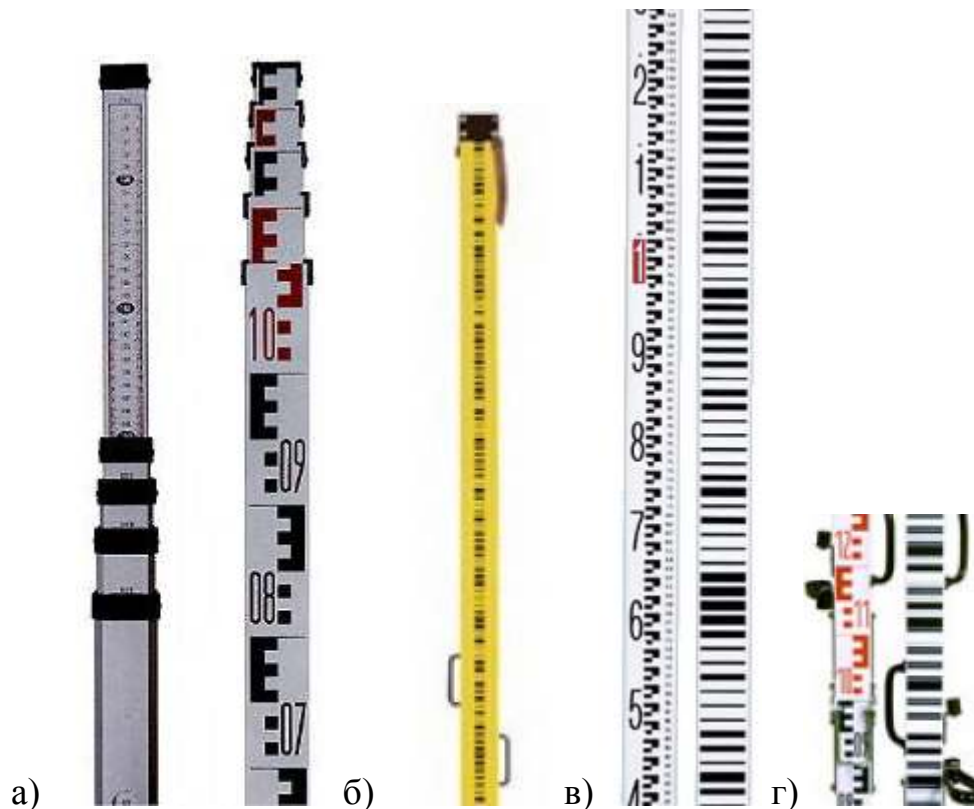


Рис. 58. Современные нивелирные рейки: а) телескопическая алюминиевая рейка; рейки для цифровых нивелиров: б) инварная рейка с RAB-кодом; в) фиброглассовая рейка BGS50; г) рейка с BAR-кодом

## 9.2. Классификация и устройство нивелиров

Нивелиры классифицируют по двум признакам: по точности и по способу установки визирного луча в горизонтальное положение.

По первому признаку нивелиры делятся на группы:

1. Высокоточные – средняя квадратическая погрешность на 1 км двойного хода – 0,5 мм. К ним относятся такие марки, как Н-1, Н-2, НС-2, Н-05, 3Н-2 – КЛ. При работе с этими нивелирами допускается длина плеч (расстояние от нивелира до рейки) до 50 метров.

2. Точные – средняя квадратическая ошибка на 1 км двойного нивелирования 3 мм. Примером нивелиров являются марки Н-3, 2Н-3Л, НС-3, НС-4, 3Н – 2КЛ. Допускается длина плеч до 75 – 100 метров.

3. Технические – ошибка 10 мм на 1 км двойного хода. К ним относятся такие нивелиры, как НТ, НТС, Н10 и другие. Длина плеч допускается до 100 – 150 метров.

По второму признаку нивелиры различают:

1. Уровенные (с цилиндрическим уровнем, рис. 59).
2. Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования (с компенсатором).

Некоторые метрологические характеристики нивелиров следующие ГОСТ 10528-90 Нивелиры.

Общие технические условия:

Наименование параметра (показателя)	Группа нивелиров		
	высокоточных	точных	технических
Допустимая средняя квадратическая погрешность измерения превышения на 1 км двойного хода, мм:	- для нивелиров с компенсатором 0,3	2,0	5,0
	- для нивелиров с уровнем 0,5	3,0	5,0
Увеличение зрительной трубы, крат, не менее	40	30	20

Основные составные части нивелира (на примере 2Н-3Л, рис. 59):

1 – окуляр, для увеличения изображения цели; 2 – диоптрийное кольцо, для получения четкого изображения сетки нитей; 3 – круглый уровень, для приведения прибора в рабочее положение (приведения основной оси вращения в отвесное положение); 4 – кремальера, для получения четкого изображения цели; 5 – зрительная труба; 6, 9 – подставка, служит основанием прибора, несет вертикальную ось вращения зрительной трубы; 7 – наводящий винт трубы, для точного наведения на цель; 8 – пружина трегера с втулкой служит для закрепления нивелира на штативе становым винтом; 10 – элевационный винт для приведения в нульпункт пузырька цилиндрического уровня; 11 – нониус, для отсчета углов по горизонтальному лимбу при угломерных работах; 12 – объектив, для формирования изображения визирной цели; 13 – механический визир, для приближенного наведения на цель; 14 – цилиндрический уровень, для

приведения визирной оси зрительной трубы в строго горизонтальное положение; 15 – исправительный винт уровня при трубе, для исправления положения пузырька цилиндрического уровня; 16 – три подъемных винта для приведения прибора в рабочее положение; исправительные винты круглого уровня, для исправления положения пузырька уровня на рисунке не видны, 17 – лимб, для измерения горизонтальных углов.

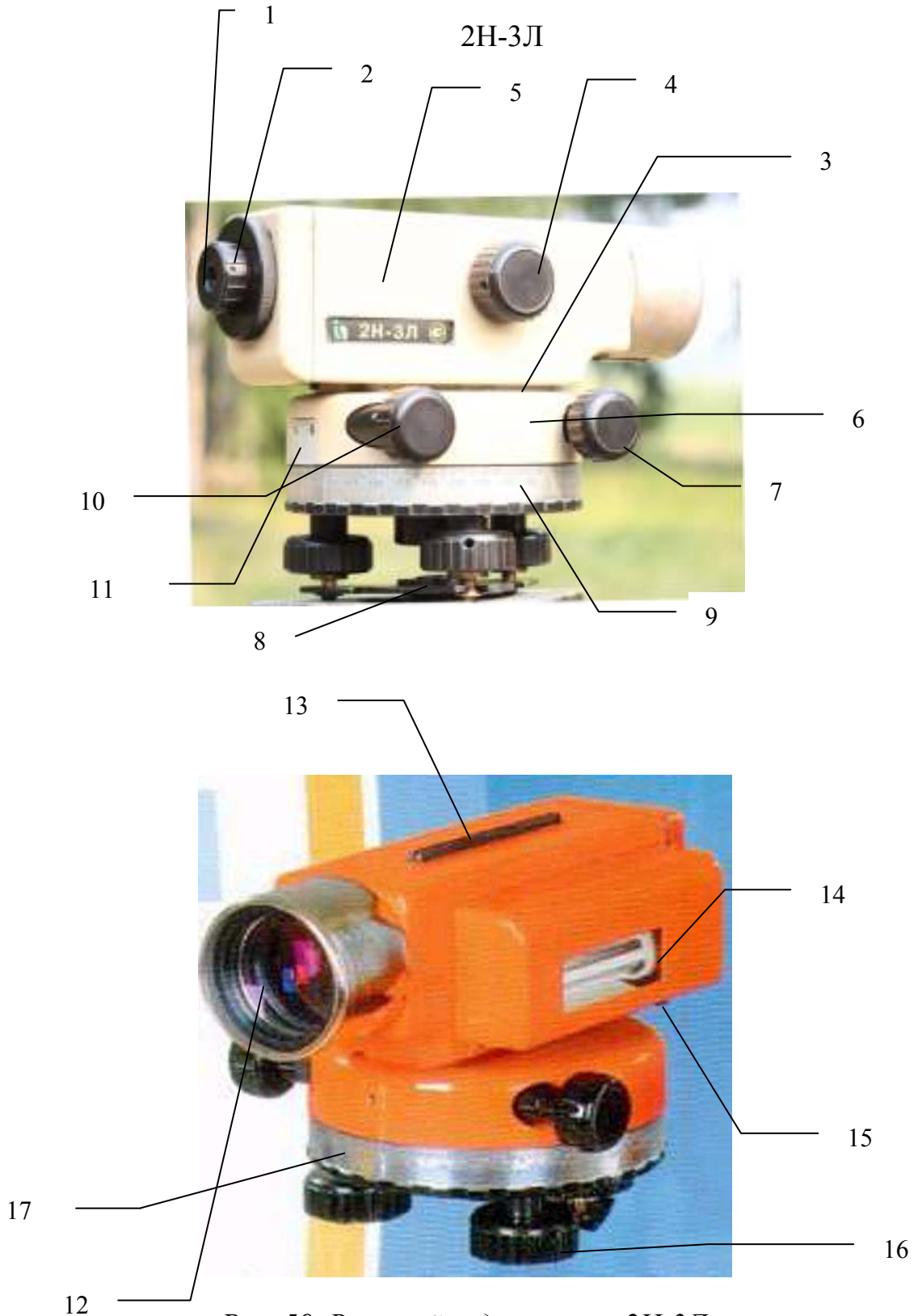
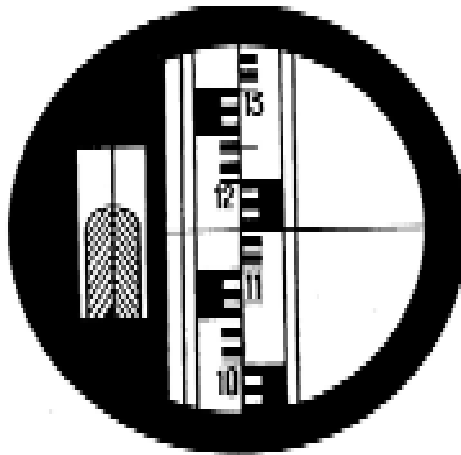


Рис. 59. Внешний вид нивелира 2Н-3Л

Нивелир 2Н-3Л относится к точным нивелирам. Нивелир 2Н-3Л – 2-ое поколение нивелира Н-3 – точный, с уровнем, элевационным винтом и лимбом, предназначен для измерения превышений, расстояний и горизонтальных углов. Средняя квадратическая погрешность измерения превышения на 1 км двойного хода 2,5 мм. Отличается от предшествующих марок нивелиров (НВ-1, Н-3) отсутствием закрепительного винта трубы, наличием лимба, имеет трубу прямого изображения, современный дизайн.

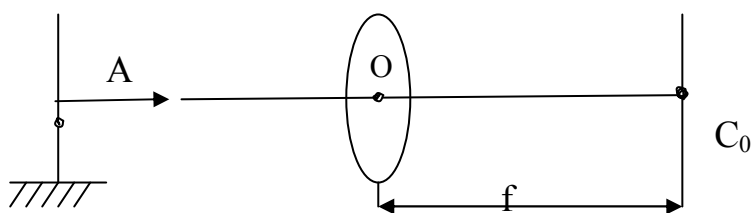


*Рис. 60. Поле зрения зрительной трубы*  
 Отсчет по рейке 1,150 м. Расстояние  $S=(1,236-1,064) \cdot 100=17,2$  м

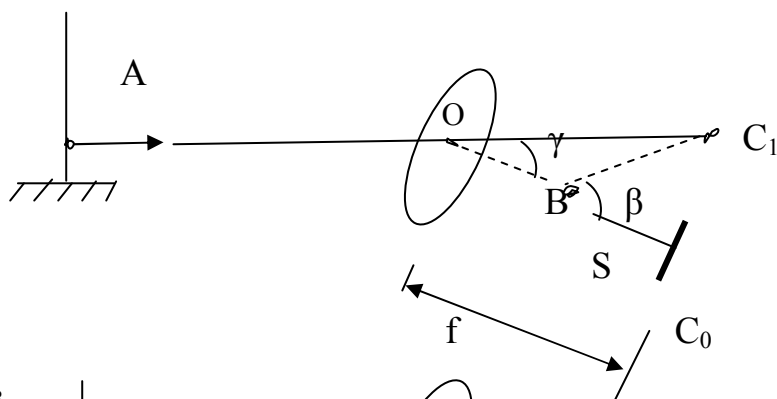
В настоящее время широкое применение находят геодезические приборы (нивелиры, теодолиты и др.), в которых уровень заменяется автоматическим устройством – компенсатором наклона визирной оси, или «регулятором» положения визирной оси. Нивелир снабжается только круглым уровнем для грубого приведения визирной оси в горизонтальное положение, горизонтальность линии визирования обеспечивается с необходимой точностью автоматическим компенсатором наклона. Компенсаторы наклона позволяют повысить точность и производительность труда, дают возможность работать на неустойчивых грунтах. Сущность работы компенсатора заключается в следующем.

При горизонтальном положении визирной оси трубы по средней нити сетки производят правильный отсчет  $A$ , соответствующий горизонту инструмента (рис. 61). При наклоне зрительной трубы на угол  $\gamma$  горизонтальный луч, соответствующий отсчету  $A$ , смещается вверх или вниз относительно средней нити сетки на величину  $C_0C_1=\Delta=f \cdot \sin\gamma \approx f \cdot \gamma/\rho''$ . Для того чтобы отсчет  $A$  по средней нити сетки не изменялся, нужно либо изменить положение сетки нитей из положения  $C_0$  в  $C_1$  (механический компенсатор, рис. 61, б), либо изменить направление горизонтального луча, соответствующего отсчету  $A$  так, чтобы этот луч снова попал на среднюю нить сетки (оптико-механический компенсатор, рис. 61, в).

а



б



в

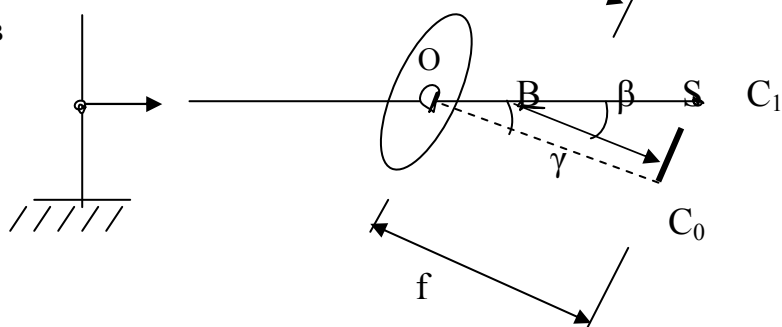


Рис. 61. Принцип работы компенсатора

Смещение сетки нитей или изменение положения визирного луча осуществляется с помощью расположенного в точке В специального устройства – компенсатора наклона зрительной трубы на величину  $\Delta = S \cdot \sin \beta$ .

Отсюда следует основное уравнение компенсации:  $f \cdot \sin \gamma = S \cdot \sin \beta$ .

Существует еще одна группа компенсаторов – жидкостные, основанные на свойстве поверхности жидкости под действием силы тяжести устанавливаться нормально к отвесной линии. В геодезических приборах жидкостные компенсаторы применяют редко. Они действуют также по схеме оптико-механических компенсаторов. Угол  $\beta$  отклонения луча и местоположение точки В рассчитываются таким образом, чтобы удовлетворялось основное уравнение компенсации. Отношение  $f/S = \beta/\gamma = n$  называется угловым увеличением компенсатора. Для того чтобы геометрические размеры компенсатора были невелики, точку В стремятся расположить внутри зрительной трубы ( $n \geq 1$ ).

Компенсаторы наклона содержат подвижный элемент, находящийся в определенном положении под действием силы тяжести, неподвижный оптический элемент (например, отклоняющую призму) и демпфирующее устройство (демпфер) воздушного или магнитного типа. Жидкостные демпферы не используются в нивелирах с компенсатором.



В геодезии наиболее широко применяются оптико-механические компенсаторы маятникового типа, которые, в свою очередь, подразделяются на линзовые, зеркальные, призмные. В мире выпущено более 70 типов компенсаторов, поэтому вышеприведенное разделение на виды весьма условно.

Все компенсаторы можно сгруппировать в соответствии с их расположением в нивелире:

- с компенсатором перед объективом – НСМ-2А (СССР);
- с подвижным объективом или сеткой нитей – Сальмойраш 5172 и 5173 (Италия);
- с компенсатором между основным и фокусирующим компонентами телескопа – Ni-002 (ГДР), Ni-A31 (ВНР), Никон (Япония) и др.;
- с компенсатором между фокусирующей линзой и сеткой нитей – Ni-025, Ni-007 (ГДР), Ni-B3 (ВНР), НС-3 (СССР) и др.;
- с компенсатором, служащим фокусирующим компонентом – Н-10КЛ.

Механическим компенсатором является качающаяся сетка на трех металлических нитях, имеющая длину, равную  $f$  ( $f=S, n=1$ ). Под действием силы тяжести перекрестие сетки нитей занимает такое положение, что визирная ось системы отвесна.

Наиболее часто используются оптико-механические компенсаторы в виде свободно подвешенных зеркал, призм, линз. Если зеркало повесить на маятнике так, чтобы оно составляло с горизонтальной плоскостью всегда одинаковый угол, то его можно использовать в качестве компенсатора, у которого  $f=2S$ , следовательно,  $n=2$ .

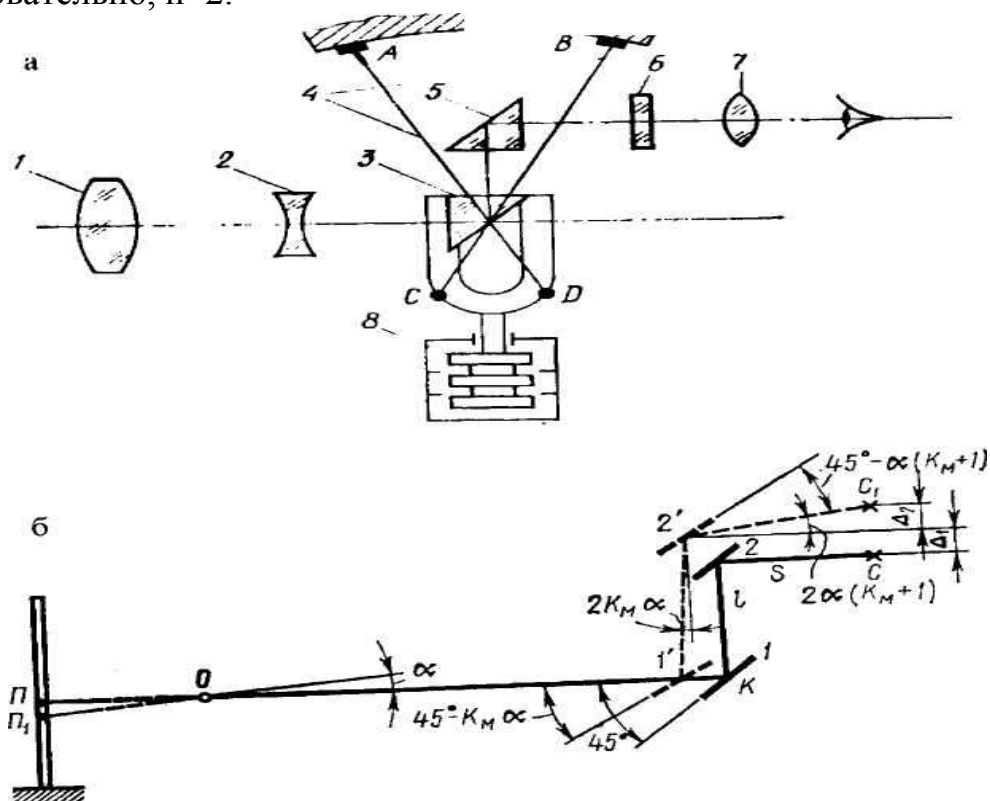


Рис. 62. Принципиальная схема (а) и схема действия (б)

призмного компенсатора:

- 1 - объектив; 2 - фокусирующая линза; 3 - призма-компенсатор; 4 – бериллиевые нити; 5 - призма АР-90°; 6 - сетка нитей; 7 - окуляр; 8 - воздушный демпфер

Эту схему используют в точных нивелирах типа Н-3К. Здесь  $K_M(n) < -1$ . При наклоне зрительной трубы на угол  $\gamma$  перекрестие сетки нитей  $C$  смещается в положение  $C_1$ . Компенсатор сдвигает изображение правильного отсчета  $\Pi$  в новое положение перекрестия сетки нитей на значение:

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

Полагают, что, из-за малости угла наклона  $\gamma$ , изменение расстояний  $l$  и  $S$  мало, и записывают уравнение компенсации в виде:

$$f'\gamma = 2lK_M\gamma + 2S\alpha(K_M+1)$$

или

$$K_M = f - 2S/2(l+S).$$

Задаваясь значениями  $f$ ,  $S$  и  $l$ , вычисляют геометрические размеры подвески компенсатора. Для нивелира Н-3К значения  $K_M = 2,62 \div 3,143$ . При сборке прибора изменяют значение  $S$  до тех пор, пока погрешность компенсации не будет минимальна.

На этом принципе разработана схема нивелира 3Н-3КЛ (рис. 63).

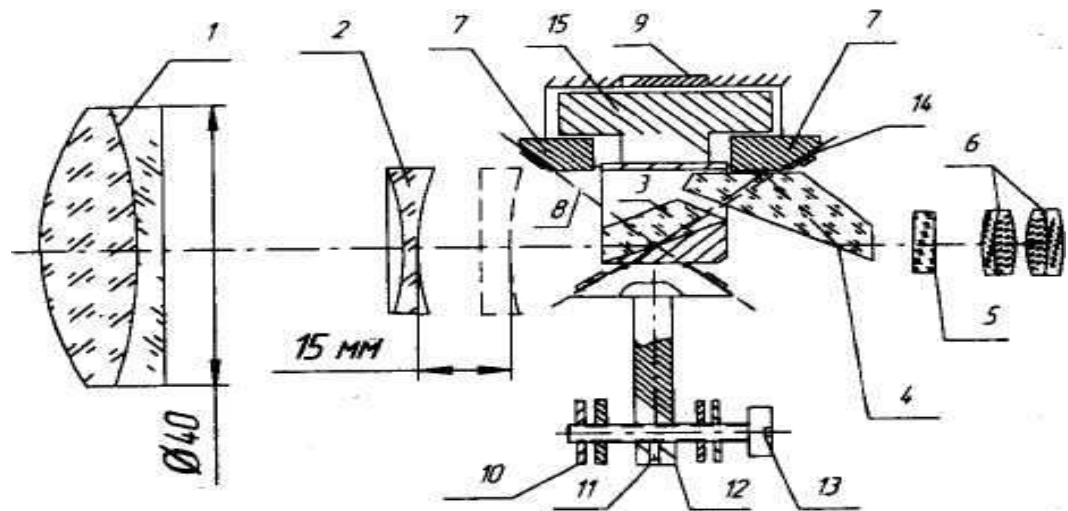


Рис. 63. Принципиальная оптико-механическая схема нивелира 3Н-3КЛ:

1 – объектив; 2 – фокусирующая линза; 3 – призма-компенсатор АР-60°; 4 – призма БкУ-60°; 5 – сетка нитей; 6 – окуляр; 7 – подвижные опоры; 8 – бериллиевые нити; 9, 15 – магнитоиндукционные демпфер (поз. 15 одновременно выполняет роль балансира); 10 – грузики; 11 – стопорный винт; 12 – маятник; 13 – винт; 14 – прокладка

В настоящее время наряду с оптическими нивелирами выпускают цифровые и лазерные нивелиры, которые нашли широкое применение при решении инженерно-геодезических задач в народном хозяйстве. Применение этих приборов в несколько раз повышает производительность труда.

Существуют лазерные нивелиры и теодолиты, задающие световую плоскость и линию (рис. 65). Лазерные нивелиры делятся на приборы для выполнения внутренних работ и приборы для выполнения наружных работ.

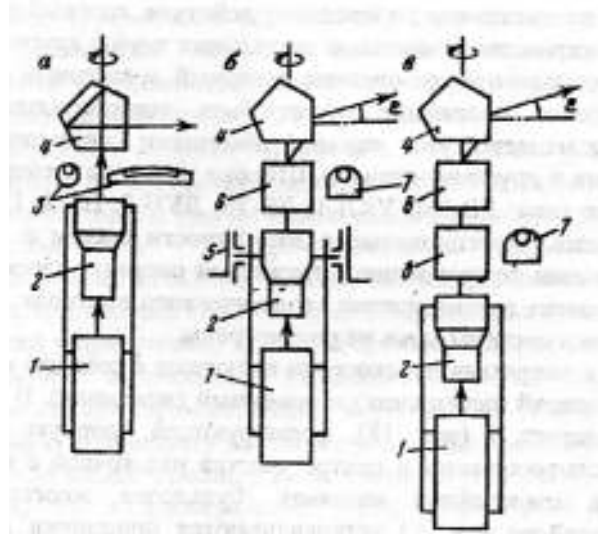


Рис. 64. Структурные схемы передатчиков

На рисунке: 1 – лазер, 2 – коллиматор, 4 – блок развертки луча в плоскость (например, в виде вращающейся пентапризмы). Лазерный луч может устанавливаться в строго вертикальное положение точным цилиндрическим уровнем 3, круглым уровнем 7 и шарниром 5, круглым уровнем и компенсатором 8. В системах с наклонной опорной плоскостью (угол наклона  $\varepsilon$  переменный) между коллиматором или компенсатором и блоком развертки устанавливается блок 6 формирования угла наклона. Лазер и коллиматор могут располагаться горизонтально, но тогда необходим дополнительный оптический элемент, изменяющий направление лазерного луча с горизонтального на вертикальное.

Для формирования горизонтальной опорной плоскости необходимо направить идущий строго вертикально лазерный луч на вращающуюся вокруг вертикальной оси, совпадающей с лучом, призму (прямоугольную или пентапризму), изменяющую его направление на  $90^\circ$ .

Способы формирования опорной плоскости с переменным углом наклона  $\varepsilon$  (или уклоном  $i$ ) можно разделить на две группы: оптико-механические и электрооптические. Одним из наиболее распространенных способов задания наклонной плоскости является способ, использующий свойство вращающейся прямоугольной (редко) призмы или пентапризмы, т.е. такой призмы, которая может изменять вертикальное направление входящего луча на горизонтальное, разворачивать луч, отклоненный от вертикали на угол  $\varepsilon$ , в плоскость, наклоненную к горизонту на тот же угол  $\varepsilon$  (для пентапризмы) или  $2\varepsilon$  (для прямоугольной призмы). Если изменять угол отклонения луча от вертикали, то в пространстве будет изменяться угол наклона плоскости.

Для придания лазерному лучу определенного угла отклонения от вертикали, т.е. для управления этим лучом, имеется ряд устройств.



*Рис. 65. Нивелиры*

а) цифровой нивелир DINI; б) FL - 250 VA - N – автоматический multifunctional ротационный лазерный нивелир для измерений как внутри помещений – так и снаружи; в) построитель плоскости FL 40 - Pocket II

Лазерный нивелир с широкой разверткой лазерных лучей. Имеет новую систему призм и лазерный диод, подходит для строительно-ремонтных работ внутри помещений. Прибор имеет отсоединяемое multifunctional крепление, позволяющее закреплять его на бетонные стены, деревянные балки и металлические поверхности.

### 9.3. Поверки нивелиров с цилиндрическим уровнем

Рассмотрим поверки нивелиров с цилиндрическим уровнем.

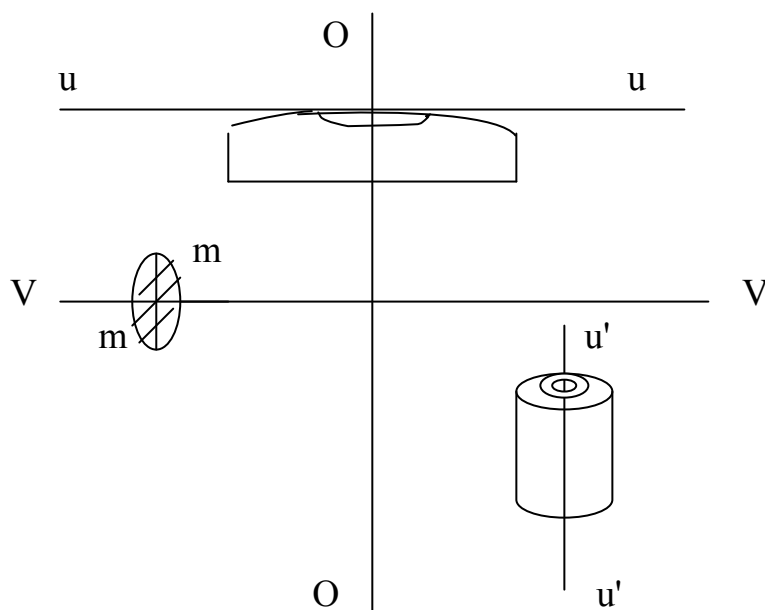


Рис. 66. Схема основных осей нивелира с цилиндрическим уровнем

ОО – основная ось вращения прибора; uu – ось цилиндрического уровня; VV – визирная ось зрительной трубы; u'u' – ось круглого уровня, mm – средняя горизонтальная нить сетки.

Поверки выполняют после приведения прибора в рабочее положение и проверяют выполнение следующих условий:

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна основной оси вращения нивелира. Уровень располагают между двумя подъемными винтами, вращая их одновременно в разные стороны, приводят пузырек круглого уровня на середину. Затем поворачивают трубу на  $180^\circ$  и наблюдают за перемещением пузырька. Если пузырек круглого уровня остался в нульпункте, условие поверки выполнено, в противном случае производят юстировку. При помощи исправительных винтов круглого уровня перемещают пузырек по направлению к нульпункту на половину схода. Окончательно возвращают пузырек на середину подъемными винтами. После исправления поверку повторяют.

2. Средняя горизонтальная нить сетки нитей должна быть перпендикулярна оси вращения инструмента. Наводят трубу на рейку, расположенную не менее чем в 30 метрах от нивелира. Работают наводящим винтом трубы, перемещая изображение рейки сначала в правое положение поля зрения трубы, затем в левое, каждый раз при этом берут отсчет по рейке. В случае совпадения отсчетов  $a_{кп}$  и  $a_{кл}$  условие поверки выполнено, в противном случае нужно развернуть сетку нитей на величину  $\frac{a_{кп} + a_{кл}}{2}$ .

3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы. Эта поверка считается основной поверкой нивелира. Один из способов ее выполнения – нивелирование «вперед» двух точек (рис. 67).

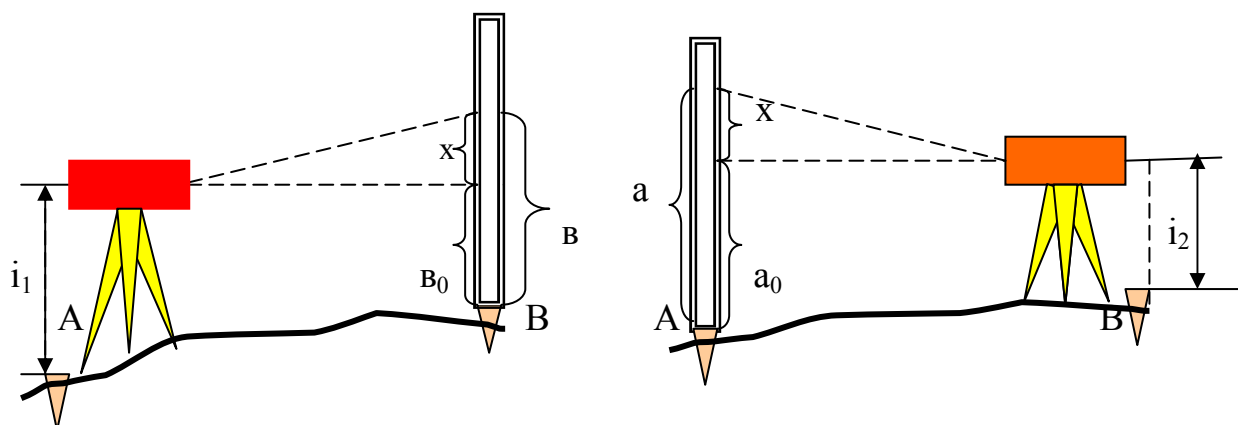


Рис. 67. Схема выполнения основной поверки нивелира способом нивелирования «вперед» двух точек

$$\left. \begin{aligned} h &= i_1 - v_0 = i_1 - (B - x) \\ h &= a_0 - i_2 = (a - x) - i_2 \end{aligned} \right\} x = \frac{a + v}{2} - \frac{i_A + i_B}{2} \leq 4 \text{ мм}$$

$$h_{\text{ср.}} = \frac{(a - v) + (i_A - i_B)}{2} - \text{безошибочно.}$$

То же получается при нивелировании «из середины» при равных плечах.

Если  $x > 4 \text{ мм}$ , то необходимо произвести юстировку:

1. Вычисляют верный отсчет по рейке  $a_0 = a - x$ .
2. Элевационным винтом наклоняют зрительную трубу и устанавливают на рейке отсчет  $a_0$ . При этом пузырек цилиндрического уровня сместится из середины.
3. Исправительными винтами цилиндрического уровня пузырек уровня возвращают на середину.
4. Повторяют поверку.

## 10. Продольное нивелирование трассы

Трасса – это ось линейного сооружения типа: дороги, трубопроводы, линейные ускорители частиц, ЛЭП и другие (рис. 68).

Трассирование – комплекс работ для получения оптимального варианта трассы по отношению к ландшафту местности, рельефу, в экономическом отношении. Разделяют камеральное и полевое трассирование. Камеральное трассирование заключается в предварительном выборе оптимального варианта трассы с использованием карт мелкого, а затем более крупного масштабов. Выполняется оно способами попыток, построения линии заданного уклона, по стереомоделям местности и автоматизированным методом.

Полевое трассирование выполняют или без предварительного выбора трассы на карте, или выносят в натуру выбранный на карте вариант трассы. Все работы при этом разделяются на полевые и камеральные.

### 10.1. Полевые работы.

1. Рекогносцировка – осмотр местности и закрепление главных точек трассы начала трассы (НТ), конца трассы (КТ), створных точек (СТ), вершин углов поворота трассы (ВУ) (рис. 68) деревянными или бетонными столбами высотой около одного метра.

На столбах масляной краской подписывают названия и номера точек.

2. Измерение углов поворота трассы – угла между предыдущим и последующим направлением трассы. Теодолитом измеряют правые по ходу горизонтальные углы и вычисляют углы поворота трассы. Если трасса поворачивает вправо, то  $\varphi_1 = 180^\circ - \beta_1$ , угол поворота трассы влево вычисляют следующим образом  $\varphi_2 = \beta_2 - 180^\circ$ .

3. Разбивка трассы: расчистка и закрепление главных точек кривых, пикетов, плюсовых точек, поперечников. После вычисления углов поворота трассы выбирают из «Таблиц для разбивки круговых кривых» или вычисляют по формулам элементы кривых: тангенс (касательная к кривой, Т), биссектрису (Б), длину кривой (К), домер (Д) (рис. 69).

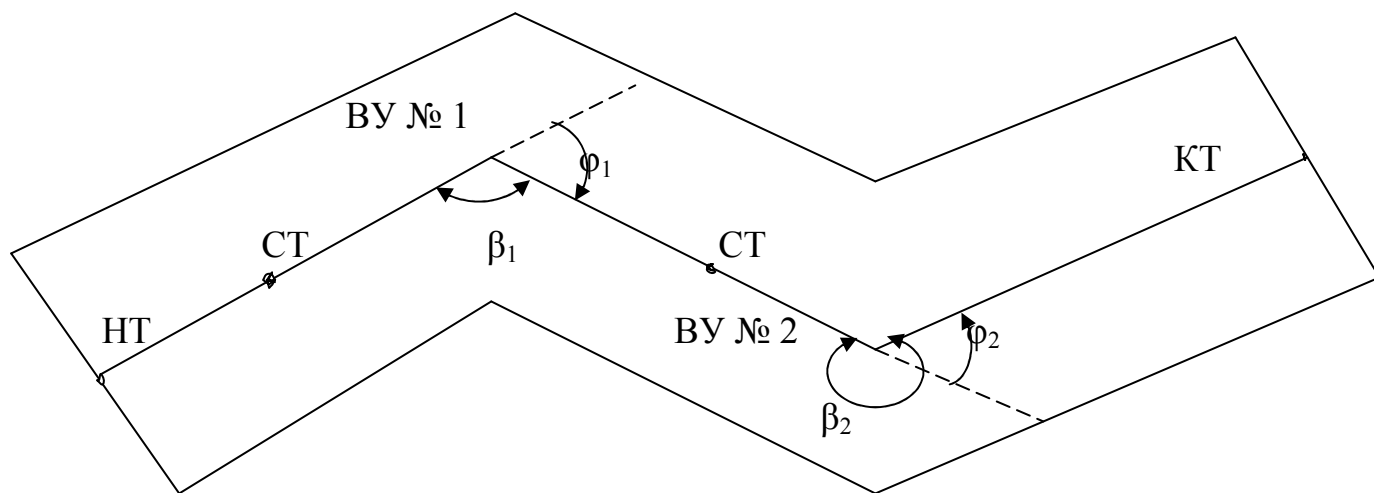


Рис. 68. Главные точки трассы

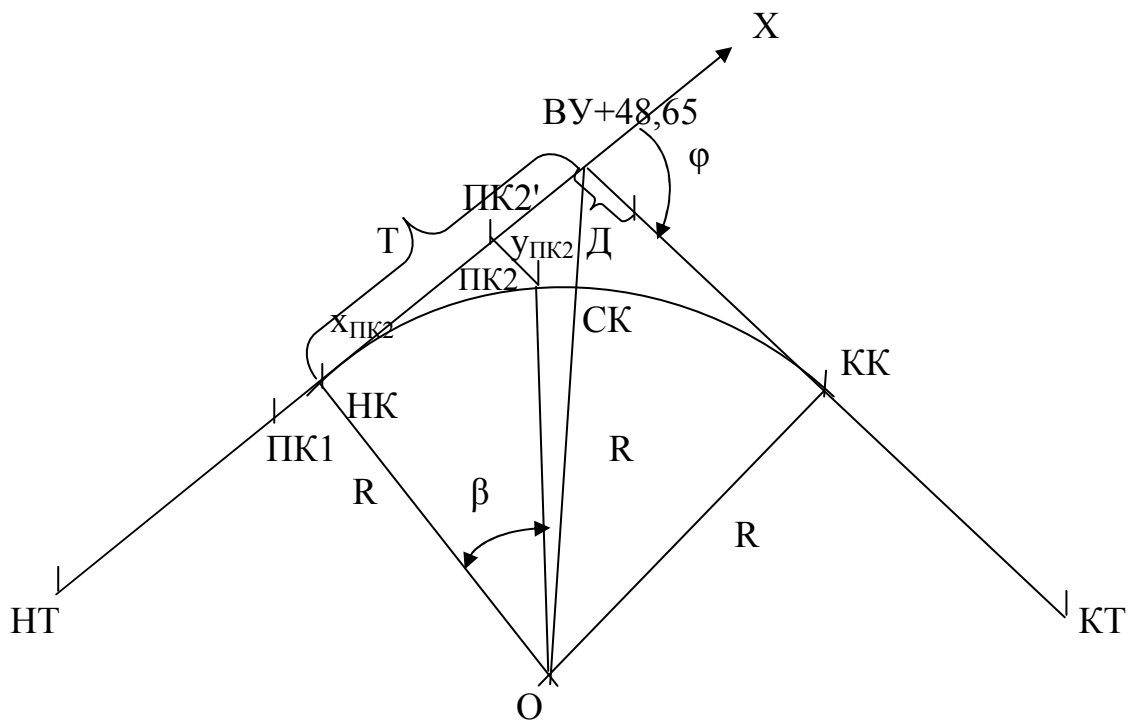


Рис. 69. Главные элементы и точки горизонтальной круговой кривой, вынесение пикета с тангенса на кривую

$$R - \text{радиус кривой}; T = R \cdot \operatorname{tg}(\varphi/2); K = \frac{2\pi R}{360^\circ} \cdot \varphi^\circ = \frac{\pi R}{180^\circ} \cdot \varphi^\circ;$$

$$B = \frac{R}{\cos \varphi/2} - R = \frac{1 - \cos \varphi/2}{\cos \varphi/2} \cdot R; D = 2T - K;$$

$$\beta = \frac{НК - ПК2'}{R} \cdot \rho; НК - ПК2 = НК - ПК2', \text{ где } \rho = 206265'' \approx 57,3^\circ.$$

Вычисляют пикетажное значение, то есть расстояние от предыдущего пикета, главных точек кривых по формулам:

ВУ	Контроль: ВУ
-Т	+Т
НК	.....
+К	-Д
КК	КК.

По пикетажным значениям находят на местности главные точки кривых и закрепляют их деревянными колышками.

Пикеты разбивают по прямым участкам трассы при помощи ленты или рулетки через каждые 100 метров по направлению, заданному визирным лучом теодолита. Если пикет попал на тангенс, то по новому направлению откладывают домер первой кривой и, считая пикетаж полученной точки равным пикетажу вершины угла, дальнейшую разбивку трассы продолжают от нее. Кроме того, этот пикет нужно вынести на кривую (рис. 69). С этой целью вычисляют



центральный угол  $\beta$  и прямоугольные координаты выносимого пикета. Так, для пикета 2 на рис. 69  $x_{ПК2} = R \cdot \sin\beta$ ;  $y_{ПК2} = R - R \cdot \cos\beta = 2R \cdot \sin^2\beta/2$ .

Пикеты закрепляют деревянными колышками, которые забивают вровень с землей, окапывают канавкой в радиусе одного метра и забивают сторожок (деревянный колышек длиной 60см), на котором подписывают номер пикета.

На трассе закрепляют плюсовые точки – точки пересечения с характерными элементами ситуации и рельефа, определяют их пикетаж от предыдущего пикета. На косогорах или в местах неравномерного уклона трассы разбивают поперечники: закрепляют на трассе осевую точку поперечника, строят при помощи теодолита прямой угол к трассе вправо и влево от нее, то есть левое и правое плечи поперечника, на которых закрепляют плюсовые точки в местах изменения рельефа. Пикетаж этих точек определяют от осевой точки поперечника.

4. Горизонтальная съемка полосы местности вдоль трассы (от 20 метров и больше) способами прямоугольных координат и линейных засечек. При необходимости съемки рельефа выполняют тахеометрическую съемку, используя в качестве точек съемочного обоснования главные точки трассы, которые должны быть привязаны к пунктам государственных или местных геодезических сетей.

Параллельно с разбивкой трассы и съемкой местности ведут пикетажный журнал, куда заносят результаты разбивки и ведут абрис съемки.

5. Нивелирование трассы. Выполняют методом геометрического нивелирования способом «из середины». Нивелирование технической точности, при котором применяются технические нивелиры, допустимая максимальная длина плеч при хорошей видимости 150 метров, при плохой 100 метров. Километровые пикеты, реперы нивелируют как связующие точки, а плюсовые точки и точки поперечников – как промежуточные, только по черной стороне рейки.

По окончании полевых работ получают следующие документы: пикетажный журнал и журналы нивелирования трассы.

## 10.2. Камеральные работы

1. Ежедневный контроль разбивки пикетов и вычисления углов поворота трассы.

2. Математическая обработка результатов измерений заключается в вычислении допустимых и полученных невязок в теодолитных и нивелирных ходах и уравнивании этих ходов. Допустимая невязка в теодолитных ходах  $f_{\beta} = 3'\sqrt{n}$ , где  $n$  – количество сторон в ходе, для хода нивелирования  $f_h = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}$ , где  $L$  – длина хода в километрах или  $f_h = \pm 10 \text{ мм} \sqrt{n}$ , где  $n$  – число станций в ходе.

Кроме того, вычисляют ведомость прямых и кривых участков трассы, в которой записывают значения углов поворота трассы, пикетажные значения главных точек кривых, значения прямых и кривых участков трассы, домеров. Контроль вычислений выполняют по следующим формулам:  $\sum T - \sum K = \sum D$ ;  $\sum P + \sum K = S =$ ;  $\varphi_{\text{прав.}} - \varphi_{\text{лев.}} = \alpha_{\text{кон.}} - \alpha_{\text{нач.}}$ , где  $P$  – прямые вставки,  $K$  – длины кривых участков трассы,  $S$  – длина трассы,  $\varphi$  – угол поворота трассы вправо и влево,  $\alpha$  – дирекционный угол.

3. Графические работы заключаются в составлении плана трассы в масштабах 1:5000 и высотой сечения рельефа 2 метра в горной местности и 1:10000 и высотой сечения рельефа 5 метров в равнинной. Кроме плана, вычерчивают продольный профиль трассы и профили поперечников. Продольный профиль составляют в масштабе: 1:5000, 1:10000 по горизонтали, по вертикали масштаб выбирают в 100 раз крупнее горизонтального для наглядности профиля. На продольном профиле проводят проектную линию, вычисляют проектные и рабочие отметки пикетов и плюсовых точек и объемы земляных работ. В графе «кривые» строят кривые по пикетажным значениям их главных точек, на прямых участках трассы над прямой записывают название и значение румба, под прямой – длину прямого участка.

Профили поперечников строят в одинаковом масштабе по горизонтали и вертикали.

## 11. Опорные геодезические сети

Служат исходными данными (координаты и высоты) для выполнения геодезических работ. В зависимости от наличия координат или высот бывают плановые и высотные.

а) Государственная геодезическая сеть. Плановые сети строятся способами триангуляции, трилатерации и полигонометрии 1, 2, 3, 4 классов. Триангуляция строится в виде треугольников (рис. 70), в которых измеряют горизонтальные углы, уравнивают их (считают и распределяют полученную угловую невязку), от базисных сторон (измеренных с большой точностью) по теореме синусов вычисляют горизонтальные проложения сторон треугольников, дирекционные углы, приращения координат и координаты пунктов. В качестве исходных координат для построения сетей 1-го класса берут координаты пунктов, полученных с высокой точностью из астрономических измерений. Эти пункты называют пунктами Лапласа. Второй класс развивают от первого, третий от пунктов первого и второго и так далее, то есть сгущают сети высокого класса точности сетями более низких классов. Для текущих геодезических работ чаще всего не нужны исходные данные, полученные с высокой точностью, кроме того, требуется большая густота пунктов, поэтому требуется развивать сети низких классов.

Полигонометрию строят в виде замкнутых или разомкнутых ходов, образующих полигоны. В них измеряют при помощи высокоточных и точных теодолитов горизонтальные и вертикальные углы и длины сторон инварными проволоками или дифференциальными светодальномерами. По полученным измерениям считают координаты пунктов. Закрепляют пункты государственной геодезической сети геодезическими центрами, грунтовыми и стенными реперами. Они несут координаты геодезического пункта. Грунтовый репер представляет собой металлическую трубу, с бетонным якорем, которая закладывается в пробуренную скважину и заливается бетоном. Реперы закладывают ниже глубины сезонного промерзания грунта. Верх репера находится на расстоянии 30 – 50 см ниже поверхности земли. После закладки репер окапывается в радиусе 1 метра или оформляется в виде люка и привязывается не менее

чем к двум постоянным предметам местности с составлением абриса привязки. Координаты и высоту репера можно определять не раньше чем через неделю со дня закладки. Над грунтовыми реперами устанавливают наружные знаки в виде сигналов и пирамид для обеспечения видимости. Их высота зависит от высоты препятствия и бывает до 50 метров. Ось визирных цилиндров наружных знаков проходит через центр репера, над которым он установлен. Каталог координат и высот реперов и абрисы привязки сдают в геодезические отделы областного или городского управления архитектуры и градостроительства или Госгеонадзор.

Стенные реперы закладывают путем бетонирования металлических стержней или уголков в стены и фундаменты капитальных сооружений, водонапорных башен, в устои мостов и т.д., обычно на высоте 0,7 – 1 м над поверхностью земли.

Таблица 2 – Характеристика сетей триангуляции и полигонометрии

Класс сети	Длина стороны, км	Ср. квадратическая ошибка измерения	
		угла	Базиса или стороны
1	> 20 (20 – 25)	0,7"(0,4")	1:400000 (1:300000)
2	7 – 20 (7 – 20)	1,0 (1,0)	1:300000 (1:250000)
3	5 – 8 (3 – 8)	1,5 (1,5)	1:200000 (1:200000)
4	2 – 5 (0,25 – 2)	2,0 (2,0)	1:200000 (1:150000, относительная невязка 1:25000)

В скобках указаны данные о полигонометрии.

Высотная государственная геодезическая сеть представляет собой нивелирные сети 1, 2, 3, 4 классов. Пункты плановой геодезической сети могут использоваться как пункты нивелирования. Методика выполнения работ изложена в Инструкции по нивелированию 1, 2, 3, 4 классов. Требования к построению сетей нивелирования представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика сетей нивелирования

Класс нивелирования	Периметр полигона, км	Невязки в полигонах
1	–	наивысш. точность
2	500 – 600	$\pm 5\text{мм} \sqrt{L}$
3	150 – 300	$\pm 10\text{мм} \sqrt{L}$
4	50	$\pm 20\text{мм} \sqrt{L}$

Пункты высотной государственной сети закрепляют на местности капитальными грунтовыми реперами, стенными реперами или марками.

б) Геодезические сети сгущения – это триангуляция и полигонометрия 1, 2 разрядов, развиваемые от пунктов государственной геодезической сети. Основные параметры сетей представлены в таблице 4. В скобках данные для полигонометрии 1-го, 2-го разрядов.

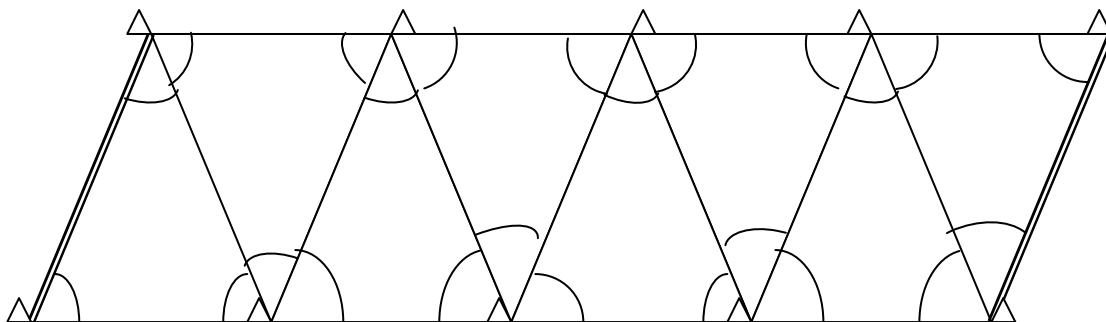


Рис. 70. Схема триангуляции «цепочка треугольников»

Таблица 4 – Основные параметры сетей сгущения 1-го и 2-го разрядов

Разряд	Ср. квадратическая ошибка измерения		Длина сторон, км	Число треугольников в цепи (сторон в ходе)
	угол	выходная сторона (длина)		
1	5"	1:50000 (1:10000)	5 (0,12 – 0,8)	10 (15)
2	10"	1:20000 (1:5000)	3 (0,08 – 0,35)	10 (15)

Высотное положение пунктов определяют методом нивелирования 4 класса и техническим нивелированием (допустимая невязка  $\pm 50 \text{ мм } \sqrt{L}$ ).

в) Съёмочная геодезическая сеть (съёмочное обоснование) создается с целью сгущения геодезической сети для производства топографических съёмок. Способы развития – микротриангуляция, теодолитно-нивелирные ходы, тахеометрические и мензульные ходы, прямые, обратные и комбинированные засечки. Высоты пунктов получают методами геометрического нивелирования (микротриангуляция, теодолитно-нивелирные ходы), тригонометрического нивелирования (тахеометрические ходы). Длины сторон в ходах в первых двух случаях измеряют при помощи светодальномеров, мерных лент или рулеток, во втором – нитяным дальномером. Камеральные работы заключаются в следующем: контроль полевых документов – проверка графического материала, повторение всех вычислений, проведенных в полевых условиях; вычисление углов наклона и горизонтальных проложений длин сторон полигона; вычисление ведомости координат точек теодолитного хода (методические указания по выполнению расчетно-графических работ, часть 1).

г) Разбивочная геодезическая сеть служит для переноса в натуру и возведения сооружений – высокоточной и технической точности разбивки.

В настоящее время для создания геодезических сетей используют методы космической геодезии.

Российская спутниковая система ГЛОНАСС (ГЛОбальная Навигационная Спутниковая Система) включает 24 спутника (создана в период 1982-1995 гг.). Спутники находятся в 3-х орбитальных плоскостях: 1-я – 1-8 спутники, 2-я – 9-16, 3-я – 17-24. Расстояния между ними по широте  $45^\circ$ .

Американская система NAVSTAR GPS (глобальная система позиционирования) содержит по четыре спутника в 6-ти орбитальных плоскостях.

Высота орбиты навигационных спутников относительно центра масс ГЛОНАСС – 25 500 км, NAVSTAR – 26 600 км. Спутники характеризуются радиосигналом высокой точности ВТ и стандартной точности СТ. Способ разделения сигналов NAVSTAR – кодовый, ГЛОНАСС – частотный.

Несущая частота L-1, мгц – 1602,6 - 1615,5 (ГЛОНАСС) и 1246,4 - 1256,5 (NAVSTAR); L-2, мгц – 1575,4 и 1227,6 соответственно. Система пространственных координат ПЗ-90 (ГЛОНАСС), WGS-84 (МГС-84) (NAVSTAR).

Систему определения местоположения делят на три сегмента (подсистемы): А – подсистема орбитального комплекса (созвездие ИСЗ – космический сегмент); Б – наземная подсистема контроля и управления (группа станций слежения, станции загрузки на ИСЗ, главные станции); В – подсистема пользователей – комплекс аппаратно-программных средств, реализующих основное назначение глобальной позиционирующей системы (GPS) – определение координат точек местности для геодезического применения.

Приемники GPS делятся на две группы. Первая – поочередное отслеживание спутников, спутники бывают одноканальные и двухканальные (второй канал административный). Вторая группа – многоканальные, измерение расстояния до четырех и более спутников одновременно (4, 6, 8, 10 и 24 канала слежения). Определяются координаты в режиме реального времени, скорость и траектория движения, одновременно обрабатываются сигналы всех спутников рабочего созвездия.

Таблица 4' – Типы и группы геодезических спутниковых приемников

Тип приемника	Группа	Число каналов не менее	Частоты	Точность
Двухсистемные двухчастотные и более	1	24	L1/L2(GPS)+ 3 мм+ L1/L2(ГЛОНАСС)	$1 \cdot 10^{-6} D$
Односистемные двухчастотные	2	9	L1/L2(GPS) или L1/L2(ГЛОНАСС)	(3-5) мм + $1 \cdot 10^{-6} D$
Односистемные одночастотные	3	9	L1(GPS) или L1(ГЛОНАСС)	10 мм + $2 \cdot 10^{-6} D$

По точности спутниковые приемники делятся на три класса: навигационный класс – точность определения координат 150-200 м, класс картографии и ГИС – 1-5 м, геодезический класс – до 1 см (1-3 см в кинематическом режиме, до 1 см при статических измерениях).

Все геодезические измерения выполняют с использованием минимум двух приемников. В основном используют следующие методы: статические, кинематические измерения и RTK (кинематика в режиме реального времени). Ста-

тические измерения применяются при создании и сгущении геодезических сетей, а также создании съемочного обоснования. Кинематические измерения используют при выполнении топографической съемки. Один из приемников устанавливается на точку с известными координатами; второй приемник может перемещаться от точки к точке, собирая информацию. При этом можно записывать координаты, определяемые при перемещении от одной точки к другой непрерывно в виде траектории или только тех точек, которые необходимо измерять (кинематика «Стой – Иди»). В итоге можно проводить измерения линейных объектов (трубопроводы, коммуникации, дороги), а также точечных объектов. По окончании сбора информации она передается в компьютер, производится ее обработка в специализированном ПО, вычисляются координаты, и выдается оценка их точности.

Точность данного метода составляет:

- для одночастотного оборудования:  $12 \text{ мм} + 2,5 \text{ мм/км}$  (в плане);  $15 \text{ мм} + 2,5 \text{ мм/км}$  (по высоте);

- для двухчастотного оборудования:  $10 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км}$  (в плане);  $20 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км}$  (по высоте).

Современный геодезический GPS-приемник состоит из трех основных элементов: собственно приемник – основное устройство, которое получает информацию от спутников, обрабатывает ее, а также производит запись в память или на внешнее устройство; антенна – принимающий элемент и контроллер – устройство, позволяющее управлять работой приемника. Во многих приборах есть возможность работать без контроллера в режиме статики; но если необходимо выполнять работы в режиме кинематики и RTK, то контроллер необходим.



*Рис. 71. Схема измерения координат точек земной поверхности спутниковыми приемниками*

Спутниковые методы создания геодезических сетей делят на геометрические и динамические. В геометрическом методе искусственные спутники Земли (ИСЗ) используют как высокую визирную цель, в динамическом - ИСЗ является носителем координат. В геометрическом методе спутники фотографируют на фоне опорных звезд, что позволяет определить направления со станции слежения на спутники. Фотографирование нескольких положений ИСЗ позволяет получить координаты определяемых пунктов. Эту же задачу в динамическом методе решают путем измерения расстояния до спутников радиотехническими средствами. Создание навигационных систем в России и в США (ГЛОНАСС, GPS) позволяет в любой момент времени в любой части Земли определять координаты точек с высокой точностью.

В настоящее время единые системы координат на территории России задаются соответственно государственной геодезической сетью (ГГС) и государственной нивелирной сетью (ГНС). Государственная геодезическая сеть имеет среднюю плотность 1 пункт на 38 кв. км, а государственная нивелирная сеть – 1 репер на 34 кв.км. Завершенная к середине 90-х годов прошлого столетия государственная геодезическая сеть страны (ГГС) построена методами триангуляции и полигонометрии. Она содержит более 464 тыс. геодезических пунктов. Точность этой сети позволяет использовать ее для обоснования топографических съемок до масштаба 1:2000 и крупнее.

В результате математической обработки (заключительного уравнивания) в 1996 году получена новая высокоточная система геодезических координат СК-95, распространенная на всю территорию страны. Точность взаимного положения пунктов в этой системе координат составляет: 2-4 см – при расстояниях между пунктами 10-15 км; 10-20 см – при расстояниях 100-200 км; 0,5-0,8 м – при расстояниях около 1000 км. Заклучительное уравнивание ГГС завершило этап истории развития геодезии в России, в котором система геодезического обеспечения основывалась на традиционных методах линейно-угловых геодезических измерений. Спутниковые методы по сравнению с традиционными методами обладают рядом преимуществ. В структуре государственной геодезической сети, основанной на использовании современных спутниковых технологий, предусматривается построение геодезических сетей высшего класса точности, связанных между собой по традиционному геодезическому принципу «перехода от общего к частному». Высшим звеном всей структуры должна стать фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС). Она реализует общеземную геоцентрическую систему координат при решении задачи координатно-временного обеспечения страны, стабильность системы координат во времени, метрологическое обеспечение высокоточных космических средств измерений. Для этого необходимо использовать весь комплекс существующих космических средств измерений (лазерные, радиоинтерферометрические и др.). Следующее звено – высокоточная геодезическая сеть (ВГС). Ее основные функции: распространение на всю территорию страны общеземной геоцентрической системы координат, определение точных параметров взаимного ориентирования общеземной и референцной систем координат, объединение плановой и высотной геодезических основ. Пункты ВГС необходимо привязать к

реперам высокоточного нивелирования со средней квадратической ошибкой определения высот не превосходящей 5 см, что позволит получать из спутниковых определений также и высоты. Третьим звеном новой структуры ГГС является спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС-1). Она должна обеспечить оптимальные условия использования спутниковой аппаратуры, в том числе одночастотных приемников ГЛОНАСС/GPS.

Все сети связаны между собой путем последовательного вписывания одной в другую: ФАГС - опорная для ВГС, а ВГС и ФАГС - для СГС-1. Предусматривается привязка к ним и существующей ГГС, которая в новой структуре – лишь низшее звено, исполняющее роль сети сгущения.

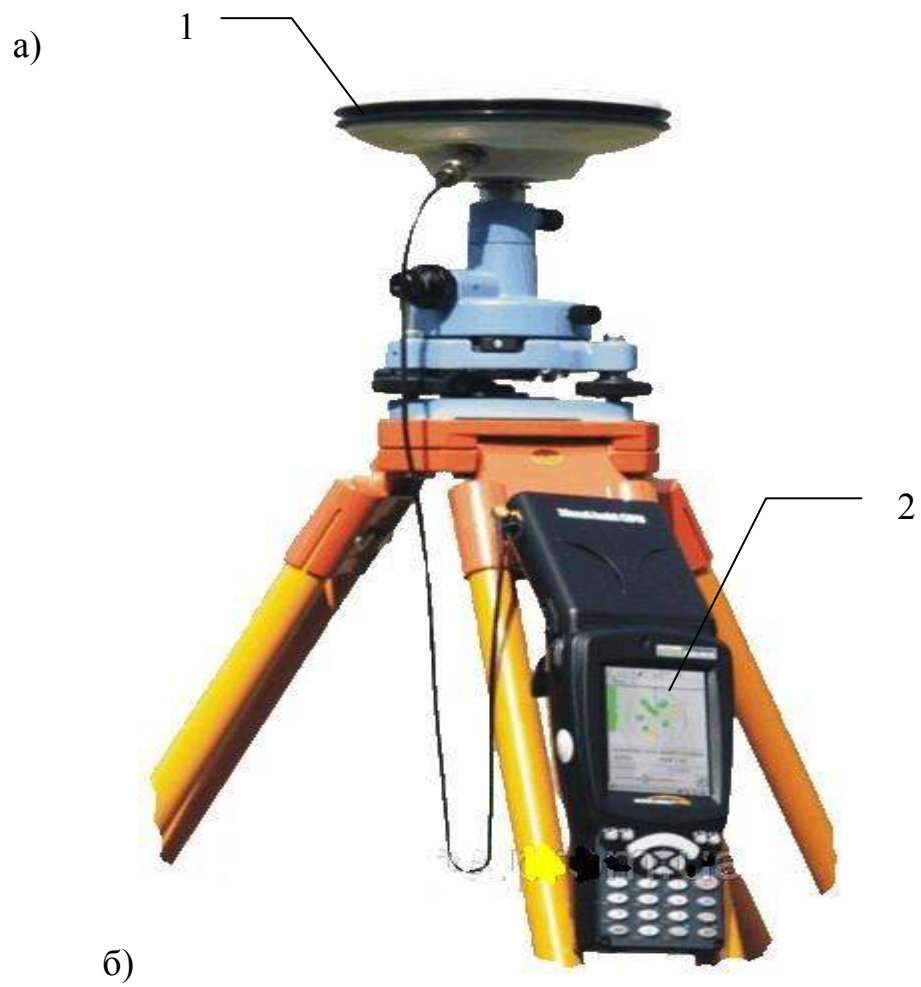
Таблица 5 – Характеристика геодезических сетей

Уровень сети	Общее число пунктов	Расстояние между пунктами	Относительная погрешность взаимного положения смежных пунктов
ФАГС	50-70	700-1000 км	$1-2 \cdot 10^{-8}$ (1-2 см)
ВГС	500-700	150-300 км	$1 \cdot 10^{-7}$
СГС-1	12-15 тысяч	40-50 км	1-2 см

- Выполнение указанных мероприятий позволит:
- повысить точность и оперативность геодезических определений;
  - внедрить методы спутникового нивелирования вместо геометрического нивелирования 3 и 4 классов;
  - обеспечить изучение деформаций земной коры, являющихся предвестниками землетрясений и других опасных явлений;
  - создать систему постоянных наблюдений за динамикой уровней морей на уровнях постах и прогноза их состояния;
  - обеспечить геодезическое обоснование картографирования страны и создание геоинформационных систем;
  - установить высокоточную единую геодезическую систему координат и поддерживать ее на уровне современных и перспективных требований экономики, науки и обороны страны.

Однако спутниковые технологии не всегда можно использовать при решении ряда геодезических задач, что приводит к необходимости использовать классические методы измерений.





*Рис. 72. Основные блоки спутниковой геодезической системы:  
а) 1 – спутниковый приемник (антенна); 2 – контроллер  
б) двухсистемный геодезический приемник ГЛОНАСС/GPS GEO-161*

Геодезический приемник ГЛОНАСС/GPS ГЕО-161 используют для измерения расстояний в режимах с постобработкой и геодезических измерений в опорных и съемочных сетях, производственных землеустроительных и геофизических работах, в строительстве и других видах дифференциального и относительного определения положения объектов, в том числе и военного назначения. Основой ГЕО-161 является совмещенный ГЛОНАСС/GPS одночастотный геодезический приемник, имеющий 16 каналов слежения за космическим аппаратом (КА). Конструктивно приемник выполнен в виде моноблока, объединяющего микрополосковую антенну, приемоизмеритель, накопитель данных, панель управления и аккумуляторную батарею. Достоинством такой конструкции является отсутствие кабельных соединений, что удобно для работы в полевых условиях. Внешний вид приемника представлен на рис. 72.

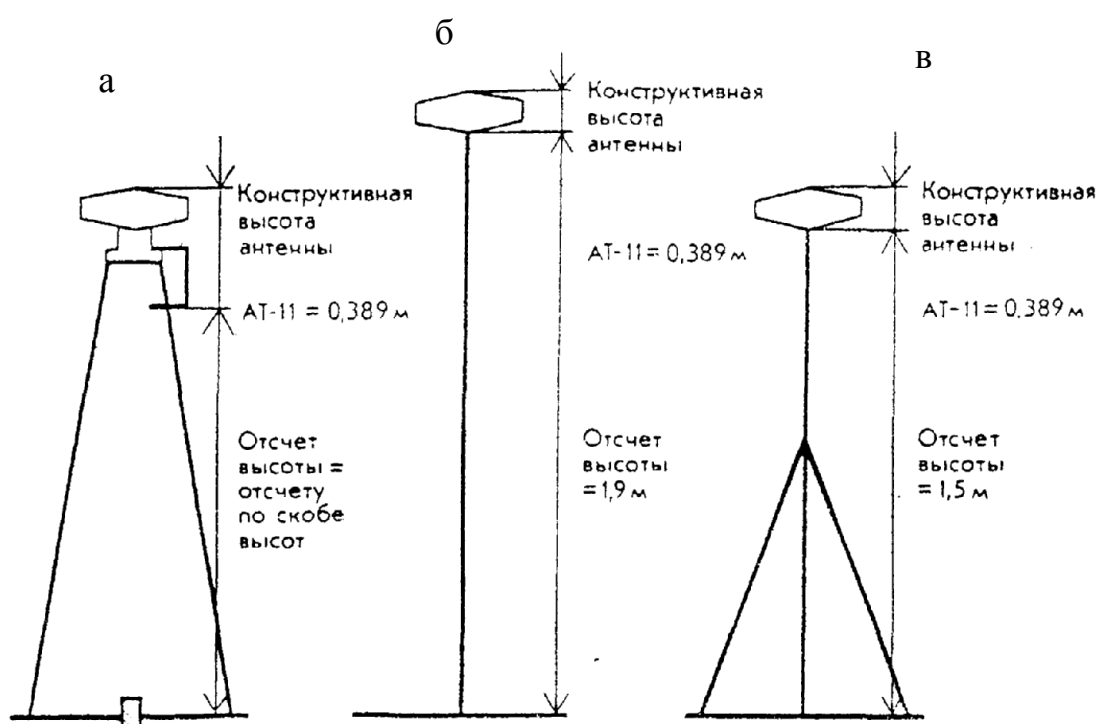


Рис. 73. Варианты установки антенны: а – на штативе с трегером, б – на переносной рейке, в – на стойке быстрого разворачивания с рейкой

Приемник имеет сертификаты Госстандарта России и Минобороны России. Благодаря малому энергопотреблению (менее 2,5 Вт) длительность работы приемника без подзарядки аккумулятора достигает 11–12 часов. Емкость внутренней памяти и оригинальный алгоритм сжатия данных обеспечивает регистрацию измерений по всем наблюдаемым космическим аппаратам с дискретностью 1 с в течение 11 часов, а с дискретностью 10 с – пять и более рабочих дней. В стандартном режиме работы приемник позволяет выполнять одновременные измерения по сигналам спутников ГЛОНАСС и GPS, но может быть переключен на работу по любой из систем в отдельности. При помощи ГЕО-161 обеспечивается точность измерений базисов не более 10 мм +2 мм/км

(кинематика); при длине линии  $< 10$  км не более  $5 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км}$  (статика, быстрая статика). Приемник разрабатывался в расчете на реальные условия эксплуатации в России, поэтому одним из основных требований к моноблоку являлась высокая механическая стойкость и работа в широком температурном диапазоне. Используемые в приемнике технические решения, выбранная элементная база и аккумуляторная батарея обеспечивают возможность автономной работы при температуре от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+55^{\circ}\text{C}$ . Приемник обеспечивает реализацию основных видов съемки, включая динамические режимы, без использования внешнего контроллера, при помощи несложной встроенной панели управления с набором светодиодных индикаторов и псевдосенсорных кнопок. Контроль работы приемника осуществляется при помощи световой и звуковой индикации. При работе без контроллера сценарии работы (шаблоны) заранее формируются на компьютере и загружаются в приемник. В то же время с помощью контроллера, в качестве которого может использоваться карманный персональный компьютер (КПК) с ОС Windows CE, программно реализован ряд дополнительных функций: ввод и редактирование имен точек, ввод высоты антенны приемника, оперативное управление параметрами сбора данных, навигация по заданному маршруту (в том числе с использованием электронных векторных карт) и т. д. Контроллер может использоваться и как внешняя панель управления, так как его кнопки дублируют соответствующие функции встроенной панели приемника.

В процессе работы антенну устанавливают либо на трегер на штативе, отцентрированном над определяемой точкой на рейке (рис. 73), или на стойке быстрого развёртывания с рейкой (рис. 73). Это зависит от того, в каком режиме ведут измерения: в статическом, кинематическом или в режиме съёмки с кратковременной остановкой (иду – стою).

## 12. Топографические съемки

Съемка – совокупность измерительных действий на местности и вычислительных и графических работ в камеральных (аудиторных) условиях, выполняемых с целью составления плана или карты местности.

Съемки классифицируются по различным признакам:

1. По характеру снимаемых объектов: контурная или горизонтальная – в результате съемки местности на плане или карте получают положение контуров и предметов в горизонтальной плоскости, то есть ситуации; высотная – в результате съемки местности на плане или карте получают изображение только рельефа; контурно-высотная (топографическая) – на плане или карте получают изображение и ситуации, и рельефа.

2. По применяемым инструментам:

- теодолитная
- космическая
- тахеометрическая
- мензурная
- нивелирная
- фототопографическая

- глазомерная
- буссольная и т.д.

Все работы по съемке местности делятся на 2 стадии: полевые и камеральные. Полевые работы заключаются в непосредственном измерении определяемых величин в поле. Камеральные работы делятся на вычислительные и графические.

### **12.1. Теодолитная съемка**

Целью теодолитной съемки является получение контурного плана местности, то есть ситуации. Съемочным обоснованием для нее служат полигоны (или теодолитные ходы) замкнутой или разомкнутой формы. Длина стороны полигона колеблется от 50 до 400 метров. В исключительных случаях допускается длина 800 метров. При большой величине участка внутри замкнутого полигона прокладывают диагональный ход, который служит одновременно и контролем правильности прокладывания основного хода.

Длины сторон измеряют с точностью не менее 1:1500 – 1:2000. Точность измерения углов должна быть не ниже 1'. Основные инструменты: теодолит, лента (дальномер), рулетка, эклиметр, эккер.

#### **12.1.1. Полевые работы**

Полевые работы при теодолитной съемке заключаются в следующем:

1. Рекогносцировка (разведка) местности. Цель – ознакомиться с участком, оптимально выбрать и закрепить точки теодолитного хода, отыскать точки геодезической сети (или сети сгущения) с целью привязки.
2. Привязка теодолитного хода к опорной геодезической сети.
3. Угловые измерения (журнал).
4. Линейные измерения (журнал).
5. Съемка ситуации различными способами: перпендикуляров, полярных координат, линейных засечек, угловых засечек, створный и способ обмера.

Способ перпендикуляров (прямоугольных координат) заключается в следующем. На стороне теодолитного хода (на рис. 1 – 7) измеряют при помощи рулетки расстояние до осевой точки перпендикуляра. Затем строят в ней прямой угол и на полученном направлении измеряют расстояние до снимаемой точки. Длина перпендикуляров не должна превышать 4 м, 6 м, 8 м соответственно для съемок в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000, в этом случае их строят на глаз. При большей длине перпендикуляра прямой угол строят при помощи экера или теодолита.

При съемке способом полярных координат (на рисунке от стороны 1 – 2) из точки теодолитного хода (2) измеряют горизонтальный угол теодолитом до направления на снимаемую точку и расстояние до нее. Измеряемые длины не должны превышать 40, 60 и 100 метров для тех же масштабов.

Способ линейных засечек заключается в измерении расстояний от точек теодолитного хода до снимаемой точки (сторона 6 – 7). Измеряемые длины не должны превышать длины мерного прибора.

Измерив два горизонтальных угла от стороны теодолитного хода до направления на точку местности, снимают точку способом угловых засечек (сторона 2 – 3 на рис. 74). Значения измеряемых углов не должны быть менее  $30^\circ$  и более  $150^\circ$ .

В случае, когда точка местности находится на стороне теодолитного хода или на ее продолжении, ее снимают створным способом: измеряют расстояние от ближайших точек теодолитного хода (от точки 3 на рис. 74).

Сняв две точки контура одним из вышеперечисленных способов, остальные его точки можно снять способом обмера: измерять расстояния между частями контура (если он прямоугольной формы) от одной исходной точки до другой.

Все измеренные значения углов и расстояний заносят на абрис съемки. Абрис – это схематический чертеж, который составляют на глаз, не в масштабе. Он должен содержать полные сведения о снимаемой местности, числовые результаты съемки и пояснения: названия контуров, улиц, характер дорожных покрытий. Существуют два варианта ведения абриса – общий или постраничный, на каждую сторону полигона. Абрис является документом, который получают в результате полевых работ (рис. 74).

### 12.1.2. Камеральные работы при теодолитной съемке

1. Вычерчивание плана теодолитной съемки. Снятые контуры наносят с абриса съемки теми же способами, которыми производилась съемка при помощи геодезического транспорта, поперечного масштаба и циркуля – измерителя.

2. Оформление плана в соответствии с условными знаками.



Рис. 74. Абрис теодолитной съемки

## 12.2. Тахеометрическая съемка

«Тахеометрия» в переводе с греческого означает «быстрое измерение». Цель ее – получение топографического плана местности (ситуация + рельеф). Основой ее являются теодолитно-нивелирные ходы: координаты вершин получают как в обычном теодолитном ходе, а отметки  $H$  определяют путем геометрического нивелирования.

Так же как и любая съемка тахеометрическая содержит полевые и камеральные работы.

Отличительные особенности съемки:

1. Съемка контуров и рельефа с пунктов съёмочного обоснования выполняется полярным способом. При этом горизонтальные углы измеряют при одном (основном) положении вертикального круга, а расстояния по нитяному дальномеру.

2. Превышения и высоты съёмочных точек определяют методом тригонометрического нивелирования, то есть измеряют угол наклона и расстояние до точки.

### 12.2.1. Полевые работы

1. Рекогносцировка: закрепление точек съёмочного обоснования.
2. Прокладка теодолитно-нивелирного хода: те же работы, что и выше.
3. Съемка ситуации и рельефа:
  - а) Приведение теодолита (тахеометра) в рабочее положение: центрирование и горизонтирование.
  - б) Определение МО, измерение высоты инструмента  $i$ .
  - в) Ориентирование  $0^\circ$  лимба горизонтального круга вдоль одной из сторон хода, откладывание  $i$  на рейке.
  - г) Собственно съемка: измерение горизонтальных углов  $\beta$ , углов наклона  $\nu$ , расстояний считанных по рейке (от теодолита до точки)  $D$  с занесением на абрис съемки.

Документы, получаемые в результате полевых работ: журналы тахеометрической съемки, абрисы съемки. Абрисы составляют в масштабе съемки в виде круговых диаграмм или в горизонталях. Снятые точки сразу наносят полярным способом на абрис без использования линейки и транспортира, поскольку окружности на круговых диаграммах проводят обычно через 1 см и разбивают заранее через каждые  $20^\circ$ . Абрис является полевым контролем определения планового положения съёмочных точек и контролем нанесения их на план при составлении плана съемки.

При тахеометрической съемке применяют координатные теодолиты-тахеометры: номограммные и электронные (рис. 75). Эти инструменты предназначены для непосредственного измерения в полевых условиях, превышений, горизонтальных проложений и приращений прямоугольных координат. Электронные тахеометры разделяются на полярные:  $\beta$ ,  $d$ ,  $h$  ( $H$  - высота) определяются и высвечиваются на табло; ортогональные: измеряются и высчитываются  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $h$ ,  $X$ ,  $Y$ ,  $H$ . Формулы, на основе которых составлена программа

мини – ЭВМ следующие:  $d = D \cdot \cos v$ ;  $h = d \cdot \sin v$ ;  $\Delta x = d \cdot \cos v$ ;  $\Delta y = d \cdot \sin v$ , где  $d$  – горизонтальное проложение,  $v$  – угол наклона линии местности.

### 12.2.2 Камеральные работы

1. Контроль полевых документов.
2. Вычисление  $X$ ,  $Y$ ,  $H$  точек съемочного обоснования.
3. Обработка журнала тахеометрической съемки: вычисление  $v$ ,  $d$ ,  $h$ ,  $H$  по тахеометрическим таблицам или по формулам. Пояснением формул служит рис. 77.

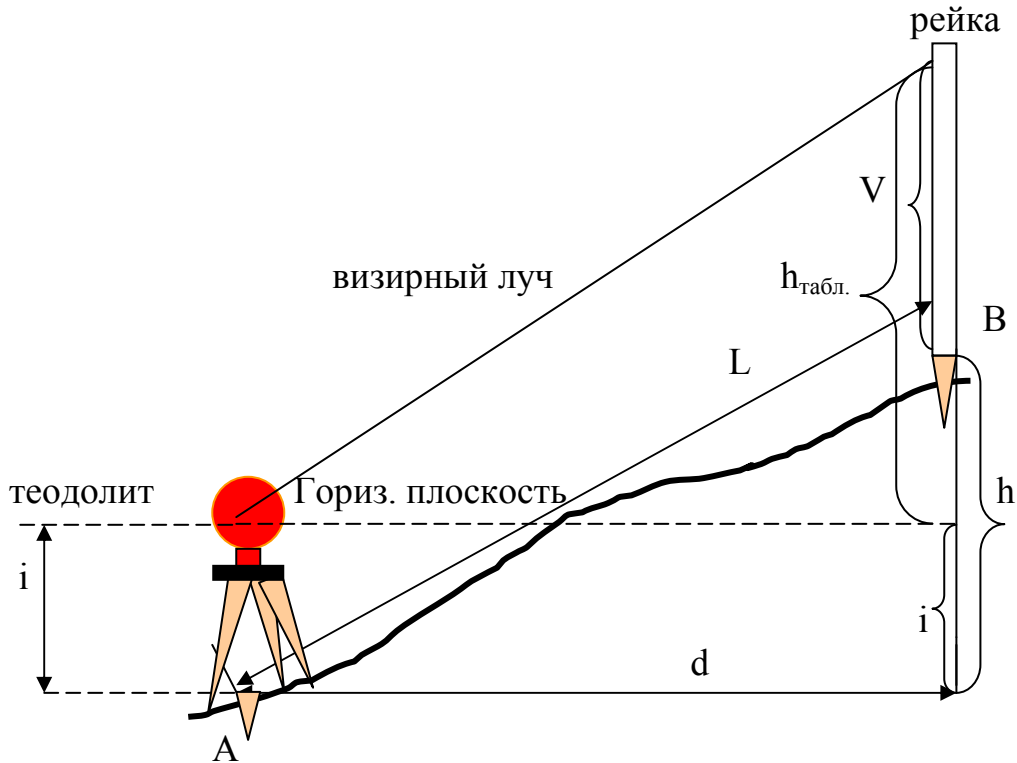


Рис. 77. Схема измерения речной точки на станции тахеометрической съемки

$V + h = h_{\text{из табл.}} + i$ ;  $h = h_{\text{из табл.}} + i - V$ ;  $h_{\text{из табл.}} = d \cdot \operatorname{tg} v$ ;  $h = d \cdot \operatorname{tg} v + i - V$ , где  $i$  – высота инструмента,  $V$  – высота наведения,  $h$  – превышение,  $h_{\text{из табл.}}$  – табличное превышение.  $H = H_{\text{ст.}} + h$ ,  $H_{\text{ст.}}$  – отметка станции, точки стояния теодолита,  $H$  – отметка речной точки.

5. Нанесение съемочных точек с помощью транспортира и линейки или тахеографа (совмещает в себе оба инструмента) способом полярных координат.

6. Вычерчивание ситуации и рельефа.

7. Оформление плана в соответствии с условными знаками.

При работе с электронным тахеометром камеральные работы заключаются в передаче данных в компьютер при помощи кабеля USB, съемной карты памяти или Bluetooth, а затем обработки полученной информации. Вычисление координат и высот речных точек и построение топографического плана получают как программные продукты обработки материалов измерений. Используют компьютерные программы CREDO, AutoCAD и др.

### 12.3. Электронные тахеометры

При тахеометрической съемке применяют электронные тахеометры. Эти инструменты предназначены для непосредственного измерения в полевых условиях, превышений, горизонтальных проложений и приращений прямоугольных координат. Электронные тахеометры разделяются на полярные:  $\beta$ ,  $d$ ,  $h$  ( $H$  – высота) определяются и высвечиваются на табло; ортогональные измеряются и вычисляются  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $h$ ,  $X$ ,  $Y$ ,  $H$ . Формулы, на основе которых составлена программа мини-ЭВМ, следующие:  $d = D \cdot \cos v$ ;  $h = d \cdot \sin v$ ;  $\Delta x = d \cdot \cos v$ ;  $\Delta y = d \cdot \sin v$ , где  $d$  – горизонтальное проложение,  $v$  – угол наклона линии местности.

Электронный тахеометр SET530R используется при топографических съемках, в инженерной геодезии, при сгущении сетей, в полигонометрии, а также для тригонометрического нивелирования. При этом все данные характеристик построения сетей увеличиваются в 1,3 раза (в соответствии с СП 11-104-97). Он состоит из трех основных блоков (рис. 75): *цифровой теодолит* (для измерения угловых величин), *светодаальномер* (для измерения расстояний) и *микро-ЭВМ* (для решения различных геодезических задач на основе исходных данных и результатов угловых и линейных измерений). С помощью тахеометра можно определить: зенитные расстояния  $Z$ , горизонтальные или дирекционные углы  $\beta$  ( $A$ ), наклонные расстояния  $D$ , превышения или высоты точек визирования  $h$  ( $H$ ), горизонтальные проложения  $D_0$ , приращения координат точек визирования  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ . Решение задач на микро-ЭВМ производится по следующим программам: полная – последовательное (раздельное) измерение  $Z$ ,  $\beta$ ,  $D$  и вычисление  $D_0$ ,  $H$ ,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ; полуавтоматическая – последовательное (раздельное) измерение  $Z$ ,  $\beta$ ,  $D$  и автоматическое вычисление  $D_0$ ; сокращенная – автоматическое измерение  $\beta$ ,  $Z$  и определение  $D_0$ ; слежения – измерение  $D$ ,  $\beta$ ,  $Z$ ,  $D_0$ ,  $H$ ,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  по перемещаемому отражателю. Вся оперативная и содержащаяся в памяти микро-ЭВМ информация индицируется на цифровом табло и может быть выдана в регистратор информации.

Микро-ЭВМ снабжена программами для вычисления и выдачи на табло следующих величин:

$$D_0 = D \sin Z; h = D \cdot \cos Z; \Delta X = D_0 \cdot \cos A; \Delta Y = D_0 \cdot \sin A.$$

Точность измерения: горизонтальных углов 5", зенитных расстояний 5", наклонных расстояний, мм,  $2+2ppm \cdot D$ . Вертикальный угол: от зенита  $0^\circ \dots 360^\circ$ , от горизонта  $0^\circ \dots 90^\circ$  (выбирается). Диапазон измерения расстояний: наклонных, м (1,3-5000 – с отражателем; 1,3-100 – без отражателя). Время измерения отсчета, сек, не более: горизонтальных углов, зенитных расстояний, наклонных расстояний 0,5. Масса тахеометра, 5,4 кг. Габариты тахеометра в мм 65(ш)×171(д)×341(в). В комплект тахеометра входят: отражающая пленка, компактная призма, стандартная призма, минипризма, источник питания с зарядным устройством, штативы, вехи, соединительный кабель, запасные части. Тип отсчетного устройства горизонтального и вертикального круга: абсолютный датчик угла поворота кодового диска. Имеет автоматический компенсатор, тип: жидкостной 2-х осевой датчик наклона. Для измерения углов в тахеометре применен растровый датчик накопительного типа.



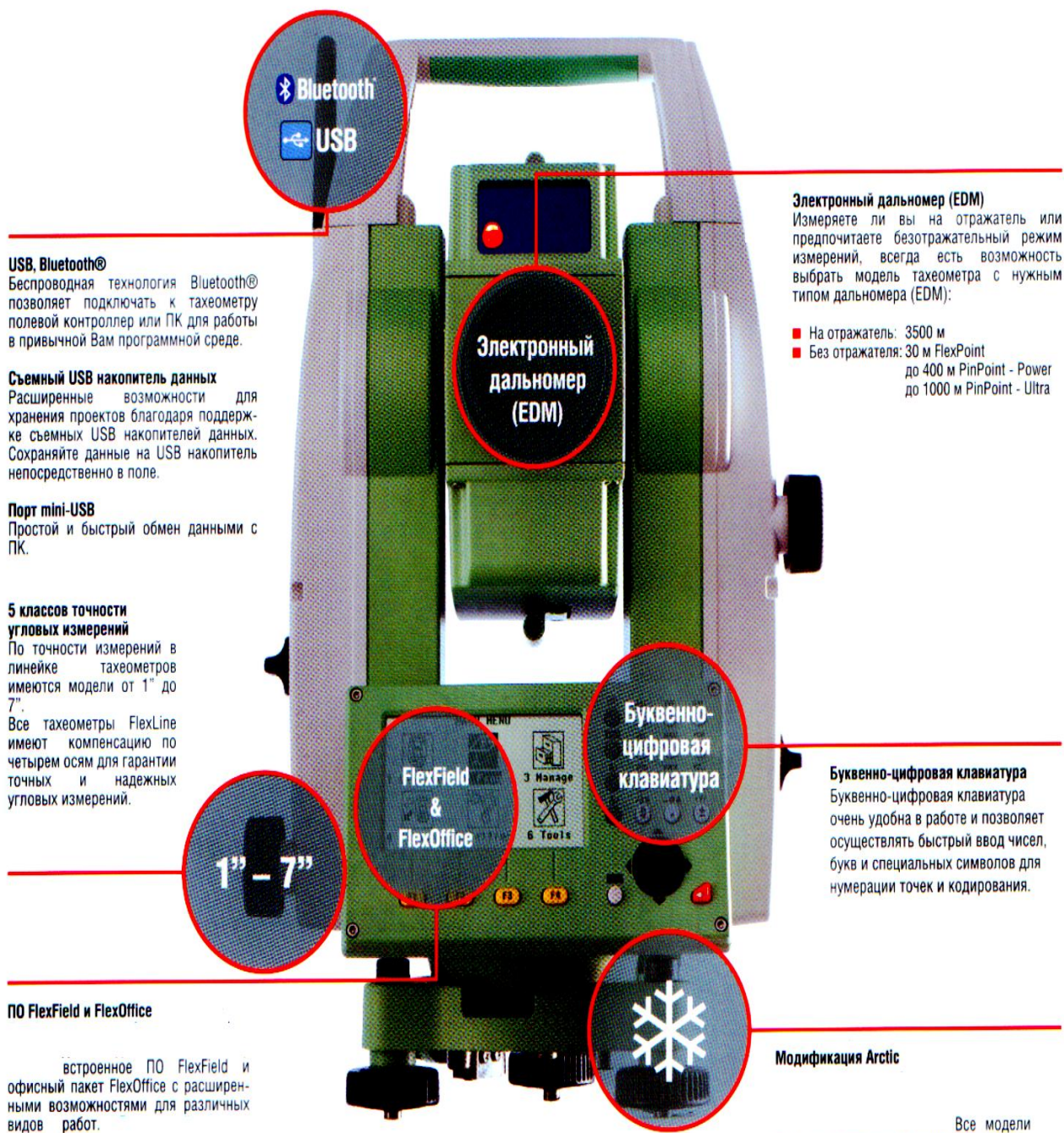


Рис. 75. Схема SET530R

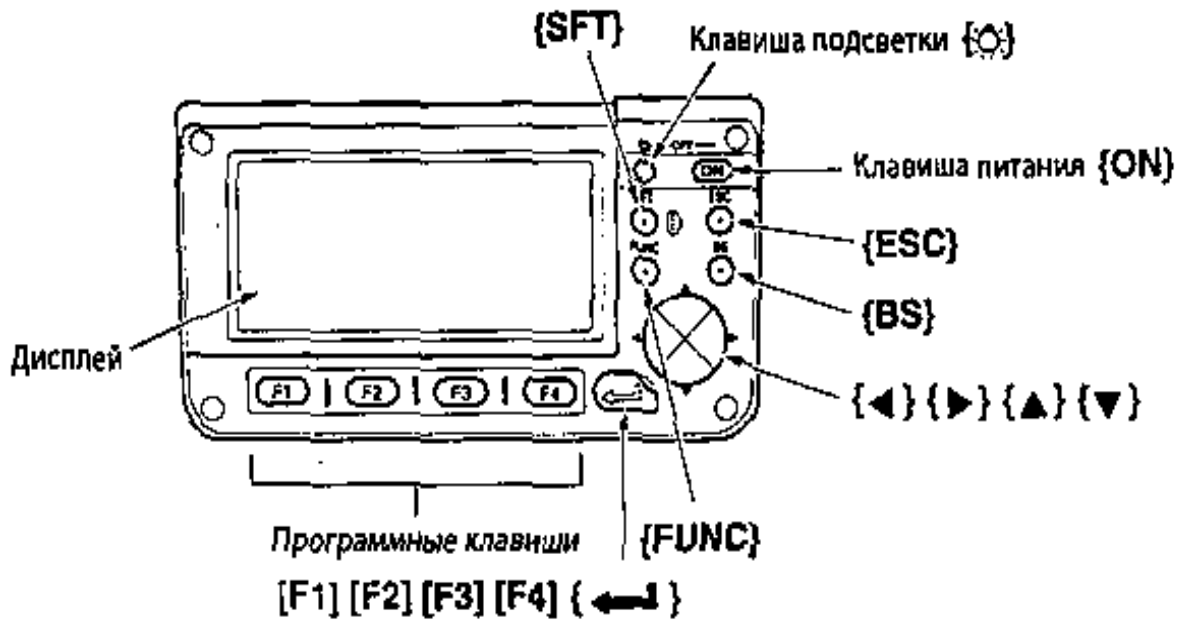
В качестве датчика угла применен фотоэлектрический преобразователь угол-код. В дальномерном канале использован импульсный метод измерения расстояний с преобразованием временного интервала (работа со светодальномером). Приемопередающая система светодальномера совмещена с оптической визирной системой в общем корпусе зрительной трубы. Зрительная труба переводится через зенит только окулярным кольцом. На рис.76 показан общий вид тахеометра SET530R со стороны окуляра (в) и объектива (б) зрительной трубы. В таблице 6 приведены названия составных частей тахеометра. При работе с тахеометром SET530R используют клавиши управления, расположенные на рабочей панели 5. Весь процесс работы можно представить в следующей последовательности.

1. Выбор файла для хранения результатов измерений.
2. Вход в режим измерений с сохранением данных.
3. Ввод данных о точке стояния.
4. Измерение на точку ориентирования.
5. Измерение на последующую точку съемочного обоснования.
6. Собственно съемка.
7. Переход на следующую станцию и повторение действий с п.2 по п.6.
8. Передача данных в компьютер.

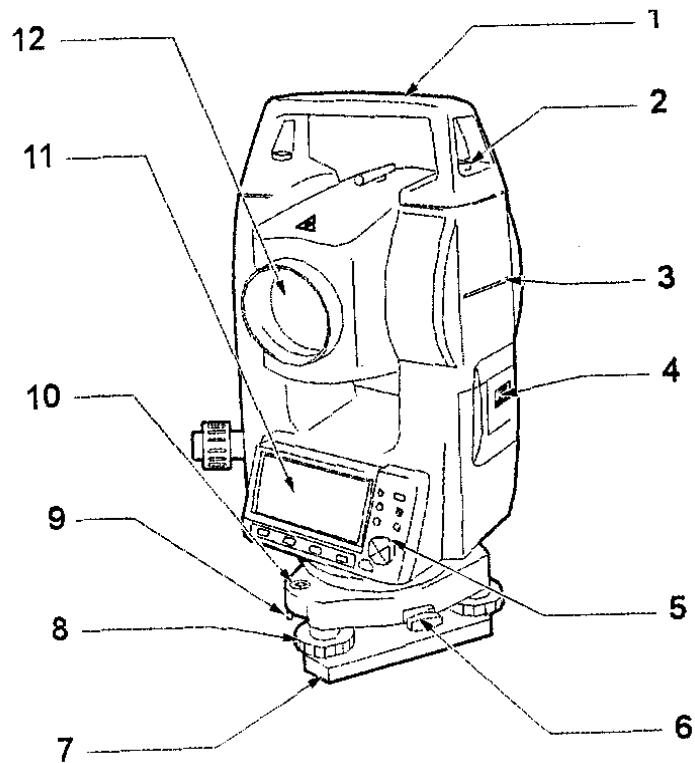
На рис. 76а представлена рабочая панель тахеометра (клавиатура): 15 клавиш (программные клавиши, служебные клавиши, клавиша включения питания, клавиша подсветки):

- [ON] – клавиша включения питания;
- [☀] – клавиша включения и выключения подсветки (у серии 30R при длительном нажатии включает лазерный указатель направления);
- [SFT] – переключение регистра между прописными и строчными буквами (у серии 30R также служит для переключения режима работы дальномера «призма»/«пленка»/«без отражателя»);
- [ESC] – отмена ввода данных, переход на ступень выше по дереву меню;
- [FUNC] – переход на следующую страницу программных клавиш (пролистывание букв и цифр при вводе данных);
- [BS] – удаление введенных символов;
- [▲], [▼] – перемещение курсора вверх и вниз;
- [▶], [◀] – перемещение курсора вправо и влево, выбор другой опции;
- [↵] – клавиша, аналогичная клавише [ENTER] – [ВВОД] компьютерной клавиатуры. Далее в тексте клавиша будет обозначаться как [ВВОД];
- [F1], [F2], [F3], [F4] – программные клавиши. Служат для выбора соответствующих им значений. Значения программных клавиш выводятся в нижней строке экрана.

а)



б)



в)

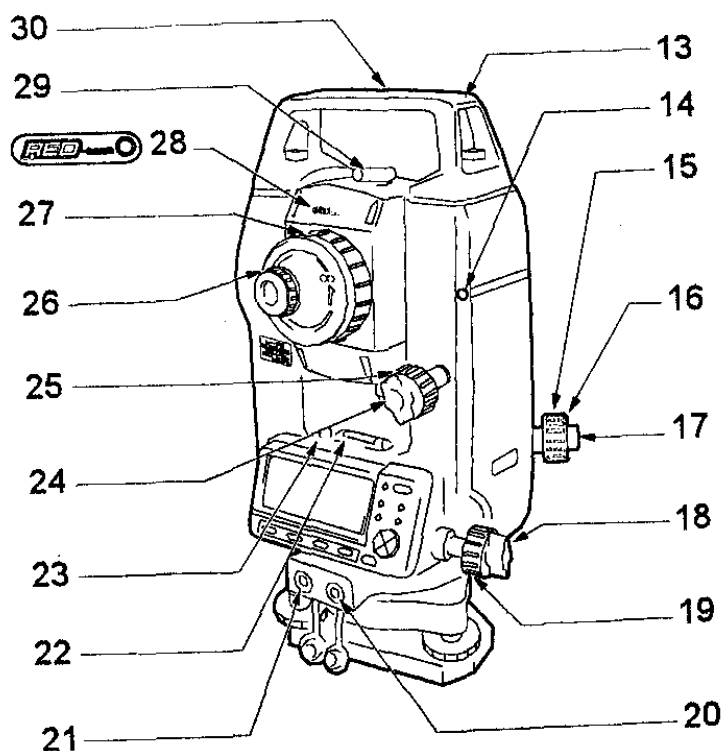


Рис. 76. Электронный тахеометр SET530R:

а) рабочая панель, б) вид со стороны объектива, в) вид со стороны окуляра

Таблица 6 – основные части тахеометра SET530R

№ п/п	Название	№ п/п	Название
1	Ручка	16	Крышка сетки нитей оптического отвеса
2	Винт фиксации ручки	17	Окуляр оптического отвеса
3	Метка высоты инструмента	18	Горизонтальный закрепительный винт
4	Батарея	19	Горизонтальный винт точной наводки
5	Рабочая панель	20	Разъем ввода/вывода данных
6	Защелка трегера	21	Разъем для внешнего источника питания

Окончание табл.6

7	Основание трегера	22	Цилиндрический уровень
8	Подъемный винт	23	Юстировочные винты цилиндрического уровня
9	Юстировочные винты круглого уровня	24	Вертикальный закрепительный винт
10	Круглый уровень	25	Вертикальный винт точной наводки
11	Дисплей	26	Окуляр зрительной трубы
12	Объектив (с функцией лазерного указателя)	27	Фокусирующее кольцо зрительной трубы
13	Паз для установки буссоли	28	Индикатор лазерного излучения
14	Приемный датчик для беспроводной клавиатуры	29	Видоискатель
15	Фокусирующее кольцо оптического отвеса	30	Метка центра инструмента

#### 12.4. Нивелирование поверхности по квадратам

Одним из видов наземных топографических съемок является нивелирование поверхности. Нивелирование поверхности по квадратам – один из наиболее распространенных способов этого вида съемки.

Перед нивелированием разбивают на местности сетку квадратов со сторонами от 10 до 200 м в зависимости от масштаба, рельефа и назначения съемки.

Каждая вершина закрепляется колышком, забиваемым вровень с землей. Рядом забивают сторожок с номером вершины 1а, 2в и т. д. Разбивка производится теодолитом и дальномером (лентой). При малых сторонах квадратов сначала разбивают внешний контур участка, а затем внутренние вершины квадратов. Если стороны квадратов большие, разбивают две взаимно перпендикулярные линии в центре участка. От этих линий разбивают вершины остальных квадратов путем построения прямых углов и откладывания расстояний по полученным направлениям. Пункты геодезической опорной сети, имеющиеся на участке, включаются в сеть квадратов. Кроме вершин квадратов на местности закрепляются плюсовые точки, расположенные в характерных точках рельефа и на перегибах скатов, находящихся внутри квадратов и на их сторонах. Положение точек определяется от ближайших сторон или вершин квадратов.

Схему разбивки сетки квадратов и плюсовых точек вычерчивают на бумаге (рис. 78). На схеме стрелками показывают характерные линии рельефа и направления, по которым можно проводить интерполирование горизонталей. Она служит абрисом горизонтальной съемки местности, которая производится одновременно с разбивкой квадратов. Основным способом съемки является

способ перпендикуляров; применяют также способ линейных засечек (при малых размерах квадратов).

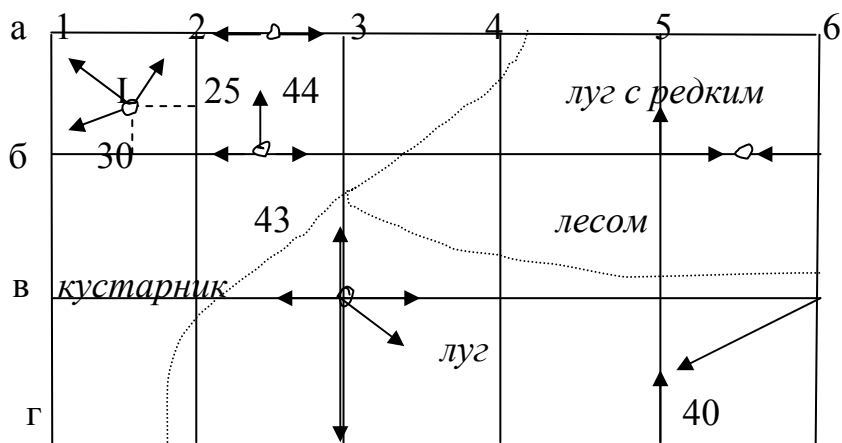


Рис. 78. Схема квадратов с абрисом горизонтальной съемки местности

При съемках слабо выраженного рельефа с высотой сечения  $h=0,25$  м нивелируют точки через 10 – 40 м на местности, а при  $h=0,5$  м – через 50 – 100 м.

При нивелировании квадратов могут встретиться три случая.

1. Стороны квадратов более 100 метров.
2. Стороны квадратов менее 100 метров, рельеф средней сложности.
3. Стороны квадратов менее 100 метров, рельеф спокойный.

В зависимости от этого нивелируют каждый квадрат отдельно, несколько квадратов с одной станции, все квадраты с одной станции.

*1 случай:* нивелир устанавливают приблизительно в центре квадрата и берут отсчеты в четырех вершинах и плюсовых точках. Форма журнала соответствует схеме сети квадратов. Отсчеты записываются возле каждой вершины или плюсовой точки. Сначала нивелируют ряды квадратов, расположенных по внешней границе участка. Внутренние квадраты нивелируют через один. Контроль: суммы накрест лежащих отсчетов или разность горизонта инструмента соседних квадратов должны быть равны с точностью  $\pm 5$  мм.

$$a_1 + v_1 = a_2 + v_2 \text{ или } v_1 - a_1 = v_2 - a_2.$$

*2 случай:* при нивелировании с одной станции группы квадратов сначала выбирают связующие точки между станциями так, чтобы они образовали замкнутый ход. Отсчеты вначале берут на связующие точки по двум сторонам рейки. Вершины квадратов и плюсовые точки нивелируют как промежуточные по черной (основной) стороне рейки. Запись измерений производится в обычный нивелирный журнал или на схему сети квадратов. На схеме обязательно показывается, какая группа квадратов, с какой станции нивелируется.

Контроль: превышения между связующими точками, определенные по черной и красной стороне рейки, не должны отличаться более чем на  $\pm 5$  мм.

*3 случай:* при нивелировании всех квадратов с одной станции нивелир устанавливают приблизительно в середине участка и берут отсчеты на все вер-

шины и плюсовые точки по одной стороне рейки. Вершина, с которой начинают нивелирование, должна быть хорошо закреплена и сохранена до окончания работ.

Контроль: в процессе работ периодически, после нивелирования нескольких точек, берут отсчет на начальную точку. Он должен оставаться постоянным в пределах точности  $\pm 5$  мм.

После производства нивелирования и привязки сети квадратов к опорной геодезической сети (плановой и высотной) для камеральной обработки поступают два документа: полевая схема разбивки квадратов и съемки ситуации и журнал нивелирования. В камеральных условиях после контроля полевых документов обрабатывают журнал нивелирования. Составляют план местности, вычерчивают ситуацию и рельеф. Оформляют план в соответствии с условными знаками.

## 12.5. Фототопографические съемки

Основой фототопографических съемок является процесс определения размеров, формы и взаимного положения предметов местности по их фотоизображениям. Специальная дисциплина, изучающая способы измерения фотоизображений, называется фотограмметрией (измерительной фотографией).

В зависимости от места положения фотографирующего устройства различают *космическую*, воздушную или *аэрофотосъемку* и наземную или *фототеодолитную* съемки (рис. 79).

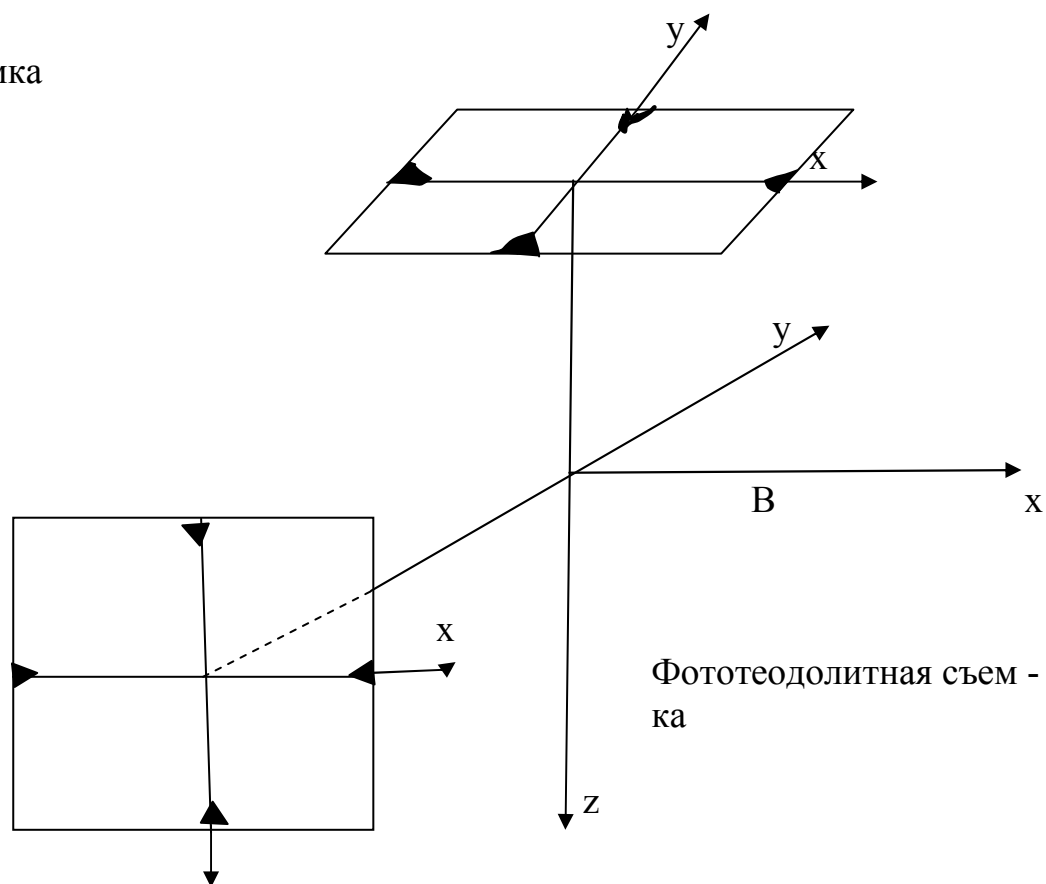
### 12.5.1. Аэрофототопографическая съемка

Этот вид съемки выполняется путем фотографирования местности с самолета (вертолета и т.д.) специальным фотоаппаратом (рис. 80). Прикладная рамка его ограничивает формат аэроснимка, а имеющиеся на ней координатные метки определяют начало и направление координатной системы аэроснимка. Пересечение оптической оси фотокамеры с плоскостью называется главной точкой снимка, которая характеризуется отсутствием искажений в ней и обычно совпадает с началом координат  $x_0=0$ ;  $y_0=0$ . В случае ровной местности масштаб аэроснимка выражается  $1:N=1:z=f_k:H = \frac{ab}{AB \cdot M}$ , где  $H$  – высота фотографирования,  $ab$  – расстояние между двумя какими-либо точками на снимке,  $AB$  – расстояние между этими же точками на местности,  $M$  – знаменатель масштаба карты (если масштаб снимка определяют по топографической карте). Фотографирование осуществляется при вертикальном положении оптической оси аэрофотоаппарата ( $\pm 3^\circ$ ). В этом случае получают плановые фотоснимки с постоянным масштабом. В случае отклонения от вертикали и при наличии пересеченной местности масштаб снимка различен в различных его частях (перспективный снимок).

После фотографирования для измерения аэроснимков и дальнейшего их преобразования в план или карту используют два способа: комбинированный (фотограмметрический) и стереофотограмметрический. При первом способе контуры на плане получают по аэроснимкам, а рельеф снимают в поле способом мензульной съемки.

Стереофотограмметрический метод основан на измерении пары снимков, взаимно перекрывающихся и полученных с конечных точек некоторого базиса  $B$  (рис. 81). Базисом воздушного фотографирования называется расстояние, пролетаемое самолетом между двумя экспозициями аэрофотоаппарата (расстояние, пролетаемое между двумя фотографированиями). Его можно вычислить по следующей формуле:  $B=N \cdot b$ , где  $N$  – знаменатель масштаба снимка,  $b$  – расстояние в мм между главными точками двух снимков.

Аэрофотосъемка



Фототеодолитная съемка

Рис. 79. Фототопографические съемки



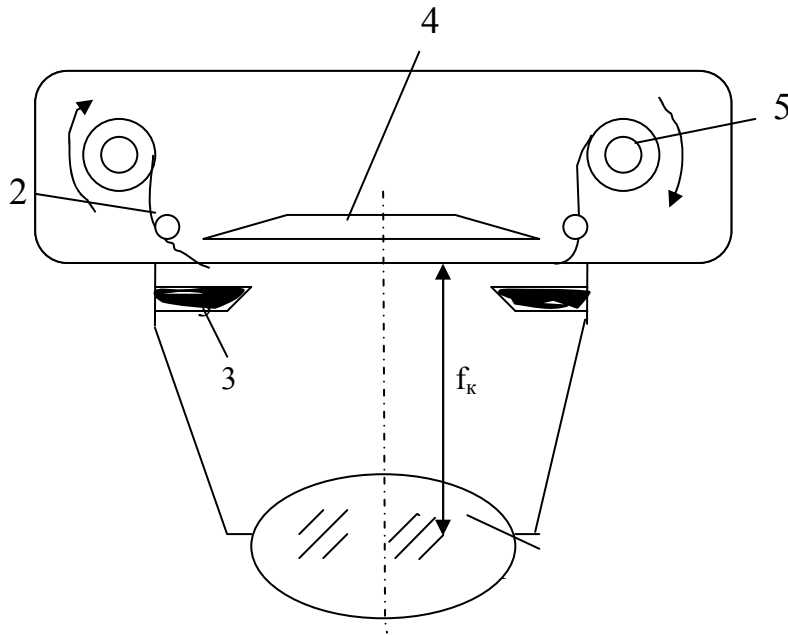


Рис. 80. Схема аэрофотоаппарата

1 – объектив, 2 – фотопленка, 3 – прикладная рамка с координатными метками,  
 4 – выравнивающая прижимная плита, 5 – катушки с фотопленкой,  
 $f_k=70\text{мм}$  – фокусное расстояние объектива.

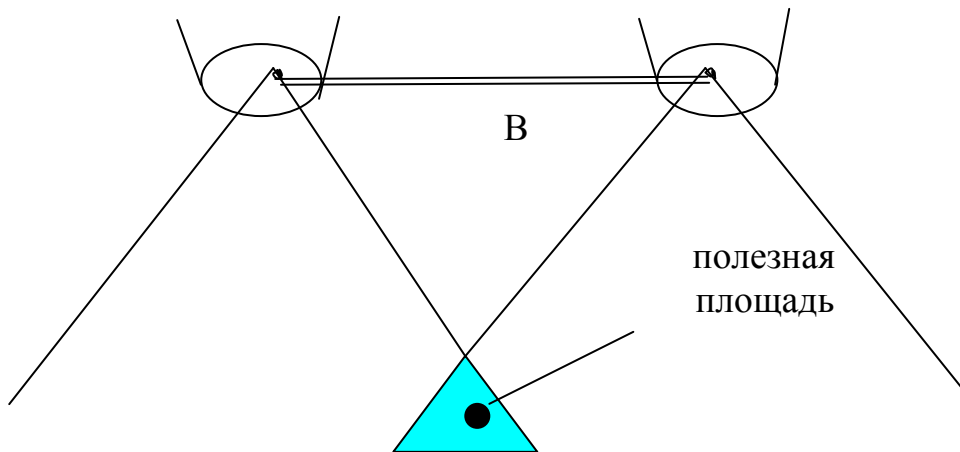


Рис. 81. Продольное перекрытие снимков

Самолет выполняет параллельные залеты. При этом пара соседних снимков имеет продольное и поперечное перекрытие. Продольное перекрытие снимков – общая часть фотографируемой местности на предыдущем и последующем снимках (рис. 82). Вычисляют продольное перекрытие по следующей формуле:

$$P = \frac{l_n}{l} \cdot 100\% \dots,$$

где  $\ell_n$  – общая перекрывающаяся часть снимков,  $\ell$  – длина стороны снимка. Величина его не должна быть менее 60% – в этом случае снимки образуют стереопару, по которой в дальнейшем получают план или карту местности. Совместное измерение пары снимков позволяет получать пространственное расположение точек рельефа или объекта. Стереофотограмметрический метод съемки включает три этапа.

1. Летно-съемочные и фотолабораторные работы.
2. Полевые геодезические работы.
3. Камеральные работы.

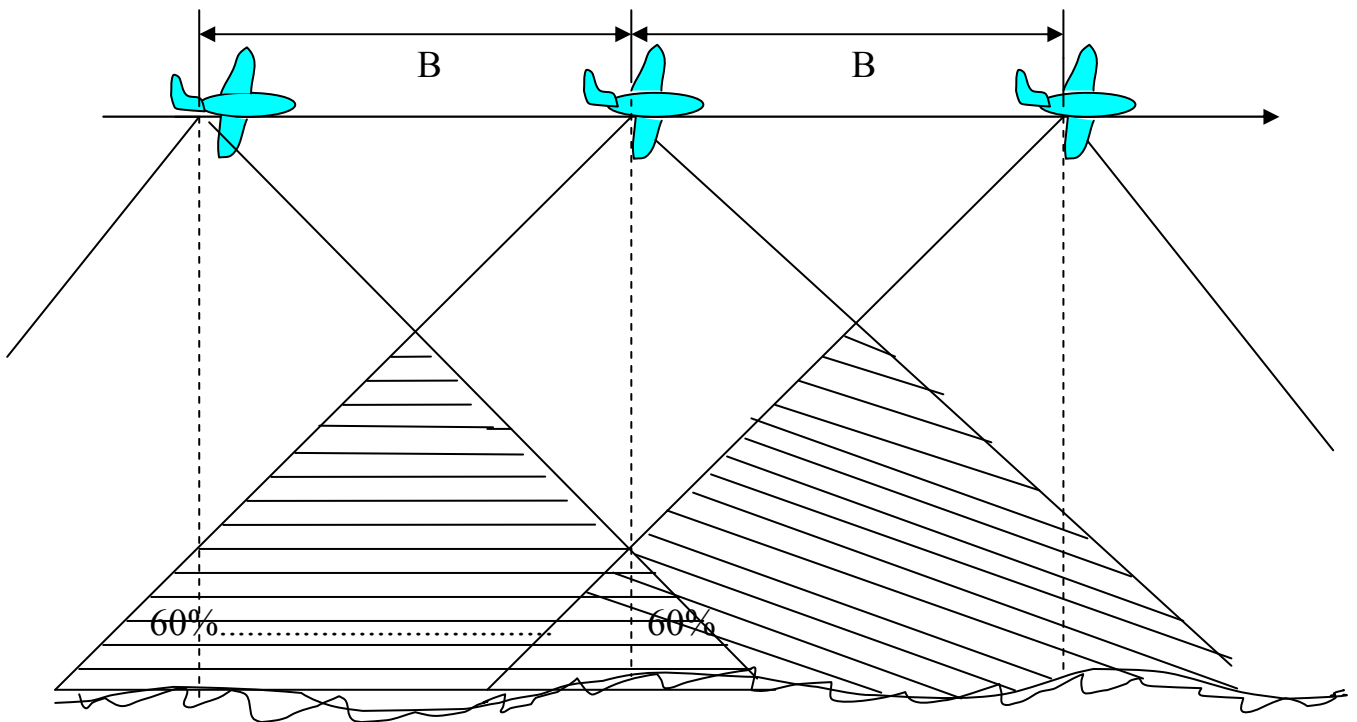


Рис.82. Обеспечение в полете необходимого продольного перекрытия снимков

Ввиду того что для стереофототопографического способа обработки снимков необходимы два соседних снимка с общей снятой площадью, то в процессе аэросъемки во время движения самолета по прямому направлению (по маршруту) фотографирование местности происходит через определенные интервалы (интервалометр), обеспечивающие перекрытие снимков не менее 60% в направлении (вдоль) маршрута (рис. 82). Это перекрытие называется *продольным*. Если съемка не маршрутная, а площадная, то предусматривается перекрытие соседних маршрутов не менее 30%, которое называется *поперечным*.

*Полевые работы* кроме летно-съемочных работ, включают также *дешифрирование* и *привязку* отпечатанных снимков.

Дешифрирование снимков имеет целью расшифровать ситуацию, то есть распознать изображенные на снимках предметы и контуры местности, и может быть камеральным и полевым. Камеральное дешифрирование выполняют при помощи специальных приборов: стереоскопов и стереокомпараторов, которые

позволяют получить стереоскопическое (объемное) изображение снятой местности.

Привязка снимков служит для определения положения их относительно общегосударственной системы координат и заключается в определении координат точек, хорошо видимых на снимках и на самой местности. Привязка может быть выполнена проложением теодолитных ходов, аналитических сетей или в камеральных условиях методом фототриангуляции и фотополигонометрии.

*Камеральные работы* при аэрофотосъемке, кроме фотолабораторных работ, включают *трансформирование и стереофотограмметрическую обработку* снимков.

Трансформирование – это преобразование полученных аэроснимков к заданному масштабу, постоянному по всей поверхности снимка. Оно производится по полученным после привязки снимков опорным точкам сгущения плановой основы (не менее 4-х на снимок) и выполняется на фототрансформаторах. Для трансформирования негатив помещают в кассету ФТ, на экране укрепляют чертеж с изображением в заданном масштабе опорных точек плановой геодезической основы, экран смещают и поворачивают так, чтобы одноименные опорные точки на чертеже и спроектированные с негатива совпали, заменяют чертеж фотобумагой, экспонируют ее, проявляют, фиксируют и получают *плановый снимок в ортогональной проекции*. Из таких снимков можно монтировать фотоплан (накидной монтаж).

Стереофотограмметрическую обработку аэроснимков можно выполнить двумя способами: универсальным и дифференциальным.

При универсальном методе по двум аэроснимкам, составляющим стереопару, на специальных стереофотограмметрических приборах (стереопроектор Романовского и стереограф Дробышева) создается пространственная геометрическая модель местности. Наблюдатель, воспринимающий эту модель объемно, может осуществить визирование на любую точку ее поверхности и отсчитать или зафиксировать все пространственные координаты точки  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

В результате обработки аэроснимков универсальным методом непосредственно получают графический план местности с контурами и рельефом.

При дифференциальном методе процесс создания плана делится на два основных этапа.

*Первый этап* – определение превышений точек аэроснимков или изображение на них рельефа горизонталями. *Второй этап* – получение контурной части карты в виде фотоплана или графического плана.

К основным приборам дифференциального метода, помимо трансформатора, относятся стереокомпаратор и топографический стереометр.

Стереокомпаратор служит для измерения прямоугольных координат точек по аэроснимкам.

Топографический стереометр Дробышева СТД-2 предназначен для рисовки рельефа по нетрансформированным аэроснимкам.

## 13. Элементы теории ошибок измерений

### 13.1. Классификация и свойства ошибок геодезических измерений

Восприятие органами чувств явлений окружающего мира происходит у человека неполно и неточно (расстояние и вес «на глаз»). Поэтому для уточнения и расширения представлений о мире он использует различные инструменты и приборы (определение формы и размеров Земли – космические аппараты, измерение углов – теодолит, расстояний – дальномер и т.д.). Но и такие измерения не идеальны. Поэтому истинное значение измеренных величин, за редким исключением, нам неизвестно, хотя к нему мы все время приближаемся по мере совершенствования приборов и навыков. Определением величины ошибок и их свойств занимается специальная дисциплина «Теория ошибок геодезических измерений».

В практике различают 3 вида ошибок:

а) грубые – получаются в результате грубых просчетов и неисправности приборов (просчет количества лент в длине линии, ошибка в отсчете десятков градусов на лимбе или числа дециметров на рейке). Они могут быть обнаружены и исключены путем повторного измерения величины.

б) систематические – проявляются регулярно, обязательно в каждом измерении и обязательно одинаковы по модулю и знаку, действуют по одному принципу. Они вызваны в основном плохой юстировкой или неисправностью инструментов и приборов (20-ти метровая лента короче на 1см, коллимационная ошибка в теодолите, угол  $i$  (величина  $x$ ) в нивелире и др.). Исключаются из результатов измерений введением поправок и специальной методикой измерений (углы  $\beta$  при КП и КЛ, при нивелировании плечи делают равными, в длины линий вводят поправки за компарирование).

в) случайные – являются следствием несовершенства органов чувств человека и недостаточной точности применяемых инструментов и приборов. Они не могут быть исключены из результатов измерений, но их влияние может быть ослаблено на основе изучения их свойств.

Если  $X$  – истинное значение измеряемой величины,  $\ell$  – измеренное значение, то случайная ошибка  $\Delta$  выражается формулой:

$$\Delta = \ell - X.$$

Если одна и та же величина измерена несколько раз, то и количество ошибок будет большим. Получается ряд ошибок. Если измерения производятся приборами одинаковой точности, наблюдателями одинаковой квалификации, в одинаковых окружающих условиях, то они называются *равноточными*. При нарушении указанных условий измерения называются *неравноточными*.

В основу изучения случайных ошибок положено 4 их свойства, выведенных из изучения рядов ошибок равноточных измерений.

1. При данных условиях измерений случайные ошибки не могут превосходить по абсолютной величине известного предела (свойство ограниченности).

2. Одинаковые по абсолютной величине положительные и отрицательные случайные ошибки равно возможны, одинаково часто встречаются в ряду измерений.

3. Чем больше абсолютная величина случайной ошибки, тем реже такая ошибка встречается в ряду измерений.

4. Среднее арифметическое из случайных ошибок равнозначных измерений одной и той же величины имеет тенденцию стремиться к 0 при неограниченном возрастании числа измерений (свойство компенсации). Математически это записывается так

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n}{n} = \frac{[\Delta]}{n} = 0; [ ] - \text{знак гауссовой суммы,}$$

при  $n \rightarrow \infty$ .

Если соблюдены все четыре свойства в ряде ошибок, то говорят о «нормальном распределении».

5. Если

$$\begin{cases} \Delta_1 & \Delta_n & - 1\text{-й ряд измерений} \\ \Delta_1' & \Delta_n' & - 2\text{-ой ряд измерений,} \end{cases}$$

то 4-ое свойство распространяется и на сумму попарных произведений, то есть

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta\Delta']}{n} = 0,$$

при  $n \rightarrow \infty$ .

### 13.2. Средняя квадратическая, предельная и относительная ошибки

Для суждения о степени точности ряда измерений нужно иметь среднее значение ошибки. Среднее арифметическое из измерений нельзя брать, так как из-за разных знаков ряд с отдельными крупными ошибками может оказаться точнее ряда с меньшими ошибками:

$$\left. \begin{array}{l} 25,5; 24,5; 25,0 - m_{cp.}=0 \\ 25,04; 24,97; 25,04 - m_{cp.}=0,02 \text{ м} \end{array} \right\} X=25\text{м.}$$

Если взять ошибки по абсолютной величине, то два ряда измерений с одинаковыми по абсолютной величине средними ошибками могут быть ошибочно приняты равнозначными и наличие крупных ошибок не будет отражено:

$$|0,2|; |0,3|; |0,1|; |0,2| - |m_{cp.}| = 0,2\text{м}$$

$$|0,65|; |0,05|; |0,04|; |0,06| - |m_{cp.}| = 0,2\text{м.}$$

Поэтому в качестве критерия для оценки точности ряда измерений используют не зависящую от знаков отдельных ошибок и рельефно показывающую наличие крупных ошибок *среднюю квадратическую ошибку*. Квадрат этой ошибки принимают равным среднему арифметическому из квадратов отдельных случайных ошибок, то есть:

$m^2 = \frac{\Delta^2_1 + \Delta^2_2 + \dots + \Delta^2_n}{n} = \frac{[\Delta\Delta]}{n}; m = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$ . – формула Гаусса, где  $\Delta$  – истинная ошибка измерения.

По теории вероятностей подсчитано, что при большом количестве измерений случайная ошибка одного измерения превосходит  $m$ .

$\Delta > 1m$  – в 32 случаях из 100 измерений.

$\Delta > 2m$  – в 5 случаях из 100 измерений.

$\Delta > 3m$  – в 3 случаях из 1000 измерений.

Поэтому утроенную среднюю квадратическую ошибку считают *предельной*  $\Delta_{lim} = 3m$ .

Часто точность произведенных измерений лучше оценивается *относительной ошибкой*, то есть отношением абсолютной ошибки к измеряемой величине, выражаемой правильной дробью с числителем, равным 1. Эта ошибка характеризует в основном линейные измерения и измерения площади участков. Например, в замкнутом полигоне теодолитного хода линейные измерения оцениваются относительной ошибкой  $\frac{1}{N} = \frac{f_{абс.}}{P}$ ; где  $f_{абс.} = \sqrt{f^2_x + f^2_y}$  – абсолютная ошибка,  $P$  – периметр полигона.

### 13.3. Средняя квадратическая ошибка функции измеренных величин

а) Функция общего вида:

$$z = f(x, y, \dots, w).$$

Пусть аргументы измерены с ошибками  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots; \Delta y_1, \Delta y_2, \dots; \Delta w_1, \Delta w_2, \dots$

Тогда

$$z + \Delta z_1 = f(x + \Delta x_1, y + \Delta y_1, \dots, w + \Delta w_1).$$

Так как ошибки  $\Delta x, \Delta y, \Delta w$  малы, то функцию можно разложить в ряд Тейлора, ограничившись членами первой степени:

$$z + \Delta z_1 = f(x, y, \dots, w) + \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y_1 + \dots + \frac{\partial f}{\partial w} \Delta w_1 + \dots$$

Отсюда составим систему уравнений случайных ошибок:

$$\Delta z_1 = \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y_1 + \dots + \frac{\partial f}{\partial w} \Delta w_1.$$

Но  $\Delta x, \Delta y, \dots$  имеют бесконечное число измерений каждая и характеризуются средними квадратическими ошибками. Поэтому можно составить бесконечное число уравнений, аналогичных выше приведенному:

$$\left. \begin{aligned} \Delta z_1 &= \dots\dots\dots \\ \Delta z_2 &= \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \Delta z_n &= \dots\dots\dots \end{aligned} \right\}$$

Возведем равенства в квадрат, сложим и разделим на  $n$ .

$$\frac{[\Delta z^2]}{n} = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 \frac{[\Delta x^2]}{n} + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 \frac{[\Delta y^2]}{n} + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial w}\right)^2 \frac{[\Delta w^2]}{n} + \dots$$

↓  
0  $n \rightarrow \infty$ .

Отсюда

$$m_z^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial w}\right)^2 m_w^2 \rightarrow m_z^2 = (f'_x m_x)^2 + (f'_y m_y)^2 + \dots + (f'_w m_w)^2.$$

Квадрат средней квадратической ошибки функции общего вида равен сумме квадратов произведений частных производных по каждому аргументу на средние квадратические ошибки соответствующих аргументов.

б) Функция вида  $z=x+y$  (суммы),  $m_z=?$

Дано:  $x$  – измерено несколько раз с ошибками  $\Delta x_1; \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$

$y$  – измерено несколько раз с ошибками  $\Delta y_1, \Delta y_2, \dots, \Delta y_n$

$z$  – будет вычислено несколько раз с ошибками  $\Delta z_1, \Delta z_2, \dots, \Delta z_n$ .

$$z + \Delta z_1 = (x + \Delta x_1) + (y + \Delta y_1) = (x + y) + (\Delta x_1 + \Delta y_1);$$

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2.$$

Эта же формула справедлива для функции вида  $z=x-y$ , так как после выше приведенных рассуждений перед последним членом будет знак (-). Но он все равно стремится к нулю.

Поэтому можно сделать вывод, что квадрат средней квадратической ошибки алгебраической суммы двух аргументов равен сумме квадратов средних квадратических ошибок слагаемых.

Если  $m_x=m_y=m$ , то  $m_z=\pm m\sqrt{2}$ .

Пусть  $z = x + y + \delta$ , перепишем  $z = (x + y) + \delta$ . Тогда можно записать:

$$m_z^2 = m_{(x+y)}^2 + m_\delta^2, \text{ но } m_{(x+y)}^2 = m_x^2 + m_y^2, \text{ поэтому}$$

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2 + m_\delta^2 + \dots$$

Если  $m_x = m_y = \dots = m$ , то при  $n$  слагаемых  $m_z = \pm m\sqrt{n}$ , то есть квадрат средней квадратической ошибки суммы аргументов равен сумме квадратов средних квадратических ошибок слагаемых.

Средняя квадратическая ошибка алгебраической суммы измеренных с одинаковой точностью величин в  $\sqrt{n}$  раз больше средней квадратической ошибки одного слагаемого.

в) Функция вида  $z = k \cdot x$  (произведения).

$k$  – постоянное число *безошибочное*.

$x$  – измерено несколько раз с ошибками  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ .

$z$  – будет вычислено несколько раз с ошибками  $\Delta z_1, \Delta z_2, \dots, \Delta z_n$ .

$$z + \Delta z_1 = k(x + \Delta x_1) = kx + k\Delta x_1$$

$$\text{отсюда } m_z^2 = k^2 m_x^2 \text{ или } m_z = km_x,$$

то есть средняя квадратическая ошибка произведения постоянного числа на аргумент равна произведению постоянного числа на среднюю квадратическую ошибку аргумента (измеряемой величины).

#### 13.4. Арифметическая середина и ее свойства

Пусть  $\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n$  – ряд измерений некоторой величины  $X$ . За наилучшее приближение к значению неизвестной величины принимают арифметическую середину  $\ell_0$ , то есть среднее арифметическое значение:

$$\ell_0 = \frac{\ell_1 + \ell_2 + \dots + \ell_n}{n} = \frac{[\ell]}{n}.$$

Арифметическая середина обладает рядом свойств, из которых можно выделить следующие:

1-е свойство: при неограниченном увеличении числа измерений  $n$  арифметическая середина  $\ell_0$  стремится к истинному значению  $X$ , то есть является наиболее вероятнейшим значением измеряемой величины.

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= \ell_1 - X \\ + \Delta_2 &= \ell_2 - X \end{aligned} \quad \text{просуммируем уравнения и разделим на } n$$

$$\frac{\overbrace{[\Delta]}^{\dots\dots\dots}}{n} = \frac{[\ell]}{n} - \frac{X \cdot n}{n} \quad | \quad 0 = \ell_0 - X.$$

↓ 0 по свойству компенсации.

Поэтому  $\frac{[\ell]}{n} = X; \lim_{n \rightarrow \infty} \ell_0 = X, \ell_0 = \frac{[\ell]}{n}.$

2-е свойство: сумма отклонений  $\delta_i$  измеренных значений  $\ell_i$  от арифметической середины  $\ell_0$  тождественно равна нулю.

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \ell_1 - \ell_0 \\ + \delta_2 &= \ell_2 - \ell_0 \end{aligned} \quad \text{Это вероятнейшие случайные ошибки.}$$

$$\delta_n = \ell_n - \ell_0$$

$$[\delta] = [\ell] - n\ell_0, \text{ но } [\ell] = n\ell_0, \text{ поэтому } [\delta] = 0.$$

3-е свойство: средняя квадратическая ошибка  $M$  арифметической середины в  $\sqrt{n}$  раз меньше средней квадратической ошибки результата отдельного измерения  $m$ .

$$\ell_0 = \frac{\ell_1 + \ell_2 + \dots + \ell_n}{n} = \frac{1}{n} \ell_1 + \frac{1}{n} \ell_2 + \dots + \frac{1}{n} \ell_n.$$

Рассматривая эту формулу как функцию общего вида, найдем:

$$M^2 = \left(\frac{1}{n}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{1}{n}\right)^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{1}{n}\right)^2 m_n^2.$$

Так как измерения равноточные и

$$m_1 = m_2 = \dots = m,$$

то  $M = \frac{m}{\sqrt{n}}.$

### 13.5. Оценка точности ряда измерений по вероятнейшим ошибкам

Истинные случайные ошибки  $\Delta$  обычно остаются неизвестны. Поэтому для оценки точности используют вероятнейшие ошибки, то есть отклонения отдельных результатов измерений от арифметической середины.



Составим уравнения истинных и вероятнейших случайных ошибок:

Ур-я ист. сл. ош.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1 = l_1 - l \\ \Delta_2 = l_2 - l \\ \dots\dots\dots \\ \Delta_n = l_n - l \end{array} \right\}$$

Ур-я вероятн. сл. ош.

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_1 = l_1 - l_0 \\ \delta_2 = l_2 - l_0 \\ \dots\dots\dots \\ \delta_n = l_n - l_0 \end{array} \right\},$$

и

где  $l_i$  – измеренные значения;  $l$  – истинное значение измеренной величины;  $l_0$  – арифметическая середина.

Из первой системы вычтем вторую:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta_1 - \delta_1 = l_0 - l \\ \Delta_2 - \delta_2 = l_0 - l \\ \dots\dots\dots \\ \Delta_n - \delta_n = l_0 - l \end{array} \right| \quad (\ell_0 - \ell) = M,$$

где  $M$  представляет собой случайную ошибку арифметической середины.

Перепишем равенства:

$$\left[ \begin{array}{l} \Delta_1 = M + \delta_1 \\ \Delta_2 = M + \delta_2 \\ \dots\dots\dots \\ \Delta_n = M + \delta_n \end{array} \right]^2 \quad \text{Возведем равенства в квадрат и сложим их;}$$

$$[\Delta\Delta] = nM^2 + [\delta\delta] + 2M[\delta]$$

||

0 по второму свойству арифметической середины.

Разделив на  $n$  полученное равенство, имеем:

$$m^2 = M^2 + \frac{[\delta\delta]}{n}.$$

Учтем, что  $M = \frac{m}{\sqrt{n}}$ . Тогда формула Бесселя:

$$m^2 = \frac{[\delta\delta]}{n} + \frac{m^2}{n}, \text{ откуда}$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n-1}}.$$

## 14. Задачи инженерной геодезии в строительстве.

### Специальная часть

Геодезические работы в строительстве регламентируются следующими основными документами:

1. СНиП 3.01.03-84 Правила производства и приемки работ. Геодезические работы в строительстве. В этом нормативном документе содержатся требова-

ния к геодезической разбивочной основе, разбивочным работам, контролю точности выполнения строительно-монтажных работ и определяются условия обеспечения точности геодезических измерений.

2. СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства.

3. СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства.

В них содержатся сведения о требованиях, предъявляемых к инженерно-геодезическим изысканиям: плотность пунктов геодезической основы, методы ее создания, требования к точности измерений и т.д.

Кроме того, в практике производства геодезических работ в строительстве используются нормативные документы, ГОСТы, связанные с применением геодезических приборов, терминологии, технологией измерений.

Промышленное и жилищное строительство, реконструкция и благоустройство промышленных предприятий и населенных мест осуществляется по следующим стадиям.

1. Изыскания.

2. Проектирование.

3. Строительство.

4. Эксплуатация сооружения.

На стадии изысканий геодезические работы заключаются в получении планов или карт территории строительства путем топографических съемок местности различными способами. Задача – дать качественную топографическую основу для проектирования строительства.

Геодезическими работами на стадии проектирования являются: вертикальная планировка территории горизонтальной или вертикальной плоскостями под строительство какого-либо сооружения, построение продольного профиля трассы и поперечных профилей при проектировании сооружений линейного типа, подготовка разбивочных данных для выноса проекта сооружения на местность и т.д. Все материалы проекта планировки оформляются графически на топографической основе в масштабах 1:5000 – 1:10000. К проекту прилагается пояснительная записка.

При строительстве крупных и сложных объектов составляются генеральные планы на каждый отдельный элемент: генеральный план благоустройства, генеральный план подземных сооружений и т.д. Генеральным планом строительного объекта называют основной чертеж (масштаб 1:500, 1: 2000), представляющий собой изображение на бумаге границ объекта, всех зданий, подземных, наземных и воздушных сооружений и устройств, составляющих комплекс проектируемого объекта, проектируемого озеленения и сохраняющейся существующей растительности, проектируемого вновь и сохраняющегося естественного рельефа. Он является неотъемлемой частью стадий проектирования и строительства, отражает сущность проекта и является основой для воплощения последнего в натуре.

При составлении генеральных планов производится увязка существующих и проектируемых объектов в смысле их правильного размещения друг относительно друга в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Все работы, связанные с выявлением наиболее рационального расположения проектируемых

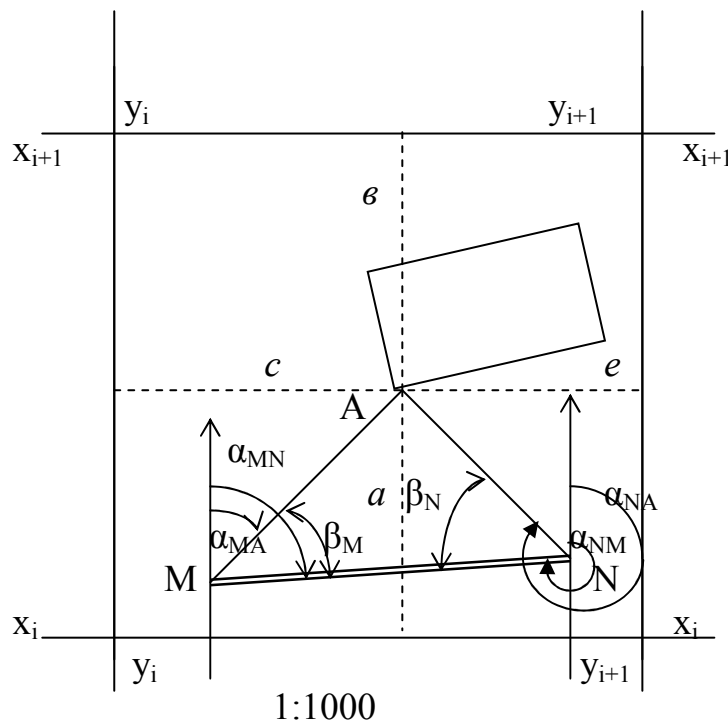


*Главные оси* – это взаимно перпендикулярные прямые линии, относительно которых здание или сооружение располагается в основном симметрично. *Основные оси* – это прямые линии, образующие внешний контур здания или сооружения в плане. Это самый распространенный в строительстве вид осей. Взаимное расположение главных и основных осей должно быть определено с высокой точностью, так как они служат основой детальной разбивки всего сооружения. *Дополнительные оси* – это прямые линии, образующие очертания частей и элементов зданий и сооружений, оси фундаментов технологического оборудования и др.

При выносе осей в натуру соблюдается основной принцип геодезических работ – *переход от общего к частному*. Разбиваются сначала главные и основные оси, затем дополнительные, и только потом разбиваются запроектированное здание или сооружение.

Подготовка разбивочных данных для выноса проекта сооружения в натуру может быть выполнена одним из трех способов: аналитическим, графическим и графо-аналитическим. Рассмотрим графо-аналитический способ.

Пусть требуется подготовить разбивочные данные для выноса в натуру точки А проектного сооружения (рис. 84). Вначале определяют графически на генеральном плане координаты точки А с учетом деформации бумаги.



В 1 сантиметре 10 метров

Рис. 84. Фрагмент генерального плана

Измеряют в сантиметрах расстояния  $a, b, c, e$  – от точки до линий сетки, затем выражают их в метрах в масштабе плана и подставляют в формулы:

$$X_A = x_i + a \frac{x_{i+1} - x_i}{a + b};$$
$$Y_A = y_i + c \frac{y_{i+1} - y_i}{c + e}.$$

Координаты двух пунктов М и N строительной сетки берут в качестве исходных и решают обратные геодезические задачи для направлений МА, НА, MN. В результате решения получают длины (горизонтальные проложения этих направлений) и их дирекционные углы –  $\alpha$ .. Затем по разностям дирекционных углов вычисляют разбивочные углы  $\beta_M$  и  $\beta_N$ .

$$\beta_M = \alpha_{MN} - \alpha_{MA};$$
$$\beta_N = \alpha_{NA} - \alpha_{NM}.$$

Составляют разбивочный чертеж в масштабе плана. На нем подписывают все значения линейных и угловых разбивочных данных для вынесения проекта на местность разными способами: прямоугольных координат, линейных и угловых засечек, полярных координат.

Подготовка разбивочных данных аналитическим способом аналогична предыдущему, отличается тем, что все исходные данные (в том числе проектные координаты) имеются в проекте. При подготовке графическим способом все разбивочные данные получают графически с плана. Погрешность линейных измерений составляет при этом 0,2 мм в масштабе плана, а угловых 20'.

Стадия строительства включает:

1. Подготовительный период – геодезические работы обеспечивают правильное расположение на территории строительства мест складирования стройматериалов и элементов конструкций, временных сетей водопровода, освещения и т.д.

2. Начальный период (нулевой цикл) – заключается в перенесении осей сооружения в натуру, контроль за возведением подземной части.

3. Период строительства – контроль за соблюдением геометрических форм сооружения, предусмотренных проектом.

4. Завершающий период – исполнительные съемки.

Геодезические работы начинают с выноса проекта сооружения в натуру, то есть на местность. Такие работы называют разбивочными.

#### **14.1. Способы перенесения проектных углов, точек, линий и плоскостей с плана на местность**

Всякое строящееся здание или сооружение характеризуется определенными углами, точками, линиями и плоскостями, которые должны занимать в пространстве строго определенное положение. Определить положение этих элементов можно иногда путем обозначения их на местности. Поэтому знание способов переноса проектных элементов в натуру весьма важно.

### 14.1.1. Построение на местности угла заданной величины

Построение угла заданной величины производится относительно линии между пунктами геодезической сети (строительной сетки) или съемочного обоснования, например А и В на рис. 85. В практике встречаются два случая: когда точность построения угла не превышает точности отсчетного устройства угломерного прибора и когда требуется построить на местности угол с точностью, превышающей точность отсчитывания.

В первом случае работы производятся в следующем порядке:

1. Устанавливают теодолит над точкой, которая является вершиной угла, и приводят его в рабочее положение.

2. При закрепленном лимбе горизонтального круга вращением алидады наводят зрительную трубу теодолита на вторую исходную точку (В) (при построении угла против часовой стрелки) или на точку (А) (при построении против часовой стрелки). Берут отсчет по лимбу горизонтального круга.

3. Вычисляют отсчет: складывают взятый отсчет со значением проектного угла, если угол строят по ходу часовой стрелки; вычитают проектный угол из взятого отсчета, если строят последний против хода часовой стрелки.

4. Устанавливают вычисленный отсчет на лимбе горизонтального круга вначале при одном положении вертикального круга, затем при другом, каждый раз фиксируют шпилькой или колышком на земле перекрестие сетки нитей  $C_{КЛ}$  и  $C_{КП}$ .

5. Окончательное направление закрепляют колышком, забивая его посередине между двумя полученными точками.

6. Измеряют построенный угол, чтобы убедиться в правильности построения.

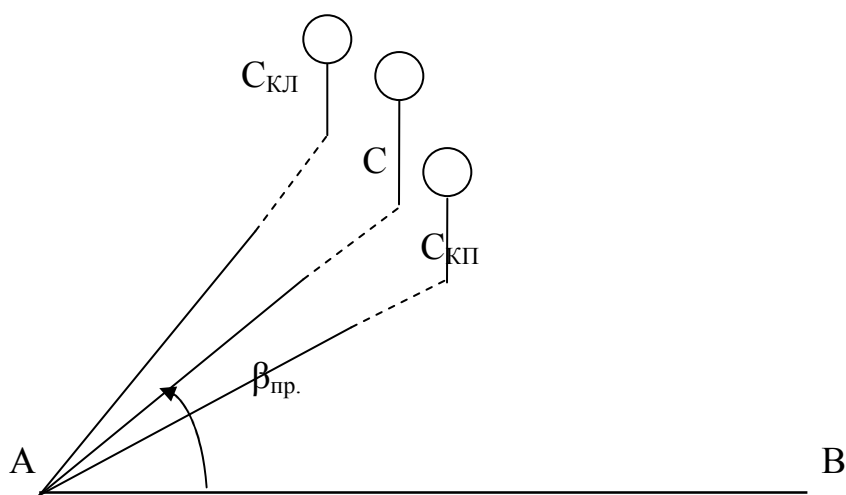


Рис. 85. Построение на местности проектного угла

Если на местности необходимо построить угол с повышенной точностью (рис. 86), то поступают следующим образом.

1. При любом положении зрительной трубы откладывают проектный угол одним полуприемом и закрепляют точку  $C'$ . Полученный угол  $\beta'$  не точен, так как при его построении не учтена коллимационная ошибка и точность его построения соответствует точности отсчетного устройства применяемого теодолита.

2. Полученный угол  $\angle BAC'$  измеряют с повышенной (заданной) точностью несколькими приемами. Число приемов  $n$  рассчитывается, исходя из требуемой точности построения угла  $\beta$  и точности отсчитывания  $t$  угломерного прибора. Если принять среднюю квадратическую ошибку измерения угла одним полным приемом равной  $t$ , то средняя квадратическая ошибка угла, измеренного  $n$  приемами, будет:

$$M = \pm \frac{t}{\sqrt{n}} \text{ откуда } n = \frac{t^2}{M^2}.$$

3. Находят разность  $\Delta\beta = \beta' - \beta_{\text{пр}}$  между  $n$  раз измеренным и проектным углами.

4. Вычисляют величину смещения  $C'C = AC' \cdot \Delta\beta$ .

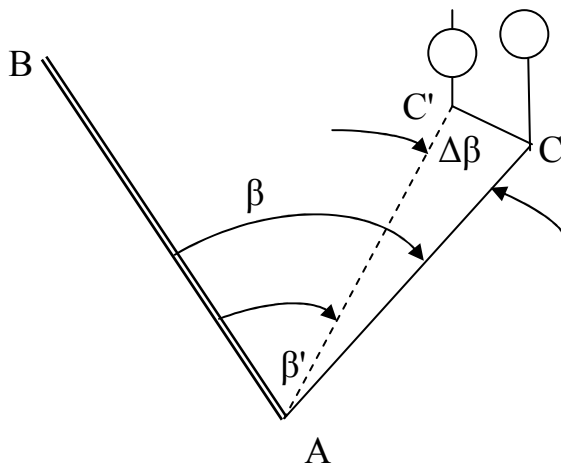


Рис. 86. Построение проектного угла с повышенной точностью

5. На перпендикуляре к  $AC'$  откладывают вычисленный отрезок  $CC'$  и получают искомую точку  $C$ , а следовательно, и угол, с требуемой точностью.

6. Построенный угол измеряют для контроля построения.

Для повышения точности построения углов в любом случае необходимо стремиться выбирать, возможно, более длинные расстояния  $AB$  и  $AC$ , а визирирование осуществлять на шпильки или гвозди, вбиваемые в колышки.

### 14.1.2. Перенесение в натуру линии заданной длины

На топографических планах все линии представляют собой проекцию на горизонтальную плоскость. Следовательно, любая проектная длина на генеральном плане выражается ее горизонтальным проложением. Местность, на которую переносят линию проектной длины, в подавляющем большинстве случаев наклонна. Кроме того, на точность работ влияют погрешности мерного прибора и условия измерений. Поэтому перенос линий заданной длины в натуру осуществляется с учетом указанных факторов.

От начальной точки А (рис. 87) в направлении точки В откладывают компарированной лентой или рулеткой проектное расстояние и отмечают его точкой В'. После этого измеряют температуру воздуха, угол наклона линии АВ' или превышение между точками А и В' и вычисляют поправки в длину.

Поправка за компарирование<sup>2</sup> вычисляется по формуле:

$$\Delta_K = n\delta_K,$$

$n$  – число лент, уложенных в данной длине,

$\delta_K$  – поправка за компарирование в одну ленту, то есть разница между длиной ленты и эталоном.

Обычно для каждого мерного прибора записывают его уравнение. Например, для двадцатиметровой ленты (20-0,006) м поправка будет  $\delta_K = -0,006$  м. Если лента короче эталона, то поправка вводится со знаком «минус», если длиннее – со знаком «плюс». При  $\Delta_K \leq 3$  мм она не вводится.

Поправка за температуру вводится в том случае, если температура воздуха во время измерений отличается более чем на  $8^\circ$  от температуры, при которой производилось компарирование. Вычисляется она по формуле:

$$\Delta_t = \alpha \cdot d \cdot (t_{\text{возд.}} - t_{\text{комп.}}),$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения материала, из которого сделан мерный прибор.

Поправку за наклон местности целесообразно вводить при углах наклона ее больших  $2^\circ$ . Если измерен угол наклона линии АВ', то поправку вычисляют по формуле:

$$\Delta_v = D - D \cos v = 2D \sin^2 \frac{v}{2}.$$

Если измерено превышение  $h$  между точками А и В', то применяют формулы:

$$\Delta_v = \frac{h^2}{2D} \text{ для } h \leq 1,5 \text{ м,}$$
$$\Delta_v = \frac{h^2}{2D} + \frac{h^4}{8D^3} \text{ для } h > 1,5 \text{ м.}$$

В обоих случаях принимают  $D \approx d$ . Поправка за наклон вводится последней и всегда со знаком «плюс», так как наклонная длина всегда больше всего горизонтального проложения.

<sup>2</sup> Под компарированием понимают сравнение мерного прибора (ленты, рулетки), которым производят измерение в настоящий момент, с эталоном.



Таким образом, с учетом всех поправок на местности будет отложена линия длиной (рис. 87)

$$D = d \pm \Delta_K \pm \Delta_t + \Delta_v,$$

горизонтальное проложение которой будет равно проектной длине  $d$ , полученной по генеральному плану.

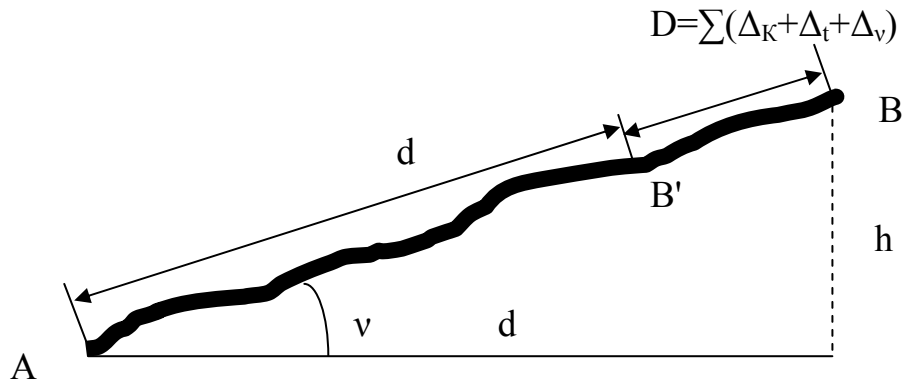


Рис. 87. Схема перенесения в натуру линии заданной длины

### 14.1.3. Перенесение в натуру проектных точек в плане

Для решения этой задачи существует несколько способов, применяемых в зависимости от требуемой точности и местных условий.

Способ перпендикуляров относительно сторон строительной сетки<sup>3</sup> основан на том, что имея координаты проектной точки (например, А или В на рис. 88) в системе строительной сетки, вычисляют, а затем откладывают на местности отрезки  $\Delta x_A$ ,  $\Delta y_A$  или  $\Delta x_B$ ,  $\Delta y_B$ , получая тем самым положение проектных точек А или В (рис. 89). При выносе проектных длин отрезков учитываются все поправки, рассмотренные выше.

При значительном удалении проектных точек от точек геодезической опоры или строительной сетки применяется способ угловых засечек. Для этого на плане и на местности необходимо иметь как минимум две опорные точки, с которых известны направления на определяемую точку. На рисунке видно, что для получения проектной точки С в натуре использованы горизонтальные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  соответственно при опорных точках А и В. Порядок построения этих углов уже был рассмотрен. Положение искомой точки получают в пересечении бечевок или тросиков, протянутых по направлениям, полученным в результате откладывания углов. Для повышения точности разбивки необходимо определять положение точки тремя и более засечками.

<sup>3</sup> Более детально вопрос о строительной сетке рассмотрен в следующем разделе.

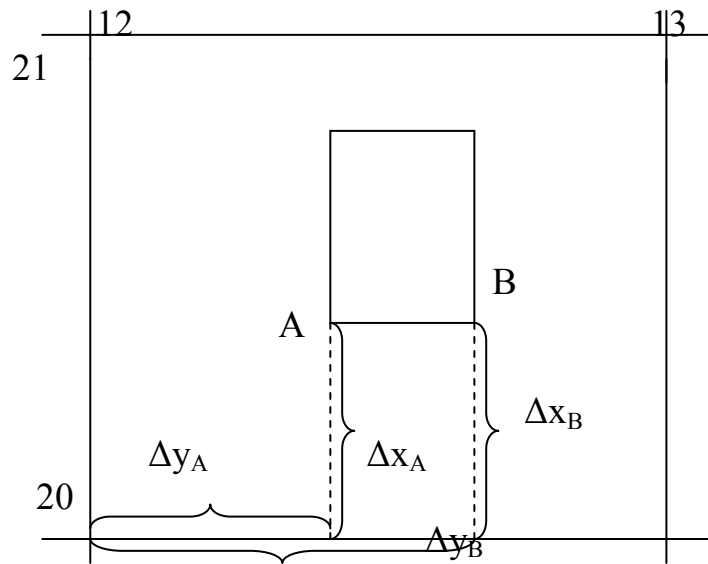
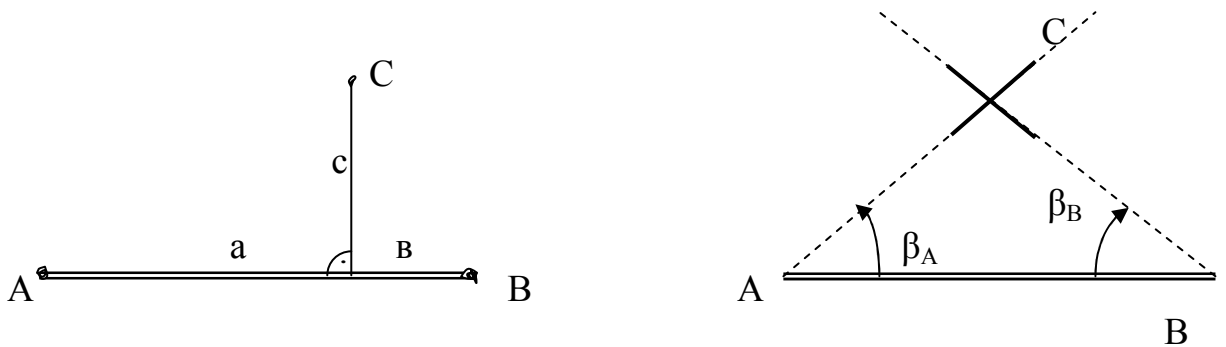


Рис. 88. Способ прямоугольных координат (перпендикуляров)



прямоугольных координат

угловых засечек

линейных засечек

полярных координат

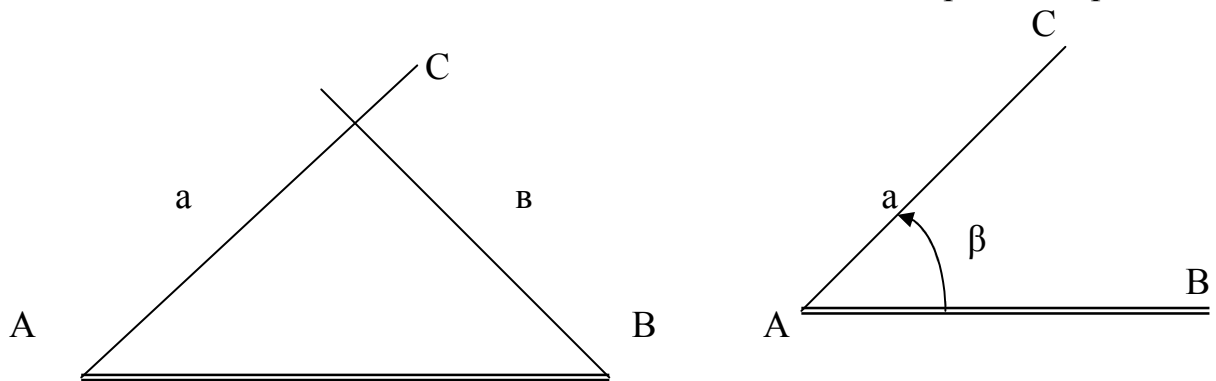


Рис. 89. Способы разбивки проектных точек в плане

Способ линейных засечек применяется при коротких расстояниях, не превышающих длину мерного прибора, между проектными и опорными точками. В этом случае два исполнителя удерживают концы двух лент или рулонок нулевыми делениями над точками А и В, а третий, отложив на одной ленте про-

ектный отрезок  $a$ , на другой  $b$ , соединяет концы этих отрезков вместе, хорошо натягивает ленты и отмечает на местности искомую точку  $C$ . Для повышения точности используют линейную засечку с трех и более опорных пунктов.

Полярный способ (рис. 89) выноса точек в натуру является наиболее маневренным и потому наиболее используемым.

Проектная точка получается на местности после построения горизонтального угла  $\beta$  относительно известной линии  $AB$  и откладывания проектной длины  $a$  вдоль полученного направления.

В случае большой застроенности участка и невозможности использования геодезической опоры применяют способ перпендикуляров от постоянных предметов и капитальных сооружений на местности, имеющих также на генеральном плане (рис. 90). Этот способ отличается простотой и быстротой, но недостаточно точен.

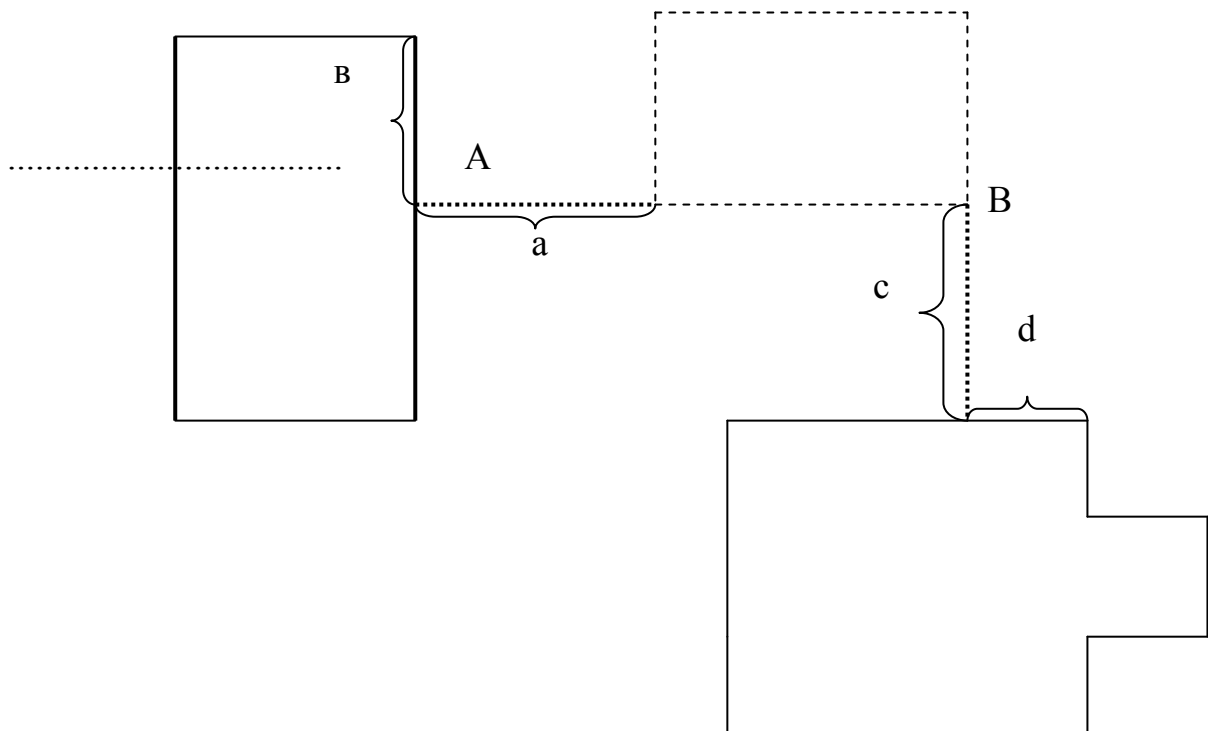


Рис. 90. Применение способа перпендикуляров на застроенной территории

## 14.2. Вынесение на местность проектных точек, линий и плоскостей по высоте

### 14.2.1 Перенесение на местность точек с заданной отметкой

Вынос нулевого горизонта (раздел 14.4.6).

### 14.2.2 Разбивка в натуре линии заданного уклона

Эту задачу можно решить при помощи нивелира. Рассмотрим два способа: разбивка горизонтальным и наклонным лучом визирования.

В случае с горизонтальным лучом визирования (рис. 91) производят отсчет  $a_0$  по рейке, установленной в начальной точке прямой, вынесенной в натуру описанным выше способом. По величине проектного (заданного) уклона  $i_{пр.}$ , расстояниям  $d_1$  и  $d_2 \dots$  от промежуточных точек до начальной и по начальному отсчету вычисляют отсчеты, которые должны быть установлены на рейке:

$$a_1 = a_0 + id_1$$

$$a_2 = a_0 + id_2$$

.....

Закрепив промежуточные точки высокими колышками, забивают их до тех пор, пока в зрительную трубу нивелира не увидим отсчеты  $a_1, a_2 \dots$  по рейке на соответствующих точках. Линия, проходящая по верху колышков, будет иметь заданный уклон.

Если на местности вынесены начальная и конечная точки линии с заданным уклоном, то для получения промежуточных точек можно использовать наклонный луч визирования (рис. 92). Нивелир устанавливают посередине между точками А и В таким образом, чтобы направление его двух подъемных винтов было параллельно линии АВ. Приводят визирную ось зрительной трубы в

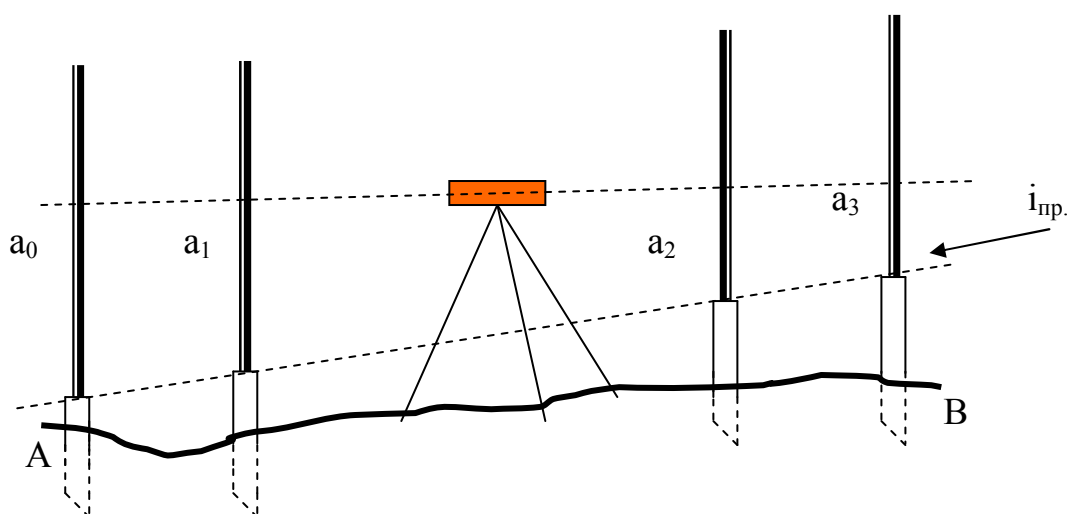
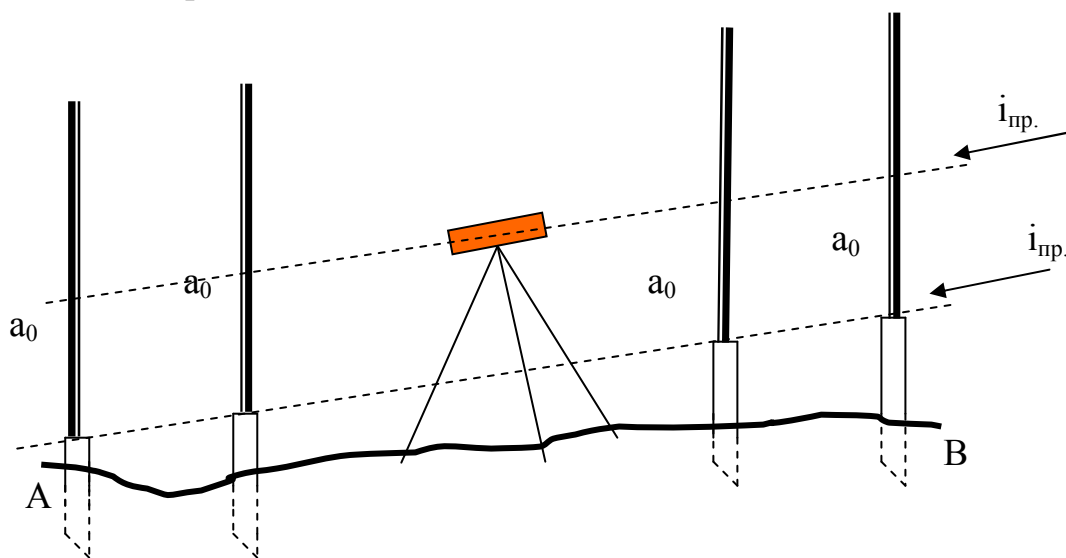


Рис. 91. Разбивка горизонтальным лучом визирования

строго горизонтальное положение, а затем подъемными винтами, направленными вдоль линии АВ, наклоняют трубу до тех пор, пока отсчеты по рейкам в точках А и В станут равными. В этом положении визирный луч параллелен проектной линии, имеющей заданный уклон. После этого забивают промежуточные колышки, отсчеты на которых должны быть равны отсчетам в точках А и В.

Эту же задачу можно решить с помощью визирок, если требования к точности невысоки. В точках А и В закрепляют постоянные визирки одинаковой

(проектной) высоты, а на промежуточные колышки устанавливают ходовую визирку такой же высоты и забивают колышки до положения, когда прорезь ходовой визирки окажется на линии, соединяющей прорези постоянных визирок, то есть на визирной линии.



*Рис. 92. Разбивка наклонным лучом визирования*

Если в натуре задается линия определенного уклона, для последующей отрывки траншей, каналов, кюветов с помощью землеройных машин, то задачу соблюдения проектного уклона дна можно автоматизировать. Например, используя лазерные приборы или электронно-оптический прибор управления лучом ПУЛ-3 (раздел 9.2). Этот прибор включает в себя два блока: передающий и приемный.

Передающий блок устанавливают в центре строительной площадки над точкой с известной высотой, а приемный – на рабочем органе землеройной машины (например, на ковше экскаватора).

Исследования показали, что применение этих приборов повышает производительность землеройных машин на 20-70%, сокращает в 2-3 раза нивелирные работы и обеспечивает точность соблюдения проектного уклона  $\pm 5$  см на расстоянии до 800 метров.

### **14.2.3. Построение на местности горизонтальной и наклонной плоскости**

Участок местности, подлежащий планировке, разбивают на квадраты со сторонами 10-20 м и вершины закрепляют колышками (рис. 93). Для построения горизонтальной плоскости выносят на местность одну точку с проектной отметкой, равной отметке плоскости. Затем устанавливают нивелир в середине участка (два подъемных винта по направлению одной диагонали участка, один - по другой) и горизонтальным лучом визируют на рейку, устанавливаемую поочередно в каждую вершину квадратов, и добиваются, чтобы отсчеты по ней были равны отсчету на исходной вынесенной точке. Если в камеральных условиях были вычислены рабочие отметки вершин квадратов, то построение проектной плоскости сводится к записи на каждом колышке соответствующей рабочей отметки.

Плоскость заданного уклона можно построить путем разбивки в натуре нескольких параллельных линий (профилей) с уклоном, равным заданному уклону плоскости. При этом каждая линия разбивается описанным выше способом. Начальные точки профилей должны быть заданы на генеральном плане.

Задать в натуре наклонную плоскость можно и с помощью наклонного луча визирования. В этом случае по проекту вертикальной планировки (РГР №3) определяют направление линии АВ с нулевым уклоном и переносят это направление на местность. Затем из любой точки С на прямой АВ восстанавливают перпендикуляр СД и устанавливают точку Д на такой отметке, чтобы уклон линии СД был равен проектному. В точке С устанавливают нивелир и вращением подъемного винта наклоняют зрительную трубу до тех пор, пока отсчет по установленной в точке Д рейке не станет равным высоте инструмента. В этом положении визирный луч будет параллелен линии СД и иметь проектный уклон. Отсчеты по рейке, установленной на забитые под проектную отметку колышки, во всех точках запроектированной наклонной плоскости будут одинаковыми и равными высоте инструмента. Количество вынесенных в натуру проектных точек может быть произвольным.

Следует отметить, что работы, связанные с получением на местности точек, углов и линий в горизонтальной плоскости, называют работами по переносу в натуру проекта горизонтальной планировки. Все необходимые данные для расчетов и выноса берут с генерального плана.

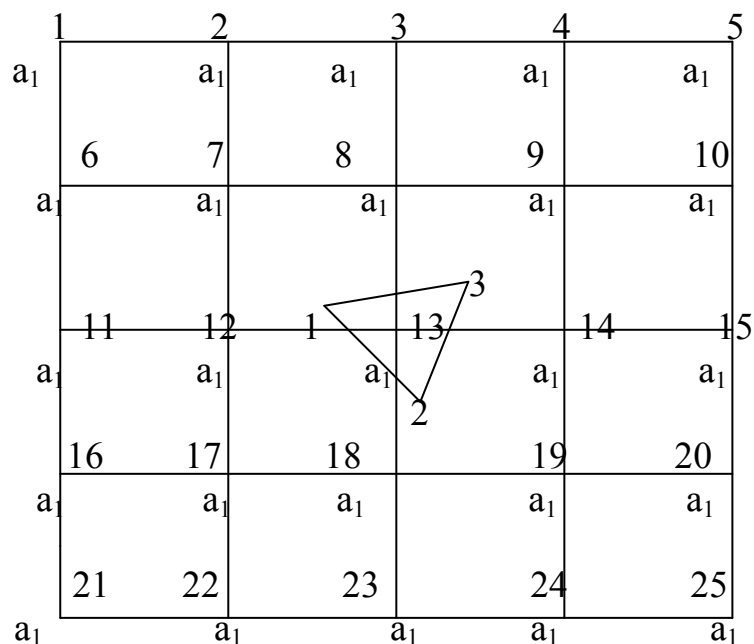


Рис. 93. Построение на местности горизонтальной плоскости

Работы, связанные с заданием на местности проектных точек, линий и плоскостей по высоте, называют выносом в натуру проекта вертикальной планировки. Необходимые данные получают с генерального плана и с проекта вертикальной планировки.

### 14.3. Развитие плановой и высотной геодезической основы на строительной площадке

В предыдущих разделах уже отмечалось, что плановым обоснованием геодезических съемок, по результатам которых составляют топографическую основу для генеральных планов в масштабах 1:500-1:5000, служат пункты триангуляции, полигонометрии и трилатерации. Высотным обоснованием служат марки и реперы нивелирной сети.

Для нормальных условий на 10 га предполагаемого участка строительства должен приходиться один пункт триангуляции или полигонометрии. На участках площадью до 50 км<sup>2</sup> плановой съемочной основой могут служить полигонометрические ходы повышенной точности и 1 разряда или аналитические сети соответствующей точности.

Затем от опорных точек развивают рабочее обоснование и производят съемки.

Высотная опорная сеть создается методами геометрического или тригонометрического нивелирования в зависимости от требуемой точности. Она подразделяется на основную и дополнительную. В качестве основной сети служат пункты нивелирования 2 и 3 классов, в качестве дополнительной – пункты 4 класса и технического нивелирования, а также нулевые точки<sup>4</sup>, отмечаемые на стенах зданий.

Наряду с понятием «съемочная опорная сеть» существует понятие «разбивочная опорная сеть». Все работы по переносу проекта в натуру называют разбивочными или просто разбивками.

Сеть пунктов, с которых производилась разбивка, называется разбивочной опорной сетью или основой. В зависимости от масштабов строительства, характера рельефа и ситуации, от назначения строительного объекта в качестве плановой разбивочной основы могут быть:

- строительная координатная сетка;
- пункты съемочного обоснования (городская полигонометрия, теодолитные ходы);
- угловые пункты красных линий кварталов, сгущаемых створными знаками;
- линии и пункты границ отвода земельного участка;
- существующие на местности здания и сооружения.

Густота пунктов разбивочной основы не всегда может быть равномерной из-за застроенности территории, рельефа и по другим причинам. Однако, учитывая, что геодезическая основа строится в виде сплошных сетей со средней длиной стороны 200 м, густота пунктов должна составлять примерно 1 пункт на 3 га площади.

В качестве высотной разбивочной основы используются пункты геодезического высотного обоснования съемок. Дополнительно закладываются рабочие реперы или марки, называемые строительными.

---

<sup>4</sup> Нулевая точка или нулевой горизонт это отметка чистого пола первого этажа, принимаемая за нулевую отметку для данного здания или сооружения.

### 14.3.1. Строительная сетка

Строительная сетка представляет собой сеть квадратов или прямоугольников со сторонами 400, 200 и 100 м, параллельными основным осям сооружения, проездам и красным линиям застройки. Для генерального плана строительная сетка служит системой координат и поэтому называется еще координатной сеткой. Все элементы генерального плана (оси, углы зданий и т.д.) определяются плоскими прямоугольными координатами в системе строительной координатной сетки. Вертикальная планировка осуществляется также от вершин квадратов или прямоугольников сетки, на которые передается отметка. Поэтому, чтобы перенести все элементы проекта в натуру, необходимо в натуре иметь такую же систему отсчета (координат), что и в проекте, т.е. на местности необходимо разбить строительную координатную сетку, в системе которой разработан генеральный план. В последующем эта сетка является основой разбивочных работ. Относительно нее разбивают главным образом основные оси зданий и сооружений. Создание строительной сетки весьма ответственный вид работ, который поручают высококвалифицированным геодезистам. Современное строительство требует точности построения сетки не ниже 1:10000 (точность полигонометрии 1 разряда), а высот вершин квадратов не ниже точности нивелирования 3 и 4 классов. Процесс создания строительной координатной сетки предполагает следующие последовательно выполняемые этапы:

1. проектирование;
2. предварительная разбивка сетки на местности;
3. определение координат пунктов предварительно разбитой на местности сетки;
4. корректирование (редуцирование); передача отметок на вершины квадратов строительной сетки.

Проектирование строительной сетки осуществляется на генеральном плане, выполненном на качественной топографической основе. При проектировании необходимо руководствоваться следующими требованиями:

1. линии сетки должны быть параллельны основным осям зданий и проходить настолько близко к контурам сооружений, чтобы обеспечивались максимальные удобства выполнения основных разбивочных работ;
2. основные возводимые здания должны размещаться по возможности внутри фигур сетки, чтобы не нарушать видимость вдоль линий сетки;
3. пункты строительной сетки должны быть размещены с расчетом долговечной сохранности максимального их числа, в зависимости от горизонтальной и вертикальной планировки строительной площадки;
4. расположение пунктов сетки должно обеспечивать удобство угловых и линейных измерений при разбивке их в натуре.

Предварительная разбивка строительной сетки ведется по принципу перехода от общего к частному, от более точного к менее точному. Для этого на генеральном плане выбирают основные точки и линии сетки, которые перено-



сят в натуру с наибольшей точностью. Затем путем решения обратных геодезических задач привязывают эти точки к пунктам съемочной геодезической основы, имеющейся на местности. С пунктов съемочной основы методом засечек выносят в натуру основные точки строительной сетки. Каждый пункт должен быть определен не менее чем 2-3 засечками.

От основных пунктов путем провешивания, линейных измерений и откладывания углов  $90^\circ$  строят все остальные фигуры строительной сетки, закрепляя вершины временными знаками в виде деревянных столбов 0,5-1,0 м, забиваемых почти вровень с землей.

Определение координат пунктов предварительно разбитой на местности сетки преследует цель – определить величину отклонения в положении пунктов местности от их проектного положения. Наиболее распространенным методом определения координат вершин сетки является метод полигонометрии.

Редуцирование (исправление) строительной сетки выполняется в процессе закладки постоянных знаков и заключается в смещении временных знаков по осям абсцисс и ординат на величину вычисленных разностей координат.

Передача абсолютных отметок на вершины фигур строительной сетки осуществляется в последнюю очередь. С этой целью по направлению ходов полигонометрии повышенной точности и 1 разряда прокладываются нивелирные ходы 3 класса, по остальным – 4 класса.

После этого сетка может быть использована для разбивочных работ. Как уже упоминалось, разбивка сооружений на местности относительно строительной сетки производится способом перпендикуляров. Величина перпендикуляров определяется обычно как разность координат выносимой в натуру точки и координат ближайшей вершины квадрата, в котором эта точка расположена.

#### **14.4. Разбивочные работы на строительной площадке в подготовительный период**

Подготовительный период строительства характеризуется рядом строительных работ: инженерная подготовка площадки – предварительная планировка, прокладка наружных инженерных сетей, устройство водостоков и дорог и общеплощадочные работы.

##### **14.4.1. Нулевой цикл строительства и геодезические работы**

Нулевой цикл строительства включает целый ряд строительных работ: разработка котлованов и траншей под фундамент, постройка фундаментов и стен подвальной части, монтаж надподвального перекрытия, устройство полов, прямиков и лестниц в подвале, отделка подвального помещения и образование в нем санитарно – технических и электрических устройств, укладка подкрановых путей и монтаж кранов.

Естественно, геодезические работы должны обеспечить надлежащий контроль при выполнении любого вида строительных работ. Первым видом геодезических работ при нулевом цикле является вынос в натуру осей зданий и сооружений.

Главные и основные оси переносят в натуру либо от пунктов строительной сетки (способом перпендикуляров), либо от пунктов съёмочного обоснования (способом засечек и полярным) и закрепляют на местности створными знаками по два с каждой стороны. В качестве створных знаков применяют монолиты с металлическими пластинками в верхней части. Створные знаки закладывают в местах, где обеспечивается их сохранность на весь период строительства.

Порядок получения в натуре и закрепления точек осей такой же, как и при разбивке строительной сетки.

От закрепленных на местности основных осей разбивают границы котлована.

Для удобства обслуживания работ нулевого цикла оси сооружений закрепляют на обноске, специальном ограждении. Ее назначение – фиксировать оси сооружения в процессе производства земляных работ, возведения фундамента и др. Обноска должна быть расположена не ближе 3-х метров к внешней бровке котлована.

Сплошная обноска закрепляется на вкопанных строго в створе столбах. Доски с помощью нивелира или плотницкого уровня крепят к ним таким образом, чтобы верхний край доски был горизонтален.

Обноска скамеечного типа устраивается не по всему контуру здания, а только в местах прохождения осей и применяется при строительстве небольших сооружений. Она крепится также на столбах, доски крепятся горизонтально.

Со створных знаков теодолитом оси переносят на горизонтальные доски и обозначают их гвоздями. Нити или проволоки, натянутые по соответственным гвоздям, будут представлять в натуре оси здания или сооружения. В точках пересечения проволок подвешивают отвесы и закрепляют точки, проектируя таким образом оси на дно неглубоких котлованов.

Инвентарная обноска отличается долговечностью и представляет собой забиваемые в грунт заостренные трубчатые якоря, несущие горизонтальные трубчатые штанги с передвигающимися по ним муфтами (рис. 98). На подвижных муфтах имеются риски, которыми обозначают в натуре оси.

#### **14.4.2. Разбивка криволинейных сооружений**

Для вынесения на местность контуров криволинейных очертаний можно использовать для менее ответственных сооружений различные способы детальной разбивки круговых кривых (способ прямоугольных координат, продолженных хорд, полярный, углов и др.). Для ответственных сооружений разбивают воробу.

### 14.4.2.1. Способ прямоугольных координат

Порядок разбивки данным способом следующий.

1. Задавшись длиной дуги  $S$  (расстояние между соседними точками разбивки), приняв нк или кк за начало координат, направление тангенсов на вершину угла за направление оси  $X$ , вычисляют координаты точек кривой по формулам, очевидным из рис. 94.

2. По  $\varphi$  и  $R$  определяют главные элементы кривой – Т (тангенс, касательная к кривой), Б (биссектриса), К (длина кривой), Д (домер).

3. Закрепляют главные точки кривой – нк, ск, кк.

Для этого от вершины угла при помощи рулетки по направлению к началу трассы откладывают  $T$ . Полученная точка является нк и закрепляется деревянным колышком. Затем откладывают  $T$  от ВУ по направлению на последующее направление трассы, получают таким образом кк, которую тоже закрепляют колышком. Внутренний угол при помощи теодолита делят пополам и на полученном направлении откладывают  $B$ , получают ск.

$\varphi$  – угол поворота трассы (в данном случае вправо); ВУ – вершина угла; нк – начало кривой; кк – конец кривой; ск – середина кривой. Эти точки называют главными точками кривой.  $R$  – радиус кривой.

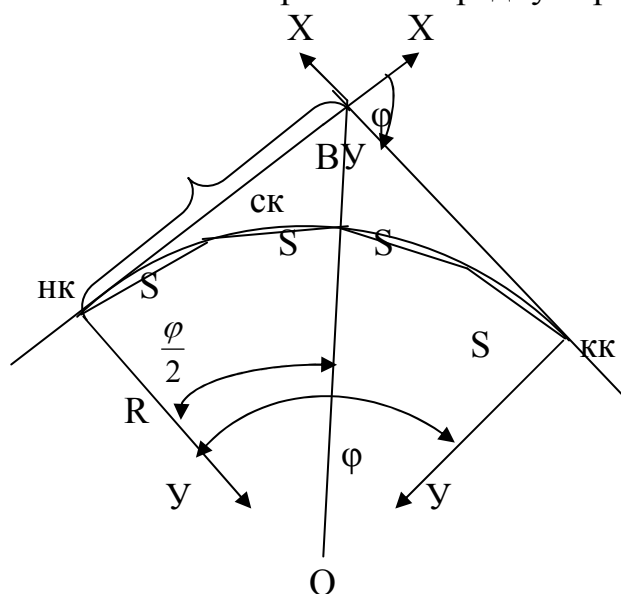


Рис. 94. Главные точки горизонтальной круговой кривой

$$y_1 = R - R \cdot \cos\beta = R \cdot (1 - \cos\beta) = 2R \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2}; \quad x_1 = R \cdot \sin\beta; \quad y_2 = 2R \cdot \sin^2\beta; \quad x_2 = R \cdot \sin 2\beta; \quad x_n = R \cdot \sin\beta$$

$$y_n = 2R \cdot \sin^2 \frac{n\beta}{2}; \quad \beta = \frac{S}{R} \rho, \quad \rho - \text{радиан, единица плоского угла} = 206265''.$$

Значения  $x_n$ ,  $y_n$  можно выбирать из таблиц для разбивки круговых кривых.

4. Вдоль тангенсов от нк и кк откладывают при помощи рулетки значения  $x_n$  по перпендикуляру  $y_n$  и закрепляют полученные точки колышками.



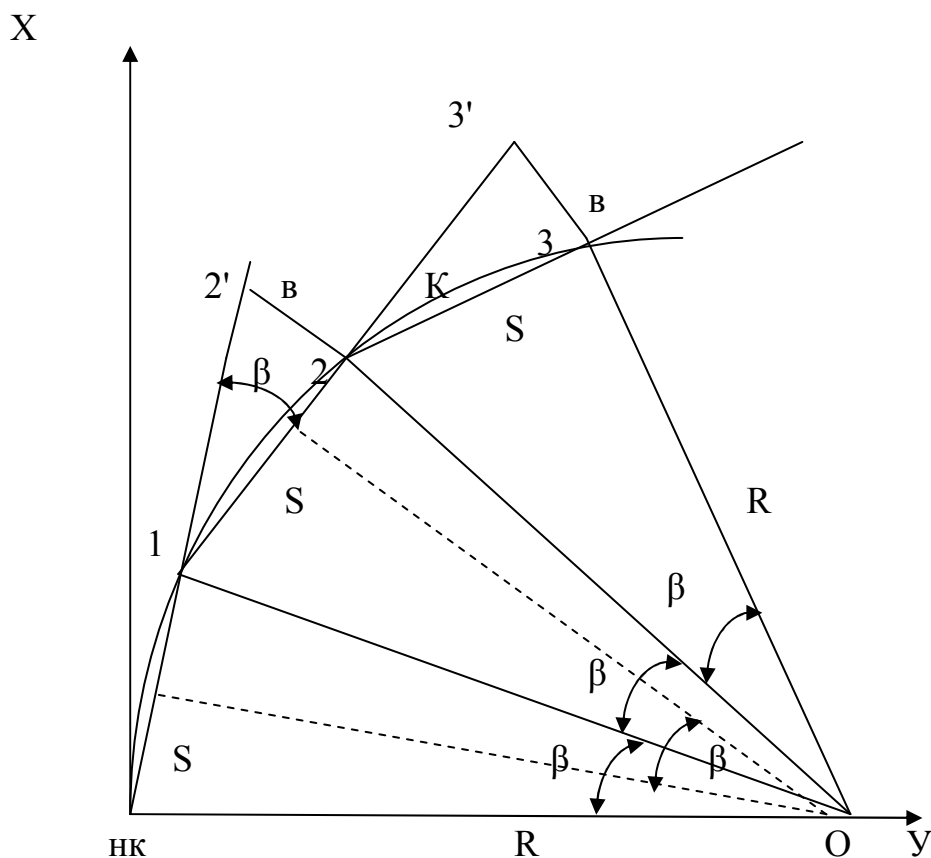


Рис. 96. Разбивка горизонтальной кривой способом продолженных хорд

Достоинство способа в том, что он применим на любой местности (косогоры, впадины и т.д.). Недостаток – с возрастанием длины кривой точность разбивки падает, так как положение последующей точки определяется относительно предыдущей. Происходит накопление ошибок.

#### 14.4.3 Передача проектной отметки на дно котлована

После обозначения в натуре осей здания и границ котлована начинаются земляные работы. Основной задачей геодезических работ в этот период является контроль за глубиной разработки котлована. Отметка дна котлована должна соответствовать проектной. Если котлован не глубокий, то контроль можно осуществлять с помощью нивелира и рейки относительно репера, расположенного вблизи строительной площадки.

По окончании земляных работ недобор грунта должен быть 10-15 см до проектной отметки. После производится зачистка дна и стенок котлована до проектного положения. Для зачистки дна котлована в него передают отметку, нивелируют дно по квадратам со сторонами со стороной 5-10 м, зачищают вручную или бульдозером и переносят на дно котлована продольные и поперечные оси фундаментов. Схема передачи отметки в котлован понятна из рисунка 97.

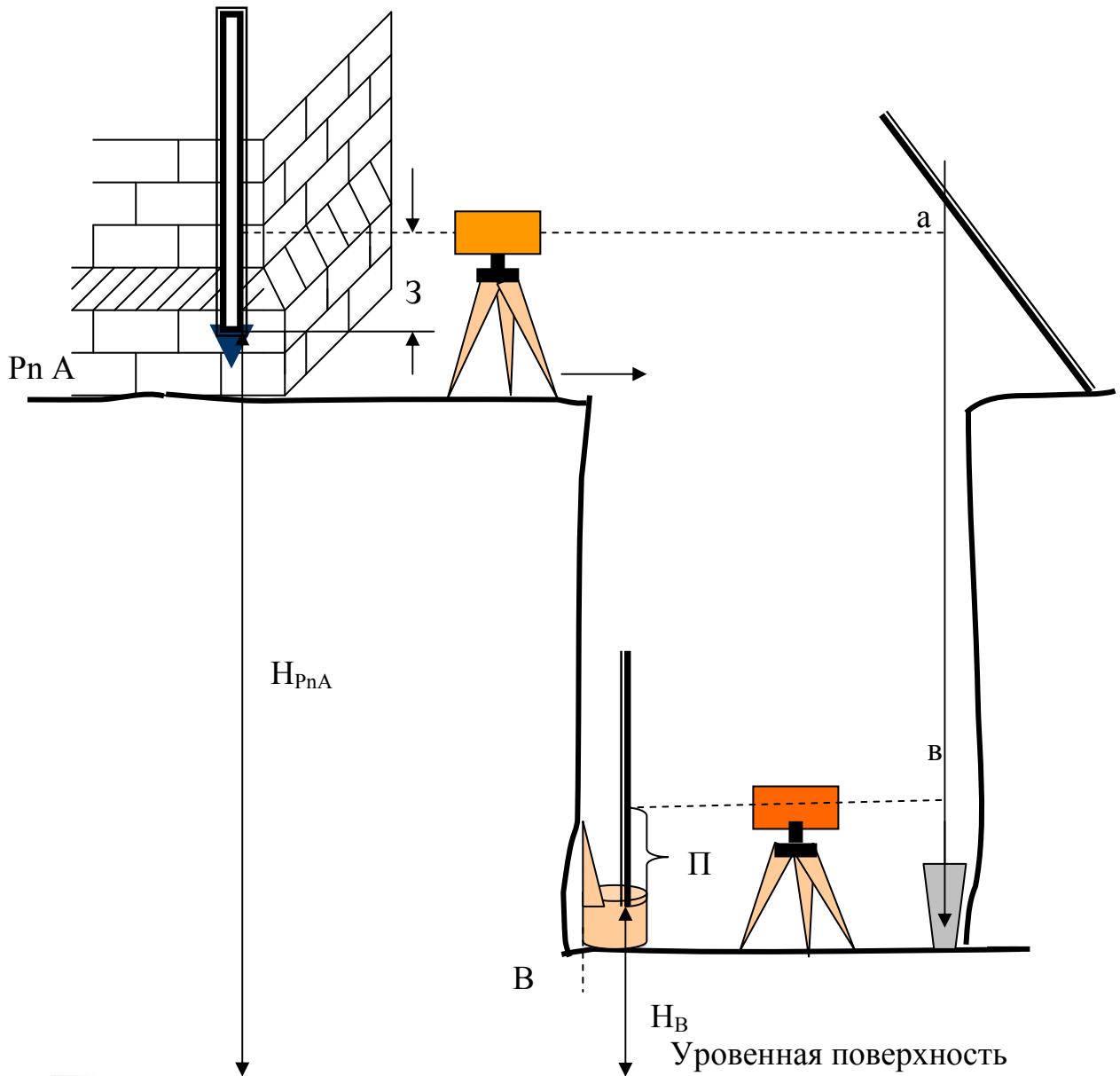
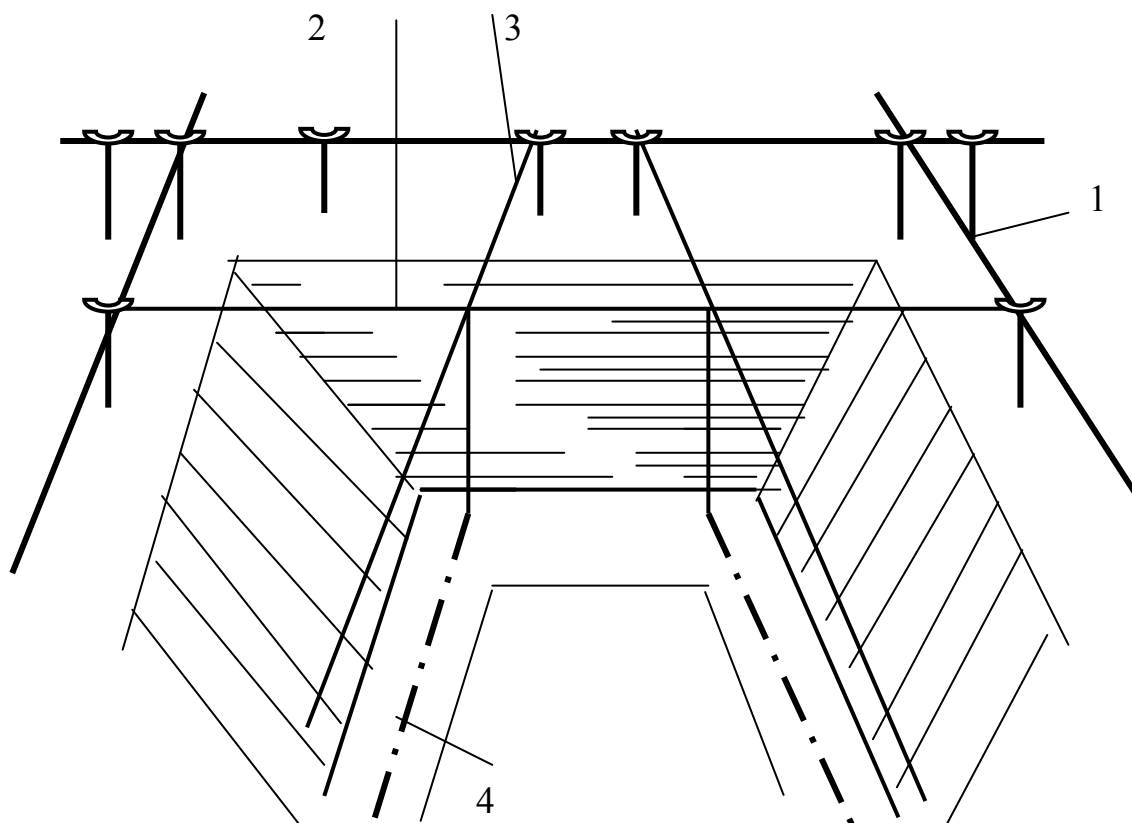


Рис.97. Схема передачи отметки на дно котлована

$H_B = H_{PnA} + З - (a - в) - П$ , где  $H_{PnA}$  – отметка исходного пункта А,  $H_B$  – иско-мая отметка пункта на дне котлована, З и П – соответственно отсчеты по зад-ней рейке наверху и по передней на дне котлована, а и в – отсчеты по рулетке.

Передача осей фундаментов осуществляется путем натягивания проволок по осевым меткам на обноске и проектирования отвесами точек пересечения (рис. 98). От угловых точек разбивают сам фундамент. Завершает земляные работы исполнительная съемка основных, дополнительных осей фундамента, очертаний dna котлована и нивелировка dna. Результаты съемки сравнивают с проектом.



*Рис. 98. Передача осей в котлован*

1 – обноска; 2, 3 – монтажная проволока; 4 – оси, спроектированные на дно котлована.

#### **14.4.4. Устройство фундамента**

Дальнейшие геодезические работы заключаются в устройстве фундамента. Сплошные и ленточные монолитные фундаменты начинают с устройства опалубки, изготовленной согласно проектным размерам фундамента. Сборка частей опалубки производится относительно перенесенных в котлован осей фундамента. По высоте опалубку устанавливают с помощью нивелира. Вертикальность стенок опалубки проверяется отвесом. После окончания бетонирования фундамента производят исполнительную съемку и на плане указывают величины отклонения от проекта в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Для выполнения дальнейших разбивочных работ в местах пересечения осей здания на фундаменте закладывают металлические пластинки  $100 \times 100$  мм и переносят на них теодолитом основные оси.

Если здание имеет подвальную часть, то одной из последующих задач геодезической службы является контроль за возведением стен подвала.

#### **14.4.5. Разбивочные работы при установке стальных и железобетонных колонн в проектное положение**

Геодезические работы при установке колонн начинаются с разбивки сетки колонн, то есть обозначения на местности осей колонн в плане (рис. 99). На

основе полученных осей устраивают фундаменты под колонны: подколонники с анкерными болтами для стальных и стаканы для железобетонных колонн.

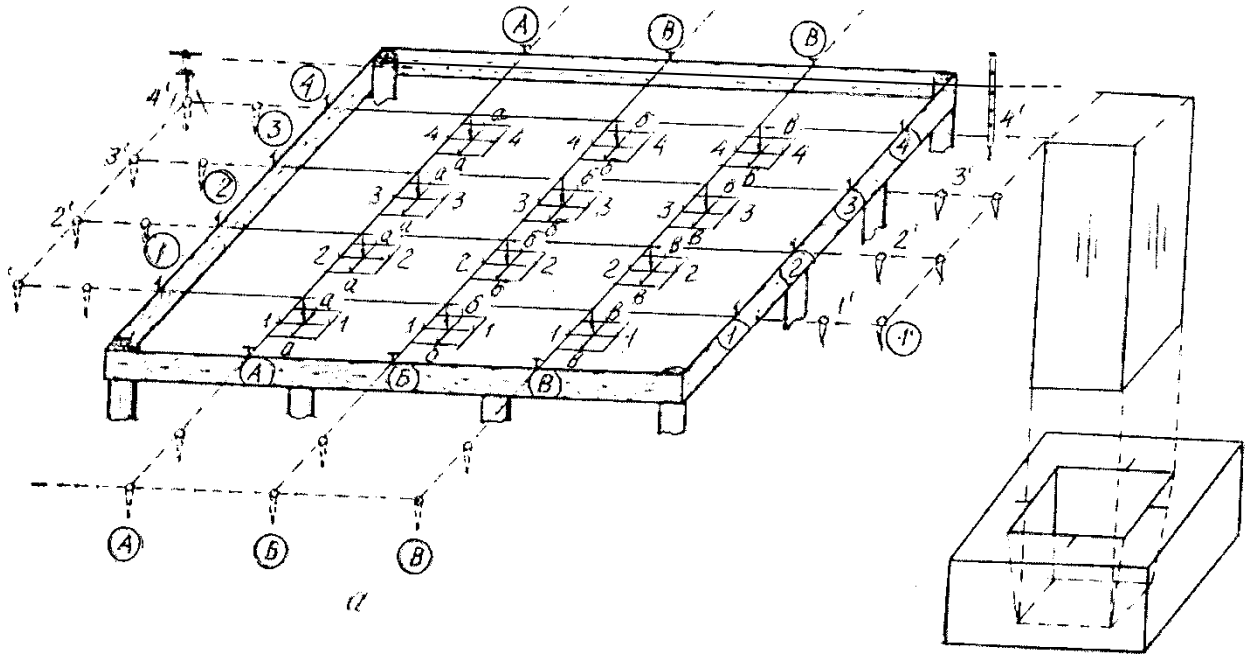


Рис. 99. Разбивка осей колонн

#### 14.4.6. Вынос нулевого горизонта

Последним видом геодезических работ при нулевом цикле строительства является вынос на цоколь здания продольных и поперечных осей и нулевого горизонта. Оси выносят с помощью теодолита со створных точек и обозначают вертикальными штрихами на цоколе. Поскольку стен первого этажа еще не существует, то отметку чистого пола первого этажа (нулевой горизонт) выносят также на цоколь, уменьшив ее на целое число десятков сантиметров, и закрепляют горизонтальным штрихом или стенной маркой (очень редко). Эту задачу легко понять из рис. 100.

Порядок выполнения задачи следующий:

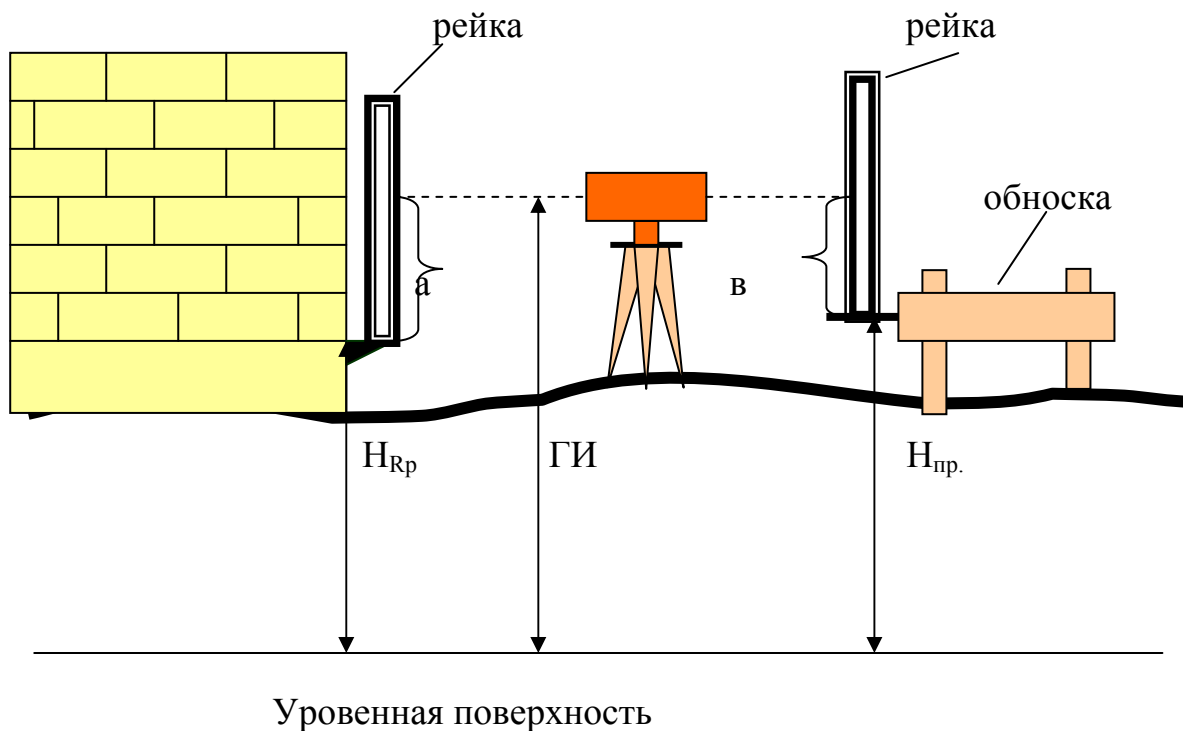
1. Устанавливают рейку на репер с известной высотой  $H_{Rp}$ , берут отсчет по черной стороне рейки  $a$ .

2. Вычисляют горизонт инструмента  $ГИ = H_{Rp} + a$  и проектный отсчет  $v = ГИ - H_{пр}$ .

3. По команде наблюдателя рейку перемещают по вертикали до тех пор, пока он не увидит проектный отсчет  $v$  по рейке.

4. Закрепляют пятку рейки горизонтальным штрихом или вбивают гвоздь.





*Рис. 100. Вынос на местность точки с проектной отметкой*

При выполнении геодезических работ в нулевой период обычно руководствуются следующими нормами точности для жилищного и гражданского строительства. Погрешность взаимного расположения осей не должна превышать  $\pm 2$  мм. Смещение осей фундамента в плане не допускается более 15 мм. Невертикальность стенок опалубки фундамента не должна быть более 2 мм на 1 м высоты. Допускается увеличение поперечных размеров опалубки не более 100 мм, уменьшение не допускается. Отклонение верхней плоскости фундамента от проекта допускается в пределах  $\pm 10$  мм. Точность выноса осей колонн относительно осей зданий должна быть  $\pm 5$  мм. Отклонения осей подстанников для железобетонных колонн должны обеспечивать неперменный зазор 1-1,5 см между колонной и стенкой стакана понизу.

Разбивка и контроль на строительной площадке осуществляется обычно на основе рабочих чертежей. Основными из них являются: 1. заглавный лист проекта; 2. план разбивки главных и основных осей; 3. план фундаментов; 4. план фундаментов под оборудование; 5. поэтажные планы; 6. вертикальные разрезы котлована, фундаментов, стен и т.д.; 7. монтажные чертежи промышленного и технического оборудования.

### **14.5. Надземный цикл строительства**

Все работы, связанные с возведением надземной части здания или сооружения, образуют надземный цикл. В состав работ надземного цикла входят:

1. монтаж наружных стен с установкой оконных и дверных проемов;

2. монтаж внутренних стен с установкой санитарно – технических, вентиляционных и дверных блоков;
3. монтаж лестниц, колонн, ригелей, прогонов, перегородок и других элементов зданий;
4. монтаж междуэтажных и чердачных перекрытий;
5. монтаж крыш и кровли;
6. монтаж лифтов, мусоропроводов, газопроводов и т.д.;
7. монтаж санитарно-технических приборов, электросети;
8. отделочные работы;
9. приведение в порядок и благоустройство территории.

#### **14.5.1. Установка стальных и железобетонных колонн**

Перед непосредственным монтажом колонн производится исполнительная съемка фундаментов. При этом контролируется положение осей, вынесенных на подколонники, плановое положение анкерных болтов, отметки анкерных болтов и дна стаканов. При монтаже сборных элементов здания и сооружений (выполняется операционный контроль их планового, высотного и вертикального положения относительно разбивочных осей и горизонтов) используются лазерные приборы вертикального проектирования.

Установка колонн в проектное положение сопровождается контролем за правильным расположением их по высоте, по осям и за вертикальностью.

Опорная поверхность каждой колонны должна находиться на определенной высоте. Для доводки опорной поверхности стальных колонн до проектной отметки применяются в основном три способа:

1. Бетонирование направляющих колонны на определенной высоте до ее установки. В этом случае фундамент бетонируют ниже проектной отметки, укладывают на нем с помощью нивелира направляющие закладные части (два швеллера, рельса или уголка) верхними срезами на проектной отметке, выравнивают и затирают бетоном поверхность фундамента на уровне верхних граней закладных частей.

2. Подливка фундамента во время установки колонны. Фундамент также бетонируют на 40-50 см ниже. При подъеме и установке колонны под нее подкладывают стальные подкладки, выверяют ее положение по осям и высоте, а затем подливают фундамент.

3. Бетонирование опорных стальных плит с тремя подъемными винтами.

На бетонированный на 50 мм ниже проектной отметки фундамент устанавливают опорную стальную плиту, с помощью подъемных винтов и нивелира доводят отметку поверхности плиты до проектной, крепят плиту анкерными болтами и бетонируют ее. На верхнюю часть плиты выносят оси колонны.

Положение железобетонных колонн по высоте контролируется чаще всего в процессе установки. С этой целью краном удерживают колонну в проектном положении, задаваемом нивелиром и рисккой на колонне, в стакане, отметка дна которого на 40-50 мм ниже проектной. Деревянными клиньями расклинивают ее, а после установки по осям и вертикали бетонируют.

В Швеции железобетонные колонны опираются на болт, устанавливаемый на дне стакана и легко регулируемый с помощью резьбы по высоте.

Контроль за правильностью расположения колонн по осям осуществляется по рискам, обозначающим оси на самих колоннах и на фундаментах. При монтаже риски на нижней части колонны совмещают с соответствующими осевыми рисками на подколонице. После установки колонны в вертикальное положение и верхние осевые риски (на оголовке) будут находиться в проектном положении.

Установка и стальных, и железобетонных колонн в вертикальное положение производится одинаково. Малоэтажные колонны устанавливаются обычно с помощью отвеса. Более высокие колонны в ответственных сооружениях контролируются с применением геодезических инструментов. Простейшим случаем является монтаж с помощью двух теодолитов, установленных с двух сторон колонны под углом около  $90^\circ$ . Каждым теодолитом проектируют верхнюю осевую риску колонны, находящуюся еще не в проектном положении, на уровень нижней риски, установленной в проектном положении, и определяют величину отклонения колонны в верхней части от вертикали. Краном выправляют колонну и повторяют проектирование верхней риски на уровень нижней. Для исключения коллимационной ошибки риски проектируют при двух положениях зрительной трубы теодолита: при КП и КЛ. Для контроля за вертикальностью возможно применение СГП-1, прибора Дроздова, лот – аппаратов и т.д.

Рассмотрим монтаж колонн при помощи лазерных приборов вертикального проектирования. При подготовке колонны к монтажу в верхней ее части закрепляют контрольную марку с диафрагмой, а в нижней – марку с координатной сеткой. Марки закрепляются по ориентирным рискам, нанесенным на гранях колонны. Допускается использовать марки с магнитным основанием.

Лазерный прибор вертикального проектирования устанавливается в рабочее положение на фундаменте и центрируется над ранее вынесенной в натуру точкой, расположенной на линии, параллельной разбивочной оси, примерно в 10-15 см от проектного положения соответствующей грани колонны. Затем, перемещая колонну, совмещают центры марок с центром проекции лазерного пучка.

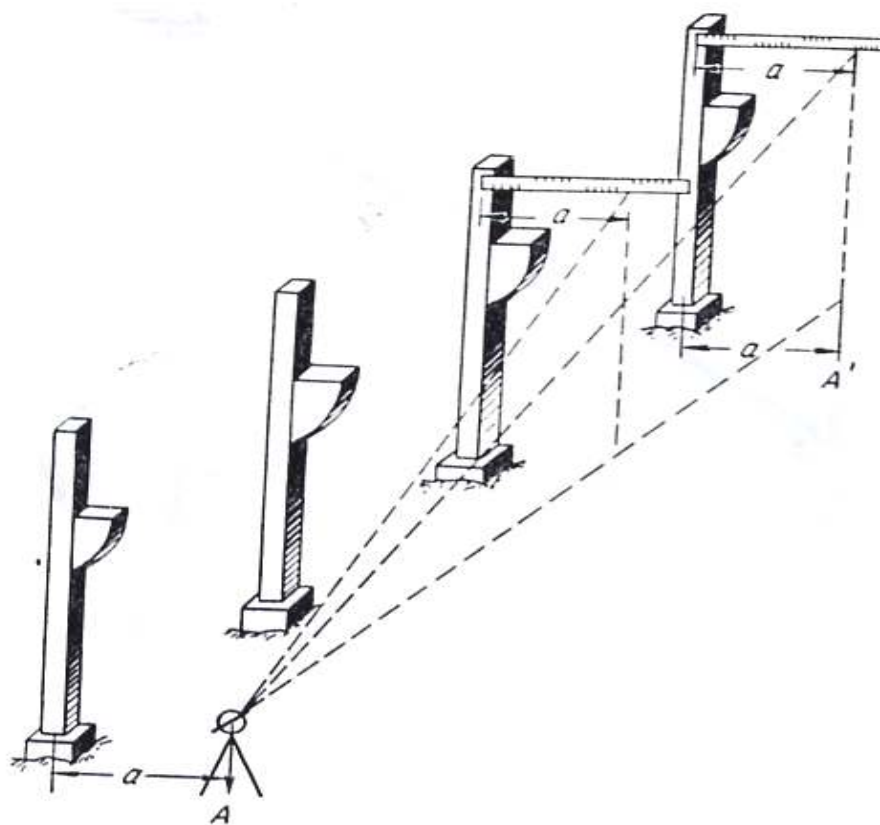
#### **14.5.2. Контроль за вертикальностью ряда колонн**

Вертикальность ряда колонн контролируется чаще всего теодолитом от линии, параллельной основной оси ряда колонн (рис. 101). Зрительной трубой, направленной параллельно оси ряда колонн, визируют на реечку или прибор Дроздова, укрепляемые в верхней части каждой колонны поочередно, и делают отсчет. Отсчет должен быть равен расстоянию между осью ряда и линией, на которой установлен теодолит.

При монтаже колонн отклонения от проекта не должны превышать следующих допусков:

- отклонение осей колонн в нижнем сечении относительно рисок разбивочных осей – 8 мм;

- отклонение осей колонн от рисок разбивочных осей в верхнем сечении соответственно при высоте колонн свыше 4 м до 8 м – 15 мм; - отклонение отметок опорных поверхностей фундаментов колонн от проектных – 3 мм (СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции»).



*Рис. 101. Контроль за вертикальностью ряда колонн способом бокового нивелирования*



*Рис. 102. Лазерный прибор вертикального проектирования SOKKIA LB-1*

Для контроля за *вертикальностью стен* существует множество способов и приборов. Простейшим способом является контроль с помощью подвешенного отвеса. Задать вертикальную прямую в натуре можно также с помощью лазерного луча (применялся при строительстве Останкинской телевизионной вышки) и луча визирования зрительных труб специальных приборов для вертикального визирования. Это, например, самоустанавливающийся геодезический прибор СГП-1, представляющий собой вертикальную шарнирно подвешенную в форме маятника зрительную трубу, лотаппараты и лазерные приборы вертикального проектирования (рис. 102). Лотаппараты – это специальные геодезические приборы, позволяющие визировать по вертикальной линии и тем самым проектировать точки снизу вверх или сверху вниз. Приборы для проектирования снизу вверх называют зенит – приборами, для проектирования сверху вниз – надирприборами. Основными составными частями их являются зрительная труба, дающая вертикальный луч, подставка зрительной трубы, подставка с подъемными винтами и точные цилиндрические установочные уровни. В связи с развитием и внедрением в геодезическое приборостроение компенсаторов в последнее время разработано несколько конструкций лотаппаратов с самоустанавливающейся линией визирования. После установки круглого уровня ось визирования этих инструментов устанавливается автоматически в вертикальное положение с высокой точностью (до  $\pm 0,2 - 0,3''$ ).

При контролировании вертикальности стен измеряют расстояние от стены до визирного луча лотаппарата путем взятия отсчета по горизонтальной рейке, приставляемой к стене на различной высоте.

Увеличение лотаппарата незначительно, поэтому с его помощью возможен вынос вертикальных линий не более 15-20 м с точностью 1-1,5 мм.

Точность выноса отвесных линий зенит-прибором составляет около 1 мм на высоту 100 м.

### **14.5.3. Передача осей на верхний монтажный горизонт**

После возведения первого этажа на него передают основные оси. Зрительной трубой теодолита, установленного над одной из створных точек (рис. 103),

визируют на вертикальную риску цоколя, обозначающую ось здания, и, наклоня зрительную трубу объективом вверх, проектируют ее на второй этаж. Переводят трубу через зенит и повторяют проектирование. Расстояние между двумя полученными проекциями делят пополам и проводят вертикальный индекс, который будет обозначать один конец основной оси.

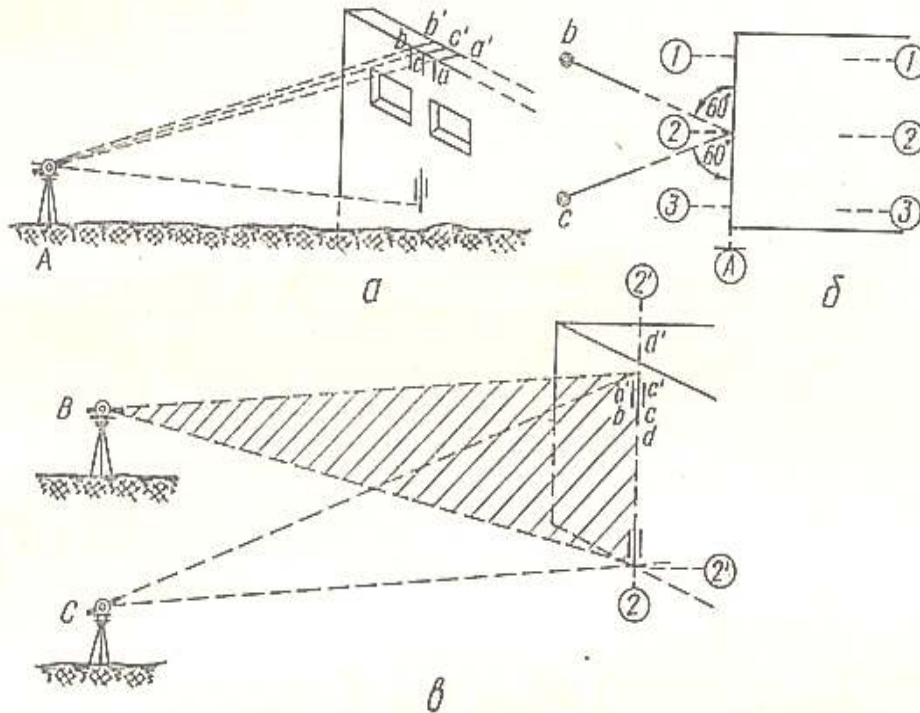


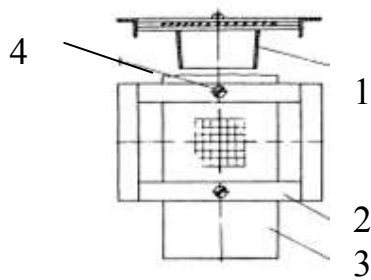
Рис.103. Передача осей на верхний монтажный горизонт

Переносить оси зданий снизу вверх можно также с помощью зенит – приборов и лазерных приборов вертикального проектирования.

Устройство визуального наблюдения (УВН) (рис. 104а) предназначается для проектирования на него лазерного излучения ЛЗЦВ и наблюдения его проекции на монтажном горизонте. Оно представляет собой плоскую металлическую раму с пазами и конусообразным тубусом, закрепленным к ее нижней поверхности. В пазах рамы располагается плексигласовая пластина (палетка), имеющая две степени свободы. Рама с помощью конусообразного тубуса фиксируется в рабочих (круглых) проемах над ЛЗЦВ.

Палетка представляет собой пластину размером 120×120 мм из листового оргстекла, верхняя поверхность, которой матируется. На палетке нанесены две взаимно перпендикулярные линии и параллельно им через 5 мм ряд вспомогательных линий для отсчета положения центра лазерного пятна. Палетка свободно перемещается в пазах рамы. После начальной выставки, когда центр пятна совпадает с центром перекрытия палетки, ее положение фиксируется с помощью стопорных винтов рамы.

а)



б)

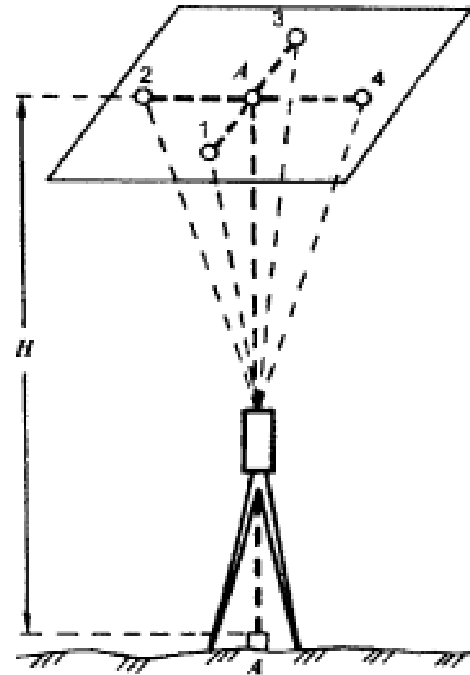


Рис. 104.

а) Устройство визуального наблюдения проекции лазерного луча ЛЗЦВ

1 – конический тубус; 2 – металлическая рама; 3 – плексигласовая палетка;  
4 – стопорный винт;

б) схема построения отвесной линии оптическим прибором вертикального проектирования ПВП

На рис. 104б:

- устанавливают прибор над данной точкой (зенит-прибор с помощью оптического отвеса, а для установки лотаппарата поворотной призмой визирную ось направляют вниз);

- на монтажном горизонте над прибором укрепляют прозрачную пластину (при необходимости для этого в перекрытиях делают отверстия);

- визируют вверх (ось лотаппарата направляют вверх поворотной призмой) и на пластине отмечают карандашом или иглой пересечение нитей каждый раз при повороте зрительной трубы на  $90^\circ$  (4 положения), в результате чего получают на пластине 4 проекции точки, над которой поставлен прибор;

- соединяют прямыми линиями противоположные проекции и на пересечении получают окончательное положение проекции нижней точки на пластине;

- закрепляют проекцию выносками, по которым она восстанавливается в необходимых случаях.

Перед укладыванием перекрытия нивелируют стены через 5 м.

На уложенное перекрытие передают отметку от нулевого горизонта или репера. Порядок передачи отметки такой же, как и при передаче в котлован. Абсолютная отметка вычисляется по формуле:

$$H_3 = H_0 + 3 + (a - b) - П.$$

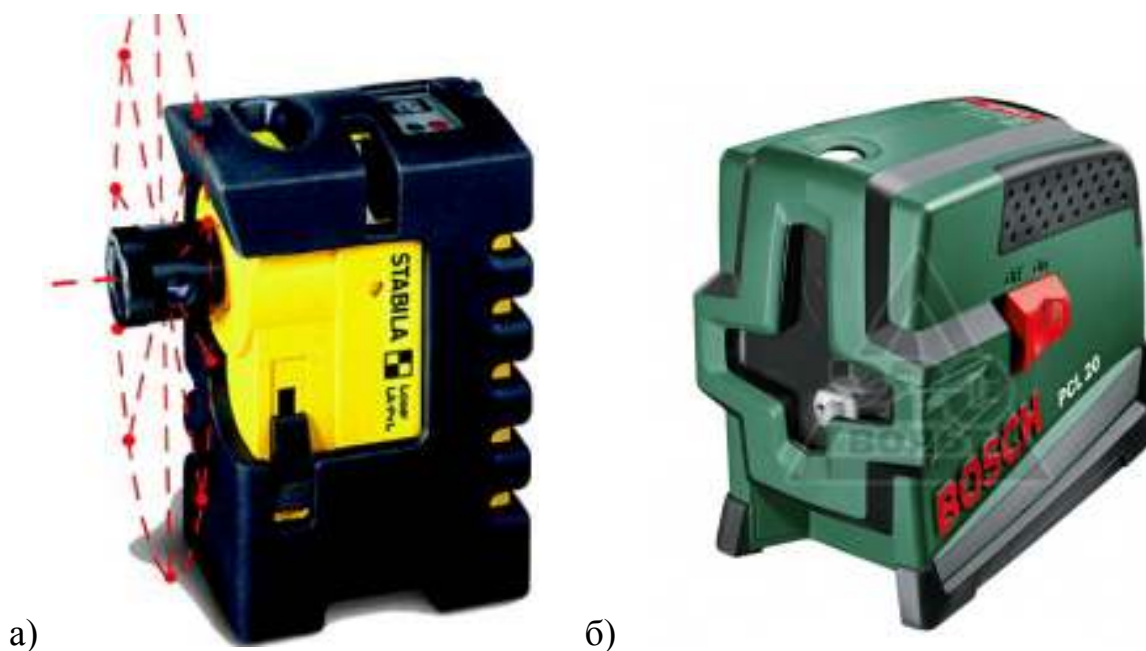
Следует помнить, что при сооружении ответственных объектов в процессе передачи отметки по этажам или в котлован отсчеты по рулетке необходимо исправлять за ее растяжение от подвешенного груза, от собственного веса и за температуру.

При менее ответственных сооружениях передавать отметку на этаж можно простым промером рулеткой от нулевого горизонта по стене.

После передачи отметки на этаж производится нивелирование перекрытия по квадратам со стороной 3 или 5 м.

Внутреннее оборудование монтируется относительно нулевого горизонта и осей здания, имеющих с внутренней стороны стен.

Для контроля поверхности при выполнении отделочных работ, при установке панелей, монтаже решеток для подвесных потолков, для контроля положения фундамента, задания «нулевого» уровня для полов, выравнивания стен и т.п. применяют построитель лазерных плоскостей, задающий видимые опорные плоскости на расстоянии до 30-50 м. Такие лазерные приборы обычно служат для создания двух или трех видимых ортогональных лазерных плоскостей, относительно которых выполняют соответствующие измерения (рис. 105).



*Рис. 105. Лазерные нивелиры: б) двухплоскостной, СКО 5 мм на 10 м*

#### **14.5.4. Исполнительные съемки**

На заключительном этапе строительного процесса выполняют исполнительные съемки с целью оценки фактического положения вновь построенных сооружений, их элементов, формы, размеров и их соответствия проектным данным.



В процессе строительства и после него ведут учет выполненных работ. Для определения положения в плане и по высоте возводимых сооружений и их частей производят специальные геодезические измерения, совокупность которых называют исполнительной съемкой.

Исполнительной съемке подлежат не все части сооружений, а только те, от которых зависит прочность, устойчивость сооружений, точность монтажа, а также последующие условия эксплуатации. Обычно в проекте производства работ устанавливают перечень тех частей сооружения, которые подлежат исполнительной съемке. Работу по производству исполнительных съемок выполняет заказчик, либо по его заданию – проектная организация, разработавшая проект данного строительного объекта.

При проверке качества возведения тех частей сооружения, которые в процессе последующих строительных работ будут перекрыты другими частями и элементами, производят промежуточные исполнительные съемки с подготовкой необходимой отчетной документации (планы, профили и т.д.).

Исполнительные съемки производят с использованием геодезической разбивочной основы строительства. Геодезический контроль осуществляют измерением превышений, расстояний, углов относительно опорных осей и точек с записью результатов в специальные ведомости или на магнитные носители информации. В результате выполненных контрольных геодезических работ и исполнительных съемок устанавливают все отклонения построенного сооружения от проекта, намечают пути их устранения, принимают решение о продолжении последующих строительных работ, либо осуществляют приемку законченного объекта с соответствующей оценкой качества строительства.

Погрешность измерений при исполнительных съемках допускается не более 0,2 величины отклонений, допускаемых строительными нормами и правилами, государственными стандартами или проектной документацией.

По результатам исполнительной съемки составляют исполнительный генеральный план, отмечая на нем все отклонения от проекта. Исполнительный генеральный план служит основным документом при приемке законченного объекта, а также используется при последующей его эксплуатации и реконструкции.

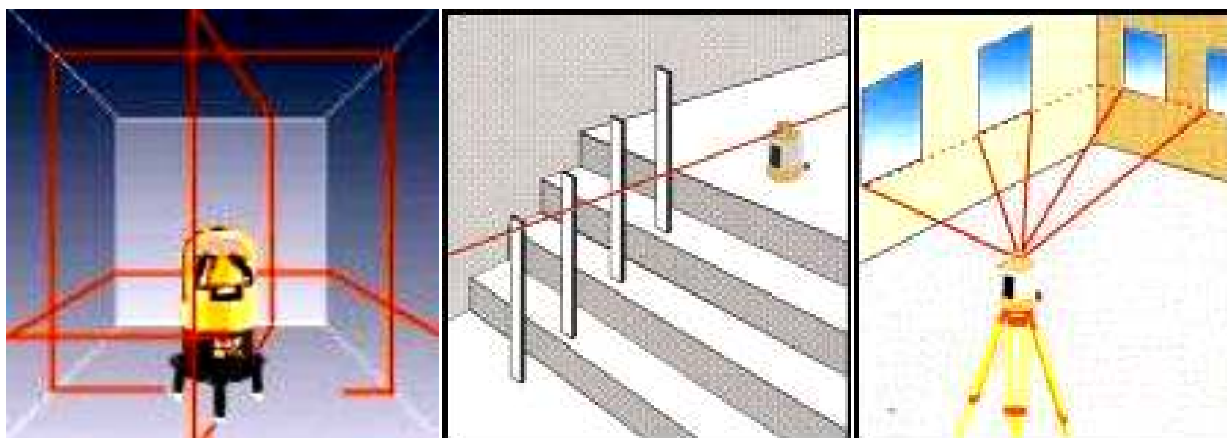


Рис. 106

## 15. Наблюдения за осадками и деформациями зданий и сооружений

### 15.1. Причины деформаций оснований сооружений

На стадии эксплуатации необходимы геодезические наблюдения за осадками и деформациями сооружения. Деформации происходят из-за перемещения частиц грунта в горизонтальной и вертикальной плоскостях и подразделяются на две группы.

*Общие причины:*

- а) способность грунтов к упругим и пластическим деформациям под влиянием нагрузки (просадки, оползни, карсты и др.);
- б) неоднородное геологическое строение основания, приводящее к неравномерному сжатию и перемещению грунтов под воздействием веса сооружения;
- в) пучение при замерзании водонасыщенных и оттаивание мерзлых льдонасыщенных грунтов;
- г) изменение гидротермических условий, связанных с сезонными и многолетними колебаниями температуры и уровня грунтовых вод.

*Частные причины:*

- а) землетрясения;
- б) неправильная планировка участка, плохой дренаж атмосферных и пагодковых вод;
- в) неточности инженерно – геологических и гидрогеологических изысканий;
- г) ослабление оснований подземными разработками (шахты, метро и др.);
- д) возведение поблизости новых крупных сооружений;
- е) неравномерное распределение давления сооружения по подошве фундамента (ступенчатые, надфундаментные конструкции);
- ж) вибрация фундаментов, вызываемая работой всевозможных машин и механизмов или движением транспорта;
- з) форма, размеры и конструктивная жесткость фундамента.

### 15.2. Классификация деформаций оснований и сооружений

По вышеизложенным причинам в результате смещения частиц грунта смещаются и части сооружений и их фундаментов. Общая конструкция претерпевает изменение формы, то есть деформации. Если принять начальное (проектное) положение плоскости фундамента за исходное, то в результате ранее указанных факторов эта плоскость будет представлять деформированную поверхность. Ее точки могут перемещаться вверх, вниз и в сторону. Эти перемещения называют соответственно *осадкой*, *подъемом* и *сдвигом*.

*Осадки* – характеризуются (математически) величиной перпендикуляров, опущенных с начальной горизонтальной плоскости фундамента до пересечения с деформируемой поверхностью. Если эти перпендикуляры равны, то осадки называются *равномерными* – они не снижают прочности и устойчивости сооружений, но могут быть опасными (накопление грунтовых вод в подвале, нарушение инженерных сетей и др.). Если перпендикуляры не равны, то

осадки – *неравномерные*. Это наиболее опасные осадки. Они приводят к различным деформациям сооружений или его частей (поломка лифта, перенапряжения в несущих конструкциях, трещины и т.д.). Опасность тем больше, чем значительнее разность осадок и чем чувствительнее конструкция.

*Подъем* – математически характеризуется как и осадка, но имеет противоположный знак.

*Сдвиг* – математически характеризуется радиусами-векторами перемещения точек фундамента (основания) в горизонтальной плоскости.

В результате осадки, подъема или сдвига могут наступить следующие деформации здания:

а) осадка или подъем всего здания (всех его частей) только в вертикальной плоскости на одинаковую величину (равномерные осадки);

б) перемещение всего здания в горизонтальной плоскости без поворота или с поворотом вокруг вертикальной оси;

в) перекос конструкций (для относительно жестких зданий), измеряемый максимальной разностью неравномерных осадок двух соседних опор, отнесенной к расстоянию между ними;

г) крен (для абсолютно жестких зданий и сооружений) – наклон или поворот основных плоскостей всего сооружения в результате неравномерных осадок без нарушения его цельности и геометрических форм, выражаемые в угловой, линейной или относительной мере (различают крен вертикальных сооружений и крен фундаментов);

д) относительный прогиб (или перегиб) – частное от деления величины стрелы прогиба на длину изогнувшейся части здания или сооружения;

е) кручение здания или сооружения – поворот его параллельных поперечных сечений вокруг продольной оси в разные стороны и на разные углы;

ж) трещины – разрывы в отдельных конструкциях сооружений, возникающие в результате неравномерных осадок и дополнительных напряжений.

Таким образом, осадка, подъем и сдвиг являются источниками всех деформаций. Зная их, можно определять и прогнозировать возможные деформации, а следовательно и предотвращать их. Поэтому важно знать методы этих видов перемещений точек сооружений.

### **15.3. Методы и точность измерений осадок и деформаций**

Наряду с определением величин осадок и деформаций проводят физико-механические наблюдения (свойства грунтов, измерение напряжений и температуры фундамента, колебаний уровня грунтовых вод и т.д.). Геодезические и другие измерения должны быть тесно связаны для выявления причин и закономерностей осадок и деформаций.

*Негеодезические* измерения дают величину относительной осадки или деформации, приборы устанавливаются на сооружении и перемещаются вместе с ним (отвесы, клинометры, щелемеры, микрокренометры, и др.).

*Геодезические* измерения позволяют определить и относительную, и абсолютную величину вертикальных и горизонтальных перемещений сооружений

по отношению к неподвижным знакам, устанавливаемым на некотором расстоянии от сооружения.

Существует несколько геодезических методов измерений перемещений точек:

а) геометрическое нивелирование 1, 2, 3 классов – измерение вертикальных смещений точек;

б) гидростатическое нивелирование – вертикальное смещение труднодоступных точек, расположенных приблизительно на одной высоте;

в) тригонометрическое нивелирование – измерение вертикальных смещений отдаленных и труднодоступных точек;

г) угловые засечки – измерение смещений точек в горизонтальной плоскости;

д) фотограмметрические методы – определение смещений точек в вертикальной и горизонтальной плоскости путем измерения на стереоприборах фотоснимков осадочных марок на сооружении.

Геодезические осадочные знаки делают специальной формы и располагают их вне зоны влияния осадок и деформаций и с учетом специальных требований. Приборы для измерений необходимо выбирать с учетом требуемой точности (современные приборы позволяют определять осадки с точностью до 0,01 мм).

Точность работ определяется чувствительностью конструкции к осадкам, скоростью осадок, значимостью сооружения. Точность определения осадок  $\pm 1$  мм является достаточной, так как расчет конструкций производится с точностью до миллиметра.

#### **15.4. Организация наблюдений за осадками методом геометрического нивелирования**

Метод геометрического нивелирования является наиболее точным, удобным и распространенным. Наблюдения осуществляются с помощью высокоточных нивелиров: Н 05; Ni 005А и др. и инварных реек относительно неподвижных геодезических знаков. В качестве последних служат глубинные реперы различных конструкций, закладываемые на глубину до коренных пород.

Для этих же целей используют лазерные приборы. Их преимущество – возможность полной автоматизации процесса измерений с непрерывной регистрацией результатов. В комплект аппаратуры входит лазерный нивелир с самоустанавливающейся линией визирования, нивелирные рейки с фотоэлементами, включенными в полярную схему. Фотоприемное устройство отслеживает положение лазерного пучка. При неравномерном освещении фотоэлементов вырабатывается управляющее напряжение, которое подается на электродвигатель. Электродвигатель перемещает фотоэлементы рейки до тех пор, пока направляющее напряжение не станет равным нулю, что соответствует одинаковой освещенности фотоэлементов. Результаты измерений регистрирует запоминающее устройство. Таким образом, запоминающее устройство непрерывно записывает вертикальные перемещения контролируемой точки. Стабильность

горизонтального положения лазерного пучка составляет 0,3-0,5" при наклоне прибора до 15'.

Применяются цифровые нивелиры, которые также позволяют автоматизировать процесс наблюдений за деформациями.

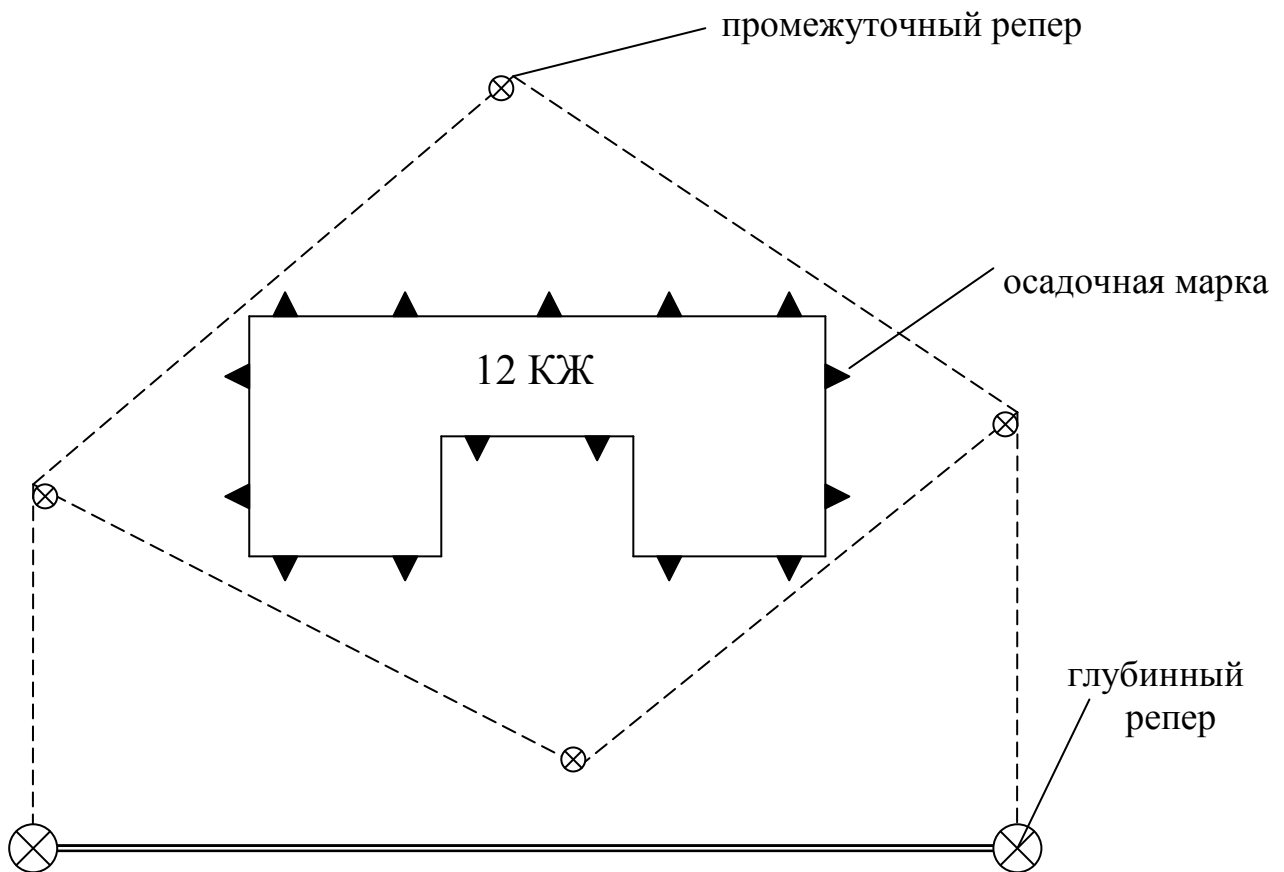
Для наблюдений за основанием сооружений в их цоколе через определенные расстояния закладывают осадочные марки (контрольные реперы) различных конструкций. Если нет прямой связи между глубинными реперами и осадочными марками, то дополнительно закладывают промежуточные (рабочие) реперы (рис. 107).

Если строящееся сооружение крупное и ответственное, то организуют наблюдения за поведением дна котлована. С этой целью закладывают глубинные марки. Эти наблюдения составляют нулевой цикл, с которым сравнивают все последующие. Он должен быть проведен в момент, когда давление на основании  $\approx 0$ , но не ранее чем через 3-4 дня после закладки осадочных марок и 2-3 месяца после установки глубинных реперов. Результаты нивелирования заносят в журнал установленного образца.

Периодичность последующих наблюдений устанавливается в зависимости от календарных сроков строительства, свойств грунтов, величины и стабилизации осадок. Обычно наблюдения должны производиться по мере достижения веса строящегося сооружения 25, 50, 75 и 100% своей проектной величины (1-3 месяца). Чем несвязнее грунт, тем чаще необходимы наблюдения: через 1-1,5 месяца на песках, 3-4 месяца на связных грунтах (глины, суглинки, илы и т.д.). После полной загрузки здания периодичность составляет 5-6 месяцев для песков и 3-4 месяца для глин в течение 2-3 лет.

Величина относительной осадки определяется как разность отметок одной и той же марки из соседних циклов; абсолютной осадки – как разность отметок марки из нулевого и последнего циклов. Это оформляют в ведомости стандартного образца и графически (линии равных осадок фундамента, график и эпюры развития осадок марок, развернутые графики осадок марок).

По величине осадок вычисляют затем величины других деформаций, указанных в разделе 15.2. Порядок расчета деформации можно заимствовать из специальной литературы.



*Рис. 107. Схема расположения осадочных марок, промежуточных и глубинных реперов*

### Заключение

В данном учебном пособии подробно рассмотрены вопросы инженерной геодезии, связанные с тематикой лабораторных работ и учебной геодезической практики. В связи с этим некоторые темы рассмотрены лишь в той мере, в какой это было необходимо для ознакомления студентов с некоторыми методиками измерений, приборами (светодальномеры, электронные тахеометры и др.).

Поскольку решение задач на топографической карте подробно рассмотрено в моем практикуме [5], здесь они не рассматривались.

Устройство геодезических приборов рассмотрено на примере таких марок теодолита и нивелира, с которыми студентам предстоит работать в течение учебного года.

В учебном пособии подробно рассмотрены вопросы ориентирования линий местности, угловые и линейные измерения, метод геометрического нивелирования, топографические съемки, геодезические работы на строительной площадке и др. Текст сопровождается богатым графическим материалом. Полагаю, это будет способствовать хорошей подготовке студентов по дисциплине «Инженерная геодезия».

## Литература

1. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1975.
2. Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. «Недра», М., 1980.
3. Ганьшин В.Н. (ред.), Стороженко А.Ф., Буденков Н.А. Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов. «Недра», М., 1981.
4. Багратуни Г.В., Ганьшин В.Н. и др. Инженерная геодезия. М., «Недра», 1984.
5. Кочетова Э.Ф. Практикум по геодезии. Работа с топографической картой. Н.Новгород, ВГИПА, 2004.
6. Федотов Г.А. Инженерная геодезия. М., «Высшая школа», 2006.
7. Дементьев В.Е. Современная геодезическая техника и ее применение. М., Академический проект, 2008.
8. Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение. М., «Академический проект», 2011.

## Оглавление

Введение .....	3
1. Общие сведения .....	4
1.1. Предмет и метод геодезии как науки .....	4
1.2. История развития геодезии .....	5
2. Общая фигура Земли и определение положения точек земной поверхности .....	5
2.1. Форма и размеры Земли .....	5
2.2. Метод проекций и системы координат в геодезии .....	6
3. Ориентирование .....	11
4. Связь дирекционных углов и горизонтальных углов полигона .....	14
5. Прямая и обратная геодезические задачи .....	15
6. Топографические карты и планы .....	17
6.1. Понятие о плане, карте, профиле.....	17
6.2. Цифровые и электронные топографические карты .....	19
6.3. Масштабы .....	20
6.4. Условные знаки ситуации и рельефа .....	23
6.5. Основные формы рельефа и их изображение на картах и планах .....	23
6.6. Номенклатура топографических карт и планов .....	26
7. Угловые измерения .....	28
7.1. Принцип измерения горизонтального угла и схема угломерного прибора .....	28
7.2. Классификация теодолитов .....	34
7.3. Отсчетные приспособления теодолитов .....	35
7.4. Поверки и юстировка теодолитов .....	37
7.5. Способы измерения горизонтальных углов .....	41
7.6. Устройство вертикального круга. Измерение вертикальных углов.....	43
7.6.1. Порядок измерения угла наклона.....	45
7.7. Точность измерения углов.....	46
8. Линейные измерения.....	47
8.1. Способы измерения расстояний.....	47
8.2. Измерение длин линий землемерной лентой.....	49
8.3. Косвенные линейные измерения.....	52
8.3.1. Дальномеры геометрического типа.....	52
8.3.2. Физические дальномеры.....	55
8.4. Измерение неприступных расстояний.....	62
9. Нивелирование и его виды.....	63
9.1. Сущность и способы геометрического нивелирования.....	64
9.2. Классификация и устройство нивелиров.....	68
9.3. Поверки нивелиров с цилиндрическим уровнем.....	76
10. Продольное нивелирование трассы.....	77
10.1. Полевые работы.....	78
10.2. Камеральные работы.....	80
11. Опорные геодезические сети.....	81



12. Топографические съемки.....	90
12.1. Теодолитная съемка.....	91
12.1.1. Полевые работы.....	91
12.1.2. Камеральные работы при теодолитной съемке.....	92
12.2. Тахеометрическая съемка.....	93
12.2.1. Полевые работы.....	93
12.2.2. Камеральные работы.....	93
12.3. Электронные тахеометры.....	95
12.4. Нивелирование поверхности по квадратам.....	100
12.5. Фототопографические съемки.....	102
12.5.1. Аэрофототопографическая съемка.....	102
13. Элементы теории ошибок измерений.....	107
13.1. Классификация и свойства ошибок геодезических измерений.....	107
13.2. Средняя квадратическая, предельная и относительная ошибка.....	108
13.3. Средняя квадратическая ошибка функции измеренных величин.....	109
13.4. Арифметическая середина и ее свойства.....	110
13.5. Оценка точности ряда измерений по вероятнейшим ошибкам.....	111
14. Задачи инженерной геодезии в строительстве. Специальная часть.....	112
14.1. Способы перенесения проектных углов, точек, линий и плоскостей с.....	
плана на местность.....	116
14.1.1. Построение на местности угла заданной величины.....	117
14.1.2. Перенесение в натуру линии заданной длины.....	119
14.1.3. Перенесение в натуру проектных точек в плане.....	120
14.2. Вынесение на местность проектных точек, линий и плоскостей.....	
по высоте.....	122
14.2.1. Перенесение на местность точек с заданной отметкой.....	122
14.2.2. Разбивка в натуру линии заданного уклона.....	123
14.2.3. Построение на местности горизонтальной и наклонной.....	
плоскости.....	124
14.3. Развитие плановой и высотной геодезической основы на.....	
строительной площадке.....	126
14.3.1. Строительная сетка.....	127
14.4. Разбивочные работы на строительной площадке в подготовитель-.....	
ный период.....	128
14.4.1. Нулевой цикл строительства и геодезические работы.....	128
14.4.2. Разбивка криволинейных сооружений.....	129
14.4.2.1. Способ прямоугольных координат.....	130
14.4.2.2. Способ продолженных хорд.....	131
14.4.3. Передача проектной отметки на дно котлована.....	132
14.4.4. Устройство фундамента.....	134
14.4.5. Разбивочные работы при установке стальных и железобетонных.....	
колонн в проектное положение.....	134
14.4.6. Вынос нулевого горизонта.....	135
14.5. Надземный цикл строительства.....	136
14.5.1. Установка стальных и железобетонных колонн.....	137

14.5.2. Контроль за вертикальностью ряда колонн.....	138
14.5.3. Передача осей на верхний монтажный горизонт.....	140
14.5.4. Исполнительные съемки.....	143
15. Наблюдения за осадками и деформациями зданий и сооружений .....	145
15.1. Причины деформаций оснований сооружений.....	145
15.2. Классификация деформаций оснований сооружений.....	145
15.3. Методы и точность измерений осадок и деформаций.....	146
15.4. Организация наблюдений за осадками методом геометриче- ского нивелирования.....	147
Заключение.....	149
Литература.....	150

Кочетова Элеонора Федоровна

## ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Учебное пособие  
для студентов направления  
«Строительство»

Редактор  
Н.П. Гришуткина

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат: 60×90 1/16 Бумага Печать трафаретная.

Уч. изд. л. Усл.печ. л. Тираж 500 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ)

603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.

Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65