

**Лекция -1**  
**Общая часть**  
**общие сведения по геодезии**  
**план:**

- 1. Предмет геодезии**
- 2. Значение геодезии в народном хозяйстве и обороне страны**
- 3. Краткая история развития геодезии**
- 4. Понятие о фигуре и размерах Земли**
- 5. Метод проекции в геодезии**

**1. Геодезия** — наука, которая занимается изучением формы и размеров всей Земли или отдельных ее частей. Это изучение осуществляется посредством геодезических измерений. Такие измерения производятся на поверхности Земли, на море и в космосе. Геодезические измерения нужны для определения фигуры и размеров Земли, составления планов, карт и профилей, для решения различного рода инженерных задач при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Для геодезических измерений применяют угломерные приборы и приборы для измерения расстояний.

В процессе своего развития геодезия разделилась на ряд самостоятельных научных дисциплин: высшую геодезию, геодезию, инженерную геодезию, фототопографию и картографию.

**Высшая геодезия** занимается определением фигуры и размеров всей Земли и значительных ее частей, определением координат и высот отдельных точек земной поверхности в единой системе, изучением вертикальных и горизонтальных деформаций земной коры.

**Геодезия или топография** занимается измерением и изображением на планах и картах земной поверхности, а также измерением относительных высот точек земной поверхности и изображением вертикальных ее разрезов.

Инженерная геодезия занимается вопросами геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, при монтаже оборудования, при наблюдениях за вертикальными и горизонтальными смещениями инженерных сооружений и технологического оборудования.

**Фототопография** занимается изучением методов и средств создания топографических карт и планов по материалам фотографирования Земли. Картография занимается изучением методов составления, издания и использования карт.

За последние годы получили развитие новые разделы геодезии: радиогеодезия, космическая геодезия и морская геодезия. Радиогеодезия занимается изучением радиоэлектронных методов измерения расстояний при помощи радио- и светолокаций, соответственно приборами радиодальномером и светодальномером. Космическая геодезия занимается обработкой измерений, полученных при помощи искусственных спутников Земли, орбитальных станций и межпланетных кораблей. Морская геодезия занимается вопросами

топографо-геодезических работ морского дна.

Геодезия имеет тесную связь с другими научными дисциплинами: математикой, астрономией, физикой, механикой, автоматикой, электроникой, географией, фотографией и черчением. Математика вооружает геодезию методами и средствами обработки и анализа результатов измерений.

Астрономия обеспечивает геодезию исходными данными: координатами точек земной поверхности и астрономическими азимутами линий. С помощью физики и механики рассчитывают геодезические приборы.

В приборостроении широко применяется автоматика и электроника. Знание географии помогает правильно оценивать элементы местности: рельеф и естественный покров земной поверхности.

Применение фототопографии в геодезии требует знания фотографии, а графическое оформление планов и карт требует знания и умения пользоваться приемами топографического черчения.

По мере развития этих наук развивалась и геодезия, обогащаясь новым научным содержанием, новыми, более современными, приборами и методами геодезических измерений и вычислений. Без помощи геодезии не могут обойтись и многие инженерные науки.

**2.** В настоящее время трудно назвать отрасль народного хозяйства, которая не нуждалась бы в услугах геодезии. Велика роль геодезии при инженерных изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации разнообразных промышленных и гражданских зданий и сооружений, различного назначения трубопроводов, гидротехническом строительстве, при планировке городов и сельских населенных мест. Большое значение имеет геодезия в сельском хозяйстве, землеустройстве колхозов и совхозов, при мелиорации земель, в лесном хозяйстве, дорожном строительстве, при геологических изысканиях.

Велика роль геодезии при картографировании страны, освоении природных богатств Сибири, Дальнего Востока и других районов нашей Родины. Огромное значение геодезия имеет для обороны страны. Без точной карты невозможно решать военные вопросы. Недаром говорят, что «карта — глаза армии». Особенно велика роль топографической карты, геодезических измерений и расчетов в обеспечении действий артиллерии, ракетных войск, авиации, военно-морского флота.

**3. Геодезия** — слово греческое и в переводе на русский язык означает «землеразделение». Это слово указывает на происхождение науки, но не выражает ее содержание в настоящее время. Искусство измерять и разделять небольшие участки земли известно людям с древних времен. За 20 веков до нашей эры в Египте, Ассирии-Вавилонии, в долинах рек Нила, Тигра и Ефрата проводились большие работы по орошению земель, которые немыслимы без геодезических измерений.

Строительство грандиозных сооружений древности также нельзя было выполнить без знаний по геодезии. С древних времен появилась потребность в

геодезии и для решения военных вопросов. Позже, в третьем веке до нашей эры, перед геодезией возникла и научная задача по определению фигуры и размеров Земли.

Древнегреческий философ Аристотель (384—322 гг. до н. э.) высказал предположение, что Земля шарообразна и невелика по размерам; Эратосфен (276—194 гг. до н. э.) вычислил размеры Земли, близкие к современным. Но знания, правильные представления о мире медленно проникали в народ. В средние века предположение, что Земля шарообразна, считалось невероятным. Особенно против этого восставала церковь.

Путешествие Колумба в конце XV в. и Магеллана в начале XVI века доказали, что Земля имеет шарообразную форму. Теоретически Ньютон доказал, что Земля должна иметь форму сфероида, а не шара. Этот вывод оказался верным. Впоследствии были определены с помощью геодезии форма и размеры Земли.

Применение геодезии в России относится к XI в. В 1068 г. по приказанию князя Глеба было измерено расстояние между городами Тамань и Керчь по льду Керченского пролива. Первой русской картой является карта Московского Государства «Большой чертеж». Время составления этой карты относится к 1598 г., вторично она вычерчена в 1627 г.

Первая карта Сибири была составлена тобольским воеводой П. И. Годуновым в 1667 г. В 1697 г. более подробная карта Сибири была составлена сибирским летописцем С. У. Ремезовым.

При Петре I начаты геодезические и картографические работы общегосударственного значения. В 1739 г. при Академии Наук был создан Географический департамент во главе с М. В. Ломоносовым, который объединил геодезические работы в стране. В 1745 г. издан Академией Наук первый Географический атлас России.

В 1797 г. при Генеральном штабе было организовано Депо карт, которое преобразовано в 1812 г. в Военно-топографическое депо. В 1822 г. был создан Корпус военных топографов, который существовал почти 100 лет. Корпусом военных топографов издано 70 томов «Записок КВТ». Эти записки являются замечательным памятником развития отечественной геодезии.

Большую роль в развитии геодезических работ в России в XIX столетии сыграли выдающиеся ученые В. Я. Струве, А.Н. Савич, В. В. Витковский, Д. Д. Геденов и др.

Великая Октябрьская социалистическая революция открыла широкий путь для дальнейшего развития геодезической науки. Декретом Совета Народных Комиссаров за подписью В. И. Ленина 15 марта 1919 г. было создано Высшее Геодезическое Управление (ВГУ), ныне Главное управление геодезии и картографии (ГУГК) при Совете Министров СССР. Ленинским Декретом на ВГУ были возложены задачи: производство и руководство в общегосударственном масштабе топографо-геодезическими работами, создание и издание карт, организация научных работ в области геодезии и подготовка геодезических кадров.

В стране организованы научно-исследовательские и учебные

геодезические институты и факультеты. Советская геодезия развивается на высоком научном уровне и на новейшей технической базе. Создана промышленность, выпускающая геодезические приборы высокого качества. Многие сделали для развития отечественного геодезического приборостроения ученые Ф. В. Дробышев, М. М. Русинов, Ю. Г. Стодолкевич, В. А. Белицин и др.

Большая заслуга в определении на основе градусных измерений размеров земного эллипсоида принадлежит ученым Ф. Н. Красовскому и А. А. Изотову. Большая роль в развитии геодезической науки принадлежит также ученым: А. С. Чеботареву, В. В. Данилову, В. В. Попову, П. И. Шилову, В. Д. Большакову, А. Н. Лобанову, Н. Н. Лебедеву и др.

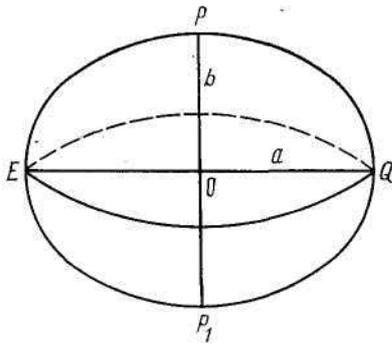
Широкий размах геодезических работ в СССР обогатил геодезическую науку и поднял советскую геодезию на небывалую высоту. В этом большая заслуга коллектива советских ученых-геодезистов, а также инженеров-производственников.

**4.** Поверхность Земли общей площадью 510 млн. км<sup>2</sup> имеет возвышения и углубления, заполненные водой. Поверхность морей и океанов занимает 71 %, а суша всего лишь 29 % от общей поверхности Земли. Поэтому за фигуру Земли принимают поверхность воды океанов в спокойном состоянии, мысленно продолженную под материками. Такая поверхность называется уровенной поверхностью Земли. Уровенная поверхность в любой точке перпендикулярна к отвесной линии, проходящей через эту точку.

Уровенная поверхность Земли имеет сложную форму и называется поверхностью геоида, а тело, ограниченное ею,— геоидом. Исследованиями установлено, что фигура геоида близко подходит к поверхности сфероида. Сфероидом называется эллипсоид, который получается от вращения эллипса вокруг его малой оси.

Размеры земного эллипсоида определяются длинами большой и малой полуосей (рис. 1):  $a$  — большая полуось или радиус экватора;  $b$  — малая полуось или полуось вращения Земли. Величина  $a = (a - b) / a$  называется сжатием земного эллипсоида. Величины  $a$  и  $b$  определяются посредством градусных измерений в различных местах меридиана. В разное время ученые многих стран занимались определением размеров Земли. Наиболее точные результаты получили Ф. Н. Красовский и А. А. Изотов в 1940 г.

Размеры земного эллипсоида, получившего название «эллипсоид Красовского», приняты для геодезических и картографических работ ( $a = 6\,378\,245$  м;  $b = 6\,356\,863$  м;  $a = 1:298,3$ ).



8  
Рис. 1. Элементы Земного сфероида

Уровенная поверхность Земли в одних местах возвышается, в других понижается над поверхностью эллипсоида. Однако отклонение не превышает 150 м.

Для решения многих задач прикладного значения Землю можно принимать за шар. Радиус такого шара, равного по объему земному эллипсоиду, по вычислениям Ф. Н. Красовского равен 6 371,11 км.

5. На местности точки, линии, углы и контуры расположены в силу неровностей земной поверхности преимущественно на возвышениях или впадинах. Так как возвышения и впадины являются пространственными формами, то для изучения и изображения местности на бумаге в геодезии пользуются методом проекций.

Пусть многоугольник  $ABCDE$  (рис. 2) расположен на холмистой местности, и нам нужно узнать его форму и размер. Для этого спроектируем все вершины этого многоугольника на горизонтальную плоскость  $PQ$ . Перпендикуляры  $Aa, Bb, Cc, Dd$  и  $Ee$  совпадают с отвесными линиями.

Точки  $a, b, c, d$  и  $e$  пересечения перпендикуляров с горизонтальной плоскостью являются проекциями соответствующих точек местности  $A, B, C, D$  и  $E$ . Линии  $ab, be, cd, de$  и  $ea$  — горизонтальные проекции или горизонтальные проложения линий  $AB, BC, CD, DE$  и  $EA$  местности. Углы  $abc, bed, cde, dea$  и  $eab$  являются горизонтальными проекциями или горизонтальными проложениями углов  $ABC, BCD, CDE, DEA$  и  $EAB$  местности. Многоугольник  $abode$  называется горизонтальной проекцией или горизонтальным проложением многоугольника  $ABCDE$  местности.

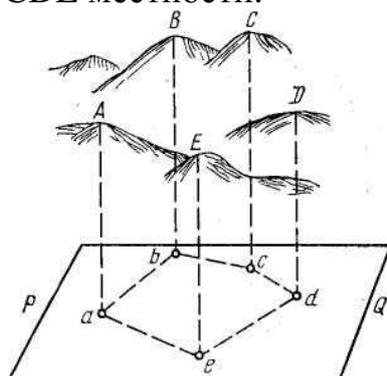


Рис. 2. Горизонтальная проекция местности

## Лекция-2

# ПОНЯТИЕ О ГЕОГРАФИЧЕСКИХ, ПРЯМОУГОЛЬНЫХ И ПОЛЯРНЫХ КООРДИНАТАХ

### План:

1. Понятие о географических, прямоугольных и полярных координатах
2. Абсолютные и относительные высоты
3. Влияние кривизны земли на определение горизонтальных и вертикальных расстояний
4. Съёмка и нивелирование

1. Положение точек на земной поверхности можно определить с помощью координат. В геодезии применяются географические, плоские прямоугольные и полярные координаты.

С помощью географических координат, т. е. широт и долгот, определяют положение точек на поверхности Земли относительно экватора и начального меридиана (рис. 3).  $PP_1$  — ось вращения Земли;  $P$  — северный, а  $P_1$  — южный географические полюсы Земли.

Плоскость  $EQ$ , перпендикулярная к земной оси и проходящая через центр Земли  $O$ , называется плоскостью экватора, а линия пересечения плоскости экватора с поверхностью Земли называется экватором.

Плоскость, проходящая через ось вращения Земли и какую-нибудь точку на поверхности Земли, называется плоскостью меридиана, а линия пересечения этой плоскости с поверхностью Земли называется меридианом данной точки.

Мысленное сечение земной поверхности плоскостями, параллельными экватору, дает на поверхности Земли окружности, которые называются параллелями.

**Широтой** точки называется угол, составленный отвесной линией в данной точке и плоскостью экватора и обозначается буквой  $\varphi$ .

Широта отсчитывается по дуге меридиана к северу и к югу от экватора от  $0$  до  $90^\circ$ . К северу от экватора широта называется северной, к югу — южной.

**Долготой** точки называется двугранный угол между плоскостью меридиана данной точки и плоскостью начального меридиана и обозначается буквой  $\lambda$ . За начальный принимается меридиан, проходящий через Гринвич на окраине Лондона.

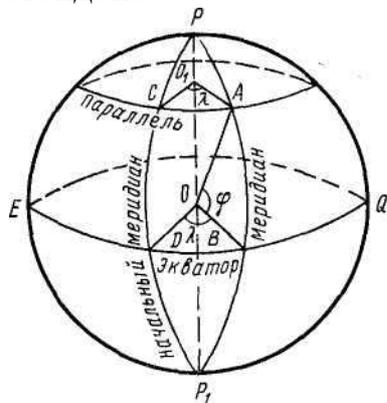


Рис. 3. Географические координаты

**Долгота** отсчитывается по дуге экватора или параллели от начального меридиана в сторону востока и запада от  $0$  до  $180^\circ$ . Долгота к востоку от Гринвичского меридиана называется восточной долготой, к западу — западной. Широты и долготы определяют положение любой точки на земной поверхности и выражаются в угловой мере.

Географические координаты определяются из астрономических наблюдений, а также с помощью геодезических измерений. В первом случае координаты называются астрономическими, во

втором — геодезическими и обозначаются буквами В — широта L — долгота.

Различие между астрономическими и геодезическими координатами происходит от несовпадения направлений отвесных линий и нормалей к эллипсоиду, которое называется уклонением отвесных линий, и оно составляет в среднем 3—4", а в отдельных районах и больше. Астрономические и геодезические координаты объединяют общим названием — географические координаты. Достоинство географических координат заключается в том, что все точки земной поверхности выражаются в единой системе.

Положение точки на плоскости можно определить с помощью взаимно перпендикулярных линий и перпендикуляров, опущенных из этой точки на эти линии (рис. А, а). Точка 0 пересечения линий называется началом координат, а прямые — осями координат. Линия XX — ось абсцисс, а линия YY—ось ординат. Отрезки  $Mm=x$  и  $Mm_1=y$  называются соответственно абсциссой и ординатой точки М. Абсцисса и ордината точки М, взятые вместе, называются координатами точки М.

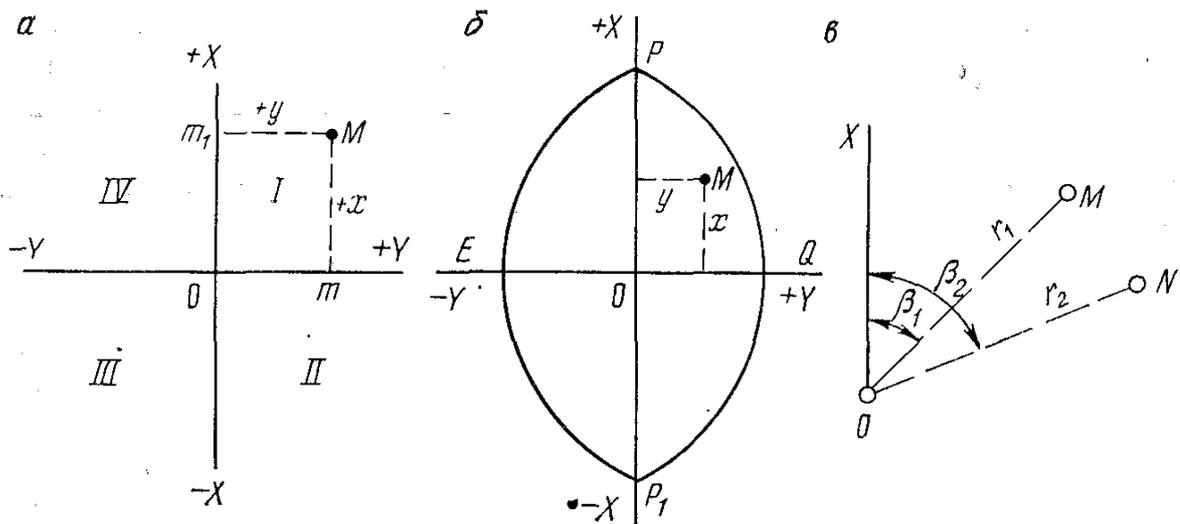


Рис. 4. Плоские координаты:  
а — прямоугольные; б — зональные; в — полярные

Оси координат делят плоскость на четыре четверти. Счет четвертей в геодезии ведется по ходу часовой стрелки. Знаки абсцисс и ординат точек, расположенных в разных четвертях, приведены ниже.

Четверть.....	I	II	III	IV
Знак абсциссы .....	+	-	-	+
Знак ординаты.....	+	+	-	-

Плоские прямоугольные координаты выражаются в линейной мере и

удобны при геодезических работах на небольших территориях. При этом за начало координат берется произвольная точка. Однако такая система координат неудобна при геодезических работах на больших территориях и в случае необходимости трудно свести в единое целое геодезические работы на соседних участках. Поэтому была установлена общегосударственная система зональных прямоугольных координат. Для этого земной эллипсоид делят на 6 или 3° зоны,

начиная от Гринвичского меридиана. Средний меридиан зоны называется осевым. Каждую зону особым способом проектируют на плоскость. При этом часть экватора и осевой меридиан превращаются в прямые, взаимно перпендикулярные, линии (рис. 4,б). Осевой меридиан принимают за ось абсцисс, а линию экватора — за ось ординат. За начало координат принимают точку 0 пересечения осевого меридиана с экватором. Точка М имеет абсциссу  $x$  и ординату  $y$ . В северном полушарии все абсциссы положительные, в южном — отрицательные. Все ординаты, расположенные на восток от осевого меридиана, имеют знак плюс, на запад — минус. Чтобы не иметь отрицательных ординат, ординату осевого меридиана считают равной не нулю, а 500 км. Впереди ординаты указывается номер зоны, в которой находится точка. Например, запись ординаты 6 354 125 означает, что точка в шестой зоне и в действительности  $y = 354\ 125 - 500\ 000 = -145\ 875$  м. Счет зон ведется на восток от Гринвичского меридиана. Плоские прямоугольные координаты в зональной системе имеют связь с географическими координатами. Зная географические координаты точки земной поверхности, можно вычислить зональные прямоугольные координаты, и, наоборот, зная зональные прямоугольные координаты, можно вычислить географические координаты.

В полярной системе координат положение точки земной поверхности, например М, можно определить, зная  $r_1$  — радиус-вектор и угол  $\beta_1$  а точки N — соответственно  $r_2$  и  $\beta_2$  (рис. 4,в). Углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  измеряют от полярной оси ОХ по ходу часовой стрелки до радиуса-вектора. Положение полярной оси на плоскости выбирают произвольно. Точка 0 называется полюсом.

**2.** Абсолютной высотой точки земной поверхности называется расстояние от этой точки по отвесной линии до уровенной поверхности, принятой за начало отсчета. Числовое значение высоты называется отметкой. Счет абсолютных высот ведется от среднего уровня Балтийского моря, от нуля Кронштадтского футштока. Если расстояние от точки земной поверхности берется не до уровенной поверхности моря, а до какой-нибудь другой условной поверхности, то и отметка называется условной. Величины  $Aa = H_A$  и  $Bb = H_B$  (рис. 5) есть абсолютные высоты точек А и В земной поверхности.

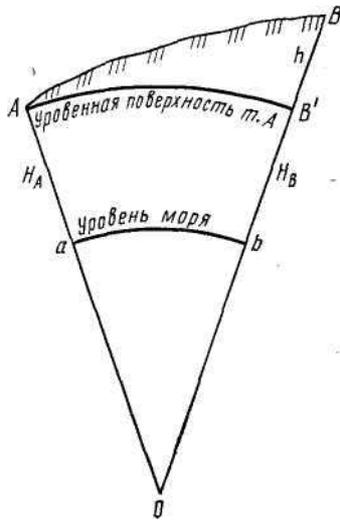


Рис. 5. Высоты точек A и B земной поверхности

Расстояние от точки земной поверхности по отвесной линии до уровенной поверхности, проведенной через другую точку, называется относительной высотой или превышением одной точки над другой. Величина  $h$  есть превышение точки B над точкой A. Превышение может иметь знак плюс или минус в зависимости от положения определяемой точки. Если определяемая точка находится выше по отношению к другой, то превышение положительное, а если ниже, то отрицательное.

### 3. ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ЗЕМЛИ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ РАССТОЯНИЙ

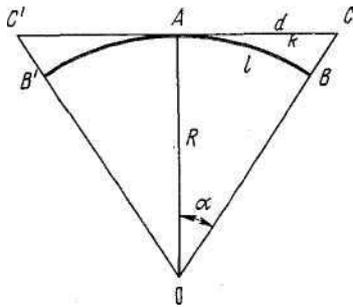


Рис. 6. Влияние кривизны Земли на определение горизонтальных, и вертикальных расстояний

Предположим, что на поверхности Земли измерена дуга AB, равная  $l$ . Длину касательной AC обозначим через  $d$  (рис. 6). Определим разность между длиной касательной и длиной кривой, которая и покажет влияние кривизны Земли на определение горизонтальных расстояний.

$$\Delta d = d - l \quad (1)$$

Из рис. 6 видно, что

$$d = R \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

Так как угол  $\alpha$  величина малая, то можно пользоваться приближенной формулой

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

где значение  $\alpha$  выражено в радианах, тогда можно записать

$$d = R \left( \frac{l}{R} + \frac{l^3}{3R^3} \right) \quad \text{или} \quad d = Rl + \frac{l^3}{3R^2} \quad (3)$$

Подставив значение  $d$  из формулы (3) в формулу (1), получим

$$\Delta d = + \frac{l^3}{3R^2} \quad (4)$$

Разность между длиной касательной и кривой, подсчитанная по формуле (4), приведена ниже

$l$ , км.....	10	25	50
$\Delta d$ , см.....	0,82	12,80	103,00
Относительная ошибка	1 : 1 200 000	1 : 200 000	1 : 50 000

Отсюда видно, что влияние кривизны Земли на определение горизонтальных расстояний при  $l = 10$  км составляет 1 : 1 200 000 ее длины, что допустимо при самых точных измерениях горизонтальных расстояний на земной поверхности. Поэтому при измерениях на площади круга с радиусом в 10 км уровенную поверхность можно считать за плоскость, а  $d$  практически равным  $l$ .

Кривизна Земли оказывает значительное влияние на определение вертикальных расстояний. Отрезок  $CB = k$  (рис. 6) выражает это влияние. Определим величину этого отрезка из равенства

$$d^2 + R^2 = (R + k)^2$$

или  $d^2 + 2Rk + k^2 = k(2R + k)$

откуда

$$k = \frac{d^2}{2R + k}$$

По малости  $k$  по сравнению с  $2R$  формулу можно написать так:

$$k = \frac{d^2}{2R} \quad (5)$$

Ниже приведены данные, показывающие влияние кривизны Земли на определение вертикальных расстояний.

$d$ , м	100	200	300	1000	10 000
$k$ , мм	0,8	3,1	7,1	78,0	7850,0

Отсюда следует, что при определении превышений между двумя точками следует учитывать поправку на кривизну Земли.

#### 4. СЪЕМКА И НИВЕЛИРОВАНИЕ

Для составления планов и карт местности необходимо в поле производить геодезические измерения. Эти измерения принято называть съемкой.

В зависимости от приборов и методов работы съемка бывает: теодолитная, тахеометрическая, мензульная и фототопографическая.

При теодолитной съемке на местности измеряются теодолитом горизонтальные углы, лентой или дальномером — длины линий, а на плане изображается только ситуация.

При тахеометрической съемке, кроме ситуации, проводится съемка рельефа местности.

При мензульной съемке план с изображением ситуации и рельефа строится непосредственно в поле с помощью мензулы и кипрегеля.

При фототопографической съемке план или карту получают фотографированием местности и соответствующей обработкой фотоснимков. Фотографирование местности с самолета называется *аэрофотосъемкой*.

Иногда в практике встречается необходимость провести съемку быстро, хотя бы приближенно. В этом случае можно сделать глазомерную съемку с применением простейших приборов.

Для изображения на планах и картах рельефа местности, для составления профиля и для решения инженерных задач нужно знать отметки точек земной поверхности. Полевые геодезические измерения с целью получения отметок точек Земли называются нивелированием.

Так же, как и съемка, нивелирование, в зависимости от приборов и методов работы, бывает: геометрическое, тригонометрическое, барометрическое, гидростатическое и механическое.

Геометрическое нивелирование выполняется с помощью нивелира горизонтальным лучом путем отсчета по рейкам.

Тригонометрическое нивелирование выполняется с помощью наклонного луча визирной оси теодолита путем измерения вертикальных углов, а расстояния измеряются лентой или дальномером.

Барометрическое нивелирование дает небольшую точность и выполняется барометром-анероидом путем измерения давления атмосферы в точках местности.

Гидростатическое нивелирование основано на свойстве жидкости в сообщающихся сосудах находиться на одном уровне.

Механическое нивелирование выполняется с помощью приборов, автоматически вычерчивающих профиль местности.

Съемка и нивелирование проводятся в поле. Эти работы называются полевыми. Обработку полевых измерений, т. е. вычислительные и графические работы, принято называть камеральными работами.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назовите научные и научно-технические задачи геодезии.
2. Назовите основные научные дисциплины, на которые делится геодезия, их задачи.
3. В каких отраслях народного хозяйства применяется геодезия?
4. Расскажите о значении Декрета Совета Народных Комиссаров за подписью В. И. Ленина в создании Высшего Геодезического Управления.
5. Какую форму имеет Земля и каковы ее размеры?
6. Какие координаты применяют в геодезии для определения точек на земной поверхности?
7. Что называют географической широтой и долготой точки

земной поверхности?

8.Как определяется положение точки в прямоугольной системе координат?

9.Как отсчитываются абсцисса и ордината точки в зональной системе координат?

10.Расскажите о методе проекций в геодезии.

11.Что называют абсолютной и относительной высотой точки земной поверхности?

12.Что называют отметкой и превышением точки земной поверхности?

13.Как влияет кривизна Земли на определение горизонтальных и вертикальных расстояний?

14.Какие виды съемок и нивелирования применяют в геодезии, их задачи?

15.Какие геодезические работы называют полевыми и какие камеральными?

## Лекция -3 ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ

### План:

1. Азимуты, дирекционные углы и румбы
2. Связь между истинными и магнитными азимутами
3. Зависимость между прямыми и обратными азимутами, дирекционными углами и внутренними углами полигона

**1. Ориентировать линию** — значит определить ее направление относительно истинного или магнитного меридиана. Направление истинного меридиана в данной точке определяется астрономически, магнитного — при помощи магнитной стрелки. Для ориентирования линий служат углы, которые называются азимутами, дирекционными углами и румбами.

**Азимутом** называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки до направления данной линии. Азимуты изменяются от 0 до 360° (рис. 7,а).

Азимут называется истинным, если он отсчитывается от истинного меридиана, и магнитным, если отсчитывается от магнитного меридиана. Азимут одной и той же линии в разных ее точках различен (рис. 7,б).

$$A_2 = A_1 + \gamma. \quad (6)$$

Угол  $\gamma$  в данной точке между ее меридианом и линией, параллельной осевому меридиану, называется сближением меридианов. Сближение меридианов можно вычислить по приближенной формуле  $\gamma = \Delta\lambda \sin \varphi$ , где  $\Delta\lambda$  — разность долгот осевого и географического меридиана данной точки,  $\varphi$  — широта точки.

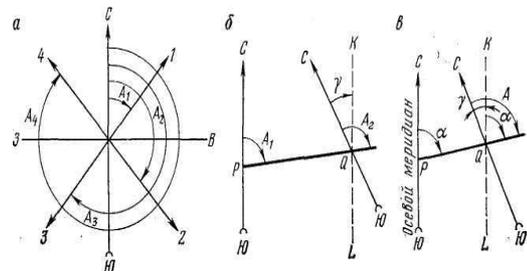
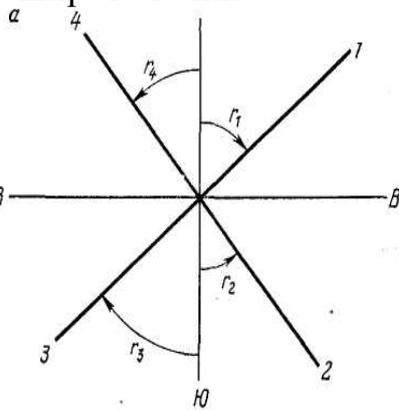
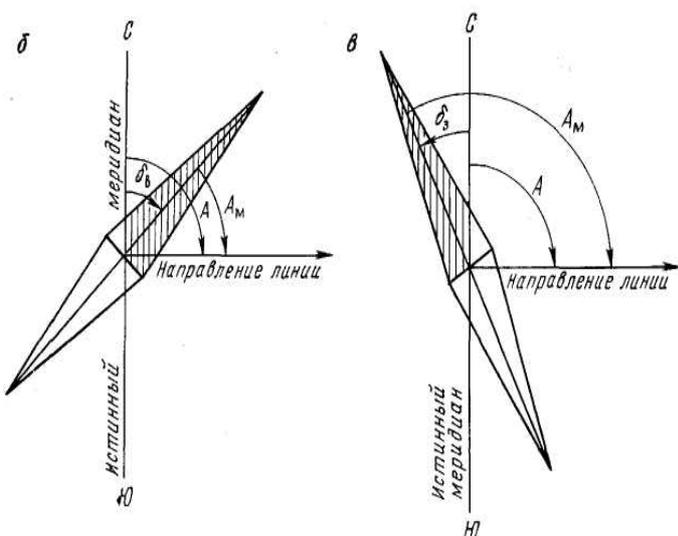


Рис. 7. Азимуты и дирекционные углы  
Рис. 8. Румбы и магнитные азимуты



**Дирекционным углом** называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до направления данной линии (рис. 7, в). Дирекционный угол одной и той же линии в разных ее точках одинаков. Дирекционный угол изменяется от 0 до 360°. Между азимутами и дирекционными углами существует следующая связь:

$$A = a \pm \gamma. \quad (7)$$

Угол  $\gamma$  имеет знак положительный, если точка Q на востоке от осевого меридиана, и отрицательный, если на западе.

**Румбом** называется острый горизонтальный угол, отсчитываемый от ближайшего направления меридиана до направления данной линии (рис. 8, а). Румбы изменяются в пределах между 0 и 90° и сопровождаются названием СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ. Если румбы отсчитываются от истинного, магнитного или осевого меридиана, то их называют истинными, магнитными или осевыми. Между азимутами и румбами существует связь, приведенная ниже. Зная азимуты, можно вычислить румбы и наоборот.

Азимуты	Румбы
0—90°	СВ: $r_1 = A_1$
90—180°	ЮВ: $r_2 = 180^\circ - A_2$
180—270°	ЮЗ: $r_3 = A_3 - 180^\circ$
270—360°	СЗ: $r_4 = 360^\circ - A_4$

2. Для определения магнитного меридиана в геодезии применяют буссоль. С помощью буссоли можно определить магнитные азимуты и румбы. Буссоль состоит из круглой коробки, в которой находится кольцо с градусными делениями, подписанными через 10°. Если деления подписаны от 0 до 360° против хода часовой стрелки, то по буссоли можно отсчитывать азимуты, при подписи делений от 0 до 90° в каждой четверти — румбы. Сверху коробка закрыта стеклом.

В центре коробки на шпильке свободно вращается магнитная стрелка, которая показывает направление магнитного меридиана. Буссоль применяется в комплекте геодезических приборов (теодолитов, тахеометров, мензул) и как самостоятельный прибор для простейших съемок.

При определении направлений линий буссолью нулевой ее радиус кольца должен быть направлен вдоль заданной линии. В геодезических приборах нулевой радиус буссольного кольца устанавливают вдоль визирной плоскости зрительной трубы прибора. Величину азимута отсчитывают на азимутальном кольце по северному концу магнитной стрелки. Если кольцо буссоли румбическое, то величину румба отсчитывают на кольце по ближайшему концу магнитной стрелки.

Для перехода от магнитного азимута к истинному надо знать величину и название склонения магнитной стрелки. Оно бывает восточным или западным. Величину магнитного склонения можно определить опытным путем или по топографической карте.

Из рис. 8, б и 8, в следует, что истинный азимут

$$A = A_M + \delta_B \quad (8)$$

$$A = A_M + \delta_3$$

где  $A_M$  — магнитный азимут,  $\delta$  — склонение магнитной стрелки.

Склонение магнитной стрелки изменяется в течение суток, года и более века. Суточное изменение склонения в средней полосе доходит до 15'. В аномальных районах пользоваться магнитной стрелкой нельзя, например, в районе Курской магнитной аномалии.

**3.** Азимут  $A$  направления  $PQ$  называется прямым, а противоположного — обратным (рис. 9, а):

$$A' = A + 180^\circ + \gamma \quad (9)$$

Прямой и обратный азимуты одной и той же линии в разных ее точках отличаются между собой на  $180^\circ + \gamma$ . Прямой и обратный румбы имеют противоположные названия и отличаются на величину  $\gamma$  сближения меридианов. Прямой и обратный дирекционные углы одной и той же линии отличаются между собой на  $180^\circ$  (рис. 9, б). Обратный дирекционный угол

$$a' = a + 180^\circ \quad (10)$$

Прямой и обратный румбы, вычисленные по дирекционным углам отличаются только противоположным названием. Если известны дирекционный угол  $\alpha_1$  линии  $AB$  и внутренний угол  $\beta$  (рис. 9, в), то дирекционный угол линии  $BC$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 180^\circ - \beta \quad (11)$$

т. е. дирекционный угол линии последующей равен дирекционному углу линии предыдущей плюс  $180^\circ$  минус угол вправо по ходу лежащий. Если результат превысит  $360^\circ$ , то из него следует вычесть  $360^\circ$ . Например,  $\alpha_1 = 260^\circ$ ,  $\beta = 50^\circ$ , то  $\alpha_2 = 260^\circ + 180^\circ - 50^\circ - 360^\circ = 30^\circ$ . Если в полигоне измерены все углы и дан дирекционный угол исходной стороны, то дирекционные углы всех последующих сторон вычисляются по изложенному выше правилу/

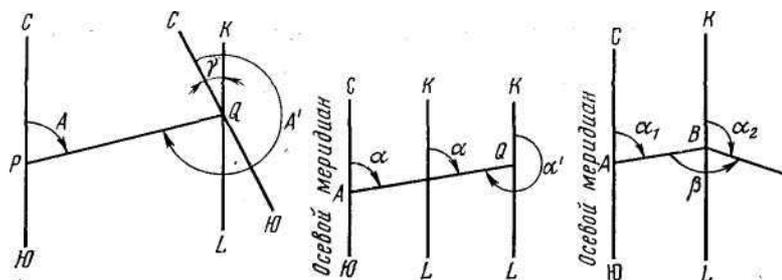


Рис. 9. Зависимость между прямыми и обратными азимутами, дирекционными углами и внутренними углами полигона

### Вопросы для самопроверки

1. Что значит ориентировать линию на местности?
2. Что называется азимутом линии?
3. Что называется дирекционным углом линии?
4. Что называется румбом линии?

5. Какова зависимость между азимутами и румбами?
6. Какая зависимость между прямым и обратным азимутом?
7. Что называют сближением меридианов?
8. Какая зависимость между прямым и обратным дирекционными углами?
9. Какая зависимость между прямыми и обратными румбами?
10. Какая связь между азимутом и дирекционным углом линии?
11. Какова связь между истинными и магнитными азимутами?
12. Что называется склонением магнитной стрелки и какое оно бывает?
13. Какая связь между дирекционными углами и внутренними углами полигона?
14. Как определить внутренний угол, зная дирекционные углы его сторон?

**Лекция -4**  
**ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ**  
**План**

- 1. Классификация ошибок измерений. Свойства случайных ошибок*
- 2. Арифметическая средина. Средняя квадратическая ошибка.  
Предельная и относительная ошибка*
- 3. Средняя квадратическая ошибка функции измеренных величин*
- 4. Понятие о неравноточных измерениях*

1. При геодезических измерениях неизбежны ошибки. Эти ошибки бывают грубые, систематические и случайные. К грубым ошибкам относятся просчеты в измерениях по причине невнимательности наблюдателя или неисправности прибора, и они полностью должны быть исключены. Это достигается путем повторного измерения. Систематические ошибки происходят от известного источника, имеют определенный знак и величину, и их можно учесть при измерениях или вычислениях. Влияние систематических ошибок на результат измерений сводится к минимуму путем введения поправки к результату измерения или применением соответствующей методики измерений.

Случайные ошибки имеют место при каждом измерении. Эти ошибки обусловлены точностью прибора, квалификацией наблюдателя, влиянием внешней среды, и полностью исключить их из результатов измерений нельзя. Закономерность таких ошибок проявляется лишь при большом числе измерений.

Так как случайные ошибки исключить из результатов измерений нельзя, то возникают две задачи: как из результатов измерений получить наиболее точную величину и как оценить точность полученных результатов измерений. Эти задачи можно разрешить с помощью теории ошибок измерений.

В основу теории ошибок положены следующие свойства случайных ошибок:

Малые ошибки встречаются чаще, а большие реже.

Ошибки не превышают известного предела.

Положительные и отрицательные ошибки, одинаковые по абсолютной величине, одинаково часто встречаются.

Сумма ошибок, деленная на число измерений, стремится к нулю при большом числе измерений.

**2. АРИФМЕТИЧЕСКАЯ СРЕДИНА. СРЕДНЯЯ  
КВАДРАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА. ПРЕДЕЛЬНАЯ И  
ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ОШИБКИ**

Исходя из четвертого свойства случайных ошибок при геодезических измерениях одинаковой точности, за окончательный результат принимают среднее арифметическое из ряда измерений.

Если измерена одна и та же величина  $n$  раз и получены результаты:  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ , то

$$x = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n} \quad (12)$$

Величина  $x$  называется арифметической серединой или вероятнейшим значением измеренной величины.

Разности между каждым измерением и арифметической серединой называются вероятнейшими ошибками измерений:

$$\begin{aligned} l_1 - x &= v_1 \\ l_1 - x &= v_2 \\ l_1 - x &= v_3 \\ &\dots\dots\dots \\ l_n - x &= v_n \end{aligned} \quad (13)$$

Сложив равенства (13), получим (14)

$$[l] - nx = [v]$$

Из формул (12) и (14) следует, что  $[v] = 0$ .

Точность результатов измерений оценивается средней квадратической ошибкой. Средняя квадратическая ошибка одного измерения вычисляется по формуле:

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} \quad (15)$$

где  $[v^2]$  — сумма квадратов вероятнейших ошибок;  $n$  — число измерений.

Средняя квадратическая ошибка арифметической середины вычисляется по формуле:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}} \quad (16)$$

Предельная ошибка не превышает утроенной средней квадратической ошибки, т. е.

$$\varepsilon = 3m \quad (17)$$

*Пример.* Линия измерена шесть раз. Определить ее вероятнейшую длину и оценить точность этого результата. Вычисления приведены в табл. 1.

Таблица 1

№	Длина линии, м	$v$ , см	$v^2$	Вычисления
1	225,26	+6	36	$m = \sqrt{\frac{158}{6-1}} = 5,6 \text{ см}$
2	225,23	+3	9	
3	225,22	+2	4	
4	226,14	- 6	36	
5	225,23	+3	9	

6	225,12	-8	64	$M = \frac{5.6}{\sqrt{6}} = 2,3 \text{ см}$
$x_{\text{CP}} = 225,20$		$v = 0$	$v^2 = 158$	

По формулам (15) и (16) вычислены абсолютные средние квадратические ошибки, а оценивать точность измерения длины линии необходимо по относительной ошибке. Поэтому нужно абсолютную ошибку разделить на длину линии. Для нашего примера относительная ошибка вероятнейшего значения измеренной линии равна

$$\frac{2.3}{22520} = \frac{1}{9800}$$

### 3. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ ОШИБКА ФУНКЦИИ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН

Если мы имеем функцию суммы или разности двух независимых величин

$$z = x \pm y, \quad (18)$$

то квадрат средней квадратической ошибки функции выразится формулой:

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2 \quad (19)$$

при  $m_x = m_y = m$

$$m_z = m\sqrt{2}$$

*Пример.* Линия на плане масштаба 1:5000 измерена по частям. Одна часть длиной 600,5 м, вторая часть длиной 400,0 м. Найти средние квадратические ошибки суммы и разности этих длин и соответствующие им относительные ошибки.

Ответ. Средняя квадратическая ошибка суммы и разности двух длин будет  $m_z = m\sqrt{n} = 0,5 \text{ м} \sqrt{2} = 0,7 \text{ м}$ , где  $m = 0,5 \text{ м}$  —точность масштаба. Относительные ошибки суммы и разности длин соответственно равны

$$\frac{0,7}{1000,5} = \frac{1}{1400} \quad \text{и} \quad \frac{0,7}{200,5} = \frac{1}{300}$$

Если функция имеет вид

$$Z = x_1 \pm x_2 \pm x_3 \pm \dots \pm x_n, \quad (21)$$

то

$$m_z^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots + m_n^2 \quad (22)$$

т. е. квадрат средней квадратической ошибки алгебраической суммы аргументов равен сумме квадратов средних квадратических ошибок слагаемых. Если  $m_1 = m_2 = m_3 = \dots = m_n = m$ , то формула (22) примет вид

$$m_z = m\sqrt{n} \quad (23)$$

т. е. средняя квадратическая ошибка алгебраической суммы (разности) измеренных с одинаковой точностью величин в  $\sqrt{n}$  раз больше средней

квадратической ошибки одного слагаемого.

*Пример.* В шестиугольнике каждый угол измерен с одинаковой точностью 0,5', средняя квадратическая ошибка суммы всех измеренных углов будет

$$m_z = 0,5' \sqrt{6} = 1,2'$$

Если функция имеет вид

$$z = k_1 x_1 \pm k_2 x_2 \pm k_3 x_3 \pm \dots \pm k_n x_n, \quad (24)$$

то

$$m_z^2 = k_1^2 m_1^2 + k_2^2 m_2^2 + k_3^2 m_3^2 + \dots + k_n^2 m_n^2 \quad (25)$$

где  $k_1, k_2, k_3, \dots, k_n$  — постоянные числа;  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$  — средние квадратические ошибки соответствующих аргументов. Если имеем функцию многих независимых переменных общего вида

$$z = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (26)$$

то

$$m_z^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 m_2^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_3}\right)^2 m_3^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 m_n^2 \quad (27)$$

Из формулы (27) следует, что квадрат средней квадратической ошибки функции общего вида равен сумме квадратов произведений частных производных по каждому аргументу на среднюю квадратическую ошибку соответствующего аргумента.

*Пример.* В цехе измерены длина  $a = 100,00$  м со средней квадратической ошибкой  $m_a = 10$  см и ширина  $b = 20,00$  м со средней квадратической ошибкой  $m_b = 4$  см. Найти среднюю квадратическую ошибку определения площади цеха.

Ответ. Функция имеет вид  $\Pi = ab$ .

$$m_\Pi^2 = \left(\frac{\partial \Pi}{\partial a}\right)^2 m_a^2 + \left(\frac{\partial \Pi}{\partial b}\right)^2 m_b^2$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a} = b \quad \frac{\partial \Pi}{\partial b} = a$$

$$m_\Pi = \sqrt{b^2 m_a^2 + a^2 m_b^2}$$

$$m_\Pi = \sqrt{20^2 \cdot 0,10^2 + 100^2 \cdot 0,04^2} = 4,7 \text{ м}^2$$

#### 4. ПОНЯТИЕ О НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Неравноточными измерениями называются такие, которые выполнены различным числом приемов, приборами различной точности и т.д. Если измерения неодинаковой точности, то для определения общей арифметической середины пользуются формулой:

$$x_0 = \frac{l_1 p_1 + l_2 p_2 + l_3 p_3 + \dots + l_n p_n}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n} = \frac{[lp]}{[p]} \quad (28)$$

где  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$  — соответствующие веса неравноточных

измерений  $l_1, l_2, l_3, l_n$ .

Весом называется число, которое выражает степень доверия к результату измерения. Для удобства вычислений веса можно увеличивать или уменьшать в одинаковое число раз.

В тех случаях, когда неизвестны веса измеренных величин, а известны их средние квадратические ошибки, то веса можно вычислить по формуле

$$p = \frac{1}{m^2} \quad (29)$$

т. е. вес результата измерений обратно пропорционален квадрату средней квадратической ошибки.

При неравноточных измерениях средняя квадратическая ошибка измерения, вес которого равен единице, определяется по формуле:

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-1}} \quad (30)$$

где  $v$ -разность между отдельными результатами измерений и общей арифметической серединой.

Таблица 2

№	Угол $\beta$	Число приемов	Вес $p$	$v''$	$pv$	$pv^2$
1	60°25'12"	2	1	+2	+2	4
2	60 25 06	6	3	—4	— 12	48
3	60 25 15	4	2	+5	+ 10	50
$X_0$	60 25 10		$[p]=6$		$[pv]=0$	$[pv^2] = 102$

Средняя квадратическая ошибка общей арифметической середины вычисляется по формуле:

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} \quad (31)$$

*Пример.* Угол измерен три раза различным числом приемов. Определить вероятнейшее значение угла, среднюю квадратическую ошибку единицы веса и среднюю квадратическую ошибку общей арифметической середины.

Вычисления показаны в табл. 2.

$$X_0 = \frac{[\beta p]}{[p]} = 60^{\circ}25' + \frac{12'' \cdot 1 + 6'' \cdot 3 + 15'' \cdot 2}{6} = 60^{\circ}25'10''$$

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{102}{3-1}} = 7,1''$$

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \frac{7,1''}{6} = 2,9''$$

*О точности вычислений.* Точность, полученная при измерении, должна сохраняться и при вычислениях. Поэтому вычисления ведутся на один десятичный знак больше, чем измерения, или в отдельных случаях с таким же числом десятичных знаков.

Если при вычислениях получено число с большим количеством знаков, чем это требуется, то производится его округление, например,  $12,46 \approx 12,5$ ;  $16,64 \approx 16,6$ ;  $120,455 \approx 120,46$ ;  $122,525 \approx 122,52$ . В последних двух и аналогичных случаях округление производится до четных.

При сложении и вычитании приближенных чисел сохраняют столько десятичных знаков, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством десятичных знаков плюс один запасной.

Например,

$$\begin{array}{r} 72,5 \\ + 2,07 \\ \hline 0,224 \\ 74,794. \end{array}$$

Полученный результат округляют до двух десятичных знаков — 74,79.

При умножении двух приближенных чисел в результате оставляют столько десятичных знаков, сколько их в числе, у которого меньше значащих цифр, чем у остальных, плюс один.

Например,  $66,34 \cdot 0,218 = 14,46212 \approx 14,46$ .

При делении двух приближенных чисел в частном оставляют столько знаков, сколько их в числе, имеющем меньшее количество значащих цифр, плюс один.

Например,  $420,45 : 31,3 = 13,432907 \approx 13,43$ .

При извлечении квадратного корня из приближенного числа в результате оставляют столько значащих цифр, сколько их имеет подкоренное выражение.

Например,

$$\sqrt{32.7} = 5,7183913 \approx 5,72.$$

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какие бывают ошибки при геодезических измерениях?
2. Как избежать грубых ошибок при геодезических измерениях?
3. Какие ошибки называются систематическими и как свести их влияние к минимуму?
4. Какие ошибки называются случайными?
5. Какими свойствами обладают случайные ошибки?
6. Какие измерения называются равноточными?
7. Что называют арифметической серединой или вероятнейшим значением измеренной величины?
8. Какие ошибки называются вероятнейшими?
9. Чему равна сумма вероятнейших ошибок измеренной величины?
10. По каким формулам вычисляется средняя квадратическая ошибка отдельного измерения и арифметической середины?
11. Какие ошибки называются абсолютными и относительными?

12. Что такое предельная ошибка?
13. Чему равна средняя квадратическая ошибка суммы (разности) независимо измеренных величин?
14. Какие измерения называют неравноточными?
15. Что называется весом результата измерения?
16. Что называется общей арифметической серединой и по какой формуле она вычисляется?
17. По какой формуле определяется средняя квадратическая ошибка измерения, вес которого равен единице?
18. По какой формуле определяется средняя квадратическая ошибка общей арифметической середины?
19. Приведите основные правила округления чисел.
20. Назовите основные правила округления результатов вычисления приближенных чисел.

**Лекция-5**  
**ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ И КАРТЫ**  
**План**

- 1. Понятие о плане и карте**
- 2. Масштабы**
- 3. Номенклатура топографических карт и планов**
- 4. Рельеф земной поверхности и его изображение на план**
- 5. Условные знаки топографических планов и карт**
- 6. Задачи, решаемые по топографическому плану или карте**

1. При изображении небольшого участка земной поверхности радиусом до 10 км его проектируют на горизонтальную плоскость. Полученное горизонтальное проложение участка в уменьшенном виде наносят на бумагу. Ошибки, возникающие в этом случае за счет кривизны Земли, находятся в пределах самой высокой точности линейных измерений, и поэтому не будут иметь практического значения. Таким образом, чертеж, дающий в подобном и уменьшенном виде изображение горизонтального проложения участка местности, называется планом.

При изображении на плоскости значительных территорий проектирование их производят уже на сферическую поверхность, которую затем разворачивают в плоскость. В этом случае участки местности изображаются с определенными искажениями. Для уменьшения, а также для учета этих искажений применяют специальные методы построения изображений, называемые картографическими проекциями. Разработкой этих проекций занимается дисциплина — математическая картография. В выбранной проекции по определенным математическим законам строят географическую сетку меридианов и параллелей, называемую картографической сеткой, внутри которой располагают изображение элементов местности — контуров и рельефа. Такое построение будет являться картой. Итак, уменьшенное изображение на плоскости значительного участка земной поверхности, полученное с учетом кривизны Земли, называется картой. Планы и карты с изображением на них контуров и рельефа местности называются топографическими, планы с изображением только контуров (ситуации) называются контурными или ситуационными.

## **2. МАСШТАБЫ**

При изображении участков земной поверхности на бумаге горизонтальные проложения их уменьшают в несколько раз. Степень уменьшения линий местности при перенесении их на бумагу называют масштабом, т. е. масштабом плана или карты называется отношение длины линии на плане (карте) к длине горизонтального проложения соответствующей линии на местности. Это отношение выражается в виде дроби с числителем единица и знаменателем, показывающим, во сколько раз горизонтальные проложения

линий местности уменьшены при перенесении их на план. Например, 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000 и т. д. В такой записи масштаб называют численным масштабом. Чем меньше знаменатель численного масштаба, тем крупнее масштаб плана или карты и наоборот. Пользоваться численным масштабом при работе с планом или картой неудобно, так как в этом случае пришлось бы постоянно производить определенные вычисления. Поэтому обычно пользуются линейным или поперечным масштабом.

Для построения линейного масштаба вычерчивают прямую линию и делят ее на ряд равных отрезков, называемых основанием масштаба. Обычно основание масштаба делают равным 2 см. Крайний левый отрезок делят дополнительно на 10 равных частей. Концы отрезков подписывают количеством метров или километров на местности, соответствующим в данном масштабе расстоянию данного штриха от нулевого. За нулевой штрих принимают правый конец первого отрезка. На рис. 10, а изображен линейный масштаб для численного масштаба 1 : 10 000.

Если необходимо, например, отложить на карте масштаба 1:10 000 горизонтальное проложение линии, равное 680 м, то одну ножку циркуля ставят на деление 600 м, вторую ножку на четвертое деление влево от нуля. При необходимости отложить в этом масштабе расстояние, например, 686 м, количество целых метров придется оценивать на глаз с определенной ошибкой. Для того, чтобы избежать оценки долей деления на глаз и тем самым повысить точность работы с планом или картой применяют поперечный масштаб.

Поперечный масштаб строят следующим образом. На прямой линии откладывают несколько раз основание масштаба, равное, как правило, 2 см. Из конца каждого полученного отрезка восстанавливают перпендикуляры произвольной длины, крайние из которых делят на десять равных частей и через точки деления проводят параллельные линии. Верхний и нижний крайние левые отрезки также делят на десять частей по 2 мм и точки деления соединяют косыми линиями как показано на рис. 10,б.

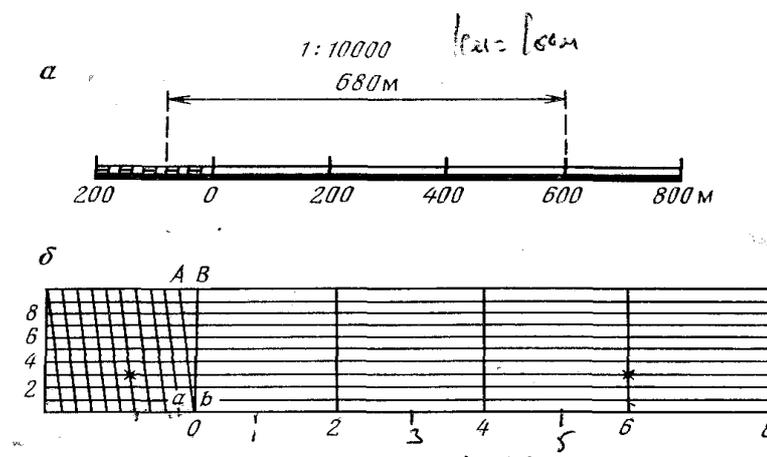


Рис. 10 Масштабы  
а) линейный; б) поперечный

Из подобия треугольников  $Oab$  и  $OAB$  следует, что  $ab =$

$=1/10AB$ . По построению  $AB$  равно  $1/10$  от основания масштаба, следовательно, наименьшее деление поперечного масштаба  $ab$  составляет  $1/100$  от основания. Поперечный масштаб с основанием 2 см называется сотенным или нормальным поперечным масштабом. Если при использовании нормального поперечного масштаба одну ножку циркуля вести по вертикальной линии, а вторую по наклонной, то перемещение циркуля на одно деление вверх будет соответствовать изменению длины линии на 0,2 мм в масштабе плана или карты.

Например, расстояние, обозначенное на рис. 10,6 крестиками, будет соответствовать в масштабе 1:10 000 — 686 м, в масштабе 1 : 5000 — 343 м, в масштабе 1 : 2000 — 137,2 м.

Поперечный масштаб обычно гравировается на специальных металлических линейках, называемых масштабными линейками.

За критерий точности, с которой можно определять длины линий, пользуясь поперечным масштабом, берется величина, равная 0,1 мм, соответствующая наименьшему расстоянию, которое может различить невооруженный глаз. Расстояние на местности, соответствующее в данном масштабе 0,1 мм на плане (карте), называется точностью масштаба. Так, на плане масштаба 1 : 1000 можно откладывать или измерять расстояния с точностью 0,1 м, в масштабе 1:2000 — 0,2 м, в масштабе 1 : 5000 — 0,5 м, в масштабе 1 : 10 000 — 1,0 м и т. д.

Топографические планы создаются в крупных масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000. Предназначаются они для составления генеральных планов, технических проектов и рабочих чертежей при обеспечении строительства различных инженерных сооружений.

Карты в СССР по масштабам подразделяются на крупномасштабные— 1 : 10 000, 1 : 25000, 1 : 50000, 1 : 100 000, средне-масштабные—1 : 200000, 1:300 000 и 1:500 000 и мелкомасштабные- 1: 1 000 000 и мельче. Крупномасштабные топографические карты могут быть использованы для предварительных изысканий строительства, для выбора территорий, намечаемых под строительство промышленных сооружений, жилых поселков, городов.

#### **4. НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ И ПЛАНОВ**

Чтобы изобразить весь земной шар, территорию государства или даже одного города на отдельных листах карты или плана крупного масштаба, потребуется много таких листов. Для удобства использования такой многолистной карты каждый ее лист получает определенное обозначение. Разделение топографических карт на листы называется разграфкой. Система обозначений отдельных листов топографических карт и планов называется номенклатурой.

В основу разграфки и номенклатуры топографических карт и планов положена карта масштаба 1:1000 000. Для получения такой карты земной шар делится меридианами через  $6^\circ$  на колонны и параллелями через  $4^\circ$  на ряды. Колонны нумеруются арабскими цифрами от 1 до 60 с запада на восток,

начиная от меридиана с долготой 180°. Ряды обозначаются заглавными буквами латинского алфавита от А до V, начиная от экватора к северному и южному полюсам (рис. 11).

Каждый полученный таким образом участок земной поверхности изображается на отдельном листе карты масштаба 1 : 1000 000. Номенклатура такого листа будет складываться из буквы, обозначающей ряд, и номера колонны, например, номенклатура листа, где находится Москва, N-37, для Новосибирска — N -44.

Номенклатура листов топографических карт и планов масштаба 1:100 000 и крупнее, применяемых в инженерно-строительном деле, определяется следующим образом.

Каждому листу карты масштаба 1 : 1 000 000 соответствует 144 листа карты масштаба 1:100 000, которые обозначаются арабскими цифрами (рис. 12,а). Номенклатура такого листа будет складываться из номенклатуры листа карты масштаба 1:1000 000 с добавлением номера листа карты масштаба 1 : 100 000, например, номенклатура последнего листа этого масштаба будет N -37-144.

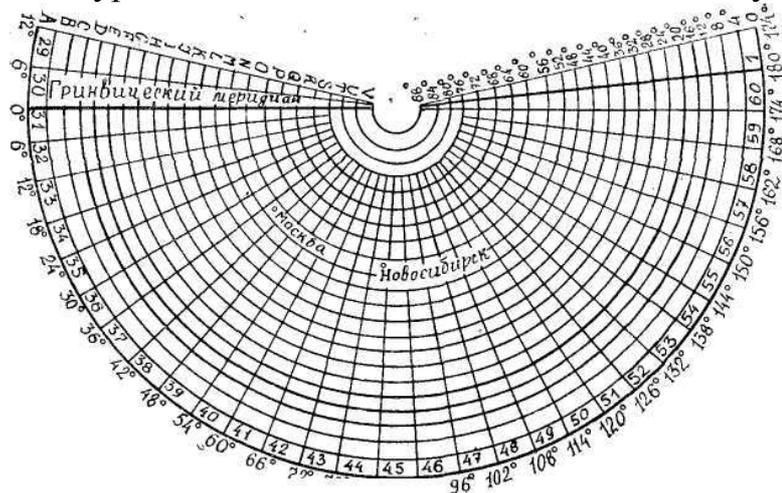


Рис. 11. Схема разграфки и номенклатуры листов карт масштаба 1 : 1 000 000

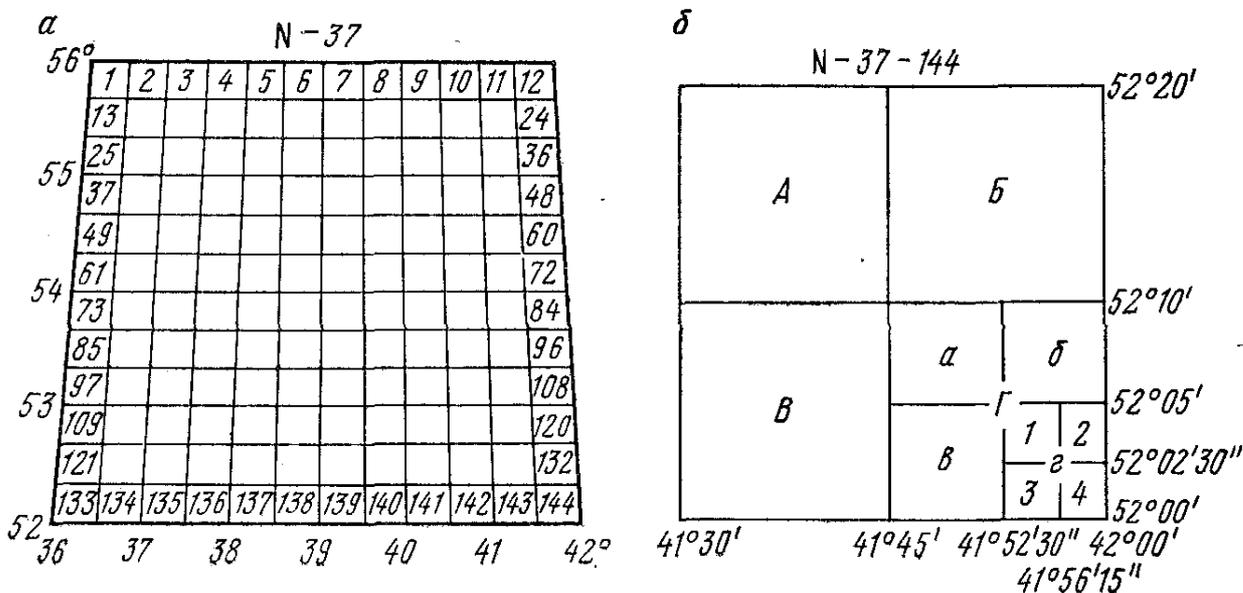


Рис. 12. Разграфка и номенклатура топографических карт масштабов 1 : 100 000; 1 : 50 000; 1 : 25 000 и 1 : 10 000

Каждому листу карты масштаба 1:100 000 соответствует 4 листа карты масштаба 1 :50 000, которые обозначаются заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г (рис. 12,6). Номенклатура последнего листа будет иметь вид N -37-144-.Г.

Одному листу карты масштаба 1 :50 000 соответствует 4 листа карты масштаба 1 :25 000, которые обозначаются строчными буквами а, б, в, г, например, N-37-144-Г-г. Каждому листу карты масштаба 1:25000 соответствует 4 листа карты масштаба 1:10 000, которые обозначаются цифрами 1, 2, 3, 4, например, N-37-144-Г-г-4.

				1	II
				III	IV
1	2	3	4	Г	
5	6	7	8		
	B				
9	100	11	12		
13	144	15	16		

Рис. 13. Прямоугольная разграфка и номенклатура листов планов масштабов 1 :5000; 1 : 2000; 1 : 1000 и 1 : 500.

Листу карты масштаба 1 : 100 000 соответствует 256 листов плана масштаба 1:5000, которые обозначаются цифрами от 1 до 256, приписываемыми к номенклатуре листа карты масштаба 1:100 000 в скобках. Например, N-37-144-(256). Одному листу плана масштаба 1 : 5000 соответствует 9 листов плана масштаба 1 :2000, обозначаемых строчными буквами русского алфавита а, б, в, г, д, е, ж, з, и, например, N-37-144-(256и).

Размеры рамок листа для карт и планов различных масштабов и образец записи номенклатуры приводятся в табл. 3.

При создании топографических планов участков, площадью до 20 км<sup>2</sup>, может быть применена прямоугольная разграфка. В основу разграфки в этом случае положен лист плана масштаба 1 :5000 с размерами рамок 40x40 см. Листы плана масштаба 1:5000 обозначаются арабскими цифрами (рис. 13).

Таблица 3

Масштаб	Образец номенклатуры	Размер рамок	
		по широте	по долготе
1:1 000000	N-37	4°	6°
1: 100000	N-37-144	20'	30'
1: 50000	N-37-144-Г	10'	15'
1: 25 000	N-37-144-Г-г	5'	7'30"
1: 10 000	N-37-144- Г-г-4	2'30"	3'45"
1: 5 000	N-37-144-(256)	1' 15"	1'52,5"

1: 2 000	N-37-144-(256 u)	25"	37,5"
----------	------------------	-----	-------

Одному листу плана масштаба 1:5000 соответствует 4 листа плана масштаба 1:2000. Номенклатура такого листа складывается из номера листа плана масштаба 1:5000 с добавлением заглавной буквы русского алфавита А, Б, В, Г, например, 4-Г. Каждому листу плана масштаба 1:2000 соответствует 4 листа плана масштаба 1 : 1000, обозначаемые римскими цифрами I, II, III, IV и 16 листов плана масштаба 1:500, обозначаемых арабскими цифрами 1, 2, 3 16. Номенклатура листов планов масштабов 1 : 1000 и 1 :500 складывается из номенклатуры листа плана масштаба 1 :2000 и соответствующей римской цифры для листа плана масштаба 1 : 1000 или арабской цифры для листов плана масштаба 1 :500, например, 4-B-IV для масштаба 1 : 1000 или 4-B-16 для масштаба 1 :500.

#### **4. РЕЛЬЕФ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ НА ПЛАНАХ И КАРТАХ**

Совокупность неровностей физической поверхности Земли называется рельефом земной поверхности. При большом разнообразии форм рельефа можно выделить следующие его основные формы.

**Гора** — возвышенность в виде купола или конуса. Гора имеет вершину — самую возвышенную ее часть, скаты или склоны, направленные от вершины во все стороны и подошву— линию, разделяющую скаты от равнины. Если возвышенность ниже 200 м относительно окружающей местности, ее называют холмом.

**Котловина** — чашеобразная вогнутая часть земной поверхности. Котловина имеет дно — самую нижнюю ее часть, скаты, направленные от дна во все стороны и бровку — линию перехода скатов в равнину. Небольшая котловина называется **впадиной**.

**Хребет** — возвышенность, вытянутая в одном направлении. Основными элементами хребта являются водораздельная линия, скаты и подошвы. Водораздельная линия идет вдоль хребта, соединяя наиболее высокие его точки.

**Лощина**, в противоположность хребту,— углубление, вытянутое в одном направлении. Лощина имеет водосливную линию, скаты и бровку. Разновидностями лощины являются долина, ущелье, овраг и балка.

**Седловина** — перегиб хребта между двумя вершинами. При планировке городов, благоустройстве населенных мест, при строительстве различного рода зданий и сооружений требуется тщательное изучение и анализ существующих форм рельефа с целью приспособления его под планируемую территорию. Для этого нужно иметь план с изображением рельефа. Существуют различные способы изображения рельефа на планах и картах.

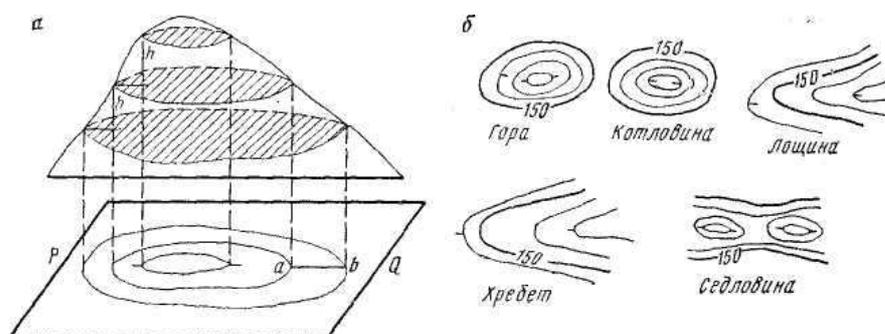


Рис. 14. Изображение рельефа местности горизонталями

Наиболее удобным является принятый в настоящее время способ изображения рельефа на топографических планах и картах — способ горизонталей. Сущность этого способа заключается в следующем. Поверхность участка Земли через равные промежутки  $h$  мысленно рассекают горизонтальными плоскостями (рис. 14,а). Пересечения этих плоскостей с поверхностью Земли образуют кривые линии, которые называются горизонталями. Другими словами, горизонталь— это замкнутая кривая линия, соединяющая точки земной поверхности с одинаковыми высотами. Полученные горизонталю проецируют на горизонтальную плоскость PQ, а затем наносят на план или карту в соответствующем масштабе. Расстояние между соседними горизонталями в плане  $ab$  —  $d$  называется заложением. Чем больше заложение, тем меньше крутизна ската и наоборот. Для того, чтобы на плане отличить гору от котловины, к некоторым горизонталям по направлению ската ставятся черточки, называемые бергштрихами. Кроме того, надписи на горизонталях, указывающие их отметки, делаются так, чтобы верх цифры всегда был направлен в сторону повышения.

Расстояние между секущими плоскостями  $h$  называется высотой сечения. Для данного листа плана или карты эта величина постоянная. Чем меньше высота сечения, тем подробнее будет изображен рельеф. Но при слишком малой высоте сечения горизонталю могут слиться, и пользоваться таким планом или картой будет нельзя. Поэтому за нормальную высоту сечения берут величину, которая соответствует 0,2 мм в масштабе плана. Например, при масштабе плана 1 :5000 нормальная высота сечения будет равна 1 м. Эта высота сечения может быть изменена в ту или другую сторону в зависимости от характера рельефа. Так, для равнинных районов она может быть уменьшена, а для горных — увеличена.

Принятые значения высот сечения на топографических планах и картах в зависимости от масштаба и характера рельефа местности приводятся ниже.

Масштаб плана и карты	Высота сечения рельефа, м
1 : 500; 1:1 000	0,25; 0,5; 1,0
1 : 2 000	0,5; 1,0; 2,0
1 : 5 000	1,0; 2,0; 5,0
1 : 10 000	1,0; 2,5; 5,0

1 : 25 000	2,5; 5,0; 10,0
1 : 50 000	10; 20
1 : 100 000	20; 40

Если при данной высоте сечения изменения рельефа не улавливаются горизонталями, то применяют дополнительные горизонтали с половинной высотой сечения, называемые полугоризонталями, которые проводятся пунктиром. Изображение основных форм рельефа горизонталями показано на рис. 14,6.

Горизонтали на плане или карте вычерчиваются цветом жженой сиены. Для удобства чтения карты некоторые горизонтали утолщают. При высоте сечения рельефа 1, 2 и 5 м утолщается каждая пятая горизонталь с отметками, кратными 5, 10 и 25 м соответственно. При высоте сечения 0,25; 0,5 и 2,5 м утолщается каждая четвертая горизонталь с отметками, кратными 1, 2 и 10 м.

## **5. УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И КАРТ**

Для обозначения на планах и картах различных предметов и контуров местности применяются условные знаки. Условные, знаки делятся на масштабные и внемасштабные. Масштабными или контурными называются такие знаки, которыми предметы местности изображаются с соблюдением масштаба данной карты или плана, например, леса, луга, пашни, озера и т. д. Если предмет в данном масштабе не может быть выражен контурным знаком вследствие своей малости, то применяется условный знак, который называется внемасштабным. Примером таких знаков могут являться условные знаки, обозначающие километровые столбы, указатели дорог, колодцы, геодезические пункты и т. д.

Кроме того, существуют пояснительные условные знаки, которые служат дополнением к контурным условным знакам. К этим знакам относятся названия населенных пунктов, рек, озер, материал сооружений, покрытий дорог и т. д. К пояснительным условным знакам относятся также числовые значения, показывающие основные характеристики данного контура, например, длина, ширина и грузоподъемность мостов, средняя высота, толщина деревьев в лесу и расстояния между ними, ширина, глубина рек и характеристика грунта дна и т. д. Условные знаки топографических карт и планов различных масштабов, обязательные для всех ведомств и учреждений СССР, утверждаются Главным управлением геодезии и картографии и издаются в виде специальных таблиц.

## **6. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОМУ ПЛАНУ ИЛИ КАРТЕ**

При проектировании планировки и застройки городов, поселков, промышленных предприятий и т. п. приходится решать ряд различных задач по

топографическому плану или карте: определение географических и прямоугольных координат точек, определение длины, дирекционного угла, истинного или магнитного азимута линии, отметки точки, крутизны ската, построение профиля по заданному на карте направлению, проектирование линии с заданным уклоном и другие задачи.

Географические координаты любой точки могут быть определены по топографической карте. На каждом листе такой карты подписаны широты и долготы углов рамок листа. Кроме того, рамки как по широте, так и по долготе разбиты на минутные деления, которые, в свою очередь, разделены на десятки секунд, обозначенные точками. Для получения географических координат точки Р (рис. J5) определяют по карте с помощью циркуля и линейного или поперечного масштаба отрезки  $t$  и  $p$  в метрах от этой точки соответственно до параллели  $50^{\circ}41'$  и до меридиана  $18^{\circ}05'$ , проведенных через концы минутных делений, а затем вычисляют эти же отрезки в угловой мере по формулам

$$\Delta\varphi = \frac{60''}{1855} \quad m = \frac{60''}{1855} 555 = 18''$$

$$\Delta\lambda = \frac{60''}{1075} \quad n = \frac{60''}{1075} 429 = 24''$$

где 1855 и 1075 — длины минутных делений соответственно по широте и долготе в метрах, взятые с карты,  $m = 555$  м;  $n = 429$  м.

Тогда географические координаты точки Р будут равны

$$\varphi = 54^{\circ}41' + 18'' = 54^{\circ}41'18'';$$

$$\lambda = 18^{\circ}05' + 24'' = 18^{\circ}05'24''.$$

Определить широту и долготу точки можно несколько иначе. Проводят через точку Р истинный меридиан и, пользуясь минутной рамкой карты, считают, сколько минут и секунд заключено между западной рамкой карты и этим меридианом, оценивая секунды на глаз.

Полученное число секунд и минут прибавляют к долготе западной рамки. Для получения широты, аналогично, через точку Р проводят параллель, считают число минут и секунд, заключенное между южной рамкой и этой параллелью, и полученное число минут и секунд прибавляют к широте южной рамки.

Для определения прямоугольных координат точки по плану или карте пользуются координатной (километровой) сеткой, линии которой параллельны и перпендикулярны осевому меридиану зоны. Координаты вершин квадратов координатной сетки даны в зональной системе и подписаны на карте, например, запись 6065 означает, что абсцисса  $x = 6065$  км от экватора, запись 4311 означает, что ордината  $y = 311$  км, цифра 4 указывает номер шестиградусной зоны.

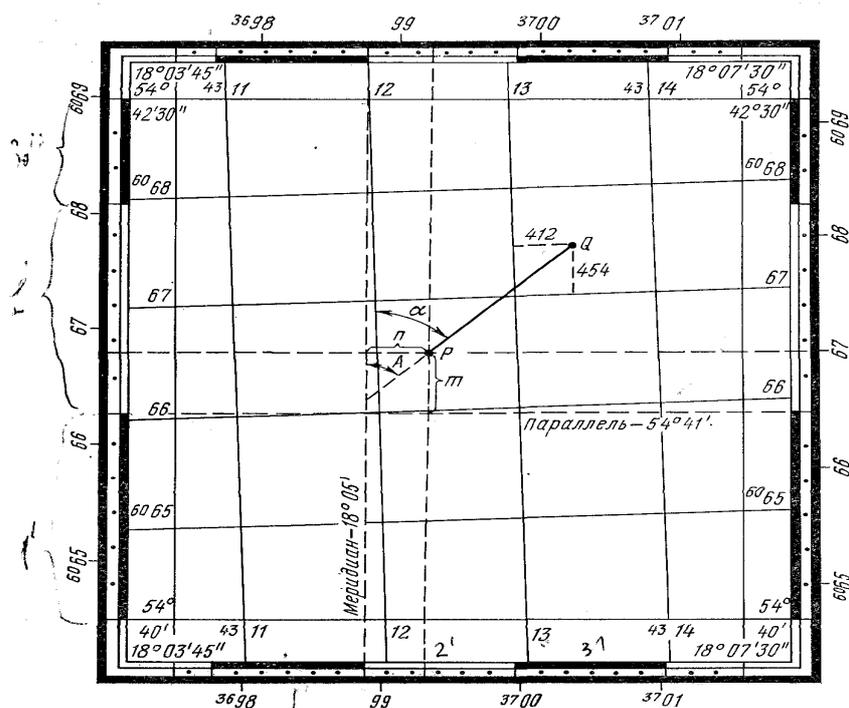


Рис. 15. Схема определения по карте географических и прямоугольных координат, дирекционного угла и азимута линии.

Расстояния от линий координатной сетки до точки по оси абсцисс и оси ординат измеряются с помощью измерителя и масштабной линейки в масштабе данного листа плана или карты. Например, прямоугольные координаты точки Q (см. рис. 15) будут:  $x = 6\ 067\ 454$  м;  $y = 4\ 313\ 412$  м. На крупномасштабных топографических планах, составленных в прямоугольной разграфке, подписи координатных линий даются в местной системе координат.

Если листы карты располагаются на границе двух зон, то прямоугольные координаты точек, находящихся на листе последующей зоны, можно определить в системе координат зоны предыдущей. На внешней стороне рамок этих листов обозначаются черточками выходы координатных линий соседней зоны с соответствующими подписями, и координаты точек определяются относительно линий координатной сетки, проведенных между этими черточками. Например, на рис. 15 прямоугольные координаты точки Q в системе координат предыдущей, т. е. третьей зоны, будут определяться относительно координатных линий, подписанных координатами:  $x = 6067$  км,  $y = 3700$  км. Длины отрезков прямых линий между заданными точками на плане или карте измеряются с помощью циркуля и линейного или поперечного масштаба.

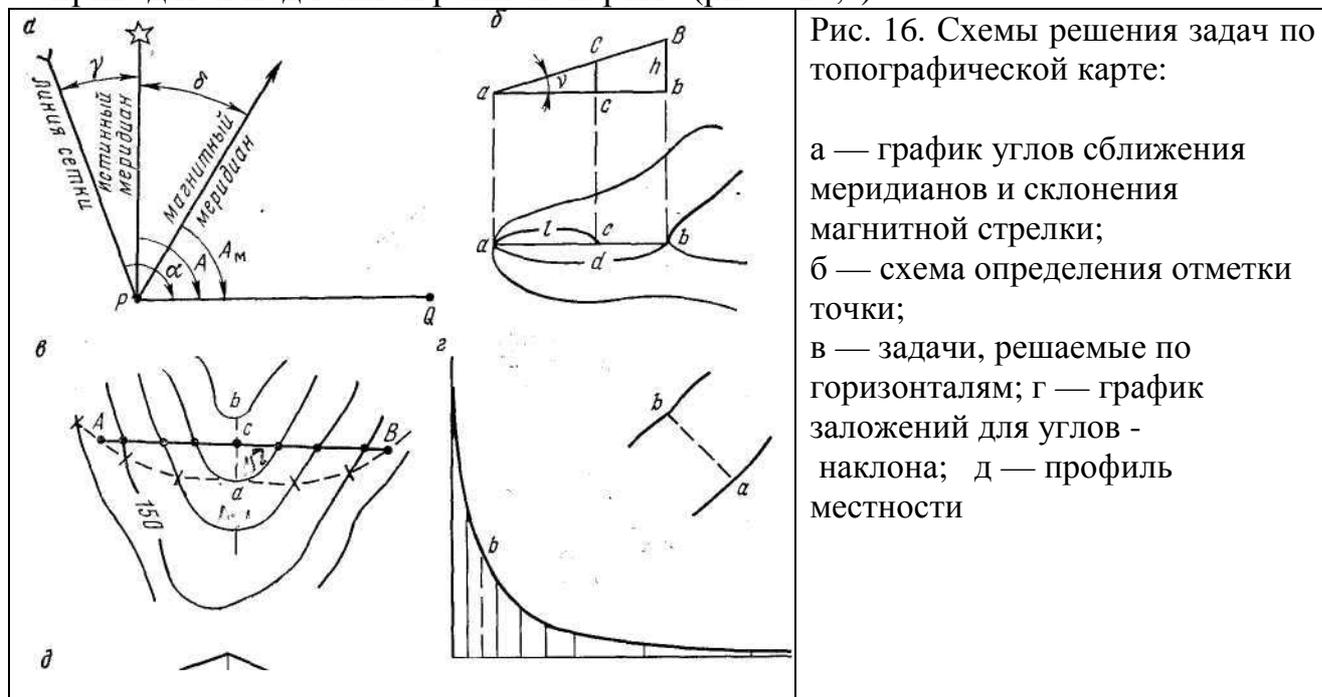
Дирекционный угол  $\alpha$  любой линии на плане или карте может быть определен непосредственным измерением угла между северным направлением вертикальной линии километровой сетки и данной линией с помощью транспортира.

Истинный азимут линии измеряется от северного направления истинного меридиана, проведенного через начало этой линии до ее направления (угол A, рис. 15). Кроме того, истинный азимут может быть вычислен по формуле:

$$A = \alpha \pm \gamma.$$

Для листов карт, расположенных к востоку от осевого меридиана, у прибавляется к дирекционному углу, к западу—вычитается. Для того, чтобы найти магнитный азимут линии Лм, необходимо знать величину и название склонения магнитной стрелки, тогда, в соответствии с формулой (8), получим  $A_M = A - \delta_B$  и  $A_M = A + \delta_3$ .

Значения углов сближения меридианов  $\gamma$  и склонения магнитной стрелки  $\delta$  приводятся под южной рамкой карты (рис. 16,а).



Следует иметь в виду, что величина склонения указывается здесь на определенную дату. Если после этой даты прошло несколько лет, то необходимо учесть годовое изменение склонения, величина и направление которого также приводится.

При необходимости величина сближения меридианов в заданной на карте точке может быть вычислена по формуле

$$\gamma = \Delta\lambda \sin \varphi,$$

где  $\Delta\lambda$  -разность долготы данной точки и долготы осевого меридиана;  $\varphi$  — широта точки.

*Пример.* Определить сближение меридианов в точке Р (см. рис. 15), географические координаты которой равны:  $\varphi = 54^\circ 41'18''$ ,  $\lambda = 18^\circ 05' 24''$ , Долгота осевого меридиана может быть вычислена по формуле где  $n$  — номер зоны.

Номер зоны, в которой находится данный лист карты, можно определить по значениям ординат координатной сетки. На рис. 15 видим, что эти значения записаны от 4 311 км до 4 314 км. Следовательно, лист карты находится в 4-й зоне западнее осевого меридиана, поскольку значение ординаты меньше 500 км.

Таким образом, долгота осевого меридиана

$$\lambda_0 = 6^0 \cdot 4 - 3^0 = 21^0$$

Тогда разность долгот заданной на карте точки и осевого меридиана будет равна  $\Delta\lambda = 18^\circ 05' 24'' - 21^\circ 00' 00'' = -2^\circ 54' 36''$  и сближение меридианов  $\gamma = 2^\circ 54' 36'' \cdot \sin 54^\circ 41' 18'' = -2^\circ 22' 29''$ .

Отметка любой точки может быть определена относительно горизонталей. Если точка расположена непосредственно на горизонтали, то ее отметка будет равна отметке этой горизонтали. При положении точки между горизонталями через точку проводят прямую, нормальную к горизонталям, и измеряют расстояние от младшей горизонтали до точки  $ac = \lambda$  и заложение  $ab = d$  (рис. 16,б). Тогда отметка точки будет равна

$$H_c = H_a + \frac{l}{d} h \quad (32)$$

где  $H_a$  — отметка младшей горизонтали;  $h$  — высота сечения горизонталей.

Пример. Определить отметку точки  $c$ , находящейся между горизонталями (рис. 16, в). Сначала определяют отметки двух смежных с точкой горизонталей. Для этого находят ближайшую к точке утолщенную и подписанную отметкой горизонталь. По надписи отметки или по бергштрихам определяют направление ската и, зная высоту сечения рельефа, рассчитывают отметки горизонталей, находящихся рядом с точкой. На рис. 16, в при высоте сечения 1 м, эти отметки будут равны 152 м и 153 м.

Измеренное заложение ската между горизонталями  $d$  равно 24,4 м, расстояние  $\lambda$  от младшей горизонтали до точки — 13,6 м. Тогда в соответствии с формулой (32) отметка точки  $c$  будет равна

$$H_c = 152 \text{ м} + (13,6 : 24,4) 1 \text{ м} = 152,6 \text{ м}$$

**Крутизна ската** линии местности характеризуется ее уклоном  $u$ , который вычисляется по формуле

$$u = \operatorname{tg} v = \frac{h}{d} \quad (33)$$

Например, по направлению  $ab$  (рис. 16, в) уклон  $u$  будет равен

$$u = \frac{1}{24,4} = 0,041$$

что соответствует углу наклона местности  $v = 2^\circ 21'$ .

Для определения крутизны ската можно воспользоваться специальным графиком, называемым графиком заложений. При построении такого графика берут прямую линию и делят ее на ряд равных отрезков произвольной длины. Задаваясь углами наклона, существующими в пределах данного листа плана или карты, вычисляют соответствующие им заложения по формуле

$$d = h \operatorname{ctg} v$$

и откладывают их в масштабе карты перпендикулярно к взятой линии. Концы полученных отрезков соединяют плавной кривой (рис. 16,г). Для определения угла наклона по такому графику измерителем снимают с карты расстояние между соседними горизонталями по заданному направлению. Приложив одну ножку циркуля к горизонтальной прямой, находят пересечение второй ножки с кривой и по оцифровке горизонтальной линии находят угол наклона. На рис. 16,г угол наклона  $v = 1^\circ 30'$ .

График заложений может быть построен также для уклонов. Построение профиля по заданному на карте направлению. При проектировании сооружений линейного типа, т. е. сооружений, вытянутых в одном направлении, требуется знать характер рельефа по направлению оси сооружения. В этом случае строится профиль. Профилем называется изображение на плоскости в уменьшенном виде вертикального разреза местности. Пусть требуется построить профиль по заданному на карте направлению АВ (рис. 16,в). Профиль строится обычно на миллиметровой бумаге. Для его построения прочерчивают линию АВ с сохранением масштаба карты и отмечают на ней точки пересечения линии с горизонталями. В намеченных точках восставляют перпендикуляры, вдоль которых откладывают отметки соответствующих горизонталей. При этом, чтобы профиль был более выразительным, масштаб вертикальных расстояний берется в 10 раз крупнее масштаба карты. Отметки откладывают от так называемой линии условного горизонта, за которую принимают одну из линий миллиметровки. Концы построенных отрезков соединяют прямыми линиями и получают профиль (рис. 16,(d)).

Проектирование по топографической карте линии с заданным уклоном. При проектировании трасс линейных сооружений (дорог, каналов, различного рода подземных коммуникаций и т. д.) на стадии предварительных изысканий возникает проблема выбора наилучшего направления трассы по топографическому плану или карте. При этом обычно задается уклон и, с которым должна быть запроектирована трасса. Для выполнения этой задачи, по заданному уклону вычисляется заложение  $d$  по формуле  $d = h/u$  или  $d = h \cdot \operatorname{ctg} v$ , если трасса задана углом наклона  $v$ . Взяв раствором измерителя полученное значение  $d$  в масштабе карты, засекают этим раствором точки на соседних горизонталях. Соединив отмеченные точки, получают направление трассы. Если задан предельный уклон трассы, то проектирование ведут так, чтобы расстояние между горизонталями по направлению трассы было не менее взятого раствора измерителя. На рис. 16,б показан пунктиром вариант трассы с заданным уклоном из точки А в точку В.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что называется планом?
2. Что называется картой?
3. Какие планы и карты называются топографическими, какие — контурными?
4. Что называется масштабом плана или карты?
5. Какой масштаб называют численным?
6. Как строятся линейный и поперечный масштабы и как ими пользоваться?
7. Что называется точностью масштаба и как она определяется?
8. Что называется разграфкой и номенклатурой топографии-

ческих карт и планов?

9. Карта какого масштаба положена в основу разграфки и номенклатуры топографических карт и планов и как производится деление земной поверхности на листы этой карты?

10. Как складывается номенклатура листов карт и планов масштабов 1:100 000, 1:50 000, 1:25000, 1:10 000, 1:5000 и 1:2 000? Какие размеры этих листов по широте и долготе?

11. Как складывается номенклатура листов планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 в прямоугольной разграфке?

12. Что называется рельефом земной поверхности?

13. В чем заключается сущность изображения рельефа горизонталями?

14. Что называется горизонталью, заложением, высотой сечения?

15. Какие условные знаки называются масштабными и вне-масштабными?

16. Как определить по карте географические координаты точек?

17. Как определить по карте или плану прямоугольные координаты точек?

18. Как определяются по карте длины отрезков, дирекционные углы, истинные и магнитные азимуты линий?

19. Как определить по топографическому плану или карте отметку точки и крутизну ската?

20. Как строится график заложений и как им пользоваться?

21. Что называется профилем и как он строится по заданному на карте направлению?

22. Как по топографической карте запроектировать трассу с заданным уклоном?

## Лекция -6 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

### План

- 1. Назначение и виды геодезических сетей*
- 2. Методы создания геодезических сетей*
- 3. Государственная геодезическая сеть*
- 4. Геодезические сети сгущения и съёмочные геодезические сети*
- 5. Закрепление пунктов геодезических сетей*

1. Для выполнения топографических съёмок, производства инженерно-геодезических работ в строительстве и для решения научных задач необходимо на местности иметь геодезические сети. Геодезическая сеть — это система закрепленных точек земной поверхности, положение которых определено в общей для них системе геодезических координат. Геодезическая сеть бывает двух видов: плановая и высотная.

Геодезические сети, как плановые, так и высотные, подразделяются на государственную геодезическую сеть, геодезическую сеть сгущения и съёмочную геодезическую сеть. Государственная геодезическая сеть является исходной для построения всех других геодезических сетей. Сеть сгущения служит для дальнейшего увеличения количества точек геодезической сети. Съёмочная сеть является геодезическим обоснованием для производства топографических съёмок, а также для выполнения различного рода инженерно-геодезических работ.

## 2. МЕТОДЫ СОЗДАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Плановые геодезические сети создаются методами триангуляции, полигонометрии и трилатерации.

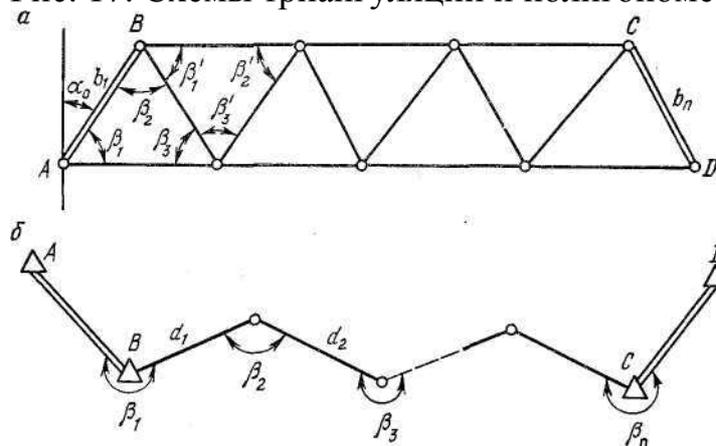
При построении геодезической сети методом триангуляции на местности закрепляется ряд точек, которые в своей совокупности образуют систему треугольников. В треугольниках измеряются все углы и некоторые стороны, которые называются базисными, например,  $b_1$   $b_n$  (рис. 17,а). По длине базисной стороны  $b_1$  и измеренным углам вычисляют длины всех сторон треугольников, причем сторона  $b_n$  в данном ряду треугольников будет являться контрольной. Зная дирекционный угол  $a_0$  базисной стороны  $b_1$  и координаты одного из пунктов  $X_A, Y_A$ , можно вычислить координаты всех пунктов сети.

Метод полигонометрии заключается в построении на местности системы ломаных линий, называемых полигонометрическими ходами. Эти ходы прокладываются обычно между пунктами триангуляции (рис. 17,б). В полигонометрических ходах измеряются все углы поворота и длины всех сторон.

При построении сети методом трилатерации на местности также строится сеть треугольников, в которых при помощи свето- или радиодальномеров измеряются все стороны.

Высотная геодезическая сеть строится методом геометрического или тригонометрического нивелирования.

Рис. 17. Схемы триангуляции и полигонометрии



#### 4. ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ

Государственная плановая геодезическая сеть подразделяется на сети 1, 2, 3 и 4 классов. Сеть 1 класса предназначена для решения научных задач геодезии, а также является основой для развития геодезических сетей последующих классов. Геодезическая сеть 1 класса строится в виде полигонов периметром около 800 км, образуемых триангуляционными звеньями 1 (рис. 18) длиной не более 200 км, располагаемыми по возможности вдоль меридианов и параллелей.

В местах пересечения звеньев триангуляции измеряются базисные стороны 2. На концах базисных сторон закрепляются пункты 3, широта и долгота которых, а также азимут направления между ними определяются путем астрономических наблюдений. Такие пункты, координаты которых определяют из астрономических наблюдений, получили название астрономических пунктов или пунктов Лапласа, а геодезическую сеть с включенными в нее астрономическими пунктами называют астрономо-геодезической сетью.

Сеть 2 класса строится в виде сплошной сети треугольников 4, покрывающих полигоны 1 класса или в виде пересекающихся ходов полигонометрии. Пункты сетей триангуляции 3 и 4 классов 5 определяются вставками систем треугольников или отдельных пунктов относительно пунктов высшего класса.

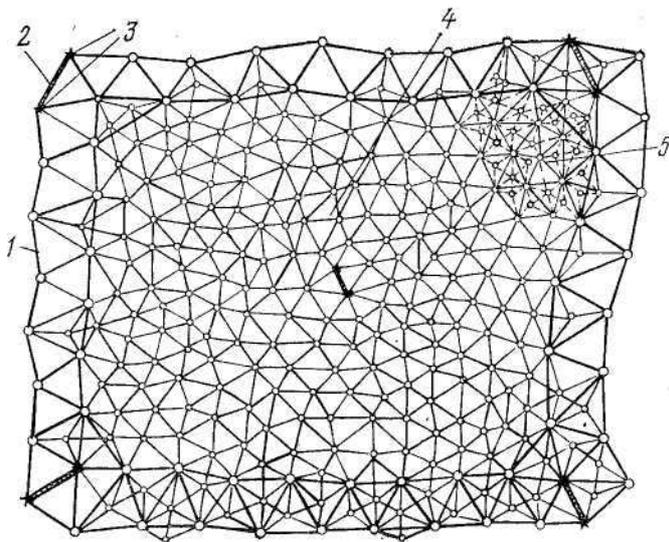


Рис. 18. Схема построения государственной геодезической сети

Таблица 4

Показатели	Классы			
	1	2	3	4
Длина стороны треугольника, км	20—25	7—20	5—8	2—5
Средняя квадратическая ошибка измерения углов в треугольниках угл. С	0,7	1,0	1,5	2,0
Относительная ошибка базисной стороны	1: 400 000	1 : 300 000	1:200000	1:150000

При построении государственной геодезической сети выполняют высокоточные геодезические измерения. Основные показатели триангуляции 1, 2, 3 и 4 классов приведены в табл. 4.

Государственная высотная геодезическая сеть также делится на классы. Нивелирные сети I и II классов являются главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая система высот на всей территории СССР. Нивелирные сети III и IV классов служат для обеспечения топографических съемок и решения инженерных задач.

Нивелирование I класса выполняют с наивысшей точностью. Невязки в полигонах или нивелирных ходах последующих классов допускают не более  $\pm 5 \sqrt{L}$ , мм для II класса,  $\pm 10 \sqrt{L}$ , мм для III класса и  $\pm 20 \sqrt{L}$ , мм для IV класса, где L — периметр полигона или длина нивелирного хода в километрах. Высоты пунктов государственной нивелирной сети считают от нуля Кронштадтского футштока (Балтийская система).

В результате развития государственной геодезической сети средняя плотность пунктов плановой и высотной основы для создания съемочного геодезического обоснования в соответствии с инструкцией по топографическим съемкам должна быть доведена:

на территориях, подлежащих съемкам в масштабе 1:25000 и 1:10 000, до

одного пункта плановой и высотной основы на 50—60 км<sup>2</sup>;

на территориях, подлежащих съемкам в масштабе 1:5000, до одного пункта триангуляции или полигонометрии на 20—30 км<sup>2</sup> и одного пункта высотной основы на 10—15 км<sup>2</sup>;

на территориях, подлежащих съемкам в масштабе 1:2 000 и крупнее, до одного пункта триангуляции или полигонометрии на 5—15 км<sup>2</sup> и одного пункта высотной основы на 5—7 км<sup>2</sup>.

#### 4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ СГУЩЕНИЯ И СЪЕМОЧНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

Для увеличения плотности пунктов опорной геодезической сети строят геодезические сети сгущения. Плановые геодезические сети сгущения строятся методами триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов.

Сети триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов развиваются относительно пунктов государственной геодезической сети 1—4 классов. Базисные стороны в сетях триангуляции 1 и 2 разрядов измеряются светодальномерами или инварными проволоками. Углы измеряют способом круговых приемов точными теодолитами Т2 и Т5.

Основные показатели триангуляции 1 и 2 разрядов приводятся в табл. 5. Полигонометрические сети 1 и 2 разрядов создаются в виде отдельных ходов или различной системы пересекающихся ходов. Основные показатели полигонометрии 1 и 2 разрядов приводятся в табл. 6.

Высотные сети сгущения создаются методом нивелирования IV класса или техническим нивелированием. Невязки в ходах и полигонах технического нивелирования не должны превышать  $\pm 50\sqrt{L}$  мм, где L — длина хода в километрах.

В соответствии с инструкцией по топоъемке, число пунктов государственных геодезических сетей и сетей сгущения должно быть доведено на территориях городов и поселков до 4 пунктов на 1 км<sup>2</sup> на застроенных и до 1 пункта на 1 км<sup>2</sup> на незастроенных территориях. Для обеспечения инженерных изысканий и строительства плотность геодезической сети может быть доведена до 8 пунктов на 1 км<sup>2</sup>.

Таблица 5

Показатели	1 разряд	2 разряд
Длина стороны треугольника не более, км	5,0	3,0
Предельное значение средней квадратической угла, угл. С	5	10
Относительная ошибка исходной (базисной) стороны	1: 50 000	1: 20 000

Таблица 6

Показатели	1 разряд	2 разряд
Длина стороны хода, км	от 0,12 до 0,80	от 0,08 до 0,35

Средняя квадратическая ошибка измерения угла, угл. с.	5	10
Предельная относительная ошибка хода	1 : 10 000	1 : 5000

Съемочная геодезическая сеть создается с целью обеспечения геодезической опорой топографических съемок, а также создания рабочего обоснования для выполнения различного рода инженерно-геодезических работ в строительстве. Съемочное обоснование развивается относительно пунктов государственной геодезической сети и сетей сгущения построением съемочных триангуляционных сетей, проложением теодолитных, тахеометрических и мензульных ходов, прямыми, обратными и комбинированными засечками. Предельные ошибки положения пунктов уравниваемого планового обоснования не должны превышать 0,2 мм в масштабе плана на открытой местности и 0,3 мм в закрытой местности. Высоты точек съемочного обоснования определяются техническим или тригонометрическим нивелированием.

## 5. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ПУНКТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Пункты плановой государственной геодезической сети закрепляются центрами, обеспечивающими неизменность их положения в течение длительного времени. Существуют различные типы центров в зависимости от состава грунта и глубины промерзания почвы. На рис. 19 показан центр для районов неглубокого (до 1,5 м) промерзания грунта.

Для обеспечения взаимной видимости между пунктами при выполнении угловых и линейных измерений над центрами устанавливаются специальные геодезические знаки. В зависимости от условий местности эти знаки бывают разных конструкций, от простых пирамид (рис. 20, а) до сложных сигналов (рис. 20, б).

В верхней части этих знаков устанавливаются визирный цилиндр 1, служащий визирной целью при производстве угловых измерений. В условиях открытой всхолмленной местности, обеспечивающей видимость между пунктами, устанавливаются простые пирамиды, и угловые измерения производятся со штатива, установленного на земле непосредственно над центром 2. В условиях залесенной равнинной местности строятся сигналы высотой до 40 м и выше. В этом случае прибор для измерения углов устанавливается на специальном столике 3, устроенном в верхней части сигнала. При сооружении таких сигналов ставится условие, чтобы ось визирного цилиндра, центр столика для прибора и центр пункта находились на одной отвесной линии.

В городах с многоэтажной застройкой пункты триангуляции устанавливаются на крышах высоких зданий. Такая надстройка представляет из себя столик для прибора в виде кирпичного

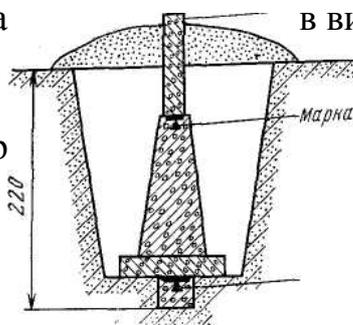


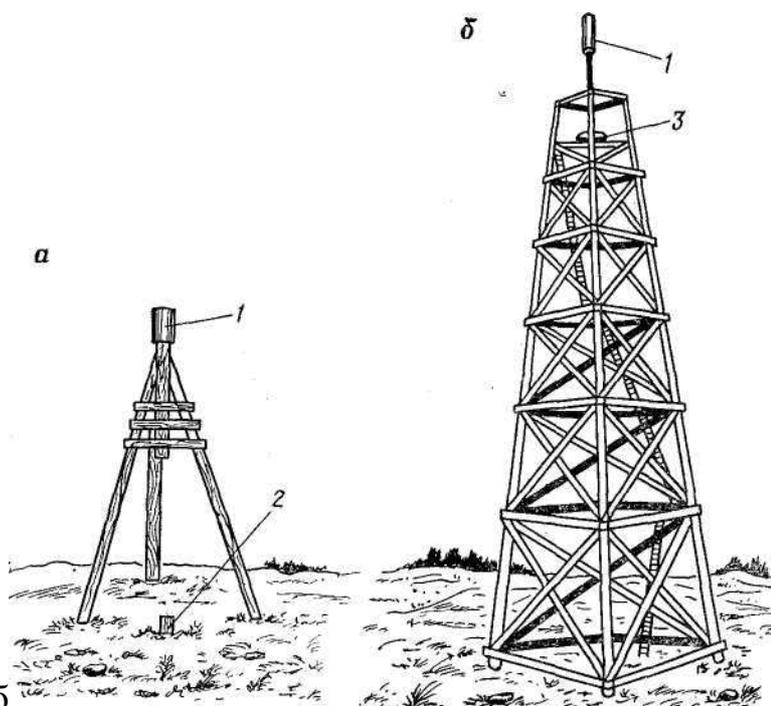
Рис. 19. Центр геодезического

знака

Рис. 20. Геодезические знаки: а — пирамида; б — сигнал

Марки

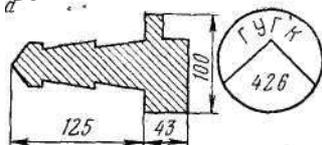
Опознавательный



столб

или бетонного столба и визирный цилиндр или металлический сигнал, устанавливаемый над столиком.

Пункты высотной государственной геодезической сети закрепляются специальными знаками — стенными реперами и марками, грунтовыми реперами. Стенные реперы и марки (рис. 21, а и б) закрепляются в стены фундаментальных зданий.



Стеной репер

Стенная марка

Рис. 21. Нивелирные знаки:

а — стеной репер; б — стенная марка

Отметка марки соответствует центру отверстия в диске марки, в которое подвешивается нивелирная рейка. Отметка стеного репера относится к полочке, на которую устанавливается рейка при привязке к реперу. В основном, в качестве нивелирных знаков используются стенные реперы.

При отсутствии фундаментальных зданий закладываются грунтовые реперы, состоящие из железной трубы или отрезка рельса, заделываемых в

бетонные монолиты. В верхний конец трубы закладываются марки со сферической головкой. При нивелировании определяют отметку верхней точки сферической головки.

Пункты геодезических сетей сгущения закрепляются так же, как и пункты государственных геодезических сетей, постоянными знаками.

Пункты съемочных геодезических сетей закрепляются, в основном, временными знаками: деревянными столбами и кольями, отрезками металлических труб и т. д.

Координаты всех пунктов плановой геодезической сети, а также отметки пунктов высотной геодезической сети заносятся в специальные каталоги, в которых кроме названия пунктов дается описание их месторасположения.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что такое геодезическая сеть и каково ее назначение?
2. Какие бывают виды геодезических сетей?
3. Какие существуют методы создания геодезических сетей и в чем состоит их сущность?
4. Какова схема построения государственных плановых и высотных геодезических сетей?
5. Как закрепляются на местности пункты плановых и высотных геодезических сетей?

## Лекция-7 УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

1. *Принцип измерения горизонтального угла. Теодолит*
2. *Отсчетные устройства*
3. *Уровни*
4. *Зрительные трубы*
5. *Устройство теодолита*
6. *Поверки и остировка теодолита*
7. *Измерение горизонтальных углов*
8. *Измерение вертикальных углов*
9. *Понятие о высокоточных угловых измерениях*

1. Угловые измерения являются одним из основных элементов при производстве геодезических работ. Измерение горизонтальных углов на местности выполняется при создании плановых геодезических сетей, при топографически, съемках, в процессе изысканий, строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

Пусть  $ABC$  (рис. 22) угол на местности, стороны которого не лежат в горизонтальной плоскости. Горизонтальной проекцией этого угла будет угол  $abc = \beta$  полученный проектированием сторон  $BA$  и  $BC$  на горизонтальную плоскость  $MN$ .

Следовательно, горизонтальный угол  $\beta$  — это линейный угол, являющийся мерой двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями  $A'abV'$  и  $C'cbV'$ , проходящими соответственно через стороны  $BA$  и  $BC$  данного угла. Мерой того же двугранного угла будет являться любой другой линейный угол, например,  $a'b'c'$ , вершина которого находится на ребре двугранного угла  $V'b$ , а стороны в горизонтальной плоскости. Поэтому горизонтальный угол  $\beta$  можно измерить с помощью круга, разделенного на градусы и доли градуса, плоскость которого горизонтальна, а центр совмещен с ребром  $V'b$  двугранного угла. Если деления на круге оцифрованы по ходу часовой стрелки, то угол  $\beta$  можно определить как разность отсчетов по кругу в точках  $a'$  и  $c'$ , т. е.  $\beta = a' - c'$ . Такой круг называется угломерным кругом. Круговая шкала, нанесенная на этот круг, называется лимбом. Для того, чтобы отметить на лимбе точки  $a'$  и  $c'$  необходимо иметь вертикальную плоскость, вращающуюся в центре лимба вокруг вертикальной оси  $bV'$ . Такая плоскость называется визирной плоскостью и осуществляется с помощью зрительной трубы. Зрительная труба соединяется с кругом, который вращается в плоскости лимба вокруг оси  $bV'$ . Этот круг называется алидадой. На алидаде имеется отсчетное устройство. Для приведения плоскости лимба в горизонтальное положение служат три подъемных винта и уровень. Закрепление вращающихся частей лимба, алидады и трубы проводится с помощью закрепительных винтов. Точная наводка трубы на предмет выполняется наводящими винтами. Для измерения вертикальных углов служит вертикальный круг, расположенный сбоку от трубы. Прибор,

используемый для измерения горизонтальных и вертикальных углов, называется теодолитом. При измерении углов теодолит с помощью станкового винта прикрепляется к штативу, представляющему собой треногу с металлической головкой. Для центрирования теодолита, т. е. для установки центра лимба над вершиной измеряемого угла, служит отвес.

Различают теодолиты с металлическими и стеклянными угломерными кругами. К теодолитам с металлическим угломерным кругом относятся, например, теодолиты ТТ-50, ТТ-5 и др. В настоящее время выпуск теодолитов с металлическими угломерными кругами прекращен.

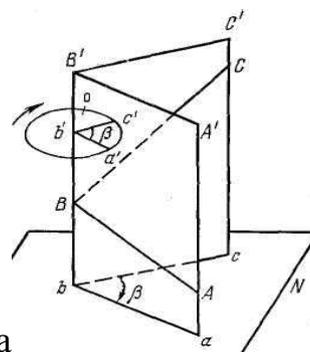


Рис. 22. Принцип измерения горизонтального угла

Теодолиты со стеклянными угломерными кругами называются оптическими. Особенностью этих теодолитов является наличие оптической системы, передающей изображение делений лимба и отсчетных устройств в поле зрения микроскопа, расположенного рядом с окуляром зрительной трубы. Согласно Государственному стандарту (ГОСТ 10529—86) в нашей стране выпускаются оптические теодолиты следующих типов: высокоточные Т1, точные Т2, Т5 и технические Т15, ТЗО. Число, входящее в шифр теодолита, показывает среднюю квадратическую ошибку измерения горизонтального угла одним приемом в секундах.

## 2. ОТСЧЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА

При измерении углов теодолитом делаются отсчеты по лимбу. Оцифровка делений шкалы лимба выполняется по ходу часовой стрелки через  $10^\circ$  и  $5^\circ$  у теодолитов с металлическими кругами и через  $1^\circ$  у оптических теодолитов. Угловая величина дуги, соответствующая одному делению шкалы лимба, называется ценой деления лимба.

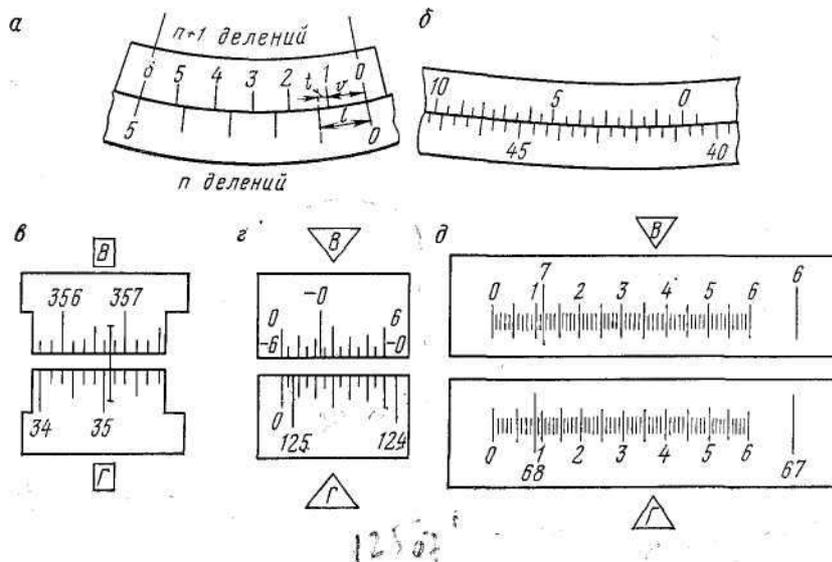


Рис. 23. Отсчетные устройства:

а — верньер; б — поле зрения отсчетного устройства теодолита ТТ-50; в — поле зрения отсчетного микроскопа теодолита ТЗО; г — поле зрения отсчетного микроскопа 2ТЗО; д — поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т15

Для оценки долей деления лимба при производстве отсчетов служат отсчетные устройства. В теодолитах с металлическим угломерным кругом в качестве отсчетного устройства служит верньер. При построении верньера берут дугу лимба, равную  $n$  делений, переносят ее на алидаду и делят на  $n+1$  делений (рис. 23,а). Полученная на алидаде шкала и является верньером. Обозначим через  $l$  цену деления лимба, через  $v$  цену деления верньера. Разность  $t = l - v$  называется точностью верньера. Из построения верньера следует, что  $ln = v(n+1)$  откуда  $v = \frac{ln}{n+1}$

и, следовательно,

$$t = l - \frac{ln}{n+1} = \frac{l(n+1) - ln}{n+1}$$

или  $\frac{ln}{n+1}$  (34)

т. е. точность верньера равна цене деления лимба, деленной на число делений верньера.

Например, у теодолита ТТ-50 цена деления лимба  $l = 20'$ , число делений на верньере 40, тогда  $t = 20' : 40 = 30''$ .

Чтобы произвести отсчет по лимбу, сначала отсчитывают число целых делений лимба до нулевого штриха верньера. Затем, умножив точность верньера на порядковый номер штриха верньера, совпадающего с каким-либо штрихом лимба, прибавляют полученное произведение к первоначально снятому отсчету с лимба. Обычно, на верньере вместо порядковых номеров штрихов подписывают произведения этих номеров на точность верньера.

На рис. 23, б цена деления лимба  $20'$ , точность верньера  $30''$ . Отсчет будет равен  $40^\circ 40' + 7' 30'' = 40^\circ 48'$ .

Для исключения влияния эксцентриситета алидады, т. е. несовпадения центра алидады с центром лимба, теодолиты снабжаются двумя верньерами,

расположенными на противоположных концах диаметра алидады. Среднее из отсчетов по двум верньерам будет свободно от влияния эксцентриситета.

В оптических теодолитах для отсчитывания по лимбу применяют микроскопы штриховые и шкаловые. На рис. 23, в показано поле зрения штрихового микроскопа теодолита ТЗО. В верхней части поля зрения, обозначенного буквой В, видны штрихи вертикального круга, в нижней части, обозначенной буквой Г,— штрихи горизонтального круга. Оцифровка делений шкалы как вертикального, так и горизонтального кругов выполнена через  $1^\circ$ . Между подписанными штрихами нанесено 6 делений, следовательно, цена деления лимба равна  $10'$ . Отсчет по лимбу проводится относительно индекса, общего для шкал обоих кругов, с оценкой десятых долей наименьшего деления лимба на глаз, т. е. с точностью до  $1'$ . На рис. 23, б отсчет по лимбу горизонтального круга равен  $35^\circ 06'$ , отсчет по лимбу вертикального круга —  $356^\circ 47'$ .

В выпускаемом в настоящее время теодолите 2ТЗО вместо штрихового микроскопа применен шкаловый микроскоп (рис. 23, г). Цена деления лимба в этом теодолите как у горизонтального, так и у вертикального кругов равна  $1^\circ$ . Доли деления лимба оцениваются с помощью шкалы, длина которой равна одному делению лимба, т. е.  $60'$ . Шкала содержит 12 делений, следовательно, одно деление шкалы соответствует  $60': 12 = 5'$ . Доли деления оцениваются на глаз с точностью до 0,1 деления, что составляет  $0,5'$ . На рис. 23, г отсчет по лимбу горизонтального круга равен  $125^\circ 07,0'$ .

Шкала вертикального круга теодолита 2ТЗО содержит два ряда цифр. Верхний ряд имеет положительную оцифровку, и деления возрастают от нуля слева направо. В нижнем ряду деления имеют знак минус, и нуль шкалы находится справа. Если отсчет берется от штриха лимба, имеющего положительное значение, то необходимо пользоваться верхней шкалой. Если, штрих лимба имеет знак минус, то отсчет делается по нижней шкале. На рис. 23, г отсчет по лимбу вертикального круга равен  $-0^\circ 37,0'$ .

У теодолита Т15 для отсчитывания по лимбу применен также шкаловой микроскоп. Но шкала у этого теодолита содержит 60 делений, т. е. при цене деления лимба в  $1^\circ$  одно деление шкалы соответствует  $60': 60 = 1'$ . Доли деления также оцениваются на глаз с точностью до 0,1 деления, что соответствует  $0,1'$ . На рис. 23, д отсчет по лимбу горизонтального круга равен  $68^\circ 08,7'$  и по лимбу вертикального круга —  $7^\circ 11,6'$ .

### 3. УРОВНИ

В геодезических приборах применяются уровни двух типов: цилиндрические и круглые.

Цилиндрический уровень (рис. 24, а) состоит из стеклянной трубки, отшлифованной таким образом, что в продольном разрезе ее внутренняя поверхность представляет собой дугу определенного радиуса. Стеклянная трубка уровня, запаянная с одного конца, заполняется спиртом или эфиром, подогревается и запаивается с другого конца. После охлаждения жидкость сжимается и образует небольшое пространство, называемое пузырьком

уровня. Трубка уровня заключена в оправу, снабженную одним или двумя исправительными винтами. На верхней части трубки нанесена шкала делений. Точка  $O$ , расположенная на середине трубки, называется нуль-пунктом уровня. Прямая  $ии'$ , касательная к внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте, называется осью уровня. Пузырек уровня всегда стремится занять наивысшее положение в трубке. Поэтому очевидно, что, когда концы пузырька расположатся симметрично относительно нуль-пункта, ось уровня займет горизонтальное положение. Деления на шкале уровня обычно наносятся через 2 мм. Центральный угол  $\tau$ , опирающийся на дугу, равную одному делению шкалы, называется ценой деления уровня. Цена деления уровня зависит от радиуса дуги уровня. Чем больше радиус, тем меньше цена деления уровня и тем он чувствительнее. В современных теодолитах применяются цилиндрические уровни с ценой деления от 10 до 60" в зависимости от точности прибора.

Круглый уровень (рис. 24, б) представляет собой стеклянную ампулу круглой формы, верхняя внутренняя часть которой имеет сферическую поверхность. Снаружи, на поверхности ампулы, нанесены штрихи в виде концентрических окружностей. Центральная точка этих окружностей является нуль-пунктом. За ось круглого уровня  $ии'$  принимают прямую, проходящую через нуль-пункт перпендикулярно плоскости, касательной к внутренней поверхности уровня в его нуль-пункте.

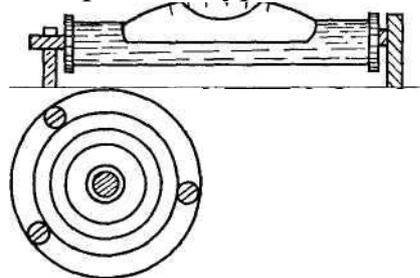


Рис. 24. Уровни:

а — цилиндрический; б — круглый

Чувствительность круглого уровня заметно ниже, чем у цилиндрического. Цена деления этого уровня порядка 3—5'.

Цену деления уровня при работе с геодезическими приборами всегда необходимо знать, так как от нее зависит точность приведения определенных линий или плоскостей прибора в горизонтальное или вертикальное положение. При этом излишняя точность не всегда полезна, так как при работе с уровнем, чувствительность которого выше необходимой, очень трудно постоянно удерживать ось уровня в горизонтальном положении. Цена деления уровня обычно указывается в паспорте прибора. При отсутствии паспорта цена деления уровня может быть определена с помощью рейки с делениями. Для этого рейка ставится в 40—50 м от прибора, цену деления уровня которого необходимо определить. С помощью подъемных винтов пузырек уровня выводится на середину и относительно горизонтальной нити, видимой в поле зрения трубы, снимается с рейки отсчет  $h$  в миллиметрах, соответствующий числу делений рейки от ее нуля. После этого одним из подъемных винтов смещают пузырек уровня на несколько делений шкалы уровня и снова снимают

отсчет на рейке  $l$ . Тогда цена деления уровня  $\tau$  будет равна

$$\tau = \frac{(l_2 - l_1)\rho''}{dn} \quad (35)$$

где  $d$  — расстояние от прибора до рейки;  $n$  — число делений шкалы, на которое был смещен пузырек уровня.

Для контроля определение повторяют, отклоняя пузырек уровня на такое же число делений, но в противоположную сторону.

#### 4. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ

Зрительная труба (рис. 25, а) состоит из объектива 1 и окуляра 5. По конструкции различают трубы с внешней и внутренней фокусировкой. В современных теодолитах применяют зрительные трубы только с внутренней фокусировкой. Эти трубы характеризуются меньшими размерами, герметичностью, постоянством положения визирной оси. В такой трубе между объективом и окуляром находится патрубков с двояковогнутой фокусирующей линзой 2. Объектив вместе с фокусирующей линзой в этом случае можно рассматривать как один сложный объектив, называемый телеобъективом, с переменным фокусным расстоянием, величина которого зависит от расстояния между положительной 1 и отрицательной 2 линзами.

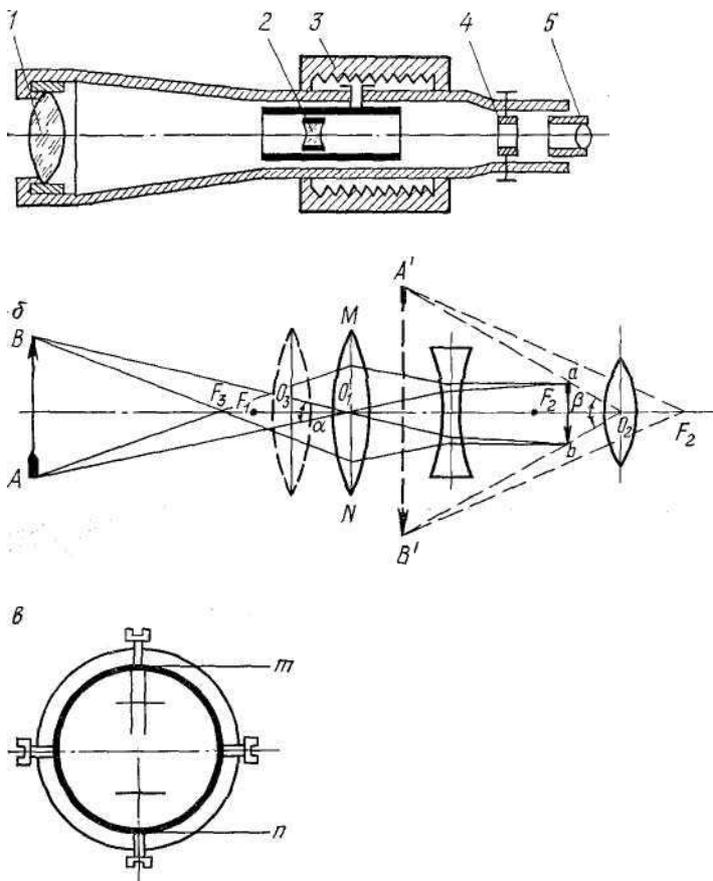


Рис. 25. Зрительная труба с внутренней фокусировкой:

$a$  — устройство трубы;  $b$  — ход лучей в зрительной трубе;  $в$  — сетчатая диафрагма

Система телеобъектива эквивалентна одной положительной линзе с центром  $O_3$  (рис. 25,б). Лучи, идущие от удаленного предмета АВ, пройдя через систему телеобъектива, дают первое изображение предмета ба. Это изображение рассматривается через окуляр, который установлен так, что его фокус  $F_2$  находится за изображением ба, поэтому глаз наблюдателя видит увеличенное изображение В'А'.

Вблизи переднего фокуса окуляра помещается металлическое кольцо, называемое диафрагмой, со стеклянной пластинкой, на которой награвированы тонкие штрихи, составляющие сетку нитей (рис. 25,в). Точка пересечения горизонтального и вертикального штрихов называется перекрестием сетки нитей. Два горизонтальных коротких штриха, расположенных выше и ниже перекрестия, являются дальномерными нитями и служат для определения расстояний. У большинства теодолитов одна половина вертикальной нити вместо одного имеет два вертикальных штриха, которые образуют биссектор. При наблюдении удаленных точек местности их изображение устанавливается посередине между этими штрихами. Сеточная диафрагма снабжена четырьмя исправительными винтами, позволяющими перемещать сетку нитей в своей плоскости. Прямая, соединяющая перекрестие сетки нитей с оптическим центром объектива, называется визирной осью трубы.

Увеличением трубы называется отношение угла  $\beta$ , под которым предмет виден в трубу, к углу  $\alpha$ , под которым предмет виден невооруженным глазом (рис. 25,б), т. е.

$$\nu = \frac{\beta}{\alpha} \quad (36)$$

Увеличение трубы можно также принять равным отношению фокусных расстояний объектива и окуляра, т. е.

$$\nu = \frac{f_{об}}{f_{ок}} \quad (37)$$

Для труб с внутренней фокусировкой под значением  $f_{об}$  в формуле (37) следует понимать фокусное расстояние эквивалентной линзы.

Практически увеличение трубы можно определить с помощью рейки с делениями. Для этого устанавливают рейку в 15-20 м от прибора и смотрят на нее одновременно одним глазом через трубу, а другим непосредственно на рейку, как бы проектируя увеличенные деления рейки, видимые через трубу, на рейку, видимую невооруженным глазом. Подсчитав число увеличенных делений  $n$  и число делений  $n'$  рейки, которые они покрывают, находят увеличение трубы

$$\nu = \frac{n'}{n}$$

Для контроля увеличение трубы определяют несколько раз, изменяя расстояние от прибора до рейки.

Увеличение трубы теодолита ТЗО равно  $20^x$ , теодолита Т15 —  $25^x$ . У высокоточных теодолитов типа Т1 увеличение трубы делается равным  $30-40^x$ . От увеличения трубы зависят поле зрения трубы и точность визирования.

Поле зрения трубы называется пространство, видимое в трубу при неподвижном ее положении. Поле зрения определяется углом  $\epsilon$ , вершина которого находится в оптическом центре эквивалентной линзы  $O_3$ , а стороны опираются на диаметр  $m$  сеточной диафрагмы. Величина угла  $\epsilon$  определяется по формуле

$$\epsilon^\circ = 38'2'' / \nu, \quad (38)$$

где  $\nu$  — увеличение трубы.

Угол поля зрения трубы можно определить практически с помощью горизонтального круга теодолита. Для этого наводят на удаленную точку правый край сеточной диафрагмы и берут отсчет по шкале горизонтального круга ( $A_1$ ). Затем наводят на ту же точку левый край диафрагмы и снова берут отсчет ( $A_2$ ). Угол поля зрения определится как разность отсчетов, т. е.

$$\epsilon = A_2 - A_1,$$

Для контроля такое же определение можно сделать путем наведения на точку нижнего и верхнего краев сеточной диафрагмы и взятия отсчетов по шкале вертикального круга.

Зная увеличение трубы, можно определить точность визирования. Принимая точность визирования невооруженным глазом равной  $60''$ , получим среднюю квадратическую ошибку визирования зрительной трубой, равную  $60''$ .

$$m_{\text{виз}} = \frac{60''}{\nu} \quad (39)$$

Например, для теодолита ТЗО с увеличением  $20^x$  угол поля зрения трубы будет равен  $\epsilon = 1^{\circ}55'$  и точность визирования зрительной трубой  $m_{\text{виз}} = 3''$ . Для теодолита Т1 с увеличением  $40^x$  угол поля зрения будет равен  $\epsilon = 57,3'$ , а точность визирования  $m_{\text{виз}} = 1,5''$ . Таким образом, при большем увеличении зрительной трубы повышается точность визирования, но уменьшается поле зрения трубы, что, в свою очередь, затрудняет наведение трубы на точку. Поэтому в зрительных трубах с большим увеличением применяются специальные приспособления с меньшим увеличением, но с большим полем зрения для грубого наведения трубы на точку.

Установка трубы для наблюдений складывается из установки ее по глазу и по предмету. Установка трубы по глазу заключается в получении резкого изображения сетки нитей. Для этого трубу направляют на какой-либо светлый фон и перемещают диоптрийное кольцо 5 (рис. 25, а) до тех пор, пока нити сетки не будут резко очерченными. Установка трубы по предмету заключается в получении резкого изображения наблюдаемого предмета, для чего производится фокусирование трубы или совмещение изображения предмета, даваемого объективом, с плоскостью сетки нитей. Фокусирование трубы выполняется перемещением фокусирующей линзы посредством кремальеры 3 при неподвижном положении сетки нитей 4.

При недостаточно тщательной фокусировке трубы изображение предмета не будет совпадать с плоскостью сетки нитей, что вызовет кажущееся перемещение предмета относительно сетки нитей при изменении положения глаза наблюдателя перед окуляром. Такое явление называется параллаксом

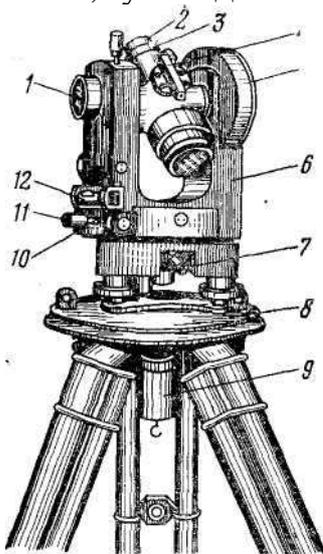
сетки нитей. Параллакс должен быть устранен дополнительным вращением кремальеры.

## 5. УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТОВ

При выполнении инженерно-геодезических работ в строительстве, в основном, применяются технические теодолиты типа ТЗО и Т15.

Теодолит ТЗО. Оптический теодолит ТЗО предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах, для проведения геодезических измерений при изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Внешний вид теодолита представлен на рис. 26. Подставка теодолита 17 с помощью пластинчатой пружины скреплена с основанием упаковочного футляра 8. Основание футляра устанавливается на головку штатива и закрепляется станковым винтом 9. Такая конструкция позволяет закрывать теодолит футляром, не отсоединяя его от штатива, и переносить с точки на точку с закрытым футляром. Внутри станкового винта имеется крючок для подвешивания нитяного отвеса, с помощью которого производится центрирование теодолита. Кроме того, у теодолита ТЗО вертикальная ось



полая, что позволяет центрировать

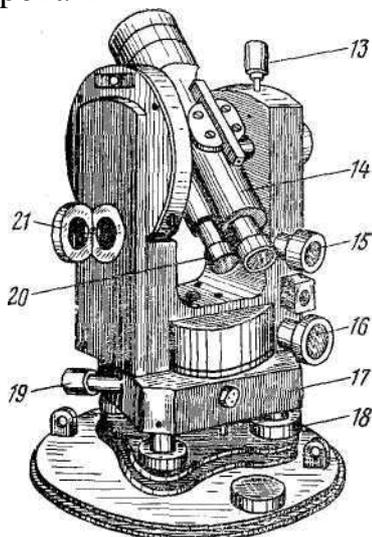


Рис. 26. Теодолит ТЗО:

*1 — кремальера; 2 — диоптрийное кольцо; 3 — колпачок, под которым расположены исправительные винты сетки нитей; 4 — оптический визир; 5 — вертикальный круг; 6 — колонка; 7 — закрепительный винт лимба; 8 — основание футляра; 9 — становой винт; 10 — исправительные винты уровня; 11 — закрепительный винт алидады; 12 — уровень; 13 — закрепительный винт зрительной трубы; 14 — зрительная труба; 15 — наводящий винт зрительной трубы; 16 — наводящий винт алидады; П — подставка; 18 — подъемные винты; (9 — наводящий винт лимба; 20 — окуляр микроскопа; 21—зеркало*

теодолит над точкой местности с помощью зрительной трубы. Для этого зрительную трубу располагают вертикально объективом вниз. Визируя через отверстие во втулке вертикальной оси, перемещением подставки теодолита по головке штатива добиваются совмещения перекрестия сетки нитей с точкой, обозначающей вершину измеряемого угла.

Вертикальную ось теодолита устанавливают в отвесное положение вращением трех подъемных винтов 18 подставки с фиксированием по цилиндрическому уровню 12, расположенному на корпусе алидады, параллельно коллимационной плоскости зрительной трубы, т. е. плоскости, образуемой визирной осью при вращении трубы вокруг ее оси вращения. Для юстировки, т. е. исправления положения оси уровня относительно вертикальной оси прибора, уровень снабжен исправительными винтами 10.

С помощью колонок 6 с корпусом алидады скрепляется зрительная труба 14, которая может вращаться вокруг горизонтальной оси на  $360^\circ$ . Со зрительной трубой связан вертикальный круг 5, располагающийся в плоскости одной из колонок. Фокусирование зрительной трубы по предмету осуществляется вращением кремальеры 1. Установка резкости изображения Сетки нитей по глазу наблюдателя проводится вращением Диоптрийного кольца 2. Под колпачком 3 находятся исправительные винты сетки нитей.

Для грубой наводки зрительной трубы на предмет служат два оптических визира 4, прикрепленных к зрительной трубе с обеих сторон. Оптический визир состоит из линзы и сетки. Сетка представляет собой светлый крест на черном фоне. Линза выполняет роль лупы. При использовании визира глаз располагают на 25—30 см от него, и наблюдатель видит светлое перекрестие, выходящее за пределы оптического визира, и одновременно пространство, в котором находится точка наведения.

Для закрепления вращающихся частей теодолита имеются закрепительные винты: закрепительный винт лимба 7, закрепительный винт алидады 11 и закрепительный винт зрительной трубы 13. Точное наведение зрительной трубы на предмет в горизонтальной плоскости осуществляется наводящим винтом алидады 16, в вертикальной плоскости — наводящим винтом зрительной трубы 15. Микрометрическое вращение теодолита вместе с лимбом проводят наводящим винтом лимба 19. Все наводящие винты работают только при зажатом соответствующем закрепительном винте.

Изображение штрихов и оцифровки лимбов горизонтального и вертикального кругов передается в поле зрения микроскопа 20, расположенного сбоку от окуляра зрительной трубы. Для освещения поля зрения микроскопа в

колонке имеется отверстие с зеркалом 21, вращением и наклонами которого добиваются наилучшего освещения штрихов лимба. Четкость изображения штрихов лимба получают вращением диоптрийного кольца окуляра микроскопа.

Увеличение зрительной трубы теодолита 20х, поле зрения трубы около 2°, наименьшее расстояние визирования 1,2 м. Цена деления уровня при алидаде горизонтального круга 45". Масса теодолита 2,2 кг, масса теодолита в футляре 3,2 кг.

Для удобства наведения зрительной трубы на точки, расположенные под углом более 45° к горизонту, а также для наблюдений через окуляры трубы и микроскопа при центрировании теодолита с помощью вертикально поставленной зрительной трубы, в комплекте теодолита имеются окулярные насадки, надеваемые на зрительную трубу, и отсчетный микроскоп. Окулярные насадки позволяют изменить направление визирного луча на 80°.

В комплекте теодолита имеется штатив, с помощью которого теодолит устанавливается над точкой местности. Штатив состоит из трех ножек, шарнирно соединенных с головкой, на которую с помощью станового винта прикрепляется теодолит. Ножки штатива чаще всего раздвижные, что позволяет изменять высоту штатива и, кроме того, создает удобства при его переноске. Для придания устойчивого положения штативу во время работы наконечники штатива вдавливаются в грунт с помощью специальных упоров, находящихся в нижней части штатива. Для работы с техническими теодолитами обычно используются металлические штативы. Для точных теодолитов используют штативы, сделанные из дерева.

Начиная с 1981 г. теодолит ТЗО заменен новой моделью 2ТЗО. Эта модель отличается от предыдущей тем, что вместо штрихового микроскопа в ней применен шкаловый микроскоп с точностью отсчета 30" (см. рис. 23, г). Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла одним приемом теодолитом 2ТЗО составляет 20", вертикального угла — 30". Теодолит может быть использован как нивелир, для чего к зрительной трубе прикреплен цилиндрический уровень с ценой деления 20". С помощью этого уровня труба при необходимости приводится в горизонтальное положение.

В настоящее время выпускаются также теодолиты типа 2ТЗО со зрительными трубами, дающими прямое изображение. Эти теодолиты имеют обозначение 2ТЗОП.

Теодолит Т15. Предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов при построении съемочного обоснования, а также при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Устройство теодолита Т15, в основном, аналогично устройству теодолита ТЗО. В отличие от теодолита ТЗО закрепительные винты зрительной трубы и алидады горизонтального круга у теодолита Т15 куркового типа. Наводящие винты трубы и алидады находятся на одной оси с соответствующими им закрепительными винтами и располагаются с одной стороны теодолита в удобном для наблюдателя месте.

В теодолите используется шкаловый микроскоп с ценой деления шкалы Г и

точностью отсчета 0,Г (см. рис. 23,(9)).

Для центрирования теодолит снабжен оптическим центриром, позволяющим производить более точное центрирование по сравнению с нитяным отвесом. Оптический центрир представляет собой ломаную зрительную трубу, вмонтированную в алидад-ную часть теодолита. Вертикальное колено оптического центрира совпадает с вертикальной осью прибора, а объектив располагается внутри пустотелой вертикальной оси. В поле зрения окуляра оптического центрира видна сетка нитей в виде двух концентрических окружностей. При центрировании теодолита необходимо ввести изображение точки стояния теодолита в центр окружности сетки. Установка окуляра центрира по глазу выполняется вращением диоптрийного кольца.

При алидаде вертикального круга у теодолита Т15 имеется цилиндрический уровень с ценой деления 30", пузырек которого приводится на середину установочным винтом уровня.

Увеличение зрительной трубы теодолита 25<sup>x</sup>. Средняя квадратическая ошибка измерения угла одним приемом 15". Масса теодолита 3 кг.

На базе теодолита Т15 создан теодолит Т15К. Этот теодолит вместо уровня при алидаде вертикального круга имеет компенсатор. В компенсаторах применяется оптическая система, подвешенная на пружине или на проволоке. Эта система под действием своей массы стремится занять отвесное положение, устраняя тем самым неточность установки теодолита и освобождая наблюдателя от необходимости приводить пузырек уровня на середину перед каждым отсчетом при измерении углов наклона.

Независимо от марки теодолита при его покупке или получении со склада теодолит должен быть осмотрен с точки зрения его технического состояния. Прежде всего необходимо проверить комплектность прибора в соответствии с прилагаемым паспортом. Наблюдением через окуляры проверяется чистота поля зрения зрительной трубы и микроскопа. Движением от руки при открепленных закрепительных винтах проверяется плавность движения зрительной трубы, алидады, угломерного круга и затем надежность закрепления этих частей соответствующими закрепительными винтами. Далее необходимо опробовать работу всех наводящих винтов, диоптрийных колец окуляров зрительной трубы и микроскопа, подъемных винтов. Наблюдением через зрительную трубу проверяется работа фокусирующего устройства как на близлежащие, так и на удаленные точки. В случае неисправности какого-либо устройства необходимо направить теодолит в ремонтную мастерскую.

При осмотре теодолита следует также проверить и его устойчивость на штативе. Для этого необходимо укрепить теодолит на штативе и навести зрительную трубу на хорошо видимую точку. Прилагая к штативу крутящий момент в горизонтальной, плоскости, смещают сетку нитей с точки в одну, а затем в другую сторону. Если после снятия усилия перекрестие сетки не возвратится на точку, укрепляют винты в шарнирах головки штатива.

## 6. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКА ТЕОДОЛИТА

Поверки теодолита заключаются в установлении правильности выполнения ряда геометрических условий, предъявляемых к прибору. При обнаружении невыполнения каких-либо условий производят исправление, называемое юстировкой.

Теодолит должен удовлетворять следующим геометрическим условиям.

1. Ось уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита.

66

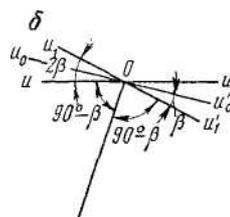
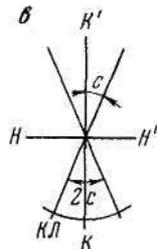


Рис. 27. Схемы поверок теодолита

Для проверки устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня на середину трубки. Замечают отсчет по лимбу и поворачивают алидаду вместе с уровнем на  $180^\circ$ . Если поставленное условие соблюдено (рис. 27,а), пузырек уровня останется на середине.

Предположим, что условие в приборе не соблюдается, т. е. ось уровня не перпендикулярна вертикальной оси прибора и составляет с ней угол  $90^\circ - \beta$  (рис. 27,б). Тогда при повороте алидады с уровнем на  $180^\circ$  ось уровня займет положение  $u_1u_1'$ , и пузырек уровня сместится на  $n$  делений. Это смещение будет соответствовать углу  $uOu_1$  который в соответствии с рис. 27, б будет равен  $180^\circ - 2(90^\circ - \beta) = 2\beta$ . Следовательно, для того, чтобы ось уровня заняла положение, перпендикулярное вертикальной оси прибора, ее необходимо поставить по направлению биссектрисы угла  $uOu_1$  в положение  $u_0u_0'$ , т. е. сместить на угол  $\beta$ , что соответствует перемещению пузырька уровня на половину отклонения, т. е. на  $n/2$  деления. Это перемещение выполняется исправительными винтами уровня. Для контроля поверку повторяют. Если при повторном повороте алидады на  $180^\circ$  пузырек уровня снова отклонится от середины трубки более чем на одно деление, снова проводят исправление.

Перед выполнением следующих поверок приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение. Для этого уровень ставят параллельно двум подъемным винтам и с их помощью приводят пузырек уровня на середину. Поворачивают алидаду на  $90^\circ$  и третьим подъемным винтом вновь приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Если на алидаде горизонтального круга имеются два уровня, расположенные под прямым углом друг к другу, поворот алидады на  $90^\circ$  не проводят, а выводят пузырек второго уровня на середину третьим подъемным винтом. После этого при любом положении алидады пузырек уровня не должен отклоняться от середины более чем на одно деление.

2. Одна из нитей сетки должна быть вертикальна, другая — горизонтальна.

Приводят ось теодолита в отвесное положение и в 5—6 м от него подвешивают отвес. Вертикальную нить сетки наводят на нить отвеса. Если нить сетки точно совпала с нитью отвеса, условие выполнено. В противном случае необходимо ослабить винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы, и повернуть окуляр вместе с сеткой нитей.

Для проверки горизонтальной нити наводят эту нить на хорошо видимую точку местности. При перемещении трубы в горизонтальной плоскости изображение точки не должно сходиться с нити.

3. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.

Угол с отклонения визирной оси от перпендикуляра к оси вращения трубы (рис. 27,в) называется коллимационной ошибкой. Для выявления коллимационной ошибки выбирают удаленную, хорошо видимую точку, расположенную так, чтобы линия визирования была примерно горизонтальна. Наводят трубу на эту точку при положении вертикального круга справа от трубы и берут отсчет по горизонтальному кругу (КП). Переведя трубу через зенит, т. е. повернув трубу на  $180^\circ$  в вертикальной плоскости, наводят ее на ту же точку и снова берут отсчет (КЛ). Величина коллимационной ошибки найдется как

$$\frac{КП - КЛ \pm 180^\circ}{2} \quad (40)$$

Если величина ошибки будет превышать удвоенную точность отсчетного устройства прибора, вычисляют среднее из минут, полученных при КП и КЛ, и устанавливают средний отсчет с помощью наводящего винта алидады. При этом произойдет смещение перекрестия сетки нитей относительно изображения наблюдаемого предмета. Ослабив предварительно вертикальные винты сетки нитей (см. рис. 25,в), боковыми винтами передвигают сетку до точного совмещения перекрестия с изображением предмета. Для контроля поверку повторяют.

При поверках оптических теодолитов с односторонним отсчитыванием (ТЗО, Т15 и др.) для исключения влияния эксцентриситета определение коллимационной ошибки делается дважды с поворотом лимба после первого определения на  $180^\circ$ . Величину коллимационной ошибки в этом случае вычисляют по формуле

$$C = \frac{(КЛ_1 - КП_1) \pm (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{4}$$

Для устранения коллимационной ошибки в этом случае вычисляют отсчет, исправленный за величину ошибки

$$КЛ = КЛ_2 - c \quad \text{или} \quad КП = КП_2 + c$$

и устанавливают этот отсчет с помощью наводящего винта алидады. Смещение сетки нитей с точки устраняют также боковыми исправительными винтами сетки нитей.

4. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита.

Наводят трубу на высоко расположенную точку  $M$ , находящуюся на стене какого-либо здания. Наклоняют трубу до примерно горизонтального положения и отмечают на стене точку  $m_1$  в которую проектируется перекрестие сетки нитей (рис. 27,г). Повернув трубу через зенит, повторяют то же действие при другом положении вертикального круга. Если при этом проекция точки  $M$  попала в ту же точку  $m_1$  то условие выполнено. Если проекции  $m_1$  и  $m_2$  не совпали, то условие нарушено, что объясняется неравенством подставок трубы. В современных теодолитах соблюдение рассматриваемого условия гарантируется заводом, если же оно нарушается, то исправление необходимо выполнять в специальной мастерской или на заводе.

5. Ось оптического визира должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.

Для проверки этого условия зрительную трубу наводят на удаленный, хорошо видимый, предмет местности. Затем наблюдают этот же предмет через оптический визир. Если его визирная линия отклоняется от наблюдаемого предмета, то необходимо сделать поворот визира. Для этого открепляют винты, крепящие визир к корпусу трубы, поворотом визира направляют визирную линию на наблюдаемый предмет, после чего винты снова закрепляют. Повернув трубу через зенит, проверяют также второй визир.

## 7. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

Измерению горизонтального угла предшествует установка теодолита в рабочее положение, которая складывается из следующих действий: а) центрирование прибора; б) приведение плоскости лимба в горизонтальное положение; в) установка трубы для наблюдений. Центрирование теодолита заключается в установлении центра угломерного круга над вершиной измеряемого угла. Выполняется центрирование при помощи нитяного отвеса. Перемещением штатива вместе с теодолитом добиваются, чтобы отвес находился примерно над точкой, обозначающей вершину измеряемого угла. После этого, нажимая ногой на упоры, имеющиеся в нижней части штатива, уточняют положение отвеса, одновременно следя за тем, чтобы головка штатива была примерно горизонтальна. Окончательного совмещения острия отвеса с точкой достигают перемещением теодолита по головке штатива, открепив предварительно становой винт, после чего этот винт снова закрепляют.

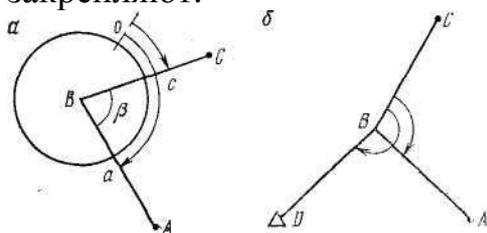


Рис. 28. Схемы измерения горизонтальных углов

При работе с теодолитом, имеющим оптический центрир, после

предварительного центрирования по нитяному отвесу, теодолит перемещают по головке штатива до совмещения изображения точки, обозначающей вершину измеренного угла, с центром окружностей оптического центрира. Центрирование в этом случае выполняется точнее, чем при использовании нитяного отвеса.

Приведение плоскости лимба в горизонтальное положение или вертикальной оси прибора в отвесное положение выполняется с помощью подъемных винтов при подставке и фиксируется по уровню, расположенному на алидаде горизонтального круга. Установка трубы для наблюдений складывается из установки трубы по глазу и по предмету.

Измерение горизонтального угла теодолитом может быть выполнено различными способами: способом приемов, способом повторений, способом круговых приемов. При инженерных работах наиболее распространенным является способ приемов. Для измерения угла этим способом приводят теодолит в рабочее положение и, закрепив лимб, вращением алидады наводят зрительную трубу на правую точку А (рис. 28, а). Взяв отсчет по горизонтальному кругу а, вращением алидады наводят на левую точку С и берут отсчет с. Величина измеряемого угла

$$\beta = a - c$$

Выполненные действия составляют один полуприем. Для контроля и ослабления погрешностей измеряют угол вторым полуприемом. Между полуприемами переводят трубу через зенит и изменяют положение лимба. У теодолитов с металлическими кругами и двумя отсчетными устройствами лимб смещается примерно на  $90^\circ$ , у оптических теодолитов с односторонним отсчитыванием — на  $1\text{—}2^\circ$ . Закрепив лимб и открепив алидаду, снова наводят трубу, соответственно, на точки А и С. Выполненные два полуприема составляют один прием. Из результатов измерений угла в полуприемах берут среднее значение, если расхождение между двумя значениями угла не превышает двойной точности отсчетного устройства. Пример записи измерения угла способом приемов приведен в табл. 7.

Таблица 7

Журнал измерения горизонтальных углов способом приемов  
Теодолит 2Т30 № 30791

№ точек стояния	№ точек визирования	Отсчет по горизонтальному кругу		угол		Среднее значение угла	
		горизонтальному	к кругу				
В	А	236°	32,5'	73°	23,5	73°	23,2'
	С	163	9,0				
	А	58	30,5	73	23,0		
	С	345	7,5				

Для повышения точности измерения горизонтального угла применяют способ повторений. При способе повторений угол измеряется несколько раз в каждом полуприеме путем последовательного откладывания этого угла на

лимбе. При этом, для уменьшения ошибки отсчитывания по лимбу, отсчет снимается только при начальном наведении, на одну из точек (с) и конечном наведении на вторую точку (а). Тогда величина угла будет равна

$$\beta = \frac{a - c}{n}$$

где  $n$  — число повторений.

Порядок работы при измерении горизонтального угла способом повторений заключается в следующем. Установив теодолит над вершиной измеряемого угла, точкой В (рис. 28, а) закрепляют алидаду так, чтобы отсчет на лимбе был близким к нулю и движением лимба наводят зрительную трубу на левую точку С. Пусть отсчет с равен  $0^{\circ}20'$ . В этом положении лимб закрепляют. Вращая алидаду по ходу часовой стрелки, наводят зрительную трубу на правую точку А. Отсчет по горизонтальному кругу в этом случае не снимается или записывается его приближенное значение для контроля. Открепляют лимб и вторым вращением его наводят зрительную трубу на левую точку. Снова закрепляют лимб и вращением алидады наводят трубу на правую точку. Далее вращением лимба, уже в третий раз, наводят на левый предмет и, открепив алидаду, снова наводят на правую точку. При измерении угла тремя повторениями после третьего наведения на правую точку снимается отсчет. Пусть этот отсчет а будет равен  $220^{\circ}30'$ . Таким образом, дуга, соответствующая измеряемому углу, была отложена на лимбе три раза и суммарное значение получилось равным  $3\beta = 220^{\circ}30' - 0^{\circ}20' = 220^{\circ}10'$ . Следовательно, величина измеряемого угла, полученного из одного полуприема, будет равна:

$$\beta = 220^{\circ}10' : 3 = 73^{\circ}23,3'$$

Если при отложении угла нуль алидады перешел через нулевой штрих лимба, к последнему отсчету добавляется  $360^{\circ}$ .

Для измерения угла вторым полуприемом переводят трубу через зенит и повторяют те же действия, но в обратном направлении, вращая алидаду против хода часовой стрелки, а лимб вместе с алидадой — по ходу часовой стрелки. Из результатов измерения угла в двух полуприемах берется среднее значение. Измерение горизонтального угла способом повторений требует большого внимания при использовании закрепительных и наводящих винтов лимба и алидады.

В некоторых случаях при измерении горизонтальных углов на одной точке необходимо измерить не один угол, а несколько. Например, при привязке теодолитного хода к сторонам геодезической сети, кроме поворотного угла теодолитного хода, необходимо измерить один или два примычных угла на пункты геодезической сети. В этих случаях удобнее измерять углы способом круговых приемов.

Установив теодолит над точкой В (рис. 28,б), выбирают исходное направление, например, С и, установив отсчет, близкий к нулю, движением лимба наводят на исходную точку. Закрепив лимб, движением алидады по ходу часовой стрелки последовательно визируют на все точки, каждый раз отсчитывая по шкале горизонтального круга. Полуприем заканчивают повторным

наведением на исходную точку. При этом полученный отсчет должен отличаться от первоначального не более чем на удвоенную точность отсчета. Переведя зрительную трубу через зенит, выполняют второй полуприем, вращая алидаду в обратном направлении, т. е. против хода часовой стрелки. Далее вычисляют средние значения отсчетов из полуприемов, записывая значения градусов из первого полуприема. Взяв среднее из отсчетов на исходный пункт в начале и конце приема, приводят направления к исходному, вычитая из средних отсчетов на каждое направление средний отсчет на исходное направление.

При необходимости повысить точность результатов углы измеряют несколькими приемами, выполняя перестановку лимба между приемами на  $180^\circ$ : и, где  $n$  — число приемов.

Дополнительным контролем при измерении углов способом круговых приемов является постоянство двойной коллимационной ошибки  $2c$ , получаемой как разность отсчетов на одноименные направления при круге право и круге лево. Колебания этой величины не должны превышать удвоенной точности отсчетного приспособления. Пример записи измерения горизонтальных углов способом круговых приемов приведен в табл. 8.

Таблица 8

Журнал измерения горизонтальных углов способом круговых приемов  
Теодолит ТЗ0 № 30791

№ стояния	№ точек визирования	Отсчеты по горизонтальному кругу				Среднее из отсчетов		Приведенное направление		2с=КЛ-КП
		КЛ	КП	КЛ	КП					
						1°	10,4'			
В	С	1°	10,0'	181°	11,0'	1	10,5	0°	00,0'	- 1,0'
	А	74	34,0	254	34,5	74	34,2	73	23,8	-0,5
	Д	172	14,0	352	15,5	172	14,8	171	4,4	-1,5
	С	1	10,0	181	10,5	1	10,2			-0,5

На точность измерения горизонтальных углов, кроме ошибки отсчитывания, могут влиять ошибки визирования, ошибки центрирования прибора, ошибки установки вех, на которые проводится визирование при измерении угла. Ошибка визирования в современных теодолитах незначительна. Так, для теодолита ТЗ0 с увеличением трубы  $v = 20^x$  ошибка визирования будет равна 3".

Центрирование теодолита выполняется при помощи нитяного отвеса с ошибкой порядка 3—5 мм. При использовании оптического центрира ошибка центрирования около 0,5 мм. Ошибки центрирования сильнее сказываются при измерении углов, близких к  $180^\circ$ , и углов, составленных короткими сторонами. Для уменьшения влияния наклона вех, установленных в конечных точках сторон измеряемого угла, визирование необходимо проводить на нижнюю часть вехи.

## 8. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Вертикальным углом является угол наклона  $v$ , составленный визирной



вертикального круга — справа и слева от трубы. Вид формул, по которым вычисляется место нуля и угол наклона, зависит от оцифровки делений на лимбе вертикального круга. Так, у теодолитов с металлическими кругами (ТТ-50, ТТ-5) деления на лимбе подписаны от 0 до 360° по ходу часовой стрелки (см. рис. 29,а). В этом случае формулы для вычисления места нуля и угла наклона будут иметь вид

$$\begin{aligned} MO &= \frac{KP + KL}{2} \\ \nu &= KP - MO \\ \nu &= MO - KL \\ \nu &= \frac{KP - KL}{2} \end{aligned} \quad (42)$$

где КП и КЛ — отсчет по лимбу вертикального круга при положении вертикального круга справа и слева от трубы. У теодолита ТЗО деления подписаны от 0 до 360° против хода часовой стрелки. Для этого теодолита

$$\begin{aligned} MO &= \frac{KP + KL + 180^0}{2} \\ \nu &= KL - MO \\ \nu &= MO - KP - 180^0 \\ \nu &= \frac{KL - KP - 180^0}{2} \end{aligned} \quad (43)$$

При вычислениях по формулам (42) и (43) к отсчетам, меньшим 90°, прибавляется 360°.

Пример. При измерении вертикального угла теодолитом ТЗО получены следующие отсчеты: КЛ = 3°22'; КП = 176°42'. Место нуля и угол наклона в этом случае найдутся по формулам (43)

$$\begin{aligned} MO &= \frac{3^022' + 360^0 + 176^042' + 180^0}{2} = 0^002' \\ \nu &= 3^022' - 0^002' = +3^020' \\ \nu &= 0^002' + 360^0 - 176^042' - 180^0 = +3^020' \\ \nu &= \frac{3^022' + 360^0 - 176^042' - 180^0}{2} = \frac{+6^040'}{2} = +3^020' \end{aligned}$$

Сходимость значений вертикального угла, полученных по трем формулам, свидетельствует о правильности выполненных вычислений.

У некоторых серий теодолитов Т15, а также у теодолитов 2Т30, деления на лимбе вертикального круга подписаны от 0 до 75° в обе стороны — по ходу и против хода часовой стрелки, причем деления, подписанные по ходу часовой стрелки, сопровождаются знаком минус. В этом случае

$$\begin{aligned} MO &= \frac{KP + KL}{2} \\ \nu &= KL - MO \\ \nu &= MO - KP \\ \nu &= \frac{KL - KP}{2} \end{aligned} \quad (44)$$

Например, вертикальный угол измерен теодолитом 2Т30. Получены

отсчеты:  $KЛ = -4^{\circ}11'$ ;  $KП = +4^{\circ}12'$ . Место нуля вертикального круга и угол наклона будут равны

$$MO = \frac{-4^{\circ}11' + 4^{\circ}12'}{2} = \frac{+0^{\circ}01'}{2} = +0^{\circ}0,5'$$
$$\nu = -4^{\circ}11' - 0^{\circ}0,5' = -4^{\circ}11,5'$$
$$\nu = -0^{\circ}0,5' - 4^{\circ}12' = -4^{\circ}11,5'$$
$$\nu = \frac{-4^{\circ}11' - 4^{\circ}12'}{2} = \frac{-8^{\circ}23'}{2} = -4^{\circ}11,5'$$

Контролем правильного измерения вертикальных углов является постоянство места нуля на точке стояния прибора. Колебание МО не должно превышать двойной точности отсчетного устройства. Если МО значительно отличается от нуля, возникают трудности при вычислении углов наклона в полевых условиях. Поэтому место нуля приводят к значению, близкому к  $0^{\circ}$ . Для этого с помощью наводящего винта трубы ставят отсчет по вертикальному кругу, равный полученному МО. Визирная ось трубы займет в этот момент горизонтальное положение. Установочным винтом уровня вертикального круга совмещают нуль отсчетного устройства с нулем лимба, при этом пузырек уровня уйдет из нуль-пункта. Исправительными винтами уровня 4 (см. рис. 29, а) приводят пузырек уровня на середину.

У теодолитов ТЗО и 2ТЗО исправление МО производится иначе. По отсчетам, полученным после наведения на точку при положении вертикального круга слева и справа от трубы, вычисляют угол наклона  $\nu$ . Труба при этом должна оставаться наведенной на точку. Наводящим винтом трубы устанавливают отсчет, равный вычисленному значению угла  $\nu$ . Центр сетки нитей после этого сместится с наблюдаемой точки. Действуя вертикальными исправительными винтами сетки нитей, совмещают ее центр с изображением точки. После юстировки места нуля данным способом необходимо повторить поверку перпендикулярности визирной оси к оси вращения трубы (см. § 33).

## 9. ПОНЯТИЕ О ВЫСОКОТОЧНЫХ УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

При высокоточных угловых измерениях применяются теодолиты с повышенной точностью измерения углов и соответствующие способы измерений. В этом случае могут быть использованы точные и высокоточные теодолиты типа Т1, Т2, Т5.

Высокоточный теодолит Т1 применяется при угловых измерениях в плановых государственных геодезических сетях 1 и 2 классов. Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла одним приемом этим теодолитом равна  $1''$ . Точные теодолиты Т2 и Т5 предназначены для измерения горизонтальных углов со средними квадратическими ошибками соответственно 2 и  $5''$ . Применяются они при создании плановых государственных геодезических сетей 3 и 4 классов, сетей сгущения, а также могут быть использованы в инженерно-строительных работах, требующих проведения угловых измерений повышенной точности.

В качестве отсчетных приспособлений у высокоточных и точных теодолитов служат оптические микрометры и шкаловые микроскопы. Применение оптического микрометра основано на использовании при отсчитывании по лимбу принципа совмещенного отсчета. В этом случае отсчет проводится путем совмещения изображений диаметрально противоположных штрихов лимба в поле зрения отсчетного микроскопа. При использовании оптического микрометра исключается влияние эксцентриситета лимба и алидады.

Наиболее распространенными способами измерения углов при высокоточных измерениях являются способ круговых приемов и способ всевозможных комбинаций. Эти способы используются при измерениях на пункте нескольких направлений.

При способе круговых приемов последовательно визируют на все направления по ходу часовой стрелки при одном положении вертикального круга и в противоположном направлении при другом положении круга. Углы между наблюдаемыми пунктами вычисляются как разность измеренных направлений. В зависимости от требуемой точности углы измеряют различным числом приемов с перестановкой лимба между приемами.

В способе всевозможных комбинаций измеряются порознь все углы, которые можно образовать, комбинируя по два наблюдаемых на пункте направления. Измерения выполняются также различным числом приемов.

Для того, чтобы измеряемые направления точно соединяли центры пунктов, при высокоточных измерениях в результаты измерений вводятся поправки за центрировку (несовпадения оси прибора и центра пункта) и редукцию (несовпадение оси визирного цилиндра с центром пункта).

Если измерения проводятся с геодезических сигналов, которые под действием ветра, солнечных лучей и т. д. могут иметь кручение, то в результаты измерений также вводятся соответствующие поправки.

Сами измерения выполняются в наиболее благоприятное время суток: утром до 10 часов и вечером с 15 часов, обеспечивающее четкое изображение наблюдаемых предметов, наименьшее искривление визирного луча вследствие рефракции.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Назовите основные части теодолита.
2. Какие типы теодолитов выпускаются в настоящее время в нашей стране?
3. Что называется ценой деления лимба?
4. Какие существуют отсчетные приспособления?
5. Как производятся отсчеты по штриховому и шкаловому микроскопу?
6. Какие бывают уровни и каково их устройство?
7. Что называется ценой деления уровня?
8. Что называется осью уровня?
9. Назовите основные части зрительной трубы.
10. Что называется визирной осью зрительной трубы?

11. Что называется увеличением и полем зрения трубы и как они определяются?
12. От чего зависит точность визирования зрительной трубы?
13. Из каких действий складывается установка трубы для наблюдений?
14. Что называется параллаксом зрительной трубы и как он устраняется?
15. Назовите основные части теодолита ТЗО.
16. Какие конструктивные особенности теодолитов Т15 и Т15К?
17. Назовите поверки теодолита и порядок их выполнения.
18. Из каких действий складывается установка теодолита в рабочее положение и как они выполняются?
19. Каков порядок действий при измерении горизонтального угла способом приемов?
20. Как измеряется горизонтальный угол способом повторений?
21. В каких случаях при измерении горизонтальных углов используется способ круговых приемов и как он выполняется?
22. Какое назначение вертикального угла и в чем заключается его устройство?
23. Что называется местом нуля (МО) вертикального круга?
24. По каким формулам определяются место нуля вертикального круга и угол наклона  $v$  при измерениях теодолитами ТТ-50, ТЗО, 2Т30 и Т15?

## Лекция-8 ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

### План

1. Приборы для измерения линий. Компарирование мерных приборов
2. Подготовка линии местности к измерению порядок
3. Учет поправок при линейных измерениях. Точность измерений
4. Определение недоступных расстояний
5. Оптические дальномеры. Нитяный дальномер. Понятие о дальномерах двойного изображения
6. Понятие о свето дальномерах и радиодальномерах

1. Линейные измерения на местности проводятся при выполнении целого ряда геодезических работ: при создании опорных геодезических сетей, производстве топографических съемок, при выполнении инженерно-геодезических изысканий, на всех этапах строительства, при эксплуатации уже построенных зданий и сооружений.

Линейные измерения выполняются непосредственно, с помощью специальных мерных приборов, и косвенно, с помощью дальномеров. К приборам для непосредственного измерения линий относятся мерные ленты, рулетки, проволоки. Ленты бывают штриховые и шкаловые. Наиболее широкое применение в практике получила стальная 20-метровая штриховая лента (рис. 30).

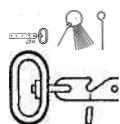


Рис. 30. Стальная лента со шпильками

На обоих концах такой ленты имеются вырезы, в которые при измерениях вставляются металлические шпильки. Против вырезов наносятся штрихи, расстояние между которыми и определяет длину ленты. Метровые деления ленты оцифрованы, полуметры отмечены заклепками, а дециметровые деления сквозными отверстиями. Число сантиметров относительно отверстий при отсчете по ленте оценивается на глаз. К концам ленты прикреплены ручки, которые служат для натяжения ленты в процессе измерений. Для транспортировки лента наматывается на металлическое кольцо. К каждой ленте прилагается набор шпилек в количестве 11 штук.

Шкаловые ленты имеют на концах шкалы с миллиметровыми делениями длиной 100 мм. Подписи делений на шкалах могут быть трех типов в зависимости от положения нулевого штриха: в начале, в конце или посередине шкалы. Длина ленты определяется расстоянием между нулевыми штрихами. Шкаловые ленты позволяют проводить измерения с повышенной точностью. Стальные рулетки выпускаются различной длины, начиная от 2 м и до 100 м, в открытом или закрытом корпусе. Рулетки в открытом корпусе, выполненном в виде крестовины или вилки, наматываются на барабан, вращающийся при помощи ручки. Деления на рулетках нанесены через 1 см или 1 мм.

При высокоточных измерениях используются инварные ленты или проволоки. Инвар — сплав двух металлов (железо — 64% и никель — 36%), который обладает малым коэффициентом теплового линейного расширения.

Перед использованием мерные приборы должны быть проверены путем сравнения их длины с эталоном, длина которого известна с высокой точностью. Такое сравнение называют компарированием. Компарирование выполняют на специальных приборах — компараторах. Компараторы бывают лабораторные и полевые. Лабораторные компараторы устраивают на ровном полу, на бетонных столбах или на полочках, укрепленных вдоль стен. Длина компаратора определяется путем измерения высокоточными приборами — инварными жезлами, которые, в свою очередь, регулярно сравниваются с эталоном длины. На концах компаратора прикрепляются металлические шкалы с миллиметровыми делениями длиной 150 мм. Компарлируемая лента укладывается на компаратор и при натяжении ленты силой до 10 кг берутся отсчеты по шкалам. Компарирование выполняется несколькими приемами, каждый раз сдвигают ленту вдоль шкалы компаратора. За окончательную длину ленты принимается среднее из нескольких приемов.

При компарировании лент определяется температура воздуха  $t_k$  и записывается в журнал. После компарирования получают уравнение рабочей ленты

$$\lambda_{\phi} = \lambda_k \pm \Delta \lambda \quad (45)$$

где  $\lambda_{\phi}$  — фактическая длина рабочей ленты;  $\lambda_k$  — номинальная длина рабочей ленты;  $\Delta \lambda$  — поправка за компарирование.

Компарирование лент может быть выполнено на полевом компараторе. Полевой компаратор представляет собой закрепленный на местности базис. Расстояние между концами базиса измеряют линейными приборами высокой точности. При компарировании ленты длину компаратора многократно измеряют этой лентой, после чего находят среднее значение из результатов измерений. Поправка ленты за компарирование в этом случае находится по формуле

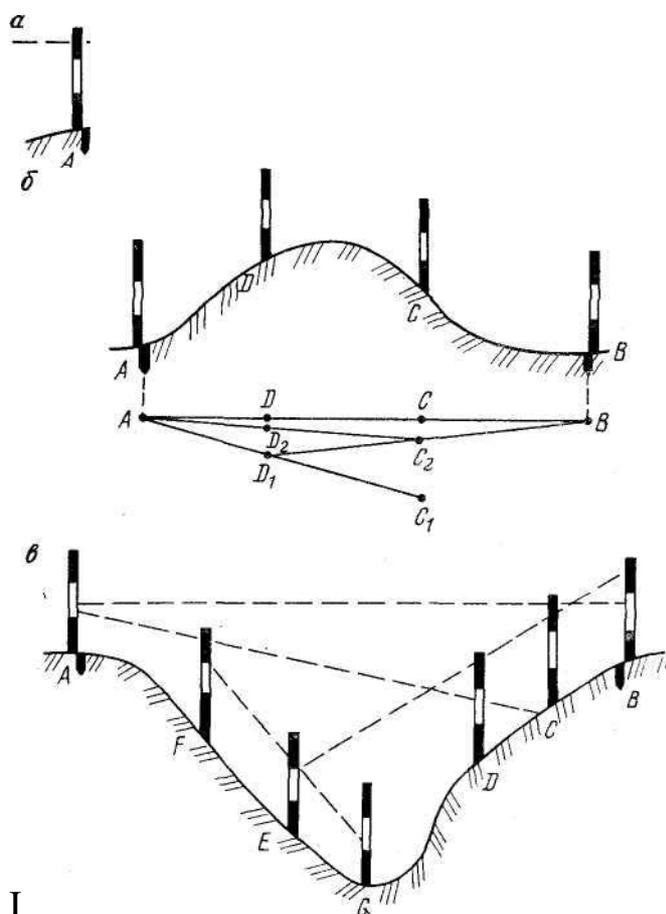
$$\Delta \lambda = \frac{D_k - D_{cp}}{n} \quad (46)$$

где  $D_k$  — длина полевого компаратора;  $D_{cp}$  — среднее значение длины компаратора, полученное в результате измерения лентой;  $n$  — число уложений ленты.

Компарирование рабочей ленты может быть выполнено также путем сравнения ее длины с длиной компарированной ленты или рулетки. Для этого обе ленты укладываются на ровный пол и с одной стороны совмещают их нулевые штрихи. Расхождение нулевых штрихов с другой стороны лент измеряют линейкой с миллиметровыми делениями. Полученная величина расхождения и будет являться поправкой за компарирование  $\Delta \lambda$ .

## 2. ПОДГОТОВКА ЛИНИИ МЕСТНОСТИ К ИЗМЕРЕНИЮ ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНИИ ЛЕНТОЙ

Перед измерением линии конечные точки закрепляются специальными знаками: колышками, деревянными столбиками, отрезками труб или рельсов, железобетонными монолитами и т. д., в зависимости от необходимого срока их сохранности. Для обозначения направления линии рядом с колышком ставится веха. Если линия более 200 м, то она предварительно провешивается, т. е. в створе линии ставятся дополнительные вехи. Вешение линий местности может быть выполнено на глаз или, если веха в конце линии плохо видна, с помощью теодолита.



I

Рис. 31. Схемы вешения линий

Чтобы провешить линию АВ (рис. 31, а) на глаз, наблюдатель становится в нескольких метрах от вехи, поставленной в точке А. Помощник наблюдателя, двигаясь от точки В к точке А, останавливается в точке С и, перемещаясь вправо или влево, по команде наблюдателя ставит веху так, чтобы она находилась на одной линии, т. е. в створе, с вехами А и В.

Далее, таким же образом, устанавливается веха в точке D и так далее. Такое вешение называется «на себя», оно является более удобным и более точным, чем вешение «от себя». Количество промежуточных вех будет зависеть от длины линии и условий видимости.

При вешении с помощью теодолита прибор устанавливают в точке А и наводят зрительную трубу на точку В. В этом положении трубу закрепляют и устанавливают промежуточные вехи так, чтобы они проектировались на вертикальную нить сетки нитей зрительной трубы.

Если между начальной и конечной точками линии А и В (рис. 31,б) нет взаимной видимости, то вешение производится следующим образом.

Предположительно в створе линии АВ (на глаз) выставляют веху в точке  $C_1$  и в створе линии  $AC_1$  выставляют веху в точке  $D_1$ . Затем веху из точки  $C_1$  переставляют в точку  $C_2$ , находящуюся в створе линии  $D_1B$ . Далее снова провешивают линию  $AC_2$  и веху из точки  $D_1$  переставляют в точку  $D_2$ . Эту работу выполняют до тех пор, пока одновременно из точки С будет видно, что веха D закрывает веху в точке А, а из точки D, что веха С закрывает веху в точке В.

При измерении линий через лощину вешение линий обычным способом также не всегда возможно. В этом случае наблюдатель становится в точку А (рис. 31, б) и выставляет веху в точке С в створе линии АВ. Затем по створу ВС выставляются вехи в точках D и Е. Далее по вехам А и D выставляется в створ веха F и, наконец, вешением «от себя» ставится веха G.

В зависимости от профиля местности могут быть и другие варианты вешения линий.

Измерение линии местности стальной лентой выполняют два мерщика — передний и задний. При первом укладывании ленты передний мерщик берет в левую руку ручку ленты и десять шпилек, обращенных колечками в правую сторону. Одиннадцатая шпилька и кольцо, на которое надеваются шпильки, должны находиться у заднего мерщика. В начале измерений задний мерщик втыкает в землю свою шпильку у начальной точки, вставляет вырез ленты в шпильку и выставляет переднего мерщика в створ так, чтобы конец ленты проектировался на вешку в конце линии или на промежуточную веху. Передний мерщик энергично встряхивает ленту и, натянув ее, берет правой рукой шпильку, вставляет ее в вырез ленты и втыкает в землю. После этого ленту протягивают вперед по линии, задний мерщик вставляет вырез ленты в шпильку, воткнутую в землю, и снова выставляет переднего мерщика в створ линии.

Далее работа выполняется аналогично. Передний мерщик выставляет шпильки, а задний их собирает и надевает на кольцо. Когда у заднего мерщика соберется 10 шпилек, он, дойдя до одиннадцатой шпильки, стоящей в земле, вставляет вырез ленты на заднем конце в эту шпильку и, сняв с кольца 10 шпилек, передает их переднему мерщику. Передача шпилек фиксируется в журнале измерений. У конца линии по ленте отсчитывается остаток, т. е. расстояние от последней шпильки до конца линии. При измерении остатка необходимо проверить, в какую сторону возрастает оцифровка ленты, чтобы не измерить остаток от другого конца ленты. Кроме того, следует быть внимательным при фиксировании цифр 6 или 9, обращая внимание на соседние цифры.

Общая длина измеренной линии может быть подсчитана по формуле

$$D = 200N + 20n + r \quad (47)$$

где  $N$  — число передач по 10 шпилек;  $n$  — число шпилек у заднего мерщика, не считая шпильки, находящейся в земле при последней ленте;  $r$  — остаток.

Чтобы исключить влияние грубых ошибок и повысить точность измерений, каждая линия измеряется два раза в прямом и обратном направлениях. В случае недопустимого расхождения полученных значений линия измеряется еще раз, и неверный результат отбраковывается. За окончательную длину линии принимается среднее арифметическое из результатов измерений, выполненных в прямом и обратном направлениях. При измерении линии измеряется температура окружающего воздуха  $t_{\text{ИЗМ}}$  и записывается в журнал измерений.

### 3. УЧЕТ ПОПРАВОК ПРИ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

В измеренное значение длины линии вводятся поправки:

1. за компарирование мерного прибора ( $\Delta D_K$ );
2. за температуру ( $\Delta D_t$ );
3. за наклон ( $\Delta D_v$ );

Поправка в длину линии за компарирование ленты вычисляется по формуле

$$\Delta D_K = \frac{D}{20} \Delta l \quad (48)$$

где  $D$  — длина измеренной линии;  $\Delta l$  — поправка за компарирование.

При положительном значении  $\Delta l$  поправка  $\Delta D_K$  прибавляется, при отрицательном — вычитается. Если значение  $\Delta l$  меньше 3 мм, поправка за компарирование не вводится.

Поправка за температуру вычисляется по формуле

$$\Delta D_t = D \alpha (t_{\text{ИЗМ}} - t_k) \quad (49)$$

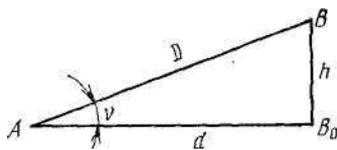


Рис. 32. Горизонтальное проложение линии

Где  $\alpha$  — линейный коэффициент расширения стали ( $12 \cdot 10^{-6}$ );  $t_{\text{ИЗМ}}$  — средняя температура в период измерения линии;  $t_k$  — температура в период компарирования. При  $(t_{\text{ИЗМ}} - t_k) \leq 8^\circ$  поправка  $\Delta D_t$  не вводится.

При углах наклона линии местности к горизонту, превышающих  $1^\circ$ , в полученное значение линии  $D$  необходимо ввести поправку за наклон, чтобы получить горизонтальную проекцию измеренной линии (рис. 32).

Поправка за наклон вычисляется по формуле

$$\Delta D_v = D - d = D - D \cos v = D(1 - \cos v) \text{ или}$$

$$\Delta D_v = 2 D \sin^2 \frac{\nu}{2} \quad (50)$$

Поправки могут быть также получены по таблицам поправок за наклон, составленных по формуле (50) (табл. 9). В табл. 9 поправки даны в миллиметрах для расстояний с интервалом в 10 м. Поправка за наклон всегда вычитается из измеренной длины.

Если линия имеет отрезки с разной крутизной, то вычисляются поправки за наклон для каждого отрезка. Общая поправка за наклон в измеренную линию будет равна сумме поправок всех участков. Углы наклона измеряют, обычно, по вертикальному кругу теодолита.

Если известно превышение  $h$  концов линии, то из рис. 32 получим

$$h^2 = D^2 - d^2 = (D-d)(D+d).$$

Принимая  $D-d = \Delta D_v$  и  $D+d = 2D$  будем иметь

$$\Delta D_v = \frac{h^2}{2D} \quad (51)$$

Точность измерений стальной лентой зависит, главным образом, от характера местности. Так; при измерениях по ровной и твердой поверхности результаты измерений получаются точнее, чем при измерениях, например, по кочковатой поверхности. Различают три категории местности, в зависимости от которых устанавливается допустимая ошибка измерений. При благоприятных условиях измерений относительная ошибка измерений считается равной 1:3000; при средних условиях — 1:2000; при неблагоприятных условиях — 1:1500. Расхождения в значениях длин линий, полученных при измерениях в прямом и обратном направлениях, допускаются соответственно 1 :2000; 1 :1500; 1 :1000.

Таблица 9

Поправки за наклон линий

Угол наклона	D, м										Угол наклона
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Поправки в миллиметрах											
1 <sup>00</sup> '	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15	1 <sup>00</sup> '
10	2	4	6	8	10	12	14	17	19	21	10
20	3	5	8	11	14	16	19	22	24	27	20
30	3	7	10	14	17	21	24	27	31	34	30
40	4	8	13	17	21	25	30	34	38	42	40
50	5	10	15	20	26	31	36	41	46	51	50
2 00	6	12	18	24	30	37	43	49	55	61	2 00
10	7	14	21	29	36	43	50	57	64	72	10
20	8	17	25	33	42	50	58	66	75	82	20

30	10	19	29	38	48	57	67	76	86	95	30
40	11	22	32	43	54	65	76	87	98	108	40
50	12	24	37	49	61	73	86	98	ПО	122	50
3 00	14	27	41	55	68	82	96	ПО	123	137	3 00
10	15	30	46	61	76	92	107	122	137	153	10
20	17	34	51	68	85	102	118	135	152	169	20
30	19	37	56	75	93	112	131	149	168	186	30
40	20	41	61	82	102	123	143	164	184	205	40
50	22	45	67	90	112	134	157	178	201	224	50
4 00	24	49	73	97	122	146	170	195	219	244	4 00
10	26	53	79	106	132	159	185	211	238	264	10
20	29	57	86	114	143	172	200	229	257	286	20
30	31	62	92	123	154	185	216	247	277	308	30
40	33	66	100	133	166	199	232	265	298	332	40
50	36	71	107	142	178	213	249	284	320	356	50
5°00'	38	76	114	152	190	228	266	304	342	380	5°00'

Рассмотрим пример определения длины линии по результатам ее измерения.

Линия местности измерена 20-ти метровой стальной лентой в средних условиях измерений. Уравнение ленты, полученное в результате компарирования  $\lambda_{\phi} = 20,000 \text{ м} + 0,008 \text{ м}$ . Температура компарирования  $t_k = +15^\circ$ . При измерении линии получено: число передач шпилек по 10 штук  $N=1$ , число шпилек у заднего мерщика при последней ленте  $n = 6$ , остаток в прямом направлении  $r_1 = 8,34 \text{ м}$ , в обратном направлении —  $r_2 = 8,45 \text{ м}$ . Температура воздуха при измерении линии  $t_{\text{Изм}} = +30^\circ$ . Угол наклона измеряемой линии  $\nu = 3^\circ 30'$ .

Длина измеренной линии в прямом направлении, вычисленная по формуле (47), будет равна

$$D_{\text{пр}} = 200 \cdot 1 + 20 \cdot 6 + 8,34 = 328,34 \text{ м},$$

в обратном направлении

$$D_{\text{обр}} = 200 \cdot 1 + 20 \cdot 6 + 8,45 = 328,45 \text{ м}.$$

Полученное расхождение значений длины в прямом и обратном направлениях 0,11 м составляет 1/3000 длины линии, что меньше допустимого значения 1/2000. Среднее значение длины линии  $D = 328,40 \text{ м}$ .

Поправка за компарирование будет равна

$$\Delta D_K = \frac{328,40}{20} \times 0,008 = +0,13 \text{ м}.$$

Поправка за температуру

$$\Delta D_t = 328,40 (12,5 \cdot 10^{-6}) (30 - 15^\circ) = +0,06 \text{ м}.$$

Поправка за наклон, полученная по формуле (50),

$$\Delta D_\nu = 2 \cdot 328,40 \cdot 0,03054^2 = 0,61 \text{ м}.$$

Эта же поправка  $\Delta D_\nu$  может быть найдена по таблицам поправок за наклон (см. табл. 9):

	D	$\Delta D_V$
	300 м	560 мм
	20 м	37 мм
	8 м	14,9 мм
	0,40 м	0,7 мм
	328,40 м	612,6 мм, т. е. $\Delta D_V = 0,61$ м

Окончательная длина линии с учетом поправок будет равна  
 $d = 328,40 + 0,13 + 0,06 - 0,61 = 327,98$  м.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕПРИСТУПНЫХ РАССТОЯНИЙ

В некоторых случаях, вследствие каких-либо препятствий, измерить линию непосредственно лентой невозможно. Тогда, при отсутствии дальномеров соответствующей точности, используют косвенный способ. Пусть требуется определить длину линии  $AB = d$  (рис. 33, а) через водную преграду. Для этого измеряют лентой расстояние  $AC = b$ , называемое базисом, и теодолитом горизонтальные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  между базисом и направлением на точку В. Длину базиса выбирают так, чтобы треугольник был близок к равностороннему.

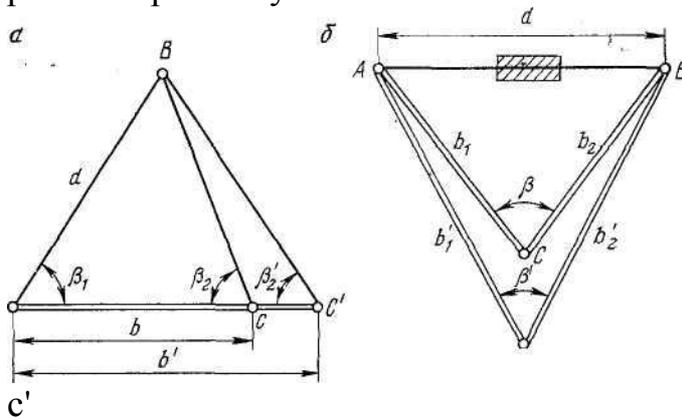


Рис. 33. Схемы определения недоступных расстояний

Если есть возможность, то измеряется угол при точке В. и проводится контроль по сумме измеренных углов треугольника, которая должна быть равна  $180^\circ$ . Допустимое отклонение от этой суммы, т. е. невязка в треугольнике не должна превышать величины, вычисленной по формуле

$$f_\beta = 1' \sqrt{3} = 1,7'.$$

При соблюдении этого условия невязка распределяется поровну на все три угла так, чтобы с учетом поправки сумма углов в треугольнике равнялась точно  $180^\circ$ .

Искомое расстояние найдется из треугольника ABC по теореме синусов

$$d_1 = \frac{b \sin \beta_2}{\sin(\beta_1 - \beta_2)} \quad (52)$$

Для контроля определения расстояния АВ разбивается второй

треугольник, в котором производятся аналогичные измерения. Если точка С' второго треугольника выбрана строго в створе базиса АС первого треугольника, то угол  $\beta_1$  повторно может не измеряться. Расстояние АВ в этом случае будет равно

$$d_2 = \frac{b' \sin \beta'_2}{\sin(\beta_1 - \beta'_2)}$$

При заданной точности измерения базисов 1:2000 предельное расхождение между расстояниями, полученными из двух треугольников, не должно превышать 1:1500 определяемого расстояния. За окончательное принимается среднее из двух определений, т. е.

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

Если между точками А и В нет взаимной видимости, то для определения расстояния АВ может быть использовано другое построение. Для случая, показанного на рис. 33,6, разбивается два базиса с общей точкой С так, чтобы из этой точки была видимость на точки А и В. Оба базиса  $b_1$  и  $b_2$  измеряются стальной лентой, и теодолитом измеряется горизонтальный угол  $\rho$  между базисами. Тогда искомое расстояние можно определить по теореме косинусов:

$$d = \sqrt{b_1^2 + b_2^2 - 2b_1b_2 \cos \rho} \quad (53)$$

Для контроля аналогичным образом выбирается точка С' и проводится вновь измерение базисов  $b_1'$  и  $b_2'$  и угла  $\rho'$ , значения которых подставляются в формулу (53). При допустимости расхождения полученных значений находится средняя величина расстояния АВ.

## **5. ОПТИЧЕСКИЕ ДАЛЬНОМЕРЫ. НИТЯНЫЙ ДАЛЬНОМЕР. ПОНЯТИЕ О ДАЛЬНОМЕРАХ ДВОЙНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**

Определение расстояний оптическими дальномерами основано на решении равнобедренного треугольника MFN (рис. 34,а), в котором искомое расстояние D определяется по малому углу  $\beta$ , называемому параллактическим углом, и противолежащей ему стороне Б, называемой базой. При определении расстояний одну из величин ( $b$  или  $\beta$ ) принимают постоянной, а вторую измеряют. В зависимости от этого различают:

- а) дальномеры с постоянным углом и переменной базой;
- б) дальномеры с переменным углом и постоянной базой.

Наиболее распространенным оптическим дальномером является нитяный дальномер с постоянным параллактическим углом. Этот дальномер имеется в зрительных трубах геодезических приборов и состоит из двух горизонтальных штрихов, называемых дальномерными нитями, расположенных симметрично относительно центрального штриха сетки нитей (рис. 34, б). В комплект дальномера входит дальномерная рейка с делениями. Если в начальную точку А установить прибор, а в точку В дальномерную рейку, то искомое расстояние будет равно

$$D = D_1 + f + \delta. \quad (54)$$

Из подобия треугольников MFN и aFb имеем

$$\frac{D_1}{n} = \frac{f}{p} \quad D_1 = \frac{f}{p} n$$

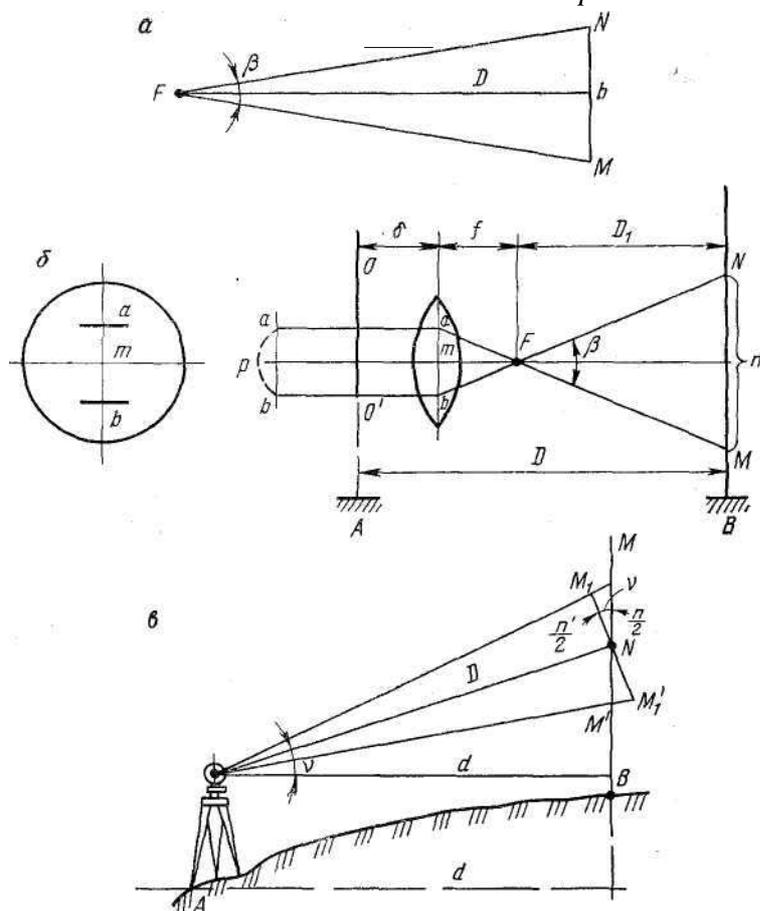


Рис. 34. Схемы измерения расстояний нитяным дальномером:

*a* — параллактический треугольник; *б* — схема нитяного дальномера; *в* — схема определения нитяным дальномером горизонтального проложения линии, где *n* — отсчет, соответствующий числу делений дальномерной рейки, видимых в трубу между дальномерными нитями; *f* — фокусное расстояние объектива; *p* — расстояние между дальномерными нитями.

Отношение  $\frac{f}{p} = K$  для данного прибора постоянно и называется коэффициентом дальномера. Кроме того, будем считать, что  $f + \delta = c$  — постоянное слагаемое дальномера. Тогда, в соответствии с (54), получаем

$$D = Kn + c \quad (55)$$

В современных теодолитах, имеющих трубы с внутренней фокусировкой, постоянное слагаемое *c* близко к нулю. Пренебрегая этой величиной, получим

$$D = Kn. \quad (56)$$

Коэффициент дальномера обычно равен 100, что соответствует углу  $\beta = 34,38'$ . Для определения *K* на ровной местности мерной лентой откладывают расстояния 50, 100 и 150 м и делают по дальномерной рейке отсчеты, которые при  $K = 100$  должны быть те же, что и отмеренные лентой, но в сантиметрах.

Если коэффициент дальномера оказался не равен 100, изготавливают рейку специально для данного дальномера или составляют таблицу поправок.

При определении расстояния по формуле (56) предполагается, что дальномерная рейка находится перпендикулярно линии визирования. Однако при определении наклонных расстояний линия визирования, очевидно, не будет перпендикулярна к вертикально стоящей рейке (рис. 34, в). Поэтому для вычисления действительного расстояния  $D$  необходимо от отсчета по рейке  $n$  перейти к отсчету  $n'$ , соответствующему правильному положению рейки. Для этого рассмотрим треугольник  $M_1NM$ . Угол в вершине  $N$  этого треугольника равен углу наклона линии визирования  $\nu$ , а угол при точке  $M_1$  близок к  $90^\circ$ . Поэтому можем записать

$$\frac{n'}{2} = \frac{n}{2} \cos \nu \quad \text{или} \quad n \cos \nu$$

С учетом (56) получим

$$D = Kn \cos \nu \quad \text{и горизонтальная проекция линии будет равна} \\ d = D \cos \nu = Kn \cos^2 \nu. \quad (57)$$

Точность определения расстояний нитяным дальномером характеризуется относительной ошибкой порядка 1 :400.

На точность нитяного дальномера значительное влияние оказывает толщина дальномерных нитей, снижающая точность отсчитывания по рейке. Этот недостаток устранен в дальномерных двойного изображения. Перед объективом трубы такого дальномера устанавливается оптический клин  $K$  или компенсатор, закрывающий половину светового отверстия объектива (рис. 35). Визирный луч, проходя через оптический клин, отклонится на некоторый параллактический угол  $\beta$  в точку  $M_1$ . В результате наблюдатель увидит два изображения рейки, смещенных на величину базы  $b$ .

Измерение расстояния от прибора до рейки в этом случае будет зависеть от типа применяемого дальномера. В дальномерных с постоянным параллактическим углом путем совмещения - двух изображений рейки измеряется величина базы  $B$ . В дальномерных с постоянной базой перемещением линзового компенсатора с помощью специальной шкалы измеряют величину параллактического угла  $\beta$ .

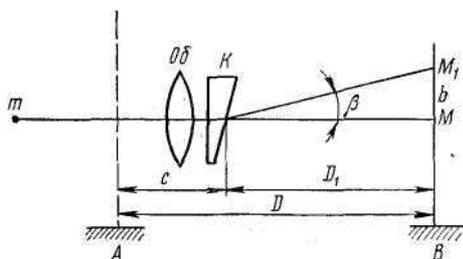


Рис. 35. Схема оптического дальномера двойного изображения

В нашей стране серийно выпускаются три типа дальномеров: ДНР-5, ДН-8, Д2.

Дальномер ДНР-5 (дальномерная насадка редукционная) относится к

дальномерам двойного изображения с постоянным параллактическим углом и переменной базой. Этот прибор позволяет измерять расстояния от 20 до 200 м со средней квадратической ошибкой 5 см на 100 м, расстояния, т. е. относительной ошибкой порядка 1 :2000. Прибор представляет собой насадку на зрительную трубу теодолита с наружным диаметром объектива 46 мм. Применяется, в основном, с теодолитами типа Т5, Т15. При работе с теодолитами типа ТЗО, у которых наружный диаметр оправы объектива равен 38 мм, для установки дальномерной насадки используется переходное кольцо. Постоянный параллактический угол  $\beta$  у дальномера ДНР-5 задается дальномерным оптическим клином, закрывающим половину поля зрения трубы.

В комплекте прибора имеются две дальномерные рейки разной длины с сантиметровыми делениями. Рейки при измерениях устанавливаются вертикально в подставке на штатив по круглому уровню.

Особенностью дальномера ДНР-5 является наличие редуцирующего клина, который вместе с дальномерным клином закрывает половину объектива зрительной трубы. При наклонах зрительной трубы редуцирующий клин изменяет отсчет по дальномерной рейке, приводя измеряемое расстояние к горизонту.

Дальномерный клин прибора подбирается с таким углом, чтобы коэффициент дальномера был равен 100. Расстояния при использовании дальномера ДНР-5 определяются по формуле (55), в которой значение  $n$  соответствует величине базы  $b$ , выраженной в делениях дальномерной рейки. Дальномер ДН-8 относится к дальномерам с переменным параллактическим углом и постоянной базой.

Дальномер 92 позволяет измерять расстояния с относительной ошибкой 1/1200—1/1500, Прибор представляет собой насадку к зрительной трубе теодолита с наружным диаметром оправы объектива 46 мм. Измерение параллактических углов  $\beta$  осуществляется линзовым компенсатором, состоящим из измерительных и установочных линз, перемещающихся независимо друг от друга.

Дальномерная рейка представляет собой штангу, на которой укреплены две пары марок, образующих две базы размерами 1018 мм и 550 мм. Рейка укрепляется на штативе и устанавливается горизонтально по круглому уровню.

Расстояние при использовании дальномера ДН-8 определяется по формуле

$$D = \frac{b}{\operatorname{tg} \beta} + c, \quad (58)$$

где  $c$  — постоянное слагаемое дальномера. По малости угла  $\beta$  можно записать

$$D = \frac{b\rho''}{\beta''} + c,$$

Обозначив  $b\rho'' = K$  — коэффициент дальномера, получим

$$D = K \frac{1}{\beta''} + c, \quad (59)$$

Для вычисления поправки за наклон линии измеряется угол наклона при

наведении средней горизонтальной нити на середину дальномерной рейки. Дальномер Д-2 с постоянной базой и переменным параллактическим углом выпускается в виде самостоятельного прибора. Позволяет определять расстояния от 40 до 400 м со средней квадратической погрешностью 2 см на 100 м расстояния, т. е. с относительной ошибкой порядка 1 :5000.

Для измерения параллактического угла прибор снабжен оптическим комбинированным компенсатором, состоящим из клинового и линзового компенсаторов. Клиновый компенсатор образует постоянную часть параллактического угла, линзовый компенсатор определяет переменную часть этого угла. Полная величина параллактического угла состоит из двух его составляющих— постоянной и переменной части.

Для измерения угла наклона линии визирования прибор имеет вертикальный круг. По значению угла наклона в измеренную линию вводится поправка за наклон. В комплекте прибора имеется дальномерная рейка длиной 2 м. Рейка состоит из 6 марок, образующих 5 баз по 40 см каждая, используемых в зависимости от длины измеряемой линии. Рейка при измерениях может располагаться как горизонтально, так и вертикально. При вертикально расположенной рейке расстояния определяются с относительной ошибкой порядка 1/3000.

## 6. ПОНЯТИЕ О СВЕТО ДАЛЬНОМЕРАХ И РАДИОДАЛЬНОМЕРАХ

Принцип измерения расстояний радио- и светодальномерами основан на измерении времени  $t$ , необходимого для прохождения электромагнитными волнами радио- и оптического диапазонов определяемого расстояния  $D$ . Для измерения расстояния в начало измеряемой линии устанавливается передатчик и приемник, а в конце линии — отражатель. Электромагнитные волны, посланные из начальной точки линии, отразившись в конце ее, возвратятся снова в начальную точку, пройдя измеряемое расстояние дважды — в прямом и обратном направлениях. Считая, что скорость распространения волн  $v$  известна, можем записать

$$D = \frac{1}{2} vt, \quad (60)$$

Для измерения времени прохождения электромагнитными волнами определяемого расстояния существует два метода: импульсный и фазовый. При импульсном методе измеряется промежуток времени между излучаемым и принимаемым от отражателя импульсом. При фазовом методе для определения времени прохождения волн измеряются разности фаз непрерывного излучения. Импульсные методы дают низкую точность, поэтому выпускаемые в настоящее время радио- и светодальномеры являются фазовыми.

В соответствии с государственным стандартом (ГОСТ 19223—82) в зависимости от назначения, дальности действия и точности определения расстояний светодальномеры делятся на три группы.

К первой группе относятся светодальномеры, используемые для определения больших расстояний, до 50 км, со средней квадратической

ошибкой 5—10 мм плюс 1—2 мм на каждый километр определяемого расстояния. Эти светодальномеры предназначены для линейных измерений в плановых государственных геодезических сетях, а также могут быть использованы при выполнении инженерно-геодезических работ высокой точности. Светодальномеры первой группы, в соответствии со стандартом, обозначаются буквой Г (геодезические).

Ко второй группе, обозначаемой буквой Т (топографические), относятся светодальномеры малой дальности действия, предназначенные для измерения расстояний в несколько километров с ошибкой 2 см. Эти светодальномеры используются для линейных измерений в сетях сгущения и при производстве топографических съемок.

Светодальномеры третьей группы позволяют измерять короткие расстояния от 0,1 до 3 км с высокой точностью, порядка 2 мм и выше. Дальномеры этой группы обозначаются буквой П и применяются в прикладной геодезии, в частности, для производства геодезических работ при строительстве и эксплуатации уникальных инженерных сооружений.

Из отечественных радиодальномеров можно назвать РДВГ, «Луч», «Волна», «Трап», которые позволяют проводить измерение расстояний с точностью 3—5 см плюс 3 мм на каждый километр определяемого расстояния.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какие приборы применяются для измерения линий?
2. Что такое компарирование?
3. Какие бывают компараторы и как выполняется компарирование мерных приборов?
4. Что такое вешение линий и как оно выполняется?
5. Как выполнить вешение линии через возвышенность или через лощину?
6. Какой порядок измерения линии местности стальной лентой? Какие поправки вводят в результат измерения линии стальной лентой и по каким формулам они вычисляются?
7. От чего зависит точность измерения линий стальной лентой и какие относительные ошибки измерения линий в зависимости от характера местности?
8. Какие существуют способы определения неприступных расстояний и в чем заключается их сущность?
9. По каким формулам определяются расстояния, измеренные нитяным дальномером?
10. Как определяется коэффициент нитяного дальномера?
11. Как определяется горизонтальное проложение линии, измеренной нитяным дальномером?
12. С какой точностью определяются расстояния нитяным дальномером?
13. В чем заключается сущность определения расстояний оптическими дальномерами двойного изображения?

14. Какие типы дальномеров двойного изображения выпускаются в нашей стране?

15. В чем заключается сущность определения расстояний светодальномерами и радиодальномерами?

## Лекция - 9 ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

### План

1. *Сущность и способы геометрического нивелирования*
2. *Влияние кривизны земли и рефракции на результаты нивелирования*
3. *Нивелиры, их устройство и поверки*
4. *Поверки и юстировка нивелира Н-3*
5. *Нивелирные рейки, их устройство и поверки*
6. *Производство технического нивелирования*
7. *Обработка результатов технического нивелирования*
8. *Плтроеение профиля трассы*
9. *Нивелирование поверхности*
10. *Построение топографического плана по результатам нивелирования поверхности*
11. *Понятие о точном и высокоточном нивелировании*

1. Геометрическое нивелирование производится для определения превышений одной точки над другой, близкой к ней, при помощи горизонтального луча нивелира и отвесно установленных в этих точках реек. По полученным превышениям и по данной отметке начальной точки вычисляют отметки всех остальных точек местности. Существуют два способа геометрического нивелирования: из середины и вперед. Для определения превышения  $h$  точки В над точкой А (рис. 36, а) нивелированием из середины устанавливают нивелир между этими точками на одинаковых расстояниях и приводят визирную ось прибора в горизонтальное положение. В точках А и В устанавливают отвесно рейки с сантиметровыми делениями, оцифрованными снизу вверх. Зрительную трубу нивелира наводят последовательно на рейки и делают по ним отсчеты  $a$  и  $b$ . Из рис. 36, а следует, что

$$h=a-b. \quad (61)$$

Если нивелирование производится в направлении от точки А к точке В, то превышение равно разности отсчетов по задней и передней рейкам. Превышение будет положительным, если  $a>b$ , и отрицательным при  $a<b$ . Если превышение окажется положительным, то это значит, что передняя точка лежит выше задней, при отрицательном — ниже.

Для определения превышения  $h$  точки В над точкой А нивелированием вперед нивелир устанавливают в точке А так, чтобы окуляр зрительной трубы находился по отвесу над этой точкой (рис. 36,б). Приводят визирную ось зрительной трубы в горизонтальное положение, измеряют высоту  $i$  нивелира от центра окуляра до точки А и делают отсчет  $b$  по передней рейке.

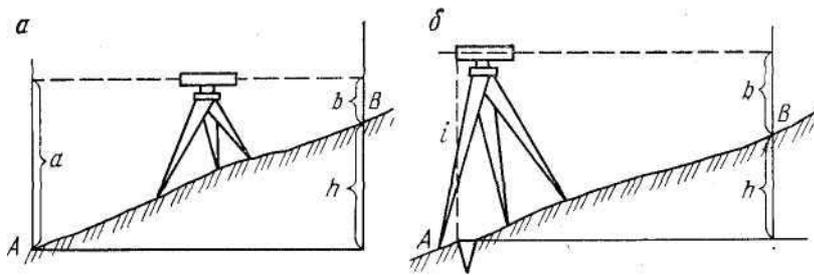


Рис. 36. Способы геометрического нивелирования

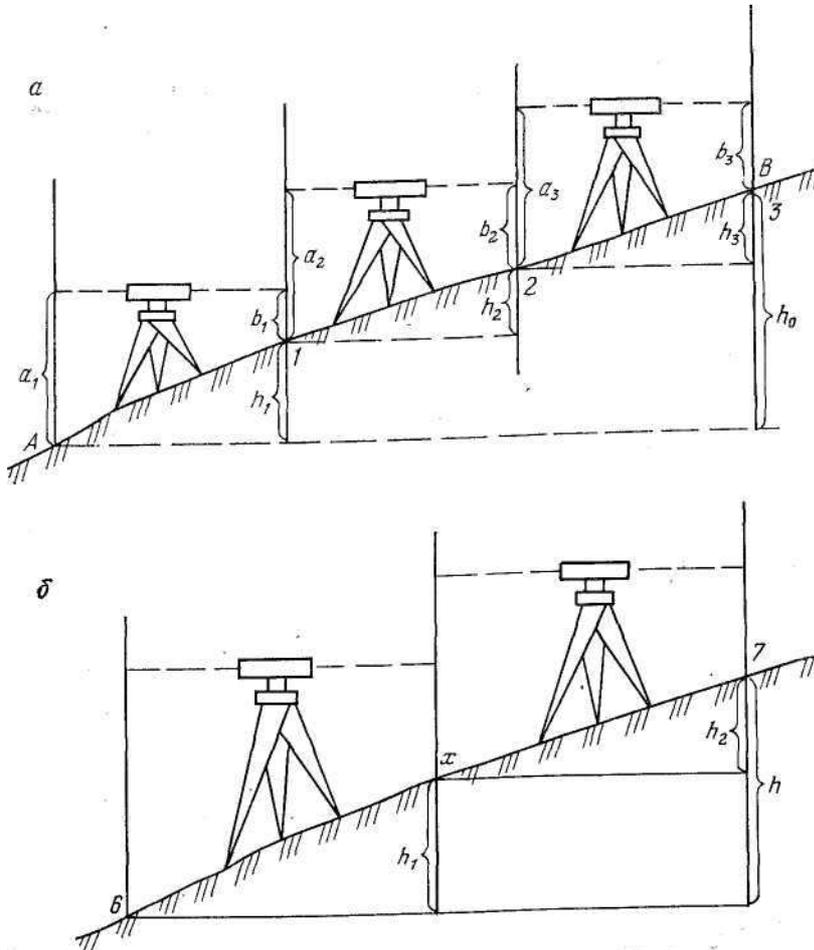


Рис. 37. Схемы последовательного нивелирования

Превышение получают по формуле

$$h = i - b. \quad (62)$$

Высоту прибора измеряют стальной рулеткой или отсчитывают по рейке. Превышение будет положительным, если  $i > b$ , и отрицательным при  $i < b$ .

В тех случаях, когда превышение между точками, расположенными на значительном расстоянии, с одной постановки нивелира определить нельзя, а также для составления профиля местности выполняется последовательное нивелирование (рис. 37,а).

Из рис. 37, а видно, что превышение конечной точки В над начальной А

$$h_0 = \Sigma h = \Sigma a - \Sigma b, \quad (63)$$

т. е. равно сумме отсчетов по задней рейке минус сумма отсчетов по передней при нивелировании из середины. При нивелировании способом вперед

$$h_o = \Sigma i - \Sigma b, \quad (64)$$

т. е. превышение конечной точки над начальной равно сумме высот нивелира минус сумма отсчетов по передней рейке.

Точки 1, 2, 3, ... называются связующими точками. Точки постановки нивелира называются станциями.

Связующие точки на местности намечаются через равные интервалы, обычно через 100 м, и они часто не совпадают с перегибами рельефа, а для составления профиля надо знать отметки этих точек, которые называются промежуточными или плюсовыми. Обозначаются промежуточные точки числом метров, соответствующим расстоянию от задней точки.

При нивелировании крутых скатов определить превышение между двумя точками с одной станции нельзя, так как визирный луч зрительной трубы будет проходить выше рейки или бить в землю. В этом случае намечаются дополнительно одна или несколько связующих точек, в зависимости от крутизны ската, которые называются иксовыми точками, они служат для передачи отметки с задней точки на переднюю. Расстояние до иксовых точек не измеряется (рис. 37,б). Превышение точки 7 над 6

$$h = h_1 + h_2. \quad (65)$$

## 2. ВЛИЯНИЕ КРИВИЗНЫ ЗЕМЛИ И РЕФРАКЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Если бы визирный луч нивелира совпадал с кривой, параллельной уровенной поверхности, то превышение точки В над точкой А (рис. 38) было бы равно разности отсчетов по рейкам, т. е.

$$h = a_1 - b_1. \quad (66)$$

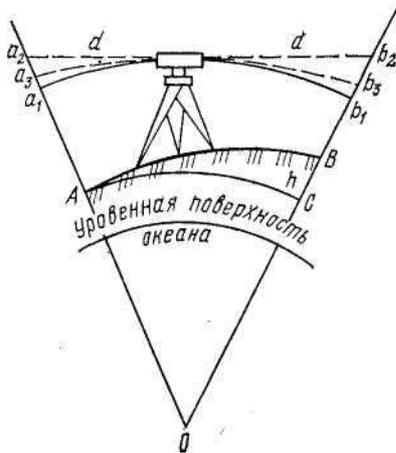


Рис. 38. Схема влияния кривизны Земли и рефракции на определение превышений

Но визирный луч идет по прямой, касательной к этой кривой, и в отсчеты по рейкам войдут поправки  $a_1a_2$  и  $b_1b_2$  за кривизну Земли. В действительности визирный луч нивелира вследствие неоднородности воздушной среды пойдет не по прямой, а по кривой, обращенной вогнутостью к уровенной поверхности, и уменьшит эти поправки на  $a_2a_3$  и  $b_2b_3$  за рефракцию.

Разности  $a_1a_2 - a_2a_3 = a_1a_3$  и  $b_1b_2 - b_2b_3 = b_1b_3$  выражают суммарное влияние кривизны Земли и рефракции.

Влияние кривизны Земли  $k = d^2/2R$ , где  $d$  — расстояние от нивелира до рейки;  $R$  — радиус Земли, равный 6371 км. Среднее значение поправки за рефракцию обычно принимается  $r = 0,16k$  или  $r = 0,16d^2/2R$ .

Общая поправка за кривизну Земли и рефракцию будет

$$f = k - r = \frac{d^2}{2R} - 0,16 \frac{d^2}{2R} = \frac{d^2}{2R} (1 - 0,16) \text{ или}$$

$$f = 0,42 \frac{d^2}{R} \quad (67)$$

Числовые значения этой поправки приведены ниже:

d, м	50	100	150	200	300
f, мм	0,2	0,7	1,5	2,6	6,0

При равных расстояниях от нивелира до реек влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования исключается.

### 3. НИВЕЛИРЫ, ИХ УСТРОЙСТВО И ПОВЕРКИ

Нивелиры по точности делятся на три типа: высокоточные для нивелирования I и II классов, точные для нивелирования III и IV классов и технические, предназначенные для инженерно-технических работ. По конструкции различают нивелиры, визирная ось которых устанавливается в

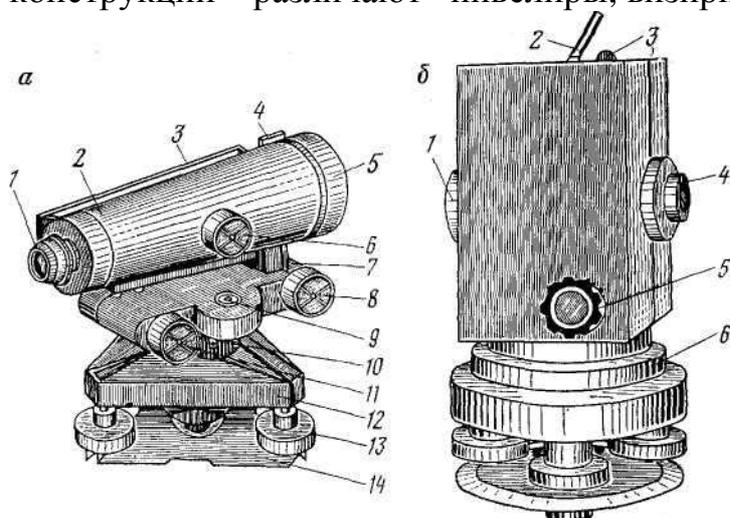


Рис. 39. Нивелиры

горизонтальное положение при помощи цилиндрического уровня, и нивелиры с самоустанавливающейся горизонтальной линией визирования.

В настоящее время для технического нивелирования применяются точные нивелиры Н-3 и Н-3К, технический Н-10КЛ и др.

Нивелир Н-3 (рис. 39, а) имеет следующие части: окуляр 1, корпус трубы 2, коробка цилиндрического уровня 3, мушка для приближенного наведения на рейку 4, объектив 5, кремальера для фокусирования трубы 6, закрепительный винт трубы 7, наводящий винт трубы 8, круглый уровень 9, исправительный винт круглого уровня 10 (их три), элевационный винт 11, подставка (трегер) 12, подъемный винт 13, пружинистая пластинка со втулкой 14.

Круглый уровень служит для приближенной установки оси нивелира в отвесное положение. Элевационный винт служит для точной установки визирной оси нивелира в горизонтальное положение. В коробке цилиндрического уровня, сверху над уровнем, расположена система оптических призм, с помощью которых изображение концов пузырька уровня передается в поле зрения трубы. Установка пузырька уровня на нуль-пункт достигается путем совмещения (контакта) изображений концов его половинок вращением элевационного винта. Такой уровень называется контактным.

Зрительная труба нивелира имеет внутреннюю фокусировку, увеличение трубы  $30^{\times}$ , поле зрения  $1^{\circ}20'$ . Цена деления круглого уровня  $5'$ , цена деления цилиндрического уровня на  $2\text{ мм}—15''$ . Коэффициент дальномера—100.

Нивелир Н-ЗК точный содержит маятниковый оптико-механический компенсатор, который состоит из подвижной призмы, подвешенной на двух парах скрещенных стальных нитей, и неподвижной призмы. Колебания компенсатора гасятся воздушным поршневым демпфером. Визирная ось нивелира устанавливается в горизонтальное положение автоматически. Зрительная труба с внутренней фокусировкой. Увеличение трубы  $30^{\times}$ , поле зрения  $1,3^{\circ}$ , цена деления круглого уровня  $10'$ , коэффициент нитяного дальномера 100. Нивелир Н-ЗК выпускается также в варианте с горизонтальным лимбом под шифром НЗ-КЛ

Нивелир Н-10КЛ (рис. 39,6) технический с компенсатором. Зрительная труба нивелира состоит из объектива 1 и окуляра 4. Фокусирование трубы производится вращением винта 5. Установка нивелира в рабочее положение производится подъемными винтами по круглому уровню 3 с откидным зеркалом 2. Визирная ось в горизонтальное положение устанавливается автоматически с помощью компенсатора. Наведение зрительной трубы на рейку выполняется механизмом горизонтальной наводки от руки. Закрепительный и наводящий винты трубы отсутствуют. Нивелир имеет горизонтальный лимб 6 с ценой деления  $\Gamma$  и точностью отсчета  $0,1^{\circ}$ . Увеличение зрительной трубы  $20^{\times}$ , поле зрения трубы  $1,3^{\circ}$ , цена деления круглого уровня  $10'$ , коэффициент дальномера 100.

В комплект нивелира входят две нивелирные рейки типа РН-10-4000 и штатив типа ШР-120.

#### **4. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКА НИВЕЛИРА Н-3**

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. Подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в центр кружка на коробке уровня и поворачивают верхнюю часть нивелира вокруг его оси на  $180^{\circ}$ . Если пузырек останется в центре, то условие выполнено.

В противном случае исправительными винтами уровня перемещают пузырек к центру на половину его отклонения, а подъемными винтами приводят его в нуль-пункт. Для контроля поверку повторяют.

Перед каждой последующей поверкой предварительно приводят по

круглому уровню ось нивелира в вертикальное положение. Для этого устанавливают подъемными винтами пузырек круглого уровня в центр кружка. После этого при вращении верхней части нивелира пузырек должен находиться в нуль-пункте.

2. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси вращения нивелира.

Среднюю нить сетки наводят на ясно видимую точку, расположенную в 25—30 м от нивелира, и наводящим винтом плавно вращают трубу. Нить сетки не должна сходиться с выбранной точки. Выполнение этого условия обеспечивается заводом. При несоблюдении условия необходимо ослабить винты, скрепляющие сетку с корпусом трубы, и повернуть сетку в нужную сторону.

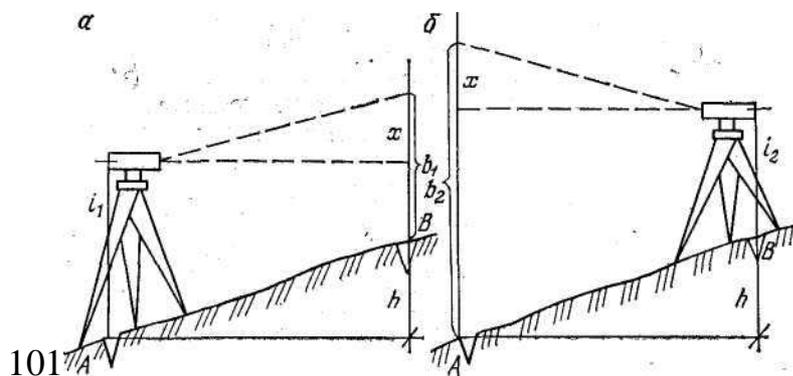


Рис. 40. Схемы проверки оси цилиндрического уровня

3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси трубы. Проверка этого главного геометрического условия производится двойным нивелированием одной и той же линии с разных ее концов (рис. 40). Линия длиной около 50 м закрепляется колышками. Устанавливают нивелир в точке А так, чтобы окуляр находился над колышком, приводят ось вращения нивелира в отвесное положение при помощи круглого уровня и измеряют высоту прибора  $i_1$ . В точке В устанавливают рейку и делают по ней отсчет  $b_1$  предварительно элевационным винтом приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, т. е. совмещают две его половинки.

Если визирная ось и ось цилиндрического уровня не параллельны, то в отсчет  $b_1$  войдет ошибка  $x$ . Из рис. 40, а следует, что

$$h = i_1 - (b_2 - x). \quad (68)$$

Аналогично устанавливают нивелир в точке В (рис. 40, б). Измеряют высоту прибора  $i_2$  и делают в точке А отсчет по рейке  $b_2$ . Превышение в этом случае будет

$$h = (b_2 - x) i_2. \quad (69)$$

Решая уравнения (68) и (69), получим

$$x = \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{i_1 - i_2}{2} \quad (70)$$

Если величина  $x$  не превышает 4 мм, то исправление не проводится. В противном, случае при помощи элевационного винта наводят среднюю нить сетки на исправленный отсчет  $b = b_2 - x$  и вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня совмещают изображение концов пузырька уровня. Для контроля поверку повторяют.

## 5. НИВЕЛИРНЫЕ РЕЙКИ, ИХ УСТРОЙСТВО И ПОВЕРКИ

При техническом нивелировании применяют двухсторонние цельные рейки РН-3 (рис. 41, а) длиной 3000 мм, толщиной 2—3 см, шириной 8—10 см, а также складные рейки длиной 3000—4000 мм.

На одной стороне рейки РН-3 нанесены черной краской (черная сторона) шашечные сантиметровые деления, которые чередуются с белыми, также сантиметровыми, делениями; на другой стороне сантиметровые деления нанесены красной краской (красная сторона). На черной стороне нулевой отсчет совпадает с пяткой, на красной стороне с пятками совпадают отсчеты 4 687 мм или 4 787 мм. Счет делений возрастает от нижнего конца рейки;

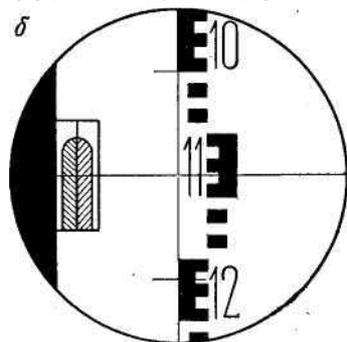


Рис. 41. Нивелирная рейка и рейка в поле зрения трубы

цифры подписаны через каждый дециметр в перевернутом виде, а в поле зрения трубы их изображение будет прямым (рис. 41,б). Разность отсчетов по разным сторонам рейки должна быть постоянной, что служит контролем нивелирования на станции.

Для приведения реек в отвесное положение к ним прикреплен круглый уровень, параллельность оси которого плоскости рейки проверяют по отвесу. Если уровни отсутствуют, то при визировании на такие рейки их плавно наклоняют вперед и назад вдоль линии визирования. Наименьший отсчет по рейке соответствует ее вертикальному положению. При отсчетах менее 1000 мм рейку устанавливают в вертикальное положение на глаз.

Во время нивелирования рейки устанавливают на деревянные колья, металлические костыли или башмаки. Перед началом работы рейки проверяют при помощи контрольного метра или стальной рулетки с миллиметровыми делениями. Дважды измеряют длины метровых отрезков, а затем

дециметровых. Ошибка дециметрового деления не должна превышать 1 мм, а всей длины рейки 2 мм.

Нивелир и рейки нужно содержать в чистоте и оберегать от сотрясений и ударов.

## **6. ПРОИЗВОДСТВО ТЕХНИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ**

Техническое нивелирование производится для определения отметок пунктов съемочного обоснования топографических съемок, а также при изыскании и строительстве инженерных сооружений.

При изыскании трасс линейных сооружений производится разбивка пикетажа, измерение углов поворота трассы и съемка ситуации. Трасса разбивается на участки длиной по 100 м каждый. Начальная и конечная точки участка называются пикетами, которые на местности закрепляются деревянными колышками, забиваемыми вровень с землей. Рядом с ними забивают сторожки. На сторожке подписывают номер пикета. В начальной точке — № 0, в конце первого участка — № 1, в конце второго участка — № 2 и т. д. При разбивке пикетажа на перегибах рельефа местности отмечают промежуточные или плюсовые точки, на сторожках подписывают номер предыдущего пикета и расстояние от него до плюсовой точки. Разбивку пикетажа выполняют стальной лентой. В точке поворота трассы теодолитом измеряют полным приемом угол, лежащий вправо по ходу. При помощи эккера и рулетки ведут съемку ситуации в полосе 20—40 м по обе стороны от трассы. Одновременно с разбивкой пикетажа и съемкой ситуации ведется пикетажный журнал, изготовленный, обычно, из миллиметровой бумаги. Пикетажный журнал ведется в крупном масштабе, чаще 1 :2000.

Превышение между точками определяется, как правило, способом нивелирования из середины, расстояние от нивелира до реек допускается до 150 м, неравенство этих расстояний не должно превышать 5 м. С помощью подъемных винтов пузырек круглого уровня устанавливается в нуль-пункт. Зрительная труба направляется на рейку и вращением окулярной трубочки и кремальеры добиваются резкого изображения сетки нитей и делений рейки. Отсчет по рейке делается по средней нити сетки с точностью 1 мм при обязательном совмещении элевационным винтом концов пузырька цилиндрического уровня.

При техническом нивелировании порядок работы на станции, после установки нивелира в рабочее положение, следующий:

Отсчет по черной стороне задней рейки.

Отсчет по черной стороне передней рейки.

Отсчет по красной стороне передней рейки.

Отсчет по красной стороне задней рейки.

Отсчет по черной стороне рейки, установленной на промежуточных точках.

На промежуточных точках устанавливается задняя рейка. Отсчеты по рейкам записываются в журнал установленной формы. Разности отсчетов, т. е. превышения  $h$  по черным и красным сторонам реек не должны быть более 5

мм.

Нивелирный ход должен опираться на два исходных репера, отметки которых известны. Проложение замкнутых и висячих ходов, опирающихся только на один исходный репер, разрешается в исключительных случаях.

## 7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Обработка результатов нивелирования начинается с проверки полевых вычислений в нивелирном журнале. Для этого проводится постраничный контроль. На каждой странице журнала подсчитывается сумма отсчетов по задним рейкам  $\Sigma a$ , сумма отсчетов по передним рейкам  $\Sigma b$  и алгебраическая сумма средних превышений  $\Sigma h_{cp}$ . Тогда

$$\frac{\Sigma a - \Sigma b}{2} = \Sigma h_{cp} \quad (71)$$

Далее определяют невязки в превышениях нивелирного хода.

Если ход замкнутый, то

$$f = \Sigma h_{cp} \quad (72)$$

Если ход разомкнутый, т. е. проложен между двумя реперами, отметки которых  $H_1$  и  $H_2$  известны, то

$$f = \Sigma h_{cp} - (H_1 - H_2) \quad (73)$$

где  $\Sigma h_{cp}$  — сумма средних превышений по всему ходу.

Предельная невязка хода технического нивелирования не должна превышать

$$fh_{cp} = 50 \text{ мм} \sqrt{L} \text{ или } f = 10 \text{ мм} \sqrt{n} \quad (74)$$

где  $L$  — длина нивелирного хода в километрах;  $n$  — число станций.

Вторая формула используется при нивелировании местности со значительными углами наклона, когда число станций на 1 км хода значительно больше 10.

Допустимую невязку распределяют с обратным знаком поровну в превышения каждой станции или на сумму превышений пропорционально длине ходов с округлением до одного миллиметра. Сумма поправок должна быть равна невязке с противоположным знаком. Сумма исправленных превышений должна быть равна нулю для замкнутого нивелирного хода и равна разности отметок конечного и начального реперов для разомкнутого хода. После этого вычисляют отметки связующих точек (рис. 42) по формуле

$$H_B = H_A + h \quad (75)$$

т. е. отметка точки последующей равна отметке точки предыдущей плюс превышение между ними.

Отметки промежуточных точек вычисляются при помощи горизонта прибора.

Горизонтом прибора называется отметка горизонтального луча нивелира, которая равна

$$\Gamma\Pi = H_A + a. \quad (76)$$

Отметка промежуточной точки С будет

$$H_C = \Gamma\Pi - c \quad (77)$$

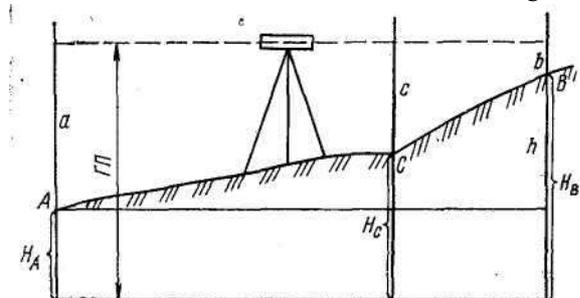


Рис. 42. Схема вычисления отметок связующих и промежуточных точек

$$H_c = \Gamma\Pi - c, \quad (77)$$

Таблица 10

Журнал технического нивелирования

№ станций	№ пикетов	Отсчеты по рейке, мм			Превышения, мм				Горизонт прибора, м	Отметки, м
		задние	передние	промежуточные	По черной стороне	По красной стороне	средние	исправленные		
1	Рп 1	0 340								135,443
		5 029			-892	-894	-893	-891		
	ПК 0		1 232							
			5 923							
2	ПК 0	1 937					+2			134,552
		6628			+1598	+1598	+1598	+1600		
	ПК 1		0 339							
			5 030							
3	ПК 1	0 352					+2			136,152
		5041			-1114	-1115	-1114	-1112		
	ПК 2		1 466							
			6 156							
4	ПК 2	1935					+2			135,040
		6627			+1542	+1544	+1543	+1545		
	ПК 3		0 393							
			5083							
5	ПК 3	1 225							137810	136,585
		5916								
	+40			2830						134,980
	+80			2900						134,910
							+2			
	ПК 4		0 667		+0558	+0560	+0559	+0561		
			5356							

6	ПК 4	2080								137.146
								+2		
		6 772			+1774	+1775	+1774	+1776		
	X		0 306							
			4997							
7	X	2138								138.922
								+2		
		6827			+1644	+1642	+1643	+1645		
	ПК5		0494							
			5185							
8	ПК 5	0339								140.567
								+2		
		5028			-1892	-1894	-1893	-1891		
	Рп2		2231							138.676
			6922							
		$\Sigma= 58\ 214$	51 780				+3217	+3233		

$$\Sigma h_{cp} = \frac{58214 - 51780}{2} = +3217$$

$$fh = \Sigma h_{cp} - (H_2 - H_1) = 3217 - 3233 = -16 \text{ мм}$$

$$fh_{доп} = 10 \text{ мм} \sqrt{n} = 10 \text{ мм} \sqrt{8} = 28 \text{ мм}$$

т. е. отметка промежуточной или плюсовой точки равна горизонту прибора минус отсчет по рейке в этой точке. Поэтому на станциях, где имеются промежуточные точки, вычисляется горизонт прибора.

Пример записи в журнале технического нивелирования и обработки нивелирного хода между двумя реперами показан в табл. 10.

## 8. ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ТРАССЫ

Для проектирования сооружения линейного типа составляют продольный профиль трассы. Профиль составляется по данным нивелирного и пикетажного журналов на миллиметровой бумаге. Для большей наглядности масштаб для вертикальных расстояний принимают в 10 раз более крупным, чем для горизонтальных.

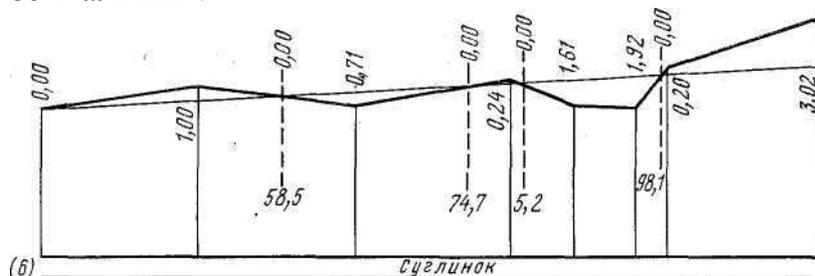


Рис. 43. Профиль продольного нивелирования: масштабы: горизонтальный 1 : 2000; вертикальный 1 : 200

При составлении профилей следует руководствоваться установленными образцами, на которых показана разграфка для размещения и записи необходимых данных. На рис. 43 показан один из таких профилей.

Составление профиля начинается с нанесения пикетов и плюсовых точек и заполнения графы (1) расстояний. Наименование плюсовых точек на профиле не указывается, а о расстоянии их до пикетов судят по графе (1) расстояний, в которой все точки наносятся по масштабу путем проведения вертикальных линий. Расстояния между точками записываются в промежутках между этими линиями. Расстояния, равные 100 м, между пикетами не записываются. В графу (2) записываются из нивелирного журнала отметки земли или фактические отметки пикетов и плюсовых точек. В графы (3) и (4) заносятся проектные данные: уклон и проектные отметки. Графа (5) заполняется по данным пикетажного журнала. Посередине этой графы проводится прямая, представляющая собой ось трассы. Если трасса имеет повороты, то в точках поворота стрелкой показывают их направление: вниз — при повороте вправо, вверх — при повороте влево. В графе (6) показывается характер грунта. Далее от линии условного горизонта, за которую принимают одну из утолщенных линий миллиметровки, откладывают отметки пикетов и плюсовых точек в принятом для вертикальных расстояний масштабе. Отметку условного горизонта выбирают так, чтобы самая низкая точка профиля расположилась выше условного горизонта на 4—6 см.

Все нанесенные по отметкам точки последовательно соединяют прямыми линиями и получают профиль трассы.

После составления профиля выполняется проектирование линейного сооружения, например, дороги. Для этого на профиле наносится проектная линия под условием минимального объема земляных работ и минимального и максимального уклонов, обеспечивающих сток воды и безопасность движения транспорта. В таком случае уклон проектной линии вычисляется по формуле

$$u = \frac{H_2 - H_1}{d} \quad (78)$$

где  $H_1$  и  $H_2$  — отметки начала и конца проектной линии;  $d$  — расстояние между этими точками, взятые с профиля. Уклон и расстояние записываются в графу (3).

Часто проектная линия задается проектной отметкой начальной точки и уклонами проектной линии на каждый участок трассы. Проектные отметки, лежащие на прямой профиля, вычисляются по формуле

$$H_k = H_{k-1} + ud, \quad (79)$$

т. е. отметка последующей точки, лежащей на прямой профиля, равна отметке предыдущей точки плюс произведение уклона линии на горизонтальное расстояние между этими точками. Записываются проектные отметки в графу (4).

Разность между проектной отметкой и отметкой земли показывает высоту насыпи или глубину выемки и называется рабочей отметкой. Рабочие отметки вычисляются для всех точек профиля и записываются над проектной линией, если они относятся к насыпи, и под ней — при выемке. При переходе от насыпи к выемке и наоборот находится точка нулевых работ (рис. 44). На профиле необходимо указать расстояние от этой точки до ближайшего младшего пикета. Находим это расстояние по формуле

$$X = \frac{d}{|a| + |b|} \cdot |a| \quad (80)$$

где  $a$  и  $b$  — рабочие отметки в точках  $A$  и  $B$ ;  $d$  — горизонтальное расстояние между этими точками.

Если расстояние до точки нулевых работ вычислено от промежуточной точки, то к найденному значению необходимо прибавить расстояние этой промежуточной точки до младшего пикета. Зная расстояние  $x$ , можно определить отметку нулевой точки  $M$  по формуле (79).

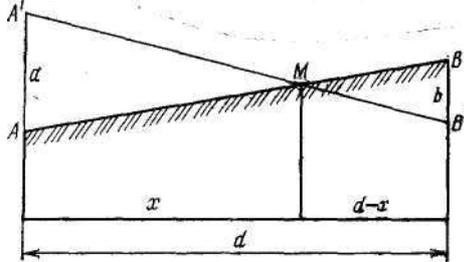


Рис. 44. Схема определения положения точки нулевых работ

Профиль оформляется тушью в три цвета. Все данные, относящиеся к полевым работам: графа расстояний, графа отметок земли, графа ситуации, линия профиля показывается черным цветом. Данные, относящиеся к проектированию: проектные линии, уклоны, проектные и рабочие отметки — красным цветом. Точки нулевых работ оформляются синим цветом.

## 9. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

Нивелирование поверхности производится на местности со слабо выраженным рельефом для получения крупномасштабного топографического плана участка, отведенного под строительство.

Существуют два способа нивелирования поверхности: по квадратам и по магистралям. На открытой местности с помощью теодолита и стальной ленты разбивают сетку квадратов со сторонами 10, 20, 30, 40 и 50 м, в зависимости от сложности рельефа. Вершины квадратов закрепляют кольями.

Одновременно с разбивкой сетки квадратов ведут съемку ситуации. Порядок нивелирования вершин квадратов зависит от размеров строительной площадки. При небольших размерах нивелирование может быть выполнено с одной постановки нивелира (рис. 45). В этом случае нивелир устанавливается в середине площадки, приводится в рабочее положение и с этой станции берутся отсчеты по рейке, последовательно устанавливаемой на вершинах квадратов. При этом, отсчеты берутся только по черной стороне рейки и записываются в нивелирный журнал

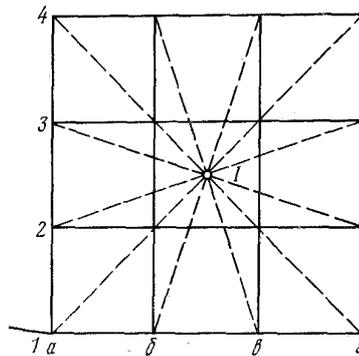


Рис. 45. Схема нивелирования поверхности по квадратам с одной

Таблица 11

Журнал нивелирования поверхности по квадратам

№ станций	№ вершин квадратов	Отсчеты по рейке, мм	Горизонт прибора, м	Отметки вершин квадратов, м
I	1а	2802	133,159	130,357
	2а	1881		131,278
	3а	1183		131,976
	4а	1709		131,450
	4б	1651		131,508
	4в	1903		131,256
	4г	2554		130,605
	3г	2152		131,007
	2г	2355		130,804
	1г	2906		130,253
	1в	2707		130,452
	1б	2654		130,505
	2б	1632		131,527
	3б	0331		132,828
	3в	1188		131,971
2в	1865	131,294		

Отметку от репера на одну из вершин квадратов, например, от Рп. 3 на вершину квадрата 1а передают нивелированием из середины с отсчетами по двум сторонам рейки. По отметке этой точки и отсчету по рейке на ней вычисляется горизонт прибора, а далее способом горизонта прибора вычисляются отметки всех вершин квадратов (табл. 11).

При значительных размерах участка прокладывается замкнутый нивелирный ход (рис. 46,а). В этом случае некоторые вершины квадратов будут связующими точками. По результатам нивелирования вычисляют отметки связующих точек в замкнутом полигоне, горизонт прибора на станциях и отметки всех вершин квадратов.

Квадраты со сторонами 100 м нивелируют каждый в отдельности. В этом случае нивелир устанавливается в середине квадрата.

Отсчеты, произведенные по рейкам, установленным в вершинах квадратов, записываются на схеме сети квадратов. Контроль отсчетов можно делать по равенству суммы отсчетов накрест лежащих. Допускается расхождение не более 5 мм. Далее вычисляют превышения по сторонам квадратов, проводят их уравнивание по внешнему периметру, а также по створам, и вычисляют отметки всех вершин квадратов.

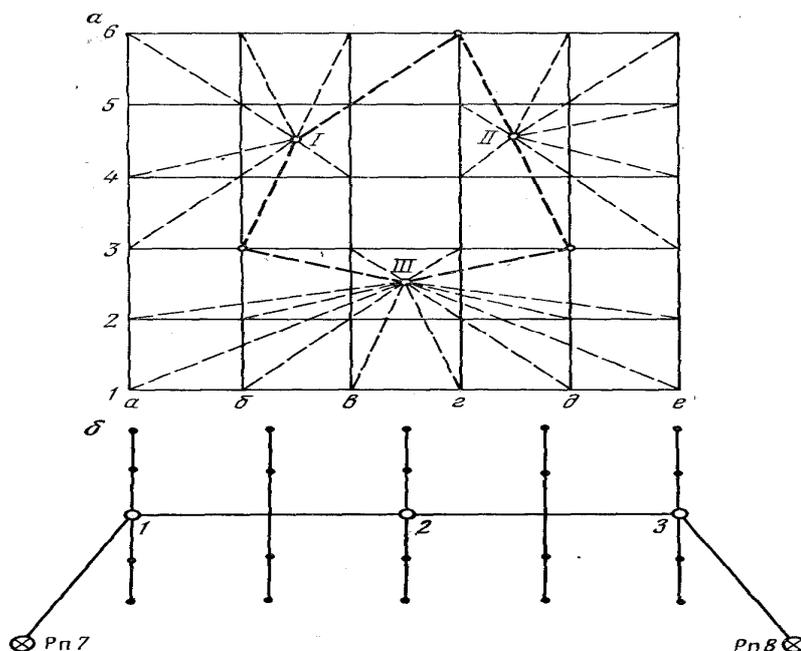


Рис. 46. Схемы нивелирования поверхности по квадратам с трех точек и по магистралям

На застроенной территории нивелирование поверхности производится по магистральным линиям и поперечникам к ним. Для этой цели прокладываются совмещенные теодолитный и нивелирный ходы, разбивают поперечники (рис. 46,б), а на них через равные промежутки намечают точки, подлежащие нивелированию. Поперечники разбиваются перпендикулярно к линиям магистрали. Расстояния между поперечниками в зависимости от рельефа местности и масштаба плана берутся от 10 м до 50 м. Если магистральные ходы, идущих примерно параллельно, несколько, то они должны быть связаны поперечниками, которые образуют замкнутые полигоны. Магистральные нивелирные ходы должны быть привязаны к реперам. Увязка превышений и вычисление отметок производятся так же, как это изложено в § 48.

## 10. ПОСТРОЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НИВЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Для построения топографического плана по результатам нивелирования поверхности наносят на бумагу в заданном масштабе сеть квадратов или магистралей и против вершин квадратов или пикетных точек магистралей и поперечников выписывают отметки с округлением до сотых долей метра. По данным абриса наносится ситуация и проводятся горизонталы. Порядок построения горизонталей при нивелировании по квадратам описан ниже.

Для проведения горизонталей на плане выполняют интерполирование, т. е. проводят отыскание положения точек с заданными отметками в промежутке между двумя точками с известными отметками. Это отыскание выполняется путем деления математически горизонтального расстояния пропорционально разности высот, но лучше это делать с помощью миллиметровой бумаги. На утолщенных линиях миллиметровки, следующих через 1 см,

подписывают отметки, кратные данной высоте сечения (рис. 47, а). После этого миллиметровка прикладывается поочередно к каждой стороне квадрата. На вертикальных линиях откладываются соответствующие отметки начала и конца стороны квадрата и полученные точки соединяются прямой линией. Пересечение полученной линии с подписанными на миллиметровке линиями отметок, кратных высоте сечения, проектируется на сторону квадрата. После интерполирования все точки с одинаковыми отметками соединяют плавными кривыми — горизонталями — так, как это показано на рис. 47,б.

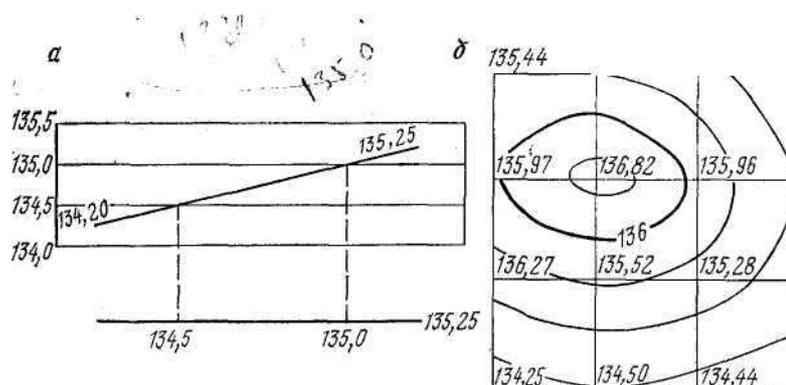


Рис. 47. Расчет горизонталей и план с изображением рельефа

Аналогично делается построение горизонталей при составлении топографического плана по результатам нивелирования поверхности по магистралям.

План оформляется в соответствии с действующими условными знаками.

## 11. ПОНЯТИЕ О ТОЧНОМ И ВЫСОКОТОЧНОМ НИВЕЛИРОВАНИИ

К точному нивелированию относят нивелирование III и IV классов. Нивелирование III класса выполняют способом из середины в прямом и обратном направлениях. Нормальная длина луча визирования — 75 м. Неравенство расстояний на станции от нивелира до реек не более 2 м. Рейки устанавливают в вертикальное положение по уровню на костыли или башмаки. Отсчеты берут по средней и дальномерным нитям по черной стороне рейки и по средней нити по красной стороне с точностью до 1 мм. Расхождение между превышениями, полученными по черным и красным сторонам реек, не должно быть более 3 мм. Предельная невязка в превышениях в нивелирных ходах III класса не должна превышать

$$f=10 \text{ мм} \sqrt{L} \quad (81)$$

где  $L$  — число километров в ходе.

Точность нивелирования IV класса характеризуется предельной допустимой невязкой нивелирного хода

$$f=20 \text{ мм} \sqrt{L} \quad - (82)$$

Нивелирование IV класса выполняют в одном направлении. Отсчеты по черной и красной сторонам реек проводят по средней нити. Нормальная длина луча визирования—100 м. Неравенство расстояний от нивелира до реек на станции не более 5 м. Рейки устанавливают отвесно по круглому уровню на костыли, башмаки или кольца. Расхождение значений превышения на станции по черным и красным сторонам реек должно быть не более 5 мм.

Для нивелирования III и IV классов используются точные нивелиры Н-3 и Н-3К, удовлетворяющие следующим требованиям: увеличение трубы не менее 30х, цена деления цилиндрического уровня не более 30" на 2 мм.

К высокоточному нивелированию относится нивелирование I и II классов. Средняя квадратическая ошибка на 1 км хода соответственно 0,5 мм и 2,0 мм. Нивелирование проводится в прямом и обратном направлениях. Нормальное расстояние от нивелира до реек 50 м. Неравенство расстояний от нивелира до реек на станции допускается соответственно не более 0,5 м и 1 м.

Для нивелирования I и II классов используются высокоточные отечественные нивелиры Н-05, Н1 и Н2 с увеличением трубы не менее 44х и ценой деления цилиндрического уровня не более 12" на 2 мм.

Рейки трехметровые, односторонние с инварной полосой и двумя на ней шкалами с ценой деления 5 мм. Рейки устанавливаются на костыли в отвесное положение по уровню.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем сущность геометрического нивелирования?
2. Какие существуют способы геометрического нивелирования?
3. Когда используется последовательное нивелирование?
4. Назовите название и назначение частей нивелира Н-3.
5. Назовите поверки нивелира Н-3 и как они выполняются.
6. В чем заключается разбивка пикетажа?
7. Какие точки называются связующими, промежуточными, иксовыми?
8. В чем заключается приведение нивелира в рабочее положение?
9. Какой порядок работы на станции при техническом нивелировании?
10. Что называется горизонтом прибора?
11. Как вычисляются отметки через превышение и горизонт прибора?
12. Как вычисляется невязка в превышениях замкнутого нивелирного хода, ее допустимость и распределение?
13. Как вычисляется невязка в превышениях разомкнутого нивелирного хода, ее допустимость и распределение?
14. Чему равна сумма исправленных превышений в замкнутом и разомкнутом нивелирных ходах?

15. Какими способами вычисляются отметки связующих и промежуточных точек?

16. Как строится профиль продольного нивелирования?

17. Чем руководствуются при проведении проектной линии?

18. Как вычисляются проектные и рабочие отметки?

19. Что называется точкой нулевой работы и как ее определить?

20. В каких случаях применяется метод нивелирования по поверхности по квадратам и по магистралям?

21. Какими способами строятся горизонтали на плане нивелирования поверхности?

## Лекция – 10 ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

### План

1. Сущность теодолитной съемки
2. Проложение теодолитных ходов и привязка их к пунктам опорной геодезической сети
3. Съёмка ситуации местности
4. Обработка результатов полевых измерений
5. Прямая и обратная геодезические задачи
6. Вычисление координат вершин теодолитного хода
7. Построение плана теодолитной съемки
8. Определение площади

Теодолитной съемкой называется горизонтальная или контурная съемка местностей, которая выполняется с помощью теодолита. Теодолитом измеряются горизонтальные углы и углы наклона. Линии измеряются стальной лентой и дальномерами различных конструкций.

По результатам теодолитной съемки может быть составлен план без изображения рельефа. Для получения плана с изображением рельефа необходимо произвести нивелирование поверхности, на которой выполнялась теодолитная съемка. Сочетание теодолитной съемки и нивелирования поверхности целесообразно применять для получения плана строительного участка.

Процесс теодолитной съемки складывается из следующих видов работ: проложение теодолитных ходов, привязка их к пунктам геодезической сети, съемка ситуации.

### **2. ПРОЛОЖЕНИЕ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ И ПРИВЯЗКА ИХ К ПУНКТАМ ОПОРНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Плановым обоснованием теодолитной съемки служат теодолитные ходы, которые прокладываются в виде замкнутых полигонов и разомкнутых ходов. При съемке населенного пункта или участка для строительства обычно на границе прокладывается замкнутый полигон. Для обеспечения съемки ситуации и для контроля измерений внутри полигона может быть проложен диагональный ход, например, 5—7—8—2 (рис. 48,а).

Разомкнутый теодолитный ход должен быть вытянутым, т. е. с углами поворота, по возможности, близкими к  $180^\circ$ , и прокладываться, как правило, между пунктами триангуляции или полигонометрии (рис. 48,б).

Проложение теодолитных ходов начинается с закрепления на местности колышками или деревянными столбами вершин углов поворота. Точки углов поворота теодолитных ходов выбирают так, чтобы стороны между соседними точками было удобно измерять, а длины их были бы не более 350 м и не менее 20 м. Линии измеряют дважды, в прямом и обратном направлениях, с относительными ошибками не более  $1 : 3000$ ,  $1 : 2000$  и  $1 : 1500$  в зависимости от

условий местности, на которой измеряются линии. Длина теодолитного хода допускается при съемке масштаба 1 : 5000 — 4 км; 1 : 2000 — 2 км; 1 : 1000 — 1 км. Углы поворота в теодолитных ходах измеряют обычно вправо по ходу лежащие. Измерения выполняются при двух положениях вертикального круга и за окончательный результат принимается среднее из двух измерений, если разница из этих измерений не превышает двойной точности прибора.

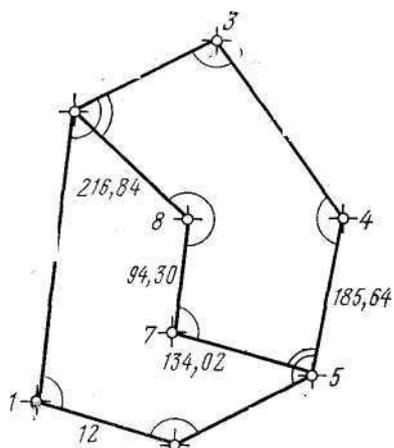


Рис. 48. Схемы теодолитных ходов  
а — замкнутого; б — разомкнутого

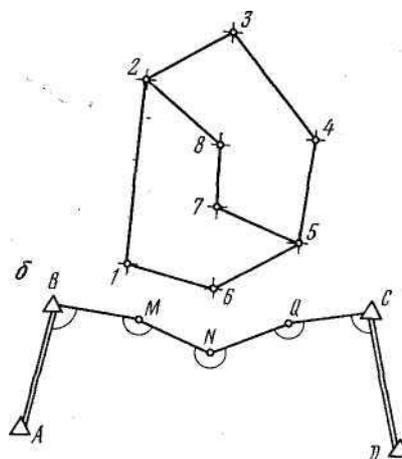


Рис. 49. Схема измерения углов и линий основного (замкнутого) и диагонального теодолитных ходов

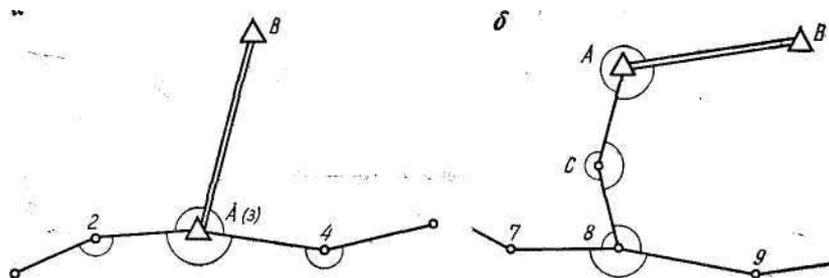


Рис. 50. Схемы привязки теодолитных ходов к пунктам геодезической сети

Углы наклона линий измеряют с помощью вертикального круга теодолита. Результаты угловых и линейных измерений записывают в журнал установленной формы.

Пример записи измерения углов и линий в замкнутом полигоне с диагональным ходом показан в табл. 12. Средние значения горизонтальных проложений линий показаны на рис. 49.

Для получения исходных координат и дирекционного угла

Таблица 12

Журнал измерения горизонтальных углов и линий

№ станций	№ точек визир	Отсчеты по горизонтальному кругу	по	Угол из полуприемов	Среднее значение угла	Длина линии, м	Угол наклона	Примечание
-----------	---------------	----------------------------------	----	---------------------	-----------------------	----------------	--------------	------------

	овани я									
ОСНОВНОЙ ПОЛИГОН										
1	6	261 <sup>0</sup>	11,0'							Оптический теодолит 2Т30, точность отсчета 0,5'
	2	160	01,0	101 <sup>0</sup>	10,0'					
	6	80	36,0			101 <sup>0</sup>	10,5'			
	2	339	25,0	101	11,0					
								325,23	+0 <sup>0</sup>	20'
								335,35		
2	1	175	26,5							
				118	02,5					
	3	57	24,0							
						118	03,0			
	1	357	04,5							
					118	03,5				
	3	239	01,0							
								177,81	+0	34
3								177,77		
	2	246	47,0							
				103	32,0					
	4	143	15,0							
						103	32,0			
	2	68	38,0							
				103	32,0					
	4	325	06,0							
								257,31	-0	37
4								257,26		
	3	179	0,3							
				123	22,0					
	5	55	41,0							
						123	22,0			
	3	357	54,0							
				123	22,0					
	5	234	32,0							
								185,84	-0	23
5								185,80		
	4	145	41,5							
				131	01,5					
	6	14	40,0							
						131	01,5			
	4	327	17,0							
				131	01,5					
	6	196	15,5							
								166,76	+2	30
6								166,72		
	5	271	57,5							
				142	49,5					
	1	129	08,0							
						142	49,8			
	5	93	03,0							
				142	50,0					
	1	310	13,0							
								132,14	-0	17
								132,10		
Диагональный ход с точки 5 на точку 2 основного полигона										
5	4	78	24,0							

				75	10						
	7	3	14,0								
						75	10,2				
	4	260	20,5								
				75	10,5						
	7	185	10,0								
								134,01	+0	25	
								134,03			
	5	214	50,5								
				112	42,5						
	8	102	08,0								
						112	42,8				
	5	36	44,0								
				112	43,0						
	8	284	01,0								
								94,28	+0	30	
								94,32			
	7	269	59,5								
				240	55,5						
	2	29	04,0								
						240	55,2				
	7	90	29,0								
				240	55,0						
	2	209	34,0								
								216,50	-0	27	
								216,58			
	8	118	34,0								
				64	16,0						
	3	54	18,0								
						64	16,2				
	8	300	06,5								
				64	16,5						
	3	235	50,0								

теодолитного хода его нужно привязать к пунктам триангуляции или полигонометрии, координаты которых известны.

Если ход проходит через пункт А опорной сети (рис. 50,а), то привязка заключается в измерении примычных углов в этой точке для передачи дирекционного угла на линию теодолитного хода, например, 3—4. Если теодолитный ход не проходит через пункт опорной сети, то в этом случае от одного из пунктов хода прокладывают наиболее короткий теодолитный ход до пункта опорной сети и измеряют в этом ходе углы и линии для передачи координат и дирекционного угла, например, на пункт 8 и дирекционного угла на линию 5—9 (рис. 50, б).

### 3. СЪЕМКА СИТУАЦИИ МЕСТНОСТИ

Для съемки ситуации применяются различные способы, изложенные ниже.

1. *Способ перпендикуляров.* Этот способ применяется при съемке ситуации и местных предметов, имеющих правильные геометрические формы, например, зданий, а также криволинейных контуров, например, рек, дорог и других вытянутых в длину контуров.

$\sqrt{B,0} \sqrt{7,0}$

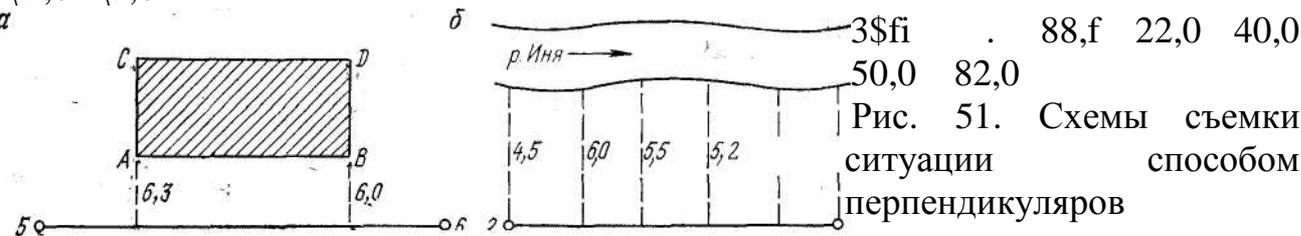


Рис. 51. Схемы съемки ситуации способом перпендикуляров

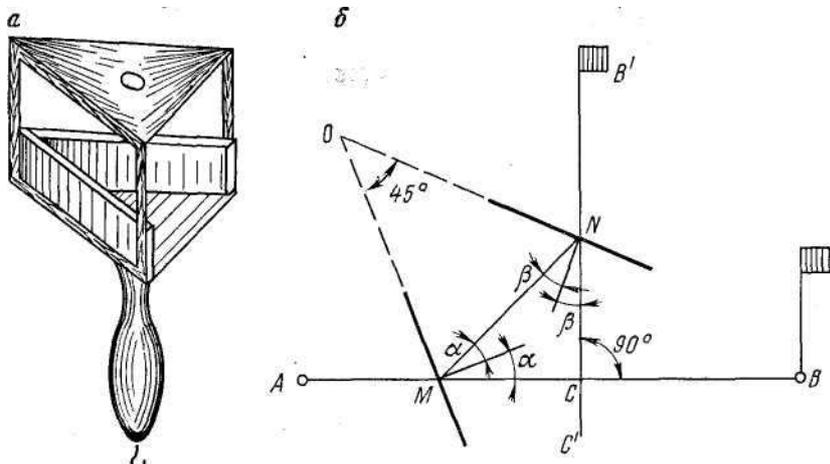


Рис. 52, Двухзеркальный эккер:  
а — внешний вид эккера; б — ход лучей в эккере

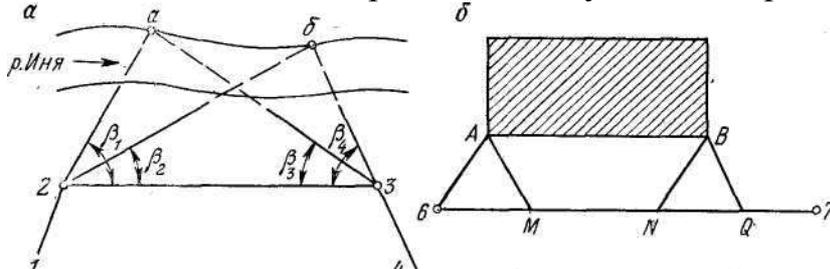


Рис. 53. Способы съемки ситуации: а — угловых засечек; б — линейных засечек

Перпендикуляры опускают из снимаемых точек здания или точек контура местности на стороны теодолитного хода. Например, положение точек А и В (рис. 51, а) определится длиной перпендикуляров и расстоянием от точки 5 теодолитного хода до этих перпендикуляров. Положение точек С и D получают по данным обмера здания рулеткой.

На рис. 51,б показана запись измерений при съемке берега реки способом перпендикуляров. Длина перпендикуляров допускается при съемке в масштабе 1:5000—10 м; 1:2000 — 8 м; 1:1000 — 6 м; 1:500 — 4 м. При такой длине перпендикуляры от снимаемых характерных точек опускаются на линию на глаз, более длинные — с помощью эккера. Двухзеркальный эккер (рис. 52, а) — простейший прибор, у которого два зеркала установлены под углом  $45^\circ$ . Зеркала прикреплены с внутренней стороны к корпусу, имеющему ручку с крючком, на котором подвешивается отвес. Над зеркалами в корпусе вырезаны окошечки. Луч из точки В (рис. 52,б), падающий на зеркало М под углом  $\alpha$ , отражается и падает на другое зеркало N под углом  $\beta$  и, отразившись от этого зеркала, попадает в глаз наблюдателя по направлению СС. Это направление пересекает линию АВ под углом  $90^\circ$ .

Чтобы восставить перпендикуляр в точке С к линии АВ, держат эккер по отвесу в данной точке С так, чтобы зеркало М было обращено к вехе В. Затем, смотря в другое зеркало N и в окошечко над ним, выставляют веху В' по направлению изображения вехи В в этом зеркале.

При опускании перпендикуляра из точки В' на АВ перемещаются с эккером по линии АВ до тех пор, пока изображение вехи В закроет веху В'.

Эккер исправен, если угол между зеркалами установлен правильно, т. е.  $45^\circ$ . Проверка этого условия выполняется так: к прямой АВ в точке С восставляют эккером перпендикуляр по обоим вехам А и В.

Если оба перпендикуляра сольются в одно направление, то эккер исправен. В противном случае, действуя исправительными винтами, изменяют положение зеркал, добиваются их совпадения.

При применении эккера длины перпендикуляров допускаются до 80 м при съемке в масштабе 1 : 5000, до 60 м при съемке в масштабе 1 : 2000, до 40 м при съемке в масштабе 1 : 1000 и до 20 м при съемке в масштабе 1 : 500.

2. *Способ угловых засечек.* Этот способ выгодно применять при съемке труднодоступных контуров, например, при съемке противоположного берега реки. В этом случае при точках 2 и 3 (рис. 53, а) теодолитом измеряют одним полуприемом углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  и  $\beta_4$ . Засечки точек а и б должны быть под углом не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ .

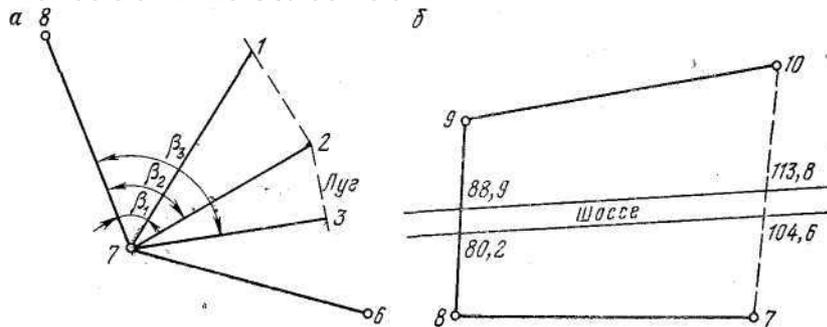


Рис. 54. Способы съемки ситуации:

а — полярный; б — створов

Построением на плане этих углов получим точки а и б на противоположном, относительно линии теодолитного хода, берегу реки.

3. *Способ линейных засечек.* Способ применяется при съемке зданий (рис. 53, б).

В этом случае положение точки А определяется измерением расстояний бА, бМ и МА. Эти расстояния измеряются лентой или рулеткой, и они должны быть примерно равными. Для получения на плане точки А надо построить треугольник бМА. Положение точки В определяется аналогично, но измеряются расстояния бN, бQ, NB и QB, причем NQ — часть стороны теодолитного хода б—7.

4. *Способ полярных координат или полярный способ.* Суть полярного способа съемки ситуации заключается в том, что точки 1, 2, 5,... (рис. 54, а) определяются в системе полярных координат, т. е. горизонтальными углами  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  образованными начальным направлением 7—8 и расстояниями 7—1, 7—2,

7—3 от точки полюса 7 до снимаемых точек. Эти расстояния определяются с помощью нитяного дальномера и не должны превышать при съемке масштаба 1:5000—150 м; 1:2000—100 м; 1:1000 — 60 м. Углы измеряются одним полуприемом. Чтобы не делать вычислений, поступают так: совмещают нулевой штрих алидады с нулевым штрихом лимба и, вращая лимб, визируют на точку 8. Для съемки точек 1, 2, 3 вращением алидады последовательно визируют на дальномерную рейку, устанавливаемую на эти точки, и записывают отсчеты по лимбу, равные углам  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ , и расстояния, взятые по дальномеру. Для контроля визируют вновь на точку 8 и делают отсчет, который не должен отличаться от нуля более 2'. Результаты измерений этим способом записывают в журнал.

*5. Способ створов.* Этот способ применяется при съемке точек, расположенных в створе линии теодолитного хода, либо в створе линии, опирающейся на точки теодолитного хода (рис. 54,6).

При съемке ситуации составляется абрис. Абрис является схематическим чертежом, на котором показывают все снимаемые точки с соблюдением порядка и взаимного расположения контуров местности между собой и относительно опорных линий. Абрис составляется отдельно для каждой стороны теодолитного хода и снятой ситуации с этой стороны. Абрис ведут карандашом четко и аккуратно с записями всех выполненных при съемке угловых и линейных измерений.

#### 4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

При теодолитной съемке получают геодезический журнал измерений углов, линий и абрис. Эти документы служат основным материалом для построения плана. Поэтому обработку результатов полевых измерений начинают с проверки правильности всех записей и вычислений, сделанных в журнале, а также вычислений поправок за наклон сторон теодолитного хода. Дальнейшая обработка измерений при теодолитной съемке складывается из следующих действий: обработка угловых измерений и вычисление дирекционных углов и румбов сторон, вычисление приращений и координат вершин теодолитного хода, построение плана участка теодолитной съемки.

Угловая невязка замкнутого хода. Известно, что теоретическая сумма углов плоского многоугольника равна

$$\Sigma\beta_T = 180^\circ(n-2), \quad (83)$$

где  $n$  — число углов многоугольника

Пусть практическая сумма измеренных углов замкнутого многоугольника (рис. 55, а) равна  $\Sigma\beta_{\text{п}}$ .

Разность между практической суммой измеренных углов и теоретической суммой называется угловой невязкой полигона и обозначается через  $f_\beta$ .

$$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{п}} - 180^\circ(n-2). \quad (84)$$

Для углов, измеренных теодолитом тридцатисекундной точности полным

приемом, допустимая предельная невязка суммы углов определяется по формуле

$$f_{\beta} = 1' \sqrt{n} \quad (85)$$

а для углов, измеренных теодолитом одномоментной точности,

$$f_{\beta} = 1,5' \sqrt{n} \quad (86)$$

Допустимая невязка распределяется с обратным знаком поровну на все углы с округлением до  $0,1'$ .

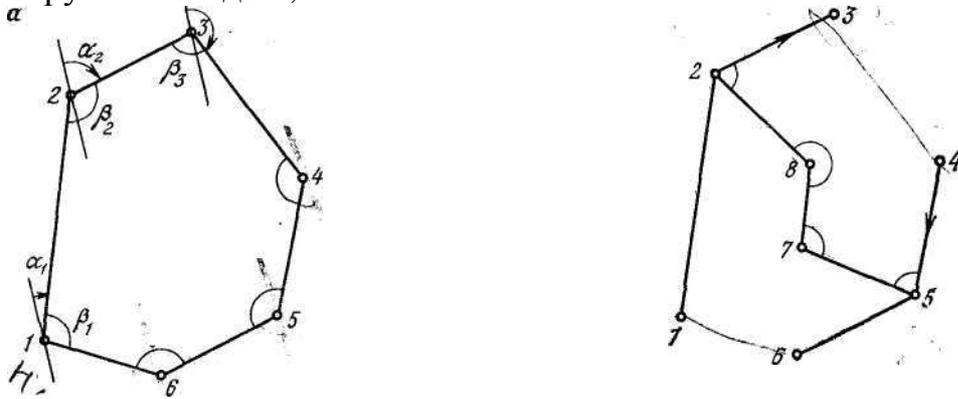


Рис. 55. Схемы обработки теодолитных ходов: а — замкнутого; б — диагонального

Сумма всех поправок в углы должна равняться невязке  $f_{\beta}$  с обратным знаком, а сумма исправленных углов — удовлетворять формуле (83).

Вычисление дирекционных углов и румбов сторон замкнутого хода. Исходный дирекционный угол  $\alpha_1$ , например, стороны 1—2 хода (рис. 55, а) получают в результате привязки этой стороны к пунктам геодезической опорной сети или определяют для нее истинный или магнитный азимут.

По известному дирекционному углу  $\alpha_1$  и по исправленным углам  $\beta$  вычисляют дирекционные углы всех сторон замкнутого хода по формулам

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \alpha_1 + 180^{\circ} - \beta_2 \\ \alpha_3 &= \alpha_2 + 180^{\circ} - \beta_3 \\ \alpha_n &= \alpha_{n-1} + 180^{\circ} - \beta_n \\ \alpha_1 &= \alpha_n + 180^{\circ} - \beta_1 \end{aligned} \quad (87)$$

Последняя строка равенств (87) контрольная.

По дирекционным углам вычисляют румбы, пользуясь их зависимостью между собой.

Угловая невязка разомкнутого теодолитного хода. На рис. 48, б показан разомкнутый ход, проложенный между пунктами В и С опорной сети. Координаты исходных точек А, В и С, Д опорной сети и дирекционные углы  $\alpha_0$  и  $\alpha_n$  известны. Для определения дирекционных углов разомкнутого теодолитного хода напишем формулы

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_0 + 180^\circ - \beta_1 \\ \alpha_2 &= \alpha_1 + 180^\circ - \beta_2 \\ \alpha_3 &= \alpha_2 + 180^\circ - \beta_3 \end{aligned} \quad (88)$$

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n$$

Сложив равенства (88), получим

$$\alpha_n = \alpha_0 + n180^\circ - \Sigma\beta_T \quad (89)$$

откуда

$$\Sigma\beta_T = \alpha_0 - \alpha_n + n180^\circ \quad (90)$$

Угловая невязка

$$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{п}} - \Sigma\beta_T \quad (91)$$

Допустимость угловой невязки  $f_\beta$  в разомкнутом ходе определяется по формуле (85) или (86). Распределение допустимой невязки, вычисление дирекционных углов и румбов сторон разомкнутого теодолитного хода выполняются так же, как и в замкнутом полигоне.

## 5. ПРЯМАЯ И ОБРАТНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

При вычислительной обработке результатов измерений на местности, при проектировании инженерных сооружений и перенесении их в натуру возникает необходимость решать прямую и обратную геодезические задачи.

**Прямая геодезическая задача.** Даны координаты  $X_1$  и  $y_1$  точки А начала линии АВ, ее горизонтальное проложение  $d$  и дирекционный угол  $\alpha$ . Требуется определить координаты  $x_2$  и  $y_2$  точки В конца этой линии (рис. 56). Из рис. 56 видно, что координаты

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 + \Delta x \\ y_2 &= y_1 + \Delta y \end{aligned} \quad (92)$$

Разности координат конечной и начальной точек линии АВ, т. е.  $\Delta x$ ; и  $\Delta y$  называются приращениями координат:

$$\begin{aligned} \Delta x &= d \cos \alpha \\ \Delta y &= d \sin \alpha. \end{aligned} \quad (93)$$

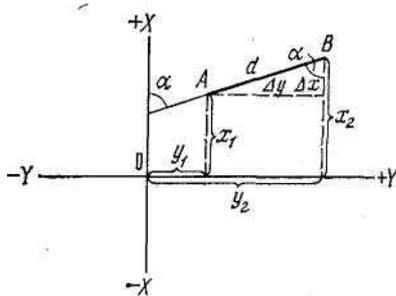


Рис. 56. Прямая и обратная геодезические задачи

При помощи румбов приращение координат вычисляются по формулам:

$$\Delta x = \pm d \cos r \quad (94)$$

$$\Delta y = \pm d \sin r$$

Приращения координат имеют знаки, которые зависят от знака косинуса и синуса дирекционного угла или от названия румба линии:

Румбы	СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ
Приращения	+	-	-	+
$\Delta x$	+	+	-	-
$\Delta y$				

Вычисление приращений координат выполняют с помощью таблиц натуральных значений  $\sin$  и  $\cos$  или с помощью вычислительных машин.

*Обратная геодезическая задача.* Даны координаты  $x_1$  и  $y_1$  точки А начала линии АВ и координаты  $x_2$  и  $y_2$  точки В конца этой линии. Требуется определить длину и дирекционный угол или румб этой линии. Из рис. 56 следует, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (95)$$

или 
$$\operatorname{tg} r = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (96)$$

$r$  определяют по таблицам натуральных значений тригонометрических функций или с помощью микрокалькулятора «Электроника». Название румба определяют по знакам  $\Delta y$  и  $\Delta x$ . Зная румб, можно вычислить дирекционный угол  $a$ . Расстояние  $d$  можно вычислить по формулам

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (97)$$

или

$$d = \frac{\Delta x}{\cos r} = \frac{\Delta y}{\sin r} \quad (98)$$

## 6. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ВЕРШИН ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

Невязки в приращениях координат замкнутого полигона (рис. 55,а). Известно, что сумма проекций замкнутого полигона на любую координатную ось равна нулю, следовательно, теоретически алгебраическая сумма приращений координат должна быть

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta x &= 0 \\ \Sigma \Delta y &= 0 \end{aligned} \quad (99)$$

Но так как результаты измерений углов и линий содержат ошибки, вследствие которых практически

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta x &= f_x \\ \Sigma \Delta y &= f_y \end{aligned} \quad (100)$$

величины  $f_x$  и  $f_y$  называются невязками в приращениях координат

соответственно по оси абсцисс и по оси ординат. Прежде чем распределять эти невязки, надо убедиться в их допустимости, для чего необходимо вычислить невязку в периметре

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (101)$$

и определить ее допустимость по формуле

$$\frac{f_p}{P} \leq \frac{1}{2000} \quad (102)$$

где P — периметр полигона.

Если невязка в периметре допустима, то невязки  $f_x$  и  $f_y$  распределяют с обратным знаком соответственно на все приращения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  пропорционально длинам линий с округлением до 0,01 м.

Контролем вычисления поправок служит равенство: сумма поправок в приращениях по оси абсцисс и оси ординат должна равняться невязке с обратным знаком. Полученные поправки алгебраически прибавляют к соответствующим приращениям и получают исправленные приращения. Сумма исправленных приращений по каждой оси в замкнутом полигоне должна равняться нулю.

После исправления приращений вычисляют координаты всех вершин полигона, пользуясь правилом: координата последующей точки равна координате предыдущей точки плюс соответствующее приращение. Для вычисления этих координат надо иметь исходные координаты, которые получают путем привязки теодолитного хода к опорной геодезической сети либо выбирают произвольно.

Контролем вычисления координат является последовательное вычисление координат точек замкнутого полигона, чтобы в результате получить координаты исходной точки.

Таблица 13

Ведомость вычисления координат основного полигона

№ вершин хода	Углы				Дирекционные углы		Румбы			Длины линий (горизонтальное проложение), м
	Измеренные		Исправленные							
1	2		3		4		5			6
		+2								
1	101°	10,5'	101°	10,7'						
		+2			10°	40,0'	СВ	10°	40,0'	335,29
2	118	03,0	118	03,0						
		+2			72	36,8	СВ	72	36,8	177,79
3	103	32,0	103	32,2						
		+2			149	04,6	ЮВ	30	55,4	257,28
4	123	22,0	123	22,2						
		+2			205	42,4	ЮЗ	25	42,4	185,82
5	131	01,5	131	01,7						
		+2			254	40,7	ЮЗ	74	40,7	166,58
6	142	49,8	142	50,0						
1					291	50,7	СЗ	68	09,3	132,12
$\Sigma\beta_{\text{п}}$	719	58,8	720	00,0						P=1254,88

$\Sigma\beta_T$	720	00,0	720	00,0	$\Sigma\beta_T=180^0(n-2)$ $f_{\beta}=\Sigma\beta_{\Pi}-\Sigma\beta_T$ $f_{\beta_{доп}}=\pm 1' \sqrt{n}$
$f_{\beta}$	-	01,2	0	00,0	
$f_{\beta_{доп}}$	$\pm$	02,4			

Продолжение таблицы

Приращения координат, м								Координаты, м				№ вершин хода
Вычисленные				Исправленные								
$\pm$	$\Delta x$	$\pm$	$\Delta y$	$\pm$	$\Delta x$	$\pm$	$\Delta y$	$\pm$	X	$\pm$	Y	
7	8	9	10	11	12	13						
	+10		-2					+	500,00	+	500,00	1
+	329,50	+	62,06	+	329,60	+	62,04					
	+5		-1					+	829,60	+	562,04	2
+	53,13	+	169,67	+	53,18	+	169,66					
	+8		-1					+	882,78	+	731,70	3
-	220,71	+	132,21	-	220,63	+	132,20					
	+5		-1					+	662,15	+	863,90	4
-	167,43	-	80,60	-	167,38	-	80,61					
	+5							+	494,77	+	783,29	5
-	44,02	-	160,66	-	43,97	-	160,66					
	+4							+	450,80	+	622,63	6
+	49,16	-	122,63	+	49,20	-	122,63					
+	431,79	+	363,94	+	431,98	+	363,90					1
-	432,16	-	363,89	-	431,98	-	363,90					
-	0,37	+	0,05		0,00		0,00					

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(0.37)^2 + (0.05)^2} = 0.37m$$

$$\frac{f_p}{P} = \frac{0.37}{1254.88} = \frac{1}{3400} \leq \frac{1}{2000}$$

Невязки в приращениях разомкнутого хода (см. рис. 48,б) определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \Sigma \Delta x - (x_c - x_B) \\ f_y &= \Sigma \Delta y - (y_c - y_B) \end{aligned} \right\} \quad (103)$$

Координаты начального и конечного пунктов хода известны. Невязка  $f_p$  в периметре вычисляется по формуле (101), а ее допустимость по формуле (102). Если ход проложен между пунктами теодолитного хода (см. рис. 55,б), то допустимость невязки определяется по формуле

$$\frac{f_p}{P} \leq \frac{1}{1000} \quad (104)$$

Распределение невязок  $f_x$  и  $f_y$ , вычисление исправленных приращений и координат пунктов разомкнутого хода выполняются так же, как и в замкнутом полигоне.

Контролем служит сумма исправленных приращений по оси абсцисс и оси ординат, равная разности соответствующих координат конечной и начальной точек хода. Последовательно вычисляя координаты хода по исходным координатам начального пункта, получаем координаты конечного пункта.

Обработку угловых измерений, вычисление дирекционных углов и румбов, вычисление приращений и координат вершин теодолитного хода

выполняют в специальной ведомости, которую принято называть ведомостью координат.

Пример вычисления координат замкнутого теодолитного хода приведен в табл. 13. В графу 2 ведомости вычисления координат выписываются из журнала полевых измерений (табл. 12) средние значения горизонтальных углов хода, а в графу 6 средние значения длин линий, измеренных в прямом и обратном направлениях. При углах наклона, превышающих  $1^0$ , в длины линий вводится поправка за наклон. По формуле (84) находится угловая невязка, которая в приведенном примере  $f_{\beta} = -1,2'$ , т. е. меньше предельной невязки

$$f_{\beta \text{ доп}} = 2,4', \text{ вычисленной по формуле (85).}$$

Таблица 14

Ведомость вычислений координат диагонального хода с точки 5 на точку 2 основного полигона

№ вершин хода	Углы				Дирекционные углы		Румбы			Длины линий (горизонтальное положение), м
	Измеренные		Исправленные							
1	2		3		4		5			6
4					205 <sup>0</sup>	42,4'				
		+0,3								
5	75 <sup>0</sup>	10,2	75 <sup>0</sup>	10,5						
		+0,3			310	31,9	СЗ	49 <sup>0</sup>	28,1'	134,02
7	112	42,8	112	43,1						
		+0,3			17	48,8	СВ	17	48,8	94,30
8	240	55,2	240	55,5						
		+0,3			316	53,3	СЗ	43	06,7	216,54
2	64	16,2	64	16,5						
3					72	36,8				
$\Sigma\beta_{\text{п}}$	493	04,4	493	05,6						P=444,86
$\Sigma\beta_{\text{т}}$	493	05,6	493	05,6	$\Sigma\beta_{\text{т}} = \alpha_{\text{н}} + \alpha_{\text{к}} + 180^0 n$ $f_{\beta} = \Sigma\beta_{\text{п}} - \Sigma\beta_{\text{т}}$ $f_{\beta \text{ доп}} = 1,5' \sqrt{n}$					
$f_{\beta}$	-	1,2	0	00,0						
$f_{\beta \text{ доп}}$	±	2,0								

Продолжение таблицы

Приращения координат, м								Координаты, м				№ вершин хода	
Вычисленные				Исправленные				±		X	±		Y
±	Δx	±	Δy	±	Δx	±	Δy	±	X	±	Y		
	7		8		9		10		11		12	13	
												4	
	-4		-8					+	494,77	+	783,29	5	
+	87,10	-	101,86	+	87,06	-	101,94						
	-3		-5					+	581,83	+	681,35	7	
+	89,78	+	28,85	+	89,75	+	28,80						
	-6		-12					+	671,58	+	710,15	8	
+	158,08	-	147,99	+	158,02	-	148,11						
								+	829,60	+	562,04	2	
+	334,96	-	221,00	+	334,83								
+	334,83	-	221,25	+	334,83								
+	0,13	+	0,25		0,00								

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(0,13)^2 + (0,25)^2} = 0,28 \text{ м}$$

$$\frac{f_p}{P} = \frac{0.28}{444.86} = \frac{1}{1600} \leq \frac{1}{1000}$$

Следовательно, угловая невязка допустима, она распределяется с обратным знаком поровну на все измеренные углы.

Исправленные углы записываются в графу 3. Сумма исправленных углов в замкнутом полигоне равна теоретической сумме, в приведенном примере равна  $720^\circ$ .

По исходному дирекционному углу линии 1—2, равному  $10^\circ 40'$  (графа 4), вычисляются дирекционные углы всех остальных сторон по формулам (87), т. е.

$$\alpha_{2-3} = 10^\circ 40' + 180^\circ - 118^\circ 03,2' = 72^\circ 36,8';$$

$$\alpha_{3-4} = 72^\circ 36,8' + 180^\circ - 103^\circ 32,2' = 149^\circ 4,6';$$

.....

$$\alpha_{1-2} = 291^\circ 50,7' + 180^\circ - 101^\circ 10,7' - 360^\circ = 10^\circ 40' (!)$$

Последняя строка контрольная.

По дирекционным углам вычисляются румбы и записываются в графу 5 ведомости. По горизонтальным проложениям линий (графа 6) и значениям румбов вычисляются с помощью микроЭВМ типа «Электроника» или таблиц приращения координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  по формулам (94) и записываются в графы 7 и 8. Суммируя приращения по осям X и Y, получают по формуле (100) невязки

$$f_x = -0,37 \quad f_y = +0,05.$$

Относительная невязка в периметре, вычисленная по формуле (102), равна  $1/3400$ , т. е. меньше предельной  $1/2000$ . Следовательно, невязки  $f_x$  и  $f_y$  допустимы, они распределяются с обратным знаком на приращения пропорционально длинам линий по формулам

$$\delta_{\Delta x_i} = \frac{f_x}{P} d_i; \quad \delta_{\Delta y_i} = \frac{f_y}{P} d_i;$$

Сумма поправок должна равняться невязкам с обратным знаком. Поправки округляются до сантиметров. В графы 9 и 10 ведомости записываются значения исправленных приращений. Сумма исправленных приращений в замкнутом полигоне должна равняться нулю. После проверки этого условия вычисляются координаты. По исходным координатам первой точки  $x_1 = +500,00$  и  $y_1 = +500,00$  вычисляются координаты всех остальных точек замкнутого теодолитного хода, т. е.

$$x_2 = +500,00 + 329,60 = +829,60; \quad y_2 = +500,00 + 62,04 = +562,04;$$

$$x_3 = +829,60 + 53,18 = +882,78; \quad y_3 = +562,04 + 169,66 = +731,70;$$

.....

$$x_1 = +450,80 + 49,20 = +500,00; \quad y_1 = +622,63 - 122,63 = +500,00 (!).$$

Последняя строка является контрольной.

Если вычисление координат проводится в произвольной системе, то

целесообразно координаты исходной точки взять такими, чтобы все координаты были положительными.

Пример обработки диагонального хода приведен в табл. 14.

При обработке диагонального хода теоретическая сумма измеренных углов вычисляется по формуле (90). Для данного примера (см. рис. 55,6)

$$\Sigma\beta_T = \alpha_{4-5} - \alpha_{2-3} + 180n$$

где  $\alpha_{4-5}$  и  $\alpha_{2-3}$  взяты из ведомости координат основного хода (см. табл. 13), т. е.  $\Sigma\beta_T = 205^\circ 42,4' - 72^\circ 36,8' + 180^\circ \cdot 4 = 853^\circ 05,6'$ .

Исключив из этой суммы  $360^\circ$ , получают

$$\Sigma\beta_T = 493^\circ 05,6'$$

Сумма измеренных углов  $\Sigma\beta_{\Pi} = 493^\circ 04,4'$ . Невязка в сумме измеренных углов  $f_{\beta} = \Sigma\beta_{\Pi} - \Sigma\beta_T = -1,2'$  меньше допустимой, равной  $2'$ . Она распределяется также, как и в замкнутом полигоне, т. е. с обратным знаком поровну на все измеренные углы. Невязки в приращениях координат диагонального хода определяются по формуле (103), т. е.

$$fx = 2\Delta x - (x_2 - x_5) = +334,96 - (829,60 - 494,77) = +0,13 \text{ м};$$

$$fy = 2\Delta y - (y_2 - y_5) = -221,00 - (562,04 - 783,29) = +0,25 \text{ м},$$

где координаты второй и пятой точек взяты из ведомости координат замкнутого полигона (см. табл. 13). Распределение невязок, вычисление исправленных приращений и координат диагонального хода выполняется так же, как и замкнутого.

## 7. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНА ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Построение плана теодолитной съемки начинают с построения на чертежной бумаге координатной сетки со сторонами квадратов 10 см. Такую сетку удобно строить при помощи металлической линейки Ф. В. Дробышева ЛД-1 длиной 70,711 см, равной диагонали квадрата со стороной 50 см.

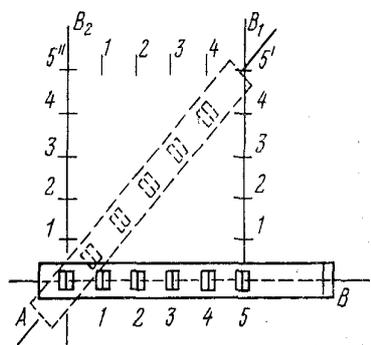


Рис. 57. Схема построения координатной сетки при помощи линейки ЛД-1

На этой линейке вдоль ее оси вырезаны шесть окошек, скошенные края которых имеют вид дуг радиусами 10, 20, 30, 40 и 50 см.

Для построения координатной сетки линейку ЛД-1 кладут на лист бумаги вблизи ее края (рис. 57) так, чтобы вся координатная сетка разместилась на листе и вдоль продольного скошенного ребра линейки остро отточенным карандашом проводят линию АВ. Затем линейку накладывают на эту линию и

карандашом по окошенным краям окошек проводят короткие дуги 1', 2', ..., 5', пересекающие линию АВ. Перекладывают линейку перпендикулярно к линии АВ, совмещают нуль-пункт линейки с точкой 5 линии АВ и проводят короткие дуги 1', 2', ..., 5'. После этого кладут линейку по направлению АВ так, как это показано на рис. 57, и по ее скошенному концу проводят дугу. В пересечении этой дуги с дугой 5' получают точку, лежащую на перпендикуляре  $5B_1$  к линии АВ. Аналогично получают перпендикуляр  $AB_2$  и дуги на нем 1", 2", ..., 5". Затем, соединяя прямыми одноименные дуги, получают сетку квадратов.

Сетку с малым числом квадратов можно построить при помощи выверенной чертежной линейки, масштабной линейки и циркуля-измерителя. Для этой цели на листе бумаги проводят, приблизительно по диагоналям листа бумаги, две пересекающиеся прямые линии. От точки их пересечения откладывают равные отрезки. Концы отрезков соединяют прямыми линиями и получают прямоугольник. На сторонах этого прямоугольника, пользуясь масштабной линейкой и циркулем-измерителем, откладывают отрезки по 10 см. Соответствующие точки на противоположных сторонах прямоугольника соединяют прямыми, которые образуют координатную сетку. Правильность построения сетки необходимо тщательно проверить. Проверка проводится сравнением длин сторон и диагоналей каждого квадрата при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки. Отклонение не должно превышать 0,1 мм.

После построения и проверки сетки ее подписывают таким образом, чтобы весь участок разместился приблизительно посередине листа. Далее, при помощи масштабной линейки и циркуля-измерителя, строят вершины теодолитных ходов по их координатам. Правильность наложенных на план вершин теодолитного хода проверяется путем сравнения длин сторон хода, измеренных на плане, с их размерами, записанными в координатной ведомости. Составление контурного плана местности выполняется на основе нанесенных на план теодолитных ходов по данным абриса. Способ нанесения контуров на план определяется способом их съемки на местности. Если съемка ситуации проводилась способом перпендикуляров, то на план ее наносят с помощью линейки, треугольника, масштабной линейки и циркуля-измерителя в том же порядке, в каком составлялся абрис.

Для нанесения точек, снятых способом угловых засечек, используется транспортир. Точки, снятые способом линейных засечек, на план наносят при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки. Точки, снятые полярным способом, наносят на план при помощи транспортира, циркуля-измерителя и масштабной линейки. Точки, снятые способом створов, наносят на план при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки. Построенный в карандаше план теодолитной съемки вычерчивают в туши, руководствуясь установленными условными знаками.

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ

Для определения площади строительных участков применяются следующие способы: графический, аналитический и механический.

Графический способ. При этом способе участок, изображенный на плане, делят на простейшие геометрические фигуры, чаще всего треугольники (рис. 58, а), площадь которых вычисляют по известным формулам

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \frac{1}{2} a_1 h_1 \\ \Pi_2 &= \frac{1}{2} a_2 h_2 \\ \Pi_3 &= \frac{1}{2} a_3 h_3 \end{aligned} \quad (105)$$

Размеры величин, входящих в эти формулы, определяют графически, а некоторые получают в результате измерения на местности, например, основание  $a_2$  второго треугольника.

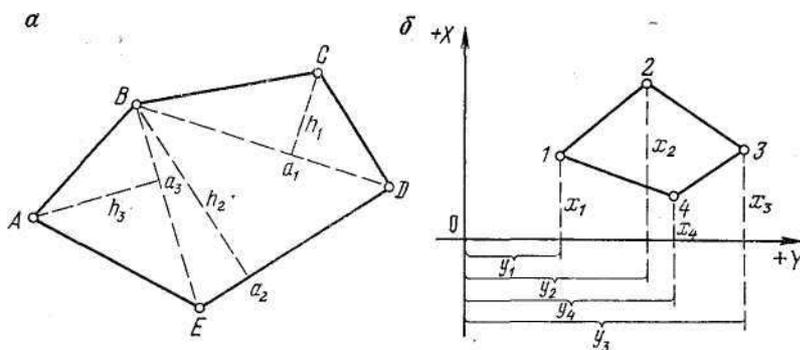


Рис. 58. Схемы определения площади графическим и аналитическим способами

Площадь определяется тем точнее, чем крупнее масштаб плана и чем больше основание и высота треугольника, что следует из формулы (106) относительной ошибки площади треугольника

$$\frac{\Delta \Pi}{\Pi} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta h}{h} \quad (106)$$

где  $\Delta a = \Delta h$  — точность масштаба.

Площадь всего участка определяется как сумма площадей отдельных треугольников.

Аналитический способ. Площадь многоугольника можно вычислить по координатам его вершин. Пусть дан четырехугольник и координаты его вершин, показанные на рис. 58, б. Его площадь можно определить как алгебраическую сумму четырех площадей трапеций. Как известно, площадь каждой трапеции равна произведению полу суммы параллельных сторон на высоту. Имея это в виду, двойную площадь четырехугольника можно выразить формулой

$$2\Pi = (x_1 + x_2)(y_2 - y_1) + (x_2 + x_3)(y_3 - y_2) - (x_3 + x_4)(y_3 - y_4) - (x_4 + x_1)(y_4 - y_1) \quad (107)$$

После преобразования получим

$$2\Pi = x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3) \quad (108)$$

или

$$2\Pi = y_1(x_4 - x_2) + y_2(x_1 - x_3) + y_3(x_2 - x_4) + y_4(x_3 - x_1) \quad (109)$$

Для любого многоугольника можно написать формулы

$$2\Pi = \sum_1^n x_k (y_{k+1} - y_{k-1})$$

$$2\Pi = \sum_1^n y_k (x_{k-1} - x_{k+1})$$

Таблица 15

Ведомость вычисления площади полигона по координатам его вершин

№ вершин	Координаты, м					
	$x_k$	$y_k$	$y_{k+1} - y_{k-1}$	$x_{k-1} - x_{k+1}$	$x_k (y_{k+1} - y_{k-1})$	$y_k (x_{k-1} - x_{k+1})$
1	+500,00	+500,00	-60,59	—378,80	—30 295,0	— 189 400,0
2	+829,60	-562,04	+231,70	—382,78	+ 192 218,3	—215 137,7
3	+882,78	-731,70	+301,86	+ 167,45	+266 476,0	+ 122 523,2
4	+662,15	-863,90	+51,59	+388,01	+34 160,3	+335 201,8
5	+494,77	-783,29	-241,27	+211,35	— 119 373,2	+ 165 548,3
6	+450,80	- 622,63	—283,29	—5,23	— 127 707,1	—3 256,3
			+585,15	+766,81	+492 854,6	+623 273,3
			585,15	—766,81	—277 375,3	—407 794,0
			0,00	0,00	215 479,3	215 479,3
$\Pi = 107\,739,6 = 10,77 \text{ га}$						

Формулы (110) следует читать так: двойная площадь многоугольника (полигона) равна сумме произведений абсциссы каждой точки на разность ординат последующей и предыдущей точек или сумме произведений ординат каждой точки на разность абсцисс предыдущей и последующей точек.

Пример вычисления площади по координатам приведен в табл. 15.

*Механический способ.* Этот способ широко применяется при определении площади криволинейных фигур при помощи специального прибора — полярного планиметра (рис. 59,а).

Полярный планиметр состоит из двух рычагов — полюсного 1 и обводного 2, соединенных шаровым шарниром, укрепленным на конце полюсного рычага. На обводном рычаге помещается передвижная каретка со счетным механизмом 3. Обводной рычаг имеет ручки со шпилем или круглым стеклом с целиком — точкой для обвода контуров. Полюсный рычаг имеет груз с иглой, накалываемый на бумагу и служащий полюсом планиметра.

Счетный механизм (рис. 59,б) состоит из трех частей: циферблата 1, счетного колеса 2 и верньера 3. По циферблату отсчитывают полные обороты счетного колеса, цилиндрическая поверхность которого разделена на 100 частей. С помощью верньера отсчитывают десятые доли делений счетного колеса.

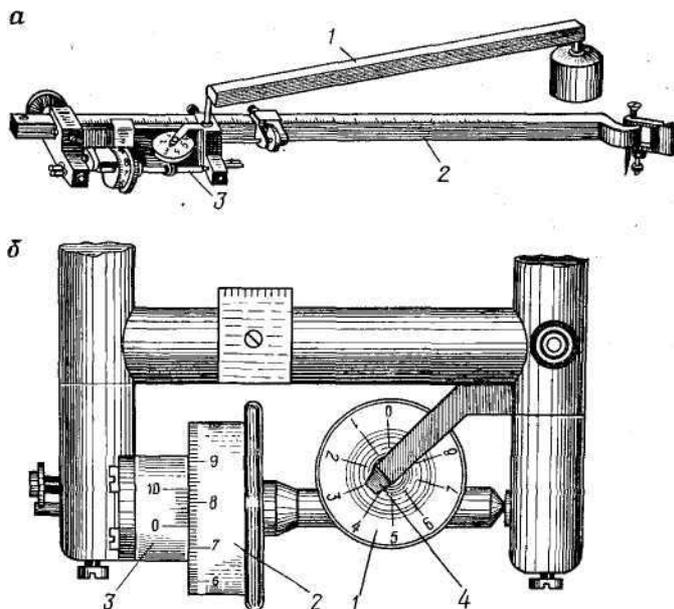


Рис. 59. Полярный планиметр:

а — общий вид: 1 — полюсный рычаг; 2 — обводный рычаг; 3 — каретка со счетным механизмом; б — счетный механизм: 1 — циферблат; 2 — счетное колесо; 3 — верньер; 4 — указатель

Полный отсчет выражается четырехзначным числом: первый — младший отсчет по циферблату берется по указателю 4, второй — младший, подписанный до нуля верньера, отсчет по счетному колесу, третий — порядковый номер младшего неподписанного штриха счетного колеса, прошедшего нуль верньера, четвертый — номер штриха верньера, совпадающего с каким-либо штрихом счетного колеса. На рис. 59,б показан полный отсчет по счетному механизму, равный 3741.

Планиметр должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Счетное колесо планиметра должно легко и свободно вращаться на оси.

2. Плоскость счетного колеса должна быть перпендикулярна к оси обводного рычага.

Первое условие достигается путем регулирования винтов при подшипниках до тех пор, пока между краями счетного механизма и верньера не пройдет лист тонкой бумаги.

Для проверки второго условия обводят планиметром одну и ту же фигуру дважды при двух различных положениях счетного механизма, влево и вправо от полюса. Разность отсчетов не должна превышать 2—3 делений планиметра. Если это условие не выполняется, то определение площади следует проводить при двух положениях счетного механизма и брать из результатов среднее арифметическое.

Перед измерением площади обводной шпиль или точка стеклянного целика устанавливается над какой-либо точкой контура и по счетному механизму делается начальный отсчет  $u_1$ . После обвода контура по ходу часовой стрелки делают конечный отсчет  $u_2$ . Искомая площадь при полюсе вне контура вычисляется по формуле

$$\Pi = c(u_2 - u_1) \quad (111)$$

Если полюс находится внутри контура, то по формуле

$$\Pi = c(u_2 - u_1 + q) \quad (112)$$

где  $c$  — цена одного деления планиметра;  $q$  — постоянная планиметра при его установке внутри контура определяемой площади.

Перед измерениями определяют цену деления планиметра

$$c = \frac{\Pi}{u_2 - u_1} \quad (113)$$

Величину  $c$  определяют несколькими обводами контура известной площади геометрической фигуры, например, квадрата координатной сетки. Для повышения точности определения  $c$  желательно сделать обвод 2—3 раза, не допуская угол, образуемый рычагами, менее  $30^\circ$  и больше  $150^\circ$ . Счетное колесо должно вращаться легко и свободно. Постоянное число планиметра  $q$  можно определить так: обвести площадь фигуры с полюсом вне этой фигуры и получить разность  $u'_2 - u'_1$ .

Таблица 16

Определение площади планиметром Планиметр № 1836

Масштаб плана 1 : 2000.  $R = 150,0$ .  $c = 36,97 \text{ м}^2$

№	Положение счетного механизма	Отсчеты		$u_2 - u_1$	Средняя разность отсчетов	Площадь
		$u_2$	$u_1$			
Определение цены деления планиметра						
1	Влево	4720	5 803	1 083	1082	4,00 га $c = \frac{40000}{1082} = 36,97 \text{ м}^2$
2	Вправо	4805	5886	1 081		
3	Влево	2352	3432	1 080		
4	Вправо	5647	6731	1 084		
Определение площади строительного участка						
1	Влево	6652	8101	1449	1447	5,35 га
2	Вправо	8794	10 239	1445		
$\Pi = 1\,447 \times 36,97 = 5,35 \text{ га.}$						

Потом установить полюс внутри той же фигуры, обвести ее и получить разность  $u''_2 - u''_1$ . Вычтя из первой разности вторую, получим постоянное число

$$q = (u'_2 - u'_1) - (u''_2 - u''_1) \quad (114)$$

Точность определения площади планиметром колеблется в пределах от 1 : 200 до 1 : 400. Пример определения площади планиметром приведен в табл. 16.

### Вопросы для самопроверки

1. Какова цель теодолитной съемки?
2. Какие виды теодолитных ходов применяют при теодолитной съемке?
3. Как привязать теодолитный ход к опорным геодезическим пунктам? Цель привязки?
4. В чем сущность съемки ситуации способом перпендикуляров?
5. Как выполнить съемку ситуации полярным способом?
6. В чем сущность способов линейных и угловых засечек при съемке ситуации?
7. Что называется абрисом?
8. Как вычисляется угловая невязка замкнутого теодолитного хода, ее допустимость и распределение?
9. Чему равна сумма исправленных углов в замкнутом Теодолитном ходе?
10. Как вычисляется угловая невязка в разомкнутом теодолитном ходе, ее допустимость и распределение?
11. Чему равна сумма исправленных углов в разомкнутом теодолитном ходе?
12. Как вычисляются дирекционные углы сторон замкнутого теодолитного хода, если измерены внутренние углы и дан начальный дирекционный угол?
13. В чем заключается контроль правильности вычисления дирекционных углов сторон замкнутого теодолитного хода?
14. Как вычисляются дирекционные углы сторон разомкнутого теодолитного хода? Как контролируется правильность вычисления?
15. Какова сущность прямой и обратной геодезических задач?
16. Какие знаки имеют приращения в зависимости от названия румбов их сторон?
17. Как вычисляются невязки в приращениях координат замкнутого теодолитного хода, их допустимость и распределение?
18. Чему равна сумма исправленных приращений координат в замкнутом теодолитном ходе?
19. Как вычисляются невязки в приращениях координат разомкнутого теодолитного хода, их допустимость и распределение?
20. Чему равна сумма исправленных приращений координат в разомкнутом теодолитном ходе?
21. Как вычисляются и контролируются координаты вершин замкнутого и разомкнутого теодолитных ходов?
22. Как строится координатная сетка и как контролируется правильность ее построения?

23. Как наносятся по координатам на план вершины теодолитных ходов и как контролируется правильность их нанесения?
24. Как наносятся на план точки ситуации, снятые способами: перпендикуляров, полярным, угловой и линейной засечки?
25. Какие существуют способы вычисления площади строительного участка?
26. Каковы назначение и устройство планиметра?
27. Каким требованиям должен удовлетворять планиметр?
28. Как выполняются поверки планиметра?
29. Как определяется цена деления планиметра?
30. Как определяется планиметром площадь участка и с какой точностью?

## План

1. Сущность тахеометрической съемки
2. Полевые работы при тахеометрической съемке
3. Камеральные работы при тахеометрической съемке

1. Тахеометрическая съемка является одним из методов топографической съемки для получения плана с изображением ситуации и рельефа.

Слово «тахеометрия» в переводе с греческого означает «быстрое измерение». Быстрота измерения достигается тем, что положение снимаемой точки в плане и по высоте определяют при одном наведении трубы прибора на рейку, получая расстояние по дальномеру, горизонтальный угол и вертикальный угол или превышение. Приборами для тахеометрической съемки служат теодолиты или специальные приборы, которые называются тахеометрами. 142

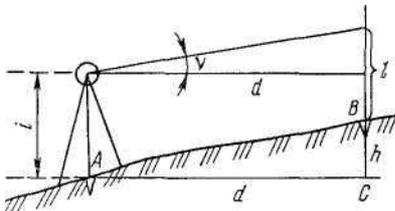


Рис. 60. Схема тригонометрического нивелирования

Тахеометрическая съемка применяется для создания планов небольших участков в крупных масштабах. Ее выгодно применять для съемки застроенных участков, узких полос местности при изыскании трубопроводов и т. п. При тахеометрической съемке для определения превышений применяется метод тригонометрического нивелирования.

Пусть требуется определить превышение  $h$  точки  $B$  над точкой  $A$  (рис. 60). В точке  $B$  устанавливают вертикально вежу высотой  $l$ , а в точке  $A$  устанавливают теодолит, измеряют его высоту  $i$  и вертикальный угол  $v$ . Тогда

$$h = d \operatorname{tg} v + i + l + f, \quad (115)$$

где  $d$  — горизонтальное проложение линии  $AB$ ;  $f$  — поправка за кривизну Земли и рефракцию, она учитывается при  $d$  более 300 м.

При  $i=l$  и  $f=0$  формула (115) примет вид

$$h = d \operatorname{ig} v. \quad (116)$$

Расстояния при тахеометрической съемке измеряются с помощью нитяного дальномера и определяются по формуле (55), т. е.

$$d = kn + c,$$

если визирная ось составляет с горизонтом угол  $v$ , то по формуле (57)

$$d = kn \cos^2 v,$$

где  $k$  — коэффициент дальномера, обычно равный 100;  $n$  — отсчет по дальномерной рейке. Если расстояние определено по дальномеру, то превышение

$$h = \frac{1}{2} kn \sin 2v + i + l + f \quad (117)$$

При  $i = l$  и  $f = 0$

$$h = \frac{1}{2} kn \sin 2v \quad (118)$$

Значения  $d$  и  $h$  определяются по тахеометрическим таблицам, составленным по аргументам  $kn$  и  $v$ .

При использовании тахеометра ТН превышения и горизонтальные расстояния отсчитывают по вертикальной рейке непосредственно в поле зрения трубы при помощи номограмм, нанесенных на вертикальном круге.

При крупномасштабной съемке превышение  $h$  следует получать методом геометрического нивелирования.

## 2. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ ПРИ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Планово-высотным обоснованием для тахеометрической съемки служат теодолитно-нивелирные, теодолитно-высотные и теодолитно-тахеометрические ходы, которые привязывают к пунктам триангуляции, полигонометрии и реперам.

При проложении теодолитно-нивелирных ходов расстояния между точками хода измеряют дважды стальной лентой, горизонтальные углы поворота измеряют теодолитом полным приемом, а превышения определяют геометрическим нивелированием. При проложении теодолитно-высотных ходов расстояние между точками хода и горизонтальные углы поворота измеряют так же, как и в теодолитно-нивелирных ходах, а превышения определяют в прямом и обратном направлениях по формуле (115). При проложении теодолитно-тахеометрических ходов горизонтальные углы поворота измеряют так же, как и в теодолитно-нивелирных ходах, расстояния между точками хода определяют при помощи нитяного дальномера в прямом и обратном направлениях, превышения определяют также в прямом и обратном направлениях по формуле (117). Расхождение этих превышений не должно превышать 4 см на 100 м расстояния. На каждой станции необходимо измерять вертикальный угол  $v$ , высоту теодолита  $i$  и высоту  $l$  вехи, рейки или иной точки наведения.

Съемка ситуации и рельефа выполняется полярным способом. Расстояния при съемке ситуации допускаются при масштабе 1:1000 — 60 м; 1:2000—100 м; 1:5000—150 м. При съемке рельефа эти расстояния могут быть увеличены в 2 раза. Максимальное расстояние между реечными точками (пикетами) допускается при сечении рельефа 1,0 м соответственно 50, 60, 80 м.

Съемка ситуации и рельефа местности может выполняться после работ по проложению планово-высотного обоснования или совместно. В последнем случае съемка ситуации и рельефа проводится после всех работ на станции, связанных с проложением хода.

Порядок работы на станции при съемке ситуации и рельефа следующий. 144

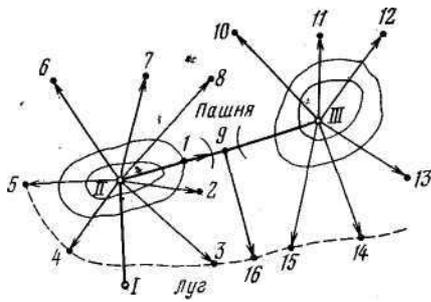


Рис. 61. Абрис тахеометрической съемки

1. Устанавливают теодолит в рабочее положение и измеряют его высоту с округлением до 1 см.

2. Ориентируют лимб теодолита, для чего нуль алидады совмещают с нулем лимба, закрепляют алидаду и вращением лимба вместе с алидадой наводят трубу на переднюю станцию. Закрепив лимб и открепив алидаду, наводят трубу на рейку, устанавливаемую на реечные точки при съемке ситуации и пикетные точки при съемке рельефа. Делают отсчет по дальномерной рейке, отсчет по вертикальному кругу, отсчет по горизонтальному кругу. Отсчет проводится при одном положении вертикального круга.

3. По окончании съемки ситуации и рельефа снова наводят трубу на точку, по которой ориентирован лимб, и берут контрольный отсчет, который с первоначальным отсчетом не должен расходиться более 2'.

При съемке равнинной местности, при измерении вертикальных углов трубу теодолита наводят на метку рейки, сделанную на высоте прибора, и вычисляют превышение по формуле (118). В журнал тахеометрической съемки записывают данные съемки реечных точек (пикетов): горизонтальные и вертикальные углы, а также дальномерные расстояния.

В поле, кроме журнала, ведут абрис (рис. 61) на отдельных для каждой станции листах. На абрисе указывают станцию (точку) стояния прибора, а также предыдущую и последующую точки хода и их номера.

При тахеометрической съемке на абрисе все пикеты отмечаются точками с номерами, одинаковыми с записанными в журнале. Кроме того, стрелками, показывающими направления скатов, соединяют соседние пикеты, между которыми имеется равномерный уклон. Стрелки показывают, между какими пикетами можно производить интерполирование для проведения горизонталей.

### 3. КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Обработку результатов полевых измерений при тахеометрической съемке начинают с проверки правильности всех записей и вычислений, сделанных в журнале. Дальнейшая обработка измерений складывается из следующих действий.

Вычисление координат и высот точек ходов планово-вы-

сотного обоснования.

Вычисление высот пикетов на каждой съемочной станции.

3. Построение плана участка тахеометрической съемки.

Для теодолитно-нивелирных и теодолитно-высотных ходов допустимые угловые невязки определяются по формуле (85) или (86), линейные — по формуле (102) или (104).

Для теодолитно-тахеометрического хода допустимая угловая невязка определяется также по формуле (85) или (86), а линейная — по формуле

$$f_d = \frac{\sum d}{400\sqrt{n}} \text{ м} \quad (119)$$

или

$$\frac{f_d}{\sum d} = \frac{1}{400\sqrt{n}} \quad (120)$$

где  $f_d$  — невязка в периметре;  $\sum d$  — длина хода в метрах;  $n$  — число линий в ходе.

Допустимая невязка в сумме превышений хода выражается формулой

$$f_{h \text{ доп}} = 0,04 \frac{\sum d}{\sqrt{n}} \text{ см} \quad (121)$$

а невязку в превышениях хода определяют по формуле

$$f_h = \sum h_{\text{П}} - \sum h_{\text{T}} \quad (122)$$

В замкнутом ходе  $\sum h_{\text{T}} = 0$ ; в разомкнутом, опирающемся на два репера,  $\sum h_{\text{T}} = H_{\text{к}} - H_{\text{н}}$ , т. е. равна разности отметок конечного и начального реперов.

Невязка в превышениях ходов распределяется на превышения с обратным знаком пропорционально длинам сторон. При этом среднему арифметическому из абсолютных значений прямых и обратных превышений одной и той же линии хода придают знак прямого.

Отметки вершин хода последовательно вычисляют по формуле

$$H_{\text{к}} = H_{\text{к-1}} + h_{\text{к}} \quad (123)$$

Приращения координат, координаты и высоты точек тахеометрического хода вычисляются с точностью до 0,01 м.

Отметки Н<sub>р.т.</sub> речных точек (пикетов) вычисляют по формуле

$$H_{\text{р.т.}} = H_{\text{ст}} + h_{\text{р.т.}}, \quad (124)$$

где  $H_{\text{ст}}$  — отметка станции;  $h_{\text{р.т.}}$  — превышение соответствующей речной точки над станцией.

Отметки речных точек округляют до 0,1 м.

Построение плана тахеометрической съемки выполняется в такой последовательности:

1. построение координатной сетки;
2. накладка опорных пунктов и точек съемочного обоснования по их координатам;
3. нанесение на план речных точек, около которых выпи

сывают их номера и отметки;

4. по данным абриса наносится на план ситуация, после чего делается построение горизонталей.

Полученный в карандаше план тахеометрической съемки сверяют с местностью в поле, для чего проводят контрольные измерения расстояний и определяют отметки точек.

После проверки и необходимых исправлений план вычерчивают тушью, руководствуясь установленными условными знаками.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какая съемка называется тахеометрической?
2. В чем сущность тригонометрического нивелирования?
3. Какие виды съемочного обоснования применяют при тахеометрической съемке?
4. Какой порядок работы на станции при тахеометрической съемке?
5. По каким формулам вычисляют горизонтальные проложения линий и превышения при тахеометрической съемке?
6. Какое допускается расхождение в превышениях в прямом и обратном направлениях?
7. Как вычисляются угловые и линейные невязки в тахеометрических ходах, их допустимость и распределение?
8. Как вычисляются невязки в превышениях замкнутого и разомкнутого тахеометрических ходов, их допустимость и распределение?
9. Как вычисляются отметки станций и пикетных точек при тахеометрической съемке?
10. Какой порядок составления плана тахеометрической съемки?

## Лекция – 12 МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

### План

1. Сущность мензульной съемки. Мензула и кипрегель
2. Поверки мензулы и кипрегеля
3. Установка мензулы в рабочее положение
4. Плановое обоснование мензульной съемки
5. Высотное обоснование мензульной съемки
6. Съёмка ситуации и рельефа

1. *Мензульная съемка* - топографическая съемка, выполняемая с помощью мензулы и кипрегеля. Производство мензульной съемки основано на графическом определении взаимного положения отдельных точек местности. Горизонтальные углы при мензульной съемке не измеряются, а строятся графически на съемочном планшете. Все снимаемые точки местности наносятся на планшет, и здесь же в поле составляется топографический план. Это дает возможность сопоставить получаемое на плане изображение местности с натурой.

*Мензула* (рис. 62, а) состоит из мензульной доски (планшета) 1 и ее подставки 4, которая прикрепляется к штативу с помощью станкового винта 6. Подставка имеет три подъемных винта 5, закрепительный 3 и наводящий 7 винты. При съемке в масштабе 1 :2000 и крупнее для центрирования планшета используется центрировочная вилка 2. Мензулы бывают универсальные и облегченные, с металлической или деревянной подставкой.

Для производства мензульной съемки могут быть использованы кипрегели КБ, КБ-1, КА-2 и КН.

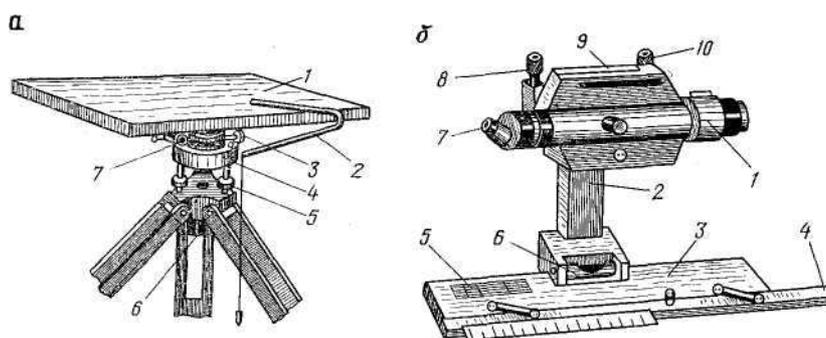


Рис. 62. Мензула и кипрегель

Кипрегель КБ имеет металлический вертикальный круг и трубу с внешней фокусировкой. Расстояния при работе с этим кипрегелем измеряются с помощью нитяного дальномера. Превышения определяются по измеренному углу наклона и дальномерному расстоянию. Кипрегели КБ-1, КА-2 и КН относятся к оптическим кипрегелям, имеющим специальные номограммы для автоматического определения расстояний и превышений. В настоящее время серийно выпускаются кипрегели КН.

Кипрегель КН (рис. 62,б) имеет зрительную трубу 1, колонку 2, линейку

для прочерчивания направлений 3. Кроме основной линейки имеется дополнительная линейка 4, позволяющая наносить на планшет снимаемые точки без перемещения всего прибора. На колонке укреплен цилиндрический уровень 6 для приведения мензульной доски в горизонтальное положение. На основной линейке укреплена масштабная линейка 5. Зрительная труба дает прямое изображение наблюдаемых предметов и снабжена ломаным окуляром 7. Закрепительный и наводящий винты 8 зрительной трубы находятся на одной оси в верхней части колонки. При вертикальном круге имеется цилиндрический уровень 9 с установочным винтом 10.

На лимбе вертикального круга деления подписаны через один градус от нуля до  $50^\circ$  по ходу и против хода часовой стрелки и сопровождаются знаками плюс или минус, цена деления лимба  $5'$ . При значении  $MO = 0^\circ$ , независимо от положения вертикального круга справа или слева от трубы, отсчеты будут иметь знаки, соответствующие знаку угла наклона. Формулы вычисления места нуля ( $MO$ ) и угла наклона  $v$  в этом случае имеют вид

$$\left. \begin{aligned} MO &= \frac{KP - KL}{2} \\ v &= KP - MO; \\ v &= KL + MO; \\ v &= \frac{KP + KL}{2} \end{aligned} \right\} \quad (125)$$

Для получения горизонтальных проложений линий и превышений используются номограммы, построенные на стеклянном вертикальном круге и видимые в поле зрения трубы при положении круга слева: основная кривая  $SS$  (рис. 63), кривая горизонтальных проложений  $dd$  с коэффициентом  $K_d = 100$  и кривые превышений  $hh$  с коэффициентами  $K_h = 10, 20$  и  $100$ , подписанными у соответствующей кривой. В мензульный комплект входит специальная рейка, которая имеет нуль, устанавливаемый с помощью выдвижной подставки на высоту прибора. При определении расстояний или превышений основную кривую наводят на нуль рейки. По кривой горизонтальных проложений отсчитывают отрезок  $l_d$ , который умножают на коэффициент номограммы расстояний  $K_d$  т. е.  $d = l_d K_d$ . Например, на рис. 63  $d = 17,9 \text{ см} \times 100 = 17,9 \text{ м}$ . Вертикальная нить сетки должна проходить при этом посередине рейки. Величина отрезка рейки  $l_h$  между основной кривой и кривой превышений, умноженная на коэффициент номограммы превышений  $K_h$  соответствует превышению со знаком, который указан около кривой, т. е.  $h = l_h K_h$ . На рис. 63  $h = 6,4 \text{ см} \times 10 = +0,64 \text{ м}$ .

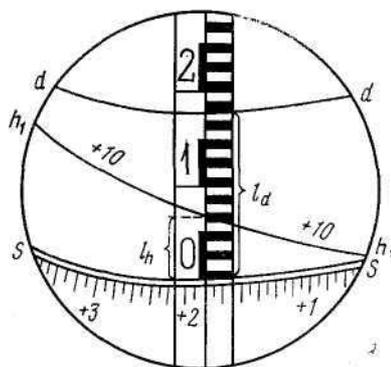


Рис. 63. Поле зрения зрительной трубы кипрегеля КН

## 2. ПОВЕРКИ МЕНЗУЛЫ И КИПРЕГЕЛЯ

### Поверки мензулы

1. Мензула должна быть устойчива. Установив мензулу в рабочее положение и закрепив все винты, наводят перекрестие сетки нитей кипрегеля на удаленную точку местности. Слегка нажимают рукой на край мензульной доски и отпускают руку. Если после этого перекрестие сетки снова возвращается на выбранную точку, условие выполнено. В противном случае мензула требует ремонта.

2. Верхняя поверхность мензульной доски должна быть плоскостью. Проверяется прикладыванием выверенной линейки кипрегеля к различным частям мензульной доски. Если просветов нет, то условие выполнено.

3. Верхняя плоскость мензульной доски должна быть перпендикулярна к оси вращения мензулы. Пользуясь тремя подъемными винтами и выверенным уровнем при линейке кипрегеля, приводят мензульную доску в горизонтальное положение. После этого доску плавно вращают вокруг оси вращения мензулы, следя за пузырьком уровня. Если пузырек отклоняется не более трех делений, условие выполнено. При больших отклонениях мензула отправляется в мастерскую.

### Поверки кипрегеля КН

1. Скошенный край линейки кипрегеля должен быть прямой линией, а ее нижняя поверхность плоскостью. Для проверки первого условия остро отточенным карандашом проводят линию по линейке кипрегеля. Повернув кипрегель на  $180^\circ$  и приложив линейку к прочерченной линии, снова проводят линию. Совпадение линий будет свидетельствовать о прямолинейности скошенного края линейки.

Для проверки поверхности линейки устанавливают кипрегель на выверенную доску. Между плоскостями доски и линейки не должно быть просветов. Если просветы замечаются у концов линейки, то ее необходимо исправить в мастерской. Если, напротив; концы линейки плотно прилегают к планшету, а имеется просвет в середине линейки, то кипрегелем работать можно.

2. *Дополнительная линейка кипрегеля должна перемещаться параллельно скошенному ребру основной линейки.* Для проверки прочерчивают линию по основной линейке и несколько раз по дополнительной линейке на различных ее расстояниях от основной линейки. Полученные линии должны быть параллельны.

В противном случае линейку исправляют в мастерской.

3. *Ось уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки.* Линейку кипрегеля устанавливают параллельно двум подъемным винтам, вращением которых приводят пузырек уровня на середину трубки. Прочерчивают линию и, повернув кипрегель на  $180^\circ$ , прикладывают линейку к той же линии. Если пузырек отклонился от середины, то на половину отклонения перемещают пузырек в сторону нуля-пункта с помощью исправительных винтов уровня, а на вторую половину - подъемными винтами. После этого поверку повторяют.

4. *Вертикальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.* Приводят мензурную доску в горизонтальное положение. Наводят трубу кипрегеля на хорошо видимую точку и перемещают трубу наводящим винтом по вертикали. Если изображение точки сходит с вертикального штриха, то, открепив винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы, поворачивают окуляр вместе с сеткой нитей. Закрепив винты, поверку повторяют.

5. *Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.* Наводят перекрестие сетки нитей на удаленную точку и прочерчивают линию вдоль скошенного края линейки. Переведя трубу через зенит, прикладывают линейку к прочерченной линии и, поворачивая кипрегель вокруг какой-либо точки, находящейся на этой линии, наводят трубу на ту же цель и снова прочерчивают линию. Если линии совпадут, то условие выполнено. Если между линиями образуется угол, то проводят биссектрису этого угла, прикладывают линейку кипрегеля к биссектрисе и отклонение перекрестия сетки нитей от наблюдаемой точки устраняют боковыми исправительными винтами сетки нитей.

6. *Ось вращения трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки кипрегеля.* Зрительная труба наводится при круге право и круге лево на высоко расположенную точку. После каждого наведения трубу опускают вниз и отмечают положение перекрестия сетки нитей на стене. Если проекции точки в первом и втором случаях совпадают, условие выполнено. Исправление этого условия выполняется на заводе.

7. *Визирная плоскость трубы должна проходить через скошенный край линейки кипрегеля или быть ему параллельной.* Наводят трубу кипрегеля на какую-либо точку и по краям скошенного края линейки устанавливают иголки. Если наблюдаемая точка окажется в створе иголок, условие выполнено. В противном случае следует работать всегда при одном положении вертикального круга кипрегеля.

8. Место нуля вертикального круга кипрегеля должно быть неизменным и близким к нулю. Место нуля вертикального круга определяется по результатам наблюдений трех-четырех четко видимых удаленных точек местности при положении вертикального круга слева и справа от трубы. Перед каждым отсчетом пузырек уровня вертикального круга должен быть выведен на середину. Колебания места нуля не должны превышать  $\pm 0,5'$ . Если место нуля значительно отличается от  $0^\circ$ , то исправление производится с помощью исправительных винтов уровня вертикального круга.

9. *Определение фактических значений коэффициентов кривой горизонтальных проложений и кривых превышений.* Для определения коэффициента кривой горизонтальных проложений на местности измеряют стальной лентой расстояние до определенной точки и находят горизонтальное проложение этой линии. Это же расстояние определяют с помощью номограммы. Тогда фактическое значение коэффициента горизонтальных проложений найдется по формуле

$$K_{d_{\text{факт}}} = 100 \frac{d_{\text{лен}}}{d_{\text{ном}}} \quad (126)$$

Отличие фактического значения коэффициента от 100 не должно превышать 0,2. При больших отклонениях в измеренные расстояния необходимо вводить поправки.

Для определения фактических коэффициентов кривых превышений на местности методом геометрического нивелирования определяют превышение между точками, а затем это же превышение определяют по номограмме. Тогда

$$K_{h_{\text{факт}}} = \frac{h_{\text{нив}}}{h_{\text{ном}}} \quad (127)$$

Фактическое значение коэффициента определяется для всех кривых превышений с коэффициентами 10, 20 и 100. Допустимые отклонения 0,1; 0,2; 0,4 соответственно.

### 3. УСТАНОВКА МЕНЗУЛЫ В РАБОЧЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Установка мензулы в рабочее положение на точке местности складывается из трех действий: центрирование мензулы, приведение мензурной доски в горизонтальное положение и ориентирование ее.

*Центрирование мензулы* заключается в том, чтобы точка, нанесенная на съемочный планшет, находилась над соответствующей точкой местности. Допустимая ошибка центрирования не должна превышать половины точности масштаба, в котором производится съемка. В связи с этим, при съемках в масштабе 1 :2000 и крупнее, центрирование мензулы выполняют с помощью центрировочной вилки 2 (см. рис. 62,а). При съемках в более мелких масштабах центрирование проводится на глаз.

Приведение плоскости мензурной доски в горизонтальное положение выполняется с помощью уровня, расположенного на линейке кипрегеля. Для

этого линейку располагают по направлению двух подъемных винтов и с их помощью приводят пузырек уровня на середину трубки. Далее линейку ставят перпендикулярно первоначальному направлению и, действуя третьим винтом, выводят пузырек уровня на середину. После этого при любом положении линейки кипрегеля пузырек уровня должен оставаться на середине.

*Ориентирование мензулы* — это установка мензульной доски в такое положение, при котором линии, прочерченные на съемочном планшете, параллельны соответствующим линиям местности. Линейку кипрегеля прикладывают на планшете к линии, соединяющей точку стояния мензулы и наиболее отдаленную точку на планшете и видимую на местности. Вращая мензульную доску от руки, добиваются видимости в трубу второй точки, а наводящим винтом подставки совмещают визирную ось кипрегеля с этой точкой. Ориентирование мензулы проверяют по направлению какой-либо другой линии.

Приближенное ориентирование мензулы может быть выполнено по ориентир-буссоли. В этом случае буссоль прикладывают к рамке съемочного планшета и, вращая мензулу, устанавливают стрелку по нулевому диаметру буссоли.

#### 4. ПЛАНОВОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕНЗУЛЬНОЙ СЪЕМКИ

Мензульная съемка производится с пунктов геодезической сети и точек съемочного обоснования. Съемочное плановое обоснование развивается на основе пунктов плановой государственной геодезической сети 1, 2, 3, 4 классов и пунктов геодезических сетей сгущения. Положение точек съемочного обоснования на

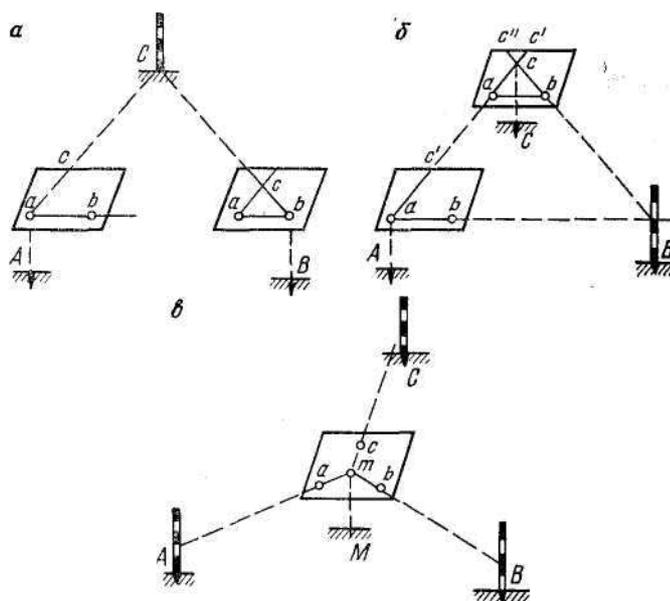


Рис. 64. Мензульные засечки:

а — прямая; б — комбинированная; в — обратная  
 планшете мензульной съемки может быть определено графическим способом: прямыми, комбинированными и обратными засечками или проложением

мензульных ходов.

Графические засечки обычно используются в условиях открытой местности. В качестве исходных точек для засечек служат пункты плановой геодезической сети, которые предварительно наносятся на планшет по их координатам.

*Прямая засечка.* Пусть нанесенные на планшете точки  $a$  и  $b$  (рис. 64, а) являются исходными, соответствующими точкам  $A$  и  $B$  местности. Положение точки  $C$  местности необходимо определить на планшете. Мензулу устанавливают в точке  $A$  и ориентируют по линии  $ab$ . Вращая линейку кипрегеля вокруг точки  $a$ , наводят зрительную трубу на точку  $C$  местности и прочерчивают направление  $ac$ . После этого мензулу устанавливают в точку  $B$  местности и ориентируют ее по линии  $ba$ . Приложив кипрегель к точке  $b$ , визируют на точку  $C$  и прочерчивают направление  $bc$ . В пересечении линий  $ac$  и  $bc$  получают положение точки  $C$  на планшете.

*Комбинированная засечка.* Пусть необходимо получить на планшете положение точки  $C$  местности относительно исходных пунктов  $A$  и  $B$  (рис. 64,б), но в точку  $B$  встать с мензулой по каким-либо причинам невозможно. Устанавливают мензулу над точкой  $A$  и, ориентируя ее по линии  $ab$ , наводят зрительную трубу на точку  $C$  и прочерчивают направление  $ac'$ . Затем мензулу переносят в точку  $C$  местности, приближенно центрируют и ориентируют по направлению  $c'a$ . Далее, вращая линейку кипрегеля вокруг точки  $b$ , наводят трубу на точку  $B$  местности и прочерчивают направление  $bc''$ . Пересечение направлений  $ac'$  и  $bc''$  и даст положение на планшете искомой точки  $C$ .

Прямая и комбинированная засечки выполняются тем точнее, чем ближе к  $90^\circ$  угол пересечения  $ac$  и  $bc$ . Углы пересечения меньше  $30^\circ$  и больше  $150^\circ$  не допускаются.

*Обратная засечка (задача Потенота).* В этом случае положение определяемой точки на планшете находится относительно трех исходных точек. Рассмотрим один из способов решения задачи, когда определяемая точка находится внутри треугольника, образуемого исходными опорными точками. Пусть требуется определить на планшете положение точки  $M$  (рис. 64,в). Мензулу устанавливают над точкой  $M$  и ориентируют по буссоли. Прикладывая последовательно линейку кипрегеля к точкам  $a$ ,  $b$  и  $c$ , визируют зрительной трубой на соответствующие точки местности  $A$ ,  $B$  и  $C$ , прочерчивая каждый раз направления по линейке кипрегеля. Если три направления не пересекутся в одной точке, образуется треугольник погрешности, внутри которого и будет находиться положение искомой точки  $t$ . Наметив эту точку, уточняют ориентирование мензулы путем визирования на наиболее удаленную исходную точку и снова визируют через точки  $a$ ,  $b$  и  $c$  на соответствующие точки местности. Если после этого все направления пересекутся в одной точке, задача решена правильно.

Если искомая точка находится на окружности, проходящей через точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , то обратная засечка становится невозможной.

В закрытых местах для обоснования мензульной съемки прокладываются *мензульные ходы*. При прокладке мензульных ходов положение точек на съемочном планшете определяется графически полярным способом. Расстояния

между точками мензульного хода измеряются с помощью нитяного дальномера в прямом и обратном направлениях и откладываются непосредственно на планшете в масштабе составляемого плана. Относительная линейная невязка в мензульном ходе не должна превышать  $1/300$  общей длины хода. При съемках в масштабе  $1 : 500$ , в соответствии с инструкцией, расстояния в мензульных ходах должны измеряться стальной лентой или оптическими дальномерами соответствующей точности.

## 5. ВЫСОТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕНЗУЛЬНОЙ СЪЕМКИ

Высотное обоснование мензульной съемки создается относительно пунктов государственной нивелирной сети I, II, III, IV классов и высотных сетей сгущения. Пункты высотного обоснования обычно совмещаются с пунктами планового обоснования. Высоты точек съемочного обоснования при создании топографического плана с сечением рельефа  $h = 0,25; 0,5$  и  $1$  м определяются методом геометрического нивелирования. При больших значениях  $h$  высоты точек определяются методом тригонометрического нивелирования. В этом случае при определении высот точек, полученных графическими засечками, измеряются углы наклона с исходных точек на определяемые и обратно, расстояния снимаются непосредственно с мензульного планшета и превышения определяются по формуле (115). При определении высот точек мензульных ходов измеряются углы наклона в прямом и обратном направлениях при двух положениях вертикального круга, а расстояния измеряются по нитяному дальномеру. Превышения определяют по формуле (118). При определении превышений по номограммам кипрегеля делают дважды наведение при круге слева на разную высоту визирных целей. Расхождение между прямым и обратным превышениями для каждой стороны мензульного хода не должно быть более  $0,04 D$  где  $D$  — длина стороны хода в сотнях метров. Высотная невязка хода, опирающегося на пункты с известными отметками, не должна превышать предельной величины, вычисляемой по формуле

$$f_h = \frac{0,04 \sum D}{\sqrt{n}}$$

где  $n$  — число сторон хода. Высотную невязку распределяют с обратным знаком пропорционально длинам сторон хода.

## 6. СЪЕМКА СИТУАЦИИ И РЕЛЬЕФА

*Съемка ситуации*, т. е. контуров местности, производится с точек съемочного обоснования, как правило, полярным способом. Для этого на характерных точках ситуации выбирают речные точки (пикеты). Расстояния до речных точек измеряют нитяным дальномером. Каждая точка наносится на планшет путем откладывания циркулем расстояния вдоль скошенного края

линейки кипрегеля.

*Съемка рельефа* выполняется одновременно со съемкой ситуации. Превышения на реечные точки определяют по формуле (118).

При работе с номограммным кипрегелем КН горизонтальные расстояния и превышения определяют по рейке с помощью кривой расстояний и кривых превышений.

Горизонтالي рисуют на съемочном планшете по мере набора пикетов здесь же на мензальной станции.

Если для съемки всего участка не хватает точек съемочного обоснования, на планшете определяют положение дополнительных точек, называемых *переходными*. Положение этих точек определяется, как правило, способом обратных засечек.

По окончании съемки контуры местности и горизонтали вычерчиваются тушью в соответствии с таблицами условных знаков.

### **Вопросы для самопроверки**

1. В чем заключается сущность мензальной съемки?
2. Какие приборы применяются при мензальной съемке?
3. Из каких частей состоит мензула?
4. Назовите основные части кипрегеля КН.
5. Как определяются горизонтальные проложения линий и превышения при использовании номограмм кипрегеля?
6. Перечислите поверки мензулы и объясните порядок их выполнения.
7. Перечислите поверки кипрегеля и объясните порядок их выполнения.
8. Как проводится установка мензулы в рабочее положение?
9. Как выполняются графические засечки, применяемые при создании съемочного обоснования мензальной съемки?
10. Каким образом создается высотное обоснование мензальной съемки?
11. Как производится съемка ситуации и рельефа при мензальной съемке?

**Лекция – 13**  
**ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА**  
**План**

- 1. Общие сведения**
- 2. Аэрофотосъемочные работы**
- 3. Геодезические работы при аэрофотосъемке**
- 4. Фотограмметрические работы**
- 5. Стереофотограмметрическая рисовка рельефа**
- 6. Наземная фототопографическая съемка**

При создании топографических планов и карт различных масштабов, а также при решении научных, инженерно-технических и оборонных задач, в настоящее время широко применяется метод фототопографической съемки. Этот метод основан на использовании фотоснимков, полученных при фотографировании местности фотоаппаратом, установленным на самолете или на земле. В первом случае метод называется *аэрофототопографической съемкой*. Во втором случае — *наземной фототопографической съемкой*.

Наземная фототопографическая съемка при составлении планов и карт применяется чаще в горных районах, на небольших площадях и в тех случаях, когда аэрофотосъемка нерентабельна или невозможна.

Метод аэрофототопографической съемки является в настоящее время основным методом создания топографической карты. Начало активному использованию метода в нашей стране было положено декретом В. И. Ленина об учреждении Высшего геодезического управления. В 1924 г. было создано Государственное техническое бюро «Аэросъемка», во главе которого был поставлен его организатор М. Д. Бонч-Бруевич. После этого аэрофотосъемочные работы начали широко применяться для нужд народного хозяйства. Применение методов аэрофотосъемки позволило в 50-х годах полностью закончить составление карты масштаба 1 : 100 000 на всю территорию нашей страны и перейти к составлению топографических планов и карт более крупных масштабов. В настоящее время фототопографическая съемка применяется при создании планов и карт всех масштабов, включая 1 :5000 и 1 :2000.

Использование аэрофотоснимков не только значительно облегчает и ускоряет процесс составления топографической карты или плана, но оказывает существенную помощь проектировщику при проектировании инженерных сооружений, планировке городов, рабочих поселков и колхозных сел, так как аэрофотоснимок дает наиболее полную и объективную информацию о характере местности, отведенной под застройку, позволяет более уверенно решать ряд вопросов, возникающих при составлении проекта.

Составление топографического плана с использованием аэрофотосъемки может быть выполнено *комбинированным или стереофототопографическим способом*. При комбинированном способе по аэрофотоснимкам в камеральных условиях составляется контурный план местности. Рельеф местности снимается в полевых условиях. При стереофототопографическом способе как контурная,

так и высотная часть плана составляется по аэроснимкам в камеральных условиях.

Основными видами работ при том и другом способе съемки являются: аэрофотосъемочные, геодезические и фотограмметрические.

## 2. АЭРОФОТОСЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ

Аэрофотосъемочные работы заключаются в фотографировании местности с самолета с помощью специального аэрофотоаппарата (АФА).

Рис. 65. Схема аэрофотоаппарата:

В настоящее время для аэрофотосъемки применяется специализированный самолет АН-30, а также самолеты ИЛ-14, АН-2 и др.

Аэрофотоаппарат устанавливается на самолете так, чтобы его оптическая ось была направлена вертикально. Основными частями аэрофотоаппарата (рис. 65, а) являются: корпус 1, объектив 2 с затвором, кассета 3, катушки 5 для намотки аэропленки, прижимное устройство 4.

Кассета вмещает 60 м аэропленки, что позволяет получить 300 аэроснимков размером 18x18 см.

В кассете находятся две катушки, на одной из которых намотана пленка, а ко второй прикреплен свободный ее конец. В процессе фотографирования пленка перематывается с одной катушки на другую, проходя через прижимное устройство 4, которое в момент экспонирования прижимает пленку к прикладной рамке, выравнивая ее в плоскость.

На верхней части корпуса аэрофотоаппарата в фокальной плоскости объектива располагается прикладная рамка. К этой рамке прикреплены четыре зубчатых выступа, которые называются координатными метками. Эти метки при фотографировании местности изображаются на каждом аэроснимке. Если соединить противоположные метки прямыми линиями, то получится система плоских прямоугольных координат снимка (рис. 65,б). За ось  $x$  снимка принимают линию, которая направлена вдоль аэросъемочного маршрута, за ось  $y$  — линию, ей перпендикулярную. В пересечении координатных линий находится точка  $o$ , которая является началом системы координат снимка. Эта точка должна совпадать с основанием перпендикуляра, опущенного из задней узловой точки объектива на плоскость снимка, и называется главной точкой аэроснимка. Если главная точка снимка не совпадает с пересечением координатных осей, то определяют ее координаты  $x_0, y_0$  на снимке, которые вместе со значением фокусного расстояния фотокамеры  $f_K$  называются *элементами внутреннего ориентирования аэрофотоаппарата*.

Фокусным расстоянием фотокамеры  $f_K$  называется расстояние от объектива до плоскости изображения (т. е. до пленки). Так как аэрофотосъемка

проводится, в основном, с больших высот, фокусирование фотокамеры установлено на бесконечность, вследствие чего фокусное расстояние данной фотокамеры является постоянным.

Аэрофотоаппараты, используемые при аэрофотосъемке, подразделяются на короткофокусные с  $f_k$  от 55 до 150 мм, средне-фокусные с  $f_k$  от 150 до 300 мм и длиннофокусные с  $f_k$  свыше 300 мм.

Чтобы в процессе аэрофотосъемки вертикальная ось аэрофотоаппарата постоянно находилась в отвесном положении, применяют специальные гидростабилизирующие установки, которые позволяют удерживать вертикальную ось отвесно с отклонениями не более 30—40'.

В комплекте аэрофотоаппарата имеется командный прибор, который управляет его работой. Вся работа аэрофотоаппарата— открытие и закрытие затвора, перемотка и прижим пленки и т. д. выполняется автоматически в соответствии с заранее установленными на командном приборе параметрами.

Для определения высоты фотографирования на самолете установлен радиовысотомер. Принцип действия этого прибора основан на измерении времени прохождения радиоволн от самолета до земли и обратно. Зная скорость распространения радиоволн  $v$  (299792 км/с) и время  $t$ , можно определить высоту

$$H = \frac{1}{2} vt \quad (128)$$

Для определения изменения высоты полета во время фотографирования используют *статоскоп*. Принцип действия этого прибора основан на фиксации изменения атмосферного давления, которое происходит вследствие изменения высоты полета.

Обычно для дальнейшей работы с аэрофотоснимками используют показания как радиовысотомера, так и статоскопа.

Фотографирование местности в равнинных районах обычно выполняется аэрофотоаппаратами с  $f_k=70$  мм, во всхолмленных и горных районах - с  $f_k = 100$  мм.

Масштаб фотографирования устанавливается в зависимости от масштаба составляемого плана, от заданной высоты сечения рельефа, от приборов, на которых предполагается вести обработку аэроснимков. Обычно масштаб фотографирования выбирается в несколько раз мельче, чем масштаб составляемого плана, так как в этом случае уменьшается число снимков, на которых изображается снимаемая территория, снижается общая стоимость производства работ.

Высота фотографирования  $H$  задается в зависимости от фокусного расстояния аэрофотоаппарата и выбранного масштаба аэрофотосъемки, т. е.

$$H = f_k m, \quad (129)$$

где  $m$  — знаменатель численного масштаба аэрофотосъемки.

Порядок фотографирования местности заключается в следующем. Заранее выбирается направление полета (маршрут). При фотографировании

значительных площадей направление полета обычно выбирается с запада на восток или с востока на запад. При съемках небольших участков допускается прокладка аэросъемочных маршрутов по другим направлениям.

При полете по выбранному направлению проводится фотографирование путем последовательного открытия затвора через определенные интервалы времени. Интервал между экспозициями выбирается с таким расчетом, чтобы часть участка местности, изобразившегося на одном снимке, изобразилась бы и на другом, последующем (рис. 66,а). Такое перекрытие аэроснимков вдоль маршрута называется *продольным перекрытием*. Делается оно равным 60 % от величины снимка.

Фотографирование участка значительной ширины проводится взаимно параллельными маршрутами, причем между соседними маршрутами делается перекрытие, которое носит название *поперечного перекрытия*, равное 30 % от величины снимка (рис. 66,б).

Для сохранения заданной величины перекрытия заранее вычисляется значение расстояний между точками фотографирования в маршруте  $B_x$  и между маршрутами  $B_y$  по формулам

$$\left. \begin{aligned} B_x &= \frac{l(100 - p_x)m}{100} \\ B_y &= \frac{l(100 - p_y)m}{100} \end{aligned} \right\} \quad (130)$$

где  $l$  — длина стороны снимка;  $p_x$  и  $p_y$  — заданная величина продольного и поперечного перекрытия в процентах.

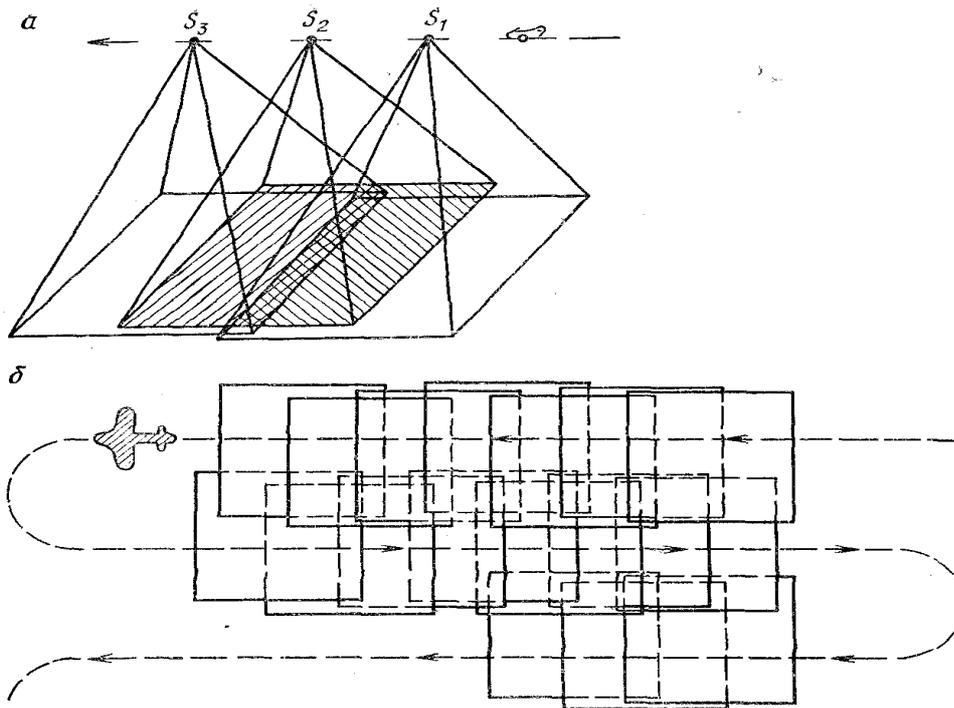


Рис. 66. Схемы аэрофотосъемки местности:  
*a* — вдоль маршрута; *b* — участка параллельными маршрутами

Например, при  $p_x = 60\%$ ;  $p_y = 30\%$ ;  $l = 18$  см;  $1 : m = 1 : 5000$  получим

$$B_x = \frac{0,18 (100 - 60) \cdot 5000}{100} = 360 \text{ м;}$$

$$B_y = \frac{0,18 (100 - 30) \cdot 5000}{100} = 630 \text{ м.}$$

Интервал между последующими открытиями затвора при полете вдоль маршрута рассчитывается в зависимости от величины  $B_x$  и путевой скорости самолета, которая определяется непосредственно в полете.

Заданное значение перекрытий при аэрофотосъемке должно строго выдерживаться, так как отклонение в сторону увеличения перекрытия приведет к неоправданному увеличению числа снимков и, следовательно, к увеличению объема работ, а уменьшение перекрытия затруднит дальнейшую обработку снимков и может привести к появлению разрывов между снимками.

Масштаб, в котором получается изображение местности на снимке, зависит от высоты полета  $H$  и фокусного расстояния  $f_k$  аэрофотоаппарата и находится по формуле:

$$\frac{1}{m} = \frac{f_k}{H} = \frac{1}{\frac{H}{f_k}} \quad (131)$$

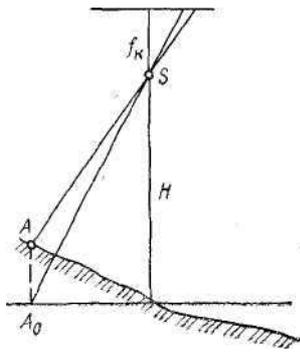


Рис. 67. Схема влияния рельефа на положение точки на аэроснимке

Из формулы (131) следует, что, чем меньше высота фотографирования, тем крупнее масштаб снимков. При данной высоте полета масштаб тем крупнее, чем больше фокусное расстояние.

Если бы самолет во время полета сохранял заданную высоту фотографирования, а оптическая ось аэрофотоаппарата постоянно находилась в отвесном положении, то в случае равнинной местности полученные аэрофотоснимки представляли бы собой план местности в некотором масштабе и при произвольном ориентировании. Однако самолет во время полета неустойчив. Колебания воздуха, воздушные течения приводят к тому, что самолет постоянно меняет высоту полета, испытывает бортовую и килевую качку. Применяемые во время аэрофотосъемки установки, стабилизирующие камеру, не позволяют строго удерживать оптическую ось в отвесном положении. Аэроснимки, полученные при аэрофотосъемке, имеют разный масштаб и дают искаженное изображение местности.

Имеются искажения в положении контурных точек на аэроснимке и из-за рельефа местности. Это вызвано тем, что изображение на снимке получается в центральной проекции, в то время как при составлении плана или карты пользуются ортогональным проектированием, т. е. проектированием отвесными линиями. Так, проекция точки местности  $A$  на горизонтальную плоскость  $A_0$  (рис. 67) должна изобразиться на аэроснимке в точке  $a_0$ . тогда как в действительности мы имеем ее изображение в точке  $a$ . Величина отрезка  $aa_0$  является смещением точки на аэроснимке, вызванным влиянием рельефа.

### 3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ АЭРОФОТОСЪЕМКЕ

Для выявления и устранения искажений изображения местности на аэроснимке, а также для последующей рисовки рельефа, на каждом снимке выбирается несколько точек, координаты которых определяются непосредственно на местности.

Определение координат контурных точек местности и опознавание их на аэрофотоснимках называется *привязкой аэроснимков*.

Определение планового положения точек, опознанных на аэроснимке, называется *плановой привязкой снимков*, а сами точки называют *плановыми опознаками*. Определение высот точек, опознанных на аэроснимках, называют *высотной привязкой*, а точки — *высотными опознаками*.

При определении планового и высотного положения опознаков привязку

называют планово-высотной.

Привязка снимков бывает сплошной и разреженной. При сплошной привязке определяют координаты четырех точек, расположенных по углам рабочей площади каждого аэроснимка. При разреженной привязке определяют координаты опознаков не каждого аэроснимка, а через несколько, в зависимости от масштаба составляемого плана. Координаты опознаков промежуточных аэроснимков определяют аналитически в камеральных условиях методом фототриангуляции. Сплошная привязка снимков выполняется, в основном, при крупномасштабной съемке застроенных территорий.

В качестве опознаков прежде всего используются точки геодезической сети, изобразившиеся на аэроснимке, а также контурные точки, отчетливо опознаваемые на снимке. Такими точками могут служить пересечения дорог, знаки границ землепользования, углы низких строений, заборов, люки подземных коммуникаций и т. д. Выбранные точки должны быть доступны для геодезического определения их положения. Если по условиям местности невозможно выбрать хорошо опознаваемые четкие контуры, то перед проведением аэрофотосъемки выполняется маркировка опознаков. Размер маркировочного знака устанавливается в зависимости от масштаба аэрофотосъемки.

Для того, чтобы каждый опознак попал на максимальное количество аэроснимков, рекомендуется опознаки выбирать в зоне тройного перекрытия снимков и в перекрытиях между маршрутами.

Определение координат плановых опознаков в открытой местности выполняют методом триангуляции, способами прямой, комбинированной и обратной засечек, полярным способом. В закрытой местности, т. е. местности, покрытой лесом или в условиях городской застройки, координаты плановых опознаков определяются прокладкой теодолитных ходов.

Отметки высотных опознаков определяют методом геометрического нивелирования при создании топографического плана с высотой сечения рельефа 0,25—2,0 м и методом тригонометрического нивелирования при высоте сечения рельефа 2—5 м.

В процесс полевых геодезических работ входит также *дешифрирование снимков*. Дешифрирование снимков заключается в распознавании объектов местности на фотографическом изображении, установлении их характеристик и вычерчивании в условных знаках. Основными методами дешифрирования являются *полевое и камеральное*. В большинстве случаев полевое дешифрирование проводится после камерального.

При камеральном дешифрировании объекты местности опознаются непосредственно по аэроснимку, для чего используются определенные дешифровочные признаки, характерные для того или иного объекта. К этим признакам относят форму объекта, его размер, тон, структуру. Например, для изображения на аэроснимке населенных пунктов в большинстве случаев характерна прямоугольная геометрическая форма; прямоугольники, квадраты. Пахотные земли характеризуются прямолинейными границами, со следами

борозд. Дороги и тропы изображаются в виде вытянутых линий светлого или белого тона. Железные дороги отличаются большей прямолинейностью и большими радиусами закруглений. Реки и ручьи изображаются на аэроснимке в виде извилистых полос различной толщины.

В процессе полевого дешифрирования обследуются объекты, характеристика которых не могла быть достоверно установлена при камеральном дешифрировании. Кроме того, при полевом дешифрировании выявляются объекты, которые не изобразились на снимках вследствие своей малости (люки подземных коммуникаций, водоразборные колонки и т. д.) или появились после проведения аэросъемки. Положение этих предметов определяется промерами от пунктов опорной сети или от резко очерченных на аэроснимке контуров. При полевом дешифрировании определяется материал построек, их этажность и назначение. Показывается материал покрытий дорог, их классификация.

#### 4. ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

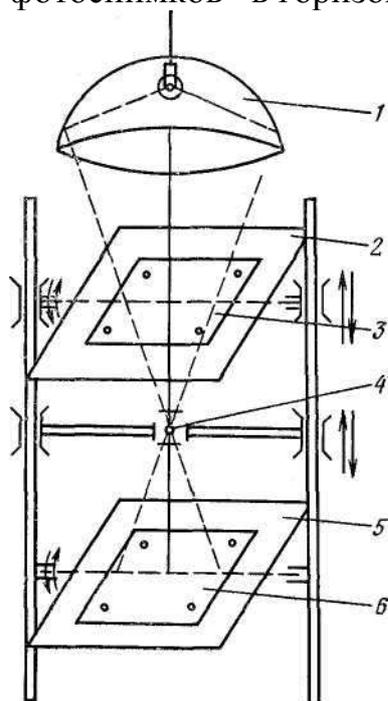
Термин «фотограмметрия» происходит от трех греческих слов: photos — свет, грамма — запись и metreo — измеряю, т. е. измерение светозаписи или фотографического изображения. В результате фотограмметрической обработки снимков получают топографический план местности. Эта обработка может быть выполнена дифференцированным или универсальным методом.

При дифференцированном методе фотограмметрическая обработка аэроснимков разделяется на ряд отдельных процессов, которые могут выполняться на разных приборах разными исполнителями. Рассмотрим эти процессы.

##### 1. Трансформирование аэроснимков.

Трансформирование аэроснимков заключается в преобразовании наклонных фотоснимков в горизонтальные фотоснимки с одновременным приведением

их к заданному масштабу. Выполняется такое трансформирование снимков на специальных приборах, называемых фототрансформаторами. Схема фототрансформатора показана на рис. 68. Основными частями прибора являются: кассета 2, в которую закладывается аэронегатив 3, осветитель 1 для освещения аэронегатива сверху, объектив 4, экран 5 и специальные механизмы, обеспечивающие получение правильного и резкого изображения на экране.



## Рис. 68. Схема фототрансформатора

Трансформирование снимков выполняют следующим образом. На экран помещается опорный планшетик б с нанесенными по координатам в заданном масштабе четыремя опорными точками (опознаками), положение которых было определено из плановой привязки аэроснимков или из фототриангуляции. Соответствующие точки накальваются на аэронегатив, который закладывается в кассету фототрансформатора. Перемещением кассеты относительно экрана и изменением наклона экрана и кассеты добиваются совмещения изображения опорных точек негатива с их положением на опорном планшете. Положив на экран вместо опорного планшета фотобумагу при закрытом объективе и сделав затем экспозицию, получают трансформированный снимок, т. е. снимок, исправленный за наклон аэрокамеры и приведенный к заданному масштабу. Устранение смещений точек на аэронегативе, вызванных влиянием рельефа местности, проводится путем многократного трансформирования одного и того же снимка по отдельным высотным зонам.

### 2. Составление фотоплана.

Фотопланом называется фотографическое изображение участка местности, полученное из трансформированных снимков. Для монтажа снимков подготавливается основа, на которую наносятся по координатам плановые опознаки, используемые при трансформировании. В соответствующих точках на трансформированных аэроснимках пробиваются отверстия диаметром 1 мм. Снимки укладываются на основу так, чтобы опорные точки были видны через пробитые отверстия. Затем снимки разрезают посередине продольного перекрытия и средние части их наклеивают на основу.

В некоторых случаях возникает необходимость получения в кратчайшие сроки фотографического изображения участка местности для выполнения работ, не требующих высокой точности, например, для общего изучения района работ, предварительных изысканий и т. д. В этом случае составляются так называемые фотосхемы. Фотосхема составляется из не трансформированных аэроснимков. Монтаж снимков проводится по общим контурам без использования опорных точек.

Полученный в результате монтажа трансформированных аэроснимков фотоплан представляет собой план с изображением контурной части местности. Изображение рельефа на фотоплане зависит от принятой методики составления плана.

При комбинированном способе рисовка рельефа проводится в полевых условиях наземным способом: мензультным, тахеометрическим, нивелированием поверхности.

При съемке рельефа способом мензультной съемки в качестве съемочного планшета используется фотоплан, прикрепленный к мензультной доске. Съемка рельефа на фотоплане выполняется со значительно меньшими затратами труда и времени, чем при обычной («чистой») мензультной съемке. Изображенные на фотоплане гидрографическая сеть, тальвеги, бровки оврагов и другие формы рельефа значительно облегчают съемку.

Съемочное обоснование при рисовке рельефа на фотопланах создается путем проложения ходов геометрического нивелирования при высоте сечения рельефа 0,25; 0,5 и 1 м и ходов тригонометрического нивелирования при высоте сечения рельефа 2 и 5 м. Точки съемочных ходов рекомендуется выбирать на четких, хорошо опознаваемых контурах. Если точка не опознается на фотоплане, то определяется ее положение промерами от точек геодезической сети или от опознаваемых четких контуров местности.

При съемке ориентирование мензулы может выполняться относительно опознанных на фотоплане и видимых на местности контурных точек. Пикетные точки при съемке рельефа целесообразно совмещать также с контурными точками. В этом случае для определения отметки пикета можно не посылать рейку на эту точку, а измерять угол наклона наведением зрительной трубы кипрегеля непосредственно на землю у основания контура, считая высоту рейки в этой точке равной нулю, а расстояние определять по фотоплану. При стереотопографическом способе рисовка рельефа выполняется в камеральных условиях по фотоснимкам.

## 5. СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ РИСОВКА РЕЛЬЕФА

В основу стереофотограмметрической обработки снимков положена способность наших глаз объемно воспринимать положение окружающих нас предметов. Различают монокулярное и бинокулярное зрение. Монокулярное зрение — это зрение одним глазом. При монокулярном зрении глаз не в состоянии объемно воспринимать наблюдаемые предметы, и о разности удаленности отдельных точек мы можем судить лишь по некоторым признакам: величине предмета, его яркости и т. д. При бинокулярном зрении предметы рассматриваются двумя глазами, расположенными на некотором расстоянии друг от друга, называемом глазным базисом. Если рассматриваемые точки А и В (рис. 69, а) смещены по глубине относительно глазного базиса, то расстояния между изображениями этих точек на сетчатке глаза  $\{a_1b_1$  и  $a_2b_2\}$  не будут равны между собой. Разности этих расстояний будут восприниматься нами как смещение одной точки относительно другой. Такое зрение, обладающее свойством восприятия глубины, называется стереоскопическим зрением.

Предположим, что вместо глаз в две точки пространства поместили фотографический аппарат и сфотографировали с этих точек предметы местности. Если полученные снимки расположить перед глазами и рассматривать каждый снимок одним глазом, то возникшие на сетчатке глаз изображения будут соответствовать тем, которые получились бы при непосредственном рассматривании предметов. В результате будет иметь место объемное восприятие сфотографированных предметов. Аналогично, если поместить перед глазами два перекрывающихся снимка, полученных путем фотографирования с самолета, то при их рассматривании возникнет рельефная модель сфотографированного участка местности.

Для стереоскопического рассматривания аэрофотоснимков служат

специальные приборы, называемые стереоскопами. Простейшим стереоскопом является четырехзеркальный. Он состоит из двух пар больших  $M$  и двух пар малых  $m$  зеркал, расположенных под углом  $45^\circ$  к основанию (рис. 69,б). Пара перекрывающихся снимков, помещается под большими зеркалами. Лучи, идущие от одноименных точек соседних снимков, отразившись от больших зеркал, попадают на малые и затем в глаза наблюдателя. На продолжении проектирующих лучей наблюдатель увидит мнимое пространственное изображение точки  $A$  местности. В совокупности такие точки представят стереоскопическую модель местности, изображенной на аэроснимках.

Стереоскопы позволяют видеть объемную стереоскопическую модель местности, анализировать характер рельефа, решать общие вопросы проектирования, возможности размещения зданий, сооружений, объектов благоустройства в условиях видимого

Рис. 69. Схема получения стереоскопической модели местности: а — бинокулярное зрение; б — схема стереоскопа

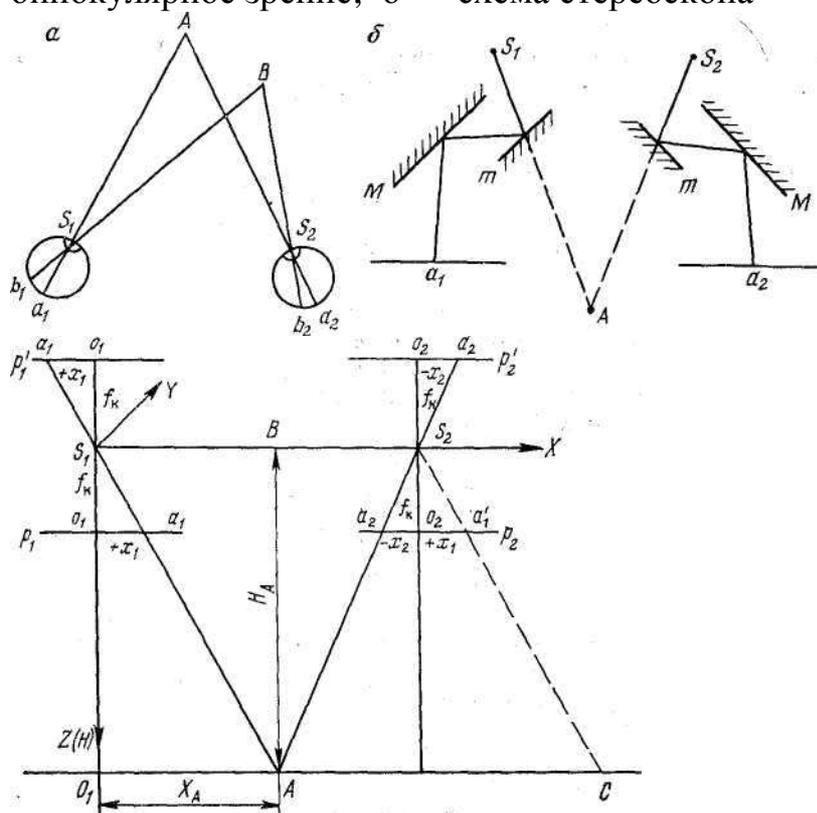


Рис. 70. Связь координат точек снимка и местности

в поле зрения стереоскопа рельефа. Однако стереоскопы не дают возможности решать конкретные задачи, связанные с определением превышений и отметок точек. Для решения этих вопросов используются стереофотограмметрические приборы, позволяющие выполнять измерения координат точек в плоскости снимков и от этих плоских координат переходить к пространственным координатам точек местности.

Пусть на рис. 70 точки  $S_1$  и  $S_2$  соответствуют моментам открытия затвора фотокамеры при фотографировании вдоль маршрута. Расстояние между этими точками называется базисом фотографирования  $B$ . Будем считать, что базис и

снимки строго горизонтальны, а оптическая ось фотокамеры находится в отвесном положении. Поскольку фотографирование местности проводится с перекрытием, точка  $A$  местности изобразится на левом снимке  $P_1$  в положении  $a_1$  и на правом снимке  $P_2$  — в положении  $a_2$ . Снимки  $p_1$  и  $p_2$  на рис. 70 соответствуют диапозитивному изображению, полученному с негативов. Точки  $O_1$  и  $O_2$  являются началом координат каждого снимка, относительно которых могут быть измерены плоские прямоугольные координаты любой точки, изобразившейся на аэроснимке. Отрезки  $S_1O_1$  и  $S_2O_2$  соответствуют фокусному расстоянию аэрофотосъемочной камеры.

Примем за начало пространственной системы координат местности точку  $S_1$  направление базиса фотографирования — за ось  $X$ , за ось  $Y$  — направление, перпендикулярное базису фотографирования, ось  $Z$  совместим с направлением оптической оси фотокамеры.

Для установления зависимости между координатами точек снимка и местности проведем через точку  $S_2$  линию  $S_2C$ , параллельную линии  $S_1A$ . Рассмотрим два треугольника  $S_2AC$  и  $S_2a_2a_1'$ . Из подобия этих треугольников запишем

$$\frac{AC}{a_2a_1'} = \frac{H_A}{f_k}$$

откуда

$$H_A = \frac{ACf_k}{a_2a_1'}$$

По построению  $AC=B$ . Величина  $a_2a_1'$  складывается из двух отрезков  $O_2a_1'=O_1a_1 = x_1$  и  $O_2a_2 = -x_2$ , которые соответственно являются абсциссами точки  $a$  на левом и правом снимках, т. е.

$$O_2a_1' = x_1 - x_2 = p$$

Разность абсцисс одноименных точек, изобразившихся на левом и правом снимках, называется продольным параллаксом точки ( $p$ ). Следовательно

$$H_A = \frac{Bf_k}{p} \quad (132)$$

Из подобия треугольников  $S_1O_2A$  и  $S_1O_1a_1$  найдем

$$\frac{X_A}{H_A} = \frac{x_1}{f_k}$$

откуда

$$X_A = \frac{x_1H_A}{f_k}$$

или с учетом

$$X_A = \frac{Bx_1}{p} \quad (133)$$

По аналогии из соответствующих треугольников, расположенных в плоскости, перпендикулярной базисной плоскости, можем записать

$$y_A = \frac{By_1}{p} \quad (134)$$

Таким образом, для определения пространственных координат любой точки местности необходимо измерить координаты  $x_1$  и  $y_1$  и продольный параллакс  $p$  этой точки на снимках.

Чтобы получить формулу для определения превышений по аэроснимкам, запишем формулу (132) для двух точек, одну из которых примем за начальную

$$H_0 = \frac{Bf_K}{P_0} \quad \text{и} \quad H_i = \frac{Bf_K}{P_i}$$

Тогда превышение между этими точками  $h$  будет равно

$$h = H_0 - H_i = \frac{Bf_K}{P_0} - \frac{Bf_K}{P_i} = \frac{Bf_K(p_i - p_0)}{p_0 p_i}$$

Заменив в формуле:

$$\frac{Bf_K}{P_0} = H_0 \quad p_i - p_0 = \Delta p \quad \text{и} \quad p_i = p_0 + \Delta p$$

получим

$$h = \frac{H_0 \Delta p}{p_0 + \Delta p} \quad (135)$$

В формуле (135) значение  $\Delta p$  выражает разность параллакса точки определяемой и параллакса точки, принятой на данной паре снимков за исходную.

Используя формулу (135), возможно путем измерений по аэроснимкам на специальных стереофотограмметрических приборах получать превышения и отметки точек, проводить рисовку рельефа горизонталями.

При составлении топографического плана дифференцированным способом рисовка рельефа выполняется на топографическом стереометре проф. Ф. В. Дробышева (СТД-2). В этом случае в прибор закладывается стереоскопическая пара аэроснимков, т. е. снимков, полученных с двух точек базиса фотографирования. После установки снимки должны быть соответствующим образом ориентированы, чтобы при измерениях разности продольных параллаксов получали значения неискаженные за влияние углов наклона аэроснимков и базисов. Для этой цели стереометры имеют специальные коррекционные устройства.

При рисовке рельефа на шкале винта продольных параллаксов устанавливаются последовательно отсчеты, соответствующие Отметкам горизонталей, через интервалы, равные заданной высоте сечения рельефа. После установки каждого отсчета исполнитель, наблюдая объемную модель местности, видит в поле зрения стереометра марку, выполненную в виде нити, которая при перемещении по осям  $x$  и  $y$  меняет свое положение по высоте относительно модели. Отмечая карандашом точки касания модели маркой, исполнитель проводит на аэроснимке горизонталь, соответствующую установленной на шкале прибора отметке.

Перенесение горизонталей с отдельных аэроснимков на фотоплан проводится по контурам на глаз или под стереоскопом.

При универсальном методе составление топографической карты по аэрофотоснимкам выполняется на одном приборе одним исполнителем. Эти приборы довольно сложны по устройству, значительны по габаритам, требуют высокой квалификации исполнителя.

В основу обработки снимков на универсальных приборах положен принцип восстановления стереоскопической модели местности и ее измерения. В результате обработки на плане получается изображение как контуров, так и рельефа. К приборам универсального метода, выпускаемым в настоящее время в СССР, относится стереопроектор проф. Г. В. Романовского и стереограф проф. Ф. В. Дробышева. Универсальный метод создания топокарты является более прогрессивным по сравнению с дифференцированным, так как он обеспечивает более высокую точность работы, повышает производительность, дает большие возможности для автоматизации процессов составления карты.

## **6. НАЗЕМНАЯ ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА**

Составление топографического плана методом наземной фототопографической съемки основано, на использовании фотоснимков, полученных специальным прибором, представляющим собой сочетание фотографической камеры с теодолитным устройством. Этот прибор называется фототеодолитом, а метод наземной фототопографической съемки часто называют фототеодолитной съемкой.

Фотографирование объекта при фототеодолитной съемке производят с двух точек, расстояние между которыми так же, как и в аэрофотосъемке, называется базисом фотографирования. В зависимости от направления<sup>^</sup> оптической оси фототеодолита относительно базиса и горизонтальной плоскости различают следующие виды съемок.

*Общий случай съемки.* Направление оптических осей произвольное.

*Конвергентный случай съемки.* Оптические оси располагаются горизонтально, но под различными углами относительно базиса.

*Равномерно-отклоненный случай съемки.* Оптические оси горизонтальны и отклонены от линии базиса на одинаковые углы.

*Нормальный случай съемки.* Оптические оси горизонтальны и перпендикулярны к базису фотографирования.

Кроме перечисленных, имеется еще равномерно-наклоненный случай съемки, когда оптические оси наклонены по отношению к горизонтальной плоскости на одинаковый угол. Этот случай съемки может использоваться лишь в тех случаях, когда конструкция фототеодолита позволяет наклонять оптическую ось.

Наибольшее применение в практике имеют нормальный и равномерно-отклоненный случаи съемки.

В настоящее время в нашей стране используются фототеодолиты, выпускаемые фирмой «Карл Цейс», Йена (ГДР), «Фотео 19/1318» и «УМК

10/1318». Число в числителе показывает фокусное расстояние фотокамеры в сантиметрах, а в знаменателе — размер снимка 13x18 см.

В комплекте фототеодолита «Фотео 19/1318» имеются следующие приборы и принадлежности: фотокамера 19/1318, теодолит, три штатива, три подставки, три визирные марки, три нитяных отвеса, 24 деревянные кассеты, базисная рейка с инварным стержнем, полевое юстировочное приспособление. Фотокамера (рис. 71) состоит из объектива И, корпуса 5, прикладной рамки 6 и ориентирующего устройства 1.

Объектив фотокамеры «Ортопротар» с фокусным расстоянием  $f=195$  мм и постоянным относительным отверстием 1 : 25. Затвора у фотокамеры не имеется, а выдержка производится от руки снятием колпачка с объектива фотокамеры. Полезный угол поля изображения объектива составляет  $47^\circ$  по горизонтали и  $34^\circ$  по вертикали. Объектив располагается на вертикальных салазках, по которым он может перемещаться на 30 мм вверх и 45 мм вниз относительно начального положения, что увеличивает вертикальный угол поля изображения на  $9^\circ$  при перемещении объектива вверх и на  $11^\circ$  — при смещении объектива вниз. Точное смещение объектива на каждые 5 мм фиксируется автоматически с помощью особых фиксаторов.

Корпус фотокамеры изготовлен из легкого и прочного металла. В нижней части корпуса имеется втулка, которая во время работы вставляется в подставку 7, укрепленную на штативе. Корпус закрепляется с помощью закрепительного винта фотокамеры 9. Для точной установки фотокамеры имеется наводящий винт 10.

Прикладная рамка соединена с корпусом фотокамеры. В момент фотографирования к плоскости прикладной рамки плотно прижимается негатив размером 13x18 см. В плоскости прикладной рамки размещены четыре координатные метки, которые при фотографировании изображаются на каждом

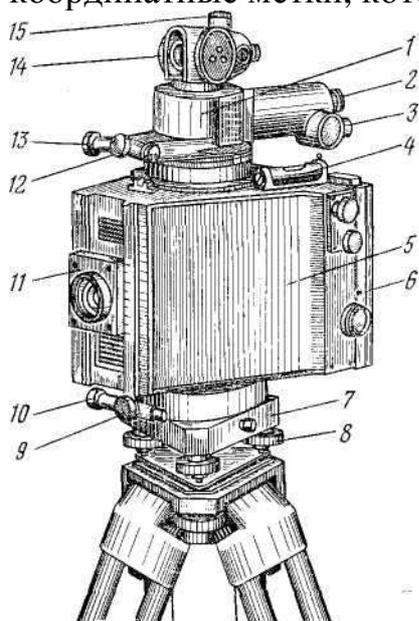


Рис. 71.»

Фототеодолит «Фотео 19/1318

снимке и определяют положение координатных осей снимка. С левой стороны прикладной рамки установлены два маркирующих устройства, один из которых регистрирует номера снимков от 01 до 99, а второй — вид съемки: нормальный или равномерно-отклоненный. Показания маркирующих устройств устанавливаются вручную перед каждым фотографированием и отпечатываются на снимках. К корпусу фотокамеры прикреплена подвижная рамка с пазами. В эти пазы при отодвинутом положении рамки вставляется или матовое стекло, через которое - наблюдается снимаемый участок местности, или кассета с фотопластинкой.

После установки кассеты подвижная рамка вместе с фотопластинкой прижимается к прикладной рамке. На корпусе фотокамеры размещены два цилиндрических уровня 4, которые служат для приведения оптической оси фотокамеры с помощью подъемных винтов 8 в горизонтальное положение. Ориентирующее устройство 1 служит для ориентирования оптической оси фотокамеры относительно базиса фотографирования. Эта часть фототеодолита представляет из себя теодолитное устройство, соединенное с фотокамерой. Зрительная труба ориентирующего устройства ломаная, состоит из объектива 14 и окуляра 2. Труба имеет закрепительный 12 и наводящий 13 винты. Для проведения отсчетов по лимбу имеется микроскоп 3. Наклон визирного луча осуществляется с помощью барабанчика 15, который поворачивает призму, установленную перед объективом зрительной трубы.

Для ориентирования фотокамеры по лимбу ориентирующего устройства ставится отсчет, соответствующий заданному углу между оптической осью фотокамеры и базисом фотографирования. После этого поворотом фотокамеры вместе с ориентирующим устройством сетка нитей зрительной трубы наводится на марку, установленную на противоположном конце базиса.

Фотокамера УМК. 10/1318 имеет фокусное расстояние  $f = 100$  мм и более широкий угол поля изображения объектива: по горизонтали —  $79^\circ$ , по вертикали —  $61^\circ$ . Одной из отличительных особенностей фотокамеры является возможность проводить фотографирование местности (объекта) как при горизонтальном, так и при наклонном положении оптической оси. Такая конструкция позволяет использовать фотокамеру для съемки объектов, имеющих значительную протяженность по высоте.

Фотокамера УМК 10/1318 имеет широкое применение при инженерных съемках сооружений.

После проведения полевых работ по фототеодолитной съемке местности, для определения координат отдельных точек сфотографированного участка выполняются измерения снимков на стереокомпараторе.

Стереокомпаратор — это высокоточный стереофото-грамметрический прибор, предназначенный для измерения по снимкам координат точек и параллаксов. Для определения пространственных координат точки местности по снимкам фототеодолитной съемки необходимо измерить ее координаты  $x_1$  и  $z_1$  на снимке и продольный параллакс  $p$ .

При нормальном случае съемки, т. е. при положении оптической оси фотокамеры перпендикулярно базису фотографирования, формулы для определения пространственных координат точек местности (объекта) запишутся в следующем виде:

$$\begin{aligned} X &= \frac{Bx_1}{p} \\ Z &= \frac{Bz_1}{p} \\ Y &= \frac{Bf_1}{p} \end{aligned} \quad (136)$$

где  $B$  — длина базиса фотографирования;  $f$  — фокусное расстояние фототеодолитной камеры.

Длина базиса фотографирования  $B$  измеряется в процессе полевых работ. При равномерно-отклоненном случае съемки формулы связи координат снимка и местности будут иметь вид

$$\begin{aligned} X &= \frac{Bx_1}{p} \left( \cos\alpha + \frac{x_2}{f} \sin\alpha \right) \\ Z &= \frac{Bz_1}{p} \left( \cos\alpha + \frac{x_2}{f} \sin\alpha \right) \\ Y &= \frac{Bf_1}{p} \left( \cos\alpha + \frac{x_2}{f} \sin\alpha \right) \end{aligned} \quad (137)$$

где  $\alpha$  — угол отклонения оптической оси от нормали к базису;  $X_1$  и  $X_2$  — координаты точки соответственно на левом и правом снимках.

При составлении топографического плана по снимкам фототеодолитной съемки применяется прибор универсального типа — **с т е р е о а в т о г р а ф**. Фототеодолитная съемка при составлении топопланов имеет довольно ограниченное применение. Однако этот метод широко используется при решении ряда строительных и архитектурных задач. Так, метод фототеодолитной съемки с успехом может применяться при определении точности монтажа инженерных конструкций и сооружений. Значительное преимущество имеет метод при определении деформаций инженерных сооружений. Разработана методика определения объемов земляных работ по материалам фототеодолитной съемки. При этом объем определяют непосредственно по стереопарам, минуя процесс составления профилей и планов. Особенно эту методику целесообразно применять при строительстве гидротехнических сооружений, на карьерах, где перемещаются большие количества грунта. Широкое применение нашел метод фототеодолитной съемки при обмерах архитектурных памятников с целью их изучения и реставрации.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие существуют методы фототопографической съемки?
2. Какими способами может быть выполнено составление топографического плана с использованием аэрофотосъемки?
3. Назовите основные части аэрофотоаппарата.
4. Что называется фокусным расстоянием аэрофотоаппарата? Какие бывают аэрофотоаппараты в зависимости от фокусного расстояния?
5. В каком порядке проводится фотографирование местности с самолета?
6. Как определяется масштаб аэрофотоснимка?
7. Что называется привязкой аэрофотоснимков?
8. Что такое опознак? Какие бывают опознаки? Как определяются их координаты и высоты?
9. В чем заключается дешифрирование снимков? Какие су

ществуют методы дешифрирования?

10. В чем заключается трансформирование аэрофото снимков?

11. Что называется фотопланом? Как он составляется?

12. Что такое фотосхема? В каких случаях она составляется?

13. Как производится рисовка рельефа при комбинированном способе составления топографического плана?

14. В чем заключается особенность монокулярного и бинокулярного зрения? На чем основана возможность стереоскопического рассматривания аэроснимков?

15. Выведите формулы зависимости между координатами точек аэроснимка и местности.

16. Как проводится фотографирование местности при наземной фототопографической съемке?

17. Назовите основные части фототеодолита и их назначение.

18. По каким формулам вычисляются пространственные координаты точек местности при нормальном и нормально-отклонном случаях съемки?

**Лекция -14**  
**СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ**  
**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ**  
**СТРОИТЕЛЬСТВА**

**План**

- 1. Виды инженерных изысканий**
- 2. Создание опорных геодезических сетей на территории строительства**
- 3. выбор масштаба и виды топографических съемок при изысканиях**

1. Под инженерными изысканиями для строительства следует понимать комплексное изучение природных условий района (участка) строительства для получения необходимых исходных данных, обеспечивающих разработку технически правильных и экономически наиболее целесообразных решений при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. К основным видам инженерных изысканий относятся: инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические, инженерно-геодезические. Объектом изучения инженерно-геодезических изысканий являются рельеф и ситуация участка строительства.

При выполнении инженерно-геологических изысканий изучению подлежат грунты как основания зданий и сооружений, заключенные в них подземные воды, физико-геологические процессы и формы их проявления, а также грунты как строительные материалы. При проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий изучаются поверхностные воды и климат. В состав инженерно-геодезических изысканий входит создание опорных геодезических сетей, производство топографических съемок, изыскание трасс для линейного строительства. Инженерно-геодезические изыскания являются первым этапом геодезического обслуживания строительства.

## **2. СОЗДАНИЕ ОПОРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Опорные геодезические сети на территории строительства служат основой для крупномасштабных съемок, трассировочных работ, обеспечения разбивочных работ в процессе строительства и состоят из закрепленных на местности плановых и высотных знаков.

Главной геодезической плановой основой на больших территориях строительства являются государственные сети триангуляции, трилатерации и полигонометрии 1, 2, 3 и 4 классов, а высотной основой — нивелирные сети I, II, III и IV классов.

Для крупномасштабной съемки необходимо увеличение плотности пунктов плановой основы путем развития геодезических сетей сгущения методом триангуляции, трилатерации и полигонометрии 1 и 2 разрядов и съемочного обоснования в виде сетей теодолитных ходов; сгущение высотной основы выполняется техническим нивелированием.

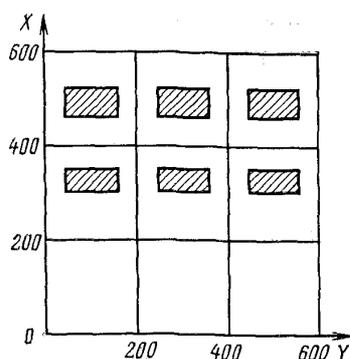


Рис. 72. Строительная сетка

При отсутствии пунктов государственной сети на территории строительства в качестве планового геодезического обоснования для крупномасштабной съемки строят самостоятельные свободные сетитриангуляции, трилатерации или полигонометрии. Плановое геодезическое обоснование, предназначенное для последующих разбивочных работ инженерных сооружений, строится, как правило, в виде свободных сетей

Наиболее удобный вид геодезической плановой основы для производства разбивочных работ является строительная сетка (рис. 72).

Строительная сетка представляет собой сеть квадратов (прямоугольников) со сторонами 50, 100 и 200 м, расположенными параллельно основным осям сооружений, проездам и красным линиям застройки. Строительную сетку проектируют по генплану, а затем переносят на местность. Вершины квадратов закрепляют железобетонными усеченными пирамидами с металлической пластинкой в верхней части. Координаты вершин строительной сетки обычно выражаются в частной (условной) системе. За начало координат этой системы целесообразно принимать нижнюю левую вершину строительной сетки.

Основные требования к созданию геодезической разбивочной основы для строительства предусмотрены СНиП 3.01.03—84 «Геодезические работы в строительстве».

### **3. ВЫБОР МАСШТАБА И ВИДЫ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ**

Масштабы топографических съемок устанавливаются в зависимости от стадий и способов проектирования, плотности застройки, типов проектируемых сооружений и необходимой точности изображения ситуации и рельефа.

План в масштабе 1 :5000 с сечением рельефа через 0,5— 1,0 м составляют для разработки проектов инженерной подготовки территории, первоочередной застройки и проектирования линейных сооружений.

План в масштабе 1:2000 с сечением рельефа через 0,5— 1,0 м служит для проектирования объектов промышленного и гражданского строительства, составления генпланов, проектов детальной планировки, планов красных линий.

План в масштабе 1 : 1000 с сечением рельефа через 0,5 м необходим для составления рабочих чертежей зданий и сооружений на незастроенных и малозастроенных строительных площадках, генеральных планов застройки,

разработки детальных проектов подземных коммуникаций и проектов вертикальной планировки.

План в масштабе 1:500 с сечением рельефа через 0,25— 0,5 м используется для разработки рабочих чертежей городских и промышленных территорий с капитальной застройкой и густой сетью коммуникаций.

В настоящее время основным видом топографических съемок является аэрофотосъемка. Теодолитная, тахеометрическая и мензуральная съемки производятся лишь на небольших участках в тех случаях, когда выполнение аэрофотосъемки невозможно или нецелесообразно. На застроенной территории горизонтальная и вертикальная съемки ведутся раздельно.

На открытой и равнинной местности для составления крупномасштабных топографических планов применяются способы нивелирования поверхности. Этот вид работ широко применяется при строительстве инженерных сооружений. Одновременно с нивелированием сети точек производится съемка ситуации.

#### *Вопросы для самопроверки*

1. Какие бывают виды инженерных изысканий для строительства?

2. Назовите содержание инженерно-геодезических изысканий.

3. Как создается плановое и высотное обоснование на территории строительства?

4. Каково назначение опорных геодезических сетей на территории строительства?

5. Что такое строительная сетка и для чего она нужна?

6. Планы каких масштабов используются при проектировании и строительстве?

7. Назовите виды топографических съемок для целей строительства.

**Лекция -15**  
**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ**  
**План**

- 1. Генеральный план**
- 2. Методы подготовки данных для перенесения проектов зданий и сооружений на местность**
- 3. Проектирование горизонтальной и наклонной площадок**
- 4. Составление картограммы земляных работ и вычисление объема земляных работ**

1. Генеральный план представляет собой технический документ размещения на топографическом плане существующих и намеченных для строительства зданий и сооружений. Генплан составляется на основе созданных в результате съемочных работ топографических планов крупных масштабов—1:500, 1:1000, 1:2000.

Строительный генеральный план — это план, на котором, кроме постоянных зданий и сооружений, наносятся все вспомогательные и временные сооружения.

На генеральном плане, кроме ситуации, должен быть нанесен рельеф местности в виде горизонталей, а также нанесены красные линии застройки. Красная линия застройки — граница квартала с улицей, за которую на уровне земли не должны выступать в сторону улицы никакие части здания.

Красные линии выносятся на местность от геодезических опорных пунктов и закрепляются надежными геодезическими знаками.

Проектирование зданий и сооружений ведется в две стадии: вначале разрабатывается технический проект, а затем составляются рабочие чертежи. В техническом проекте рассматриваются вопросы размещения основных зданий и сооружений, дается обоснование проекта и его экономическая целесообразность. Рабочие чертежи содержат конструктивные детали сооружений, разбивочные чертежи осей сооружений, проект привязки осей сооружений к опорной геодезической сети.

Данные для составления разбивочных чертежей получают в процессе проектирования зданий и сооружений.

**2. МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ  
ДЛЯ ПЕРЕНЕСЕНИЯ ПРОЕКТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА  
МЕСТНОСТЬ**

Под перенесением проекта зданий и сооружений на местность понимают комплекс геодезических работ по подготовке данных и выносу на местность с помощью геодезических приборов угловых, линейных и других геометрических величин с целью закрепления на местности специальными знаками характерных точек и плоскостей зданий и сооружений, установленных проектом.

При подготовке данных путем измерений на генпланах или

математических расчетов определяют координаты и отметки характерных точек сооружений, величины углов, линий и превышений, которые необходимо отложить и закрепить на местности от заданных в разбивочных чертежах исходных пунктов, направлений и реперов.

Существуют три метода подготовки данных для перенесения проектов зданий и сооружений на местность: графический, аналитический и комбинированный.

Графический метод наиболее простой и, следовательно, наиболее быстрый. Сущность метода состоит в том, что все необходимые данные: расстояния, дирекционные углы и координаты определяют непосредственно на генеральном плане при помощи чертежных принадлежностей, т. е. линейки, транспортира с поперечным масштабом, треугольника и циркуля.

Ошибка в определении длины линии по масштабу может быть вычислена по формуле  $\Delta d = kM$ , где  $k$  — наименьшая величина, которая может быть взята циркулем, обычно принимаемая равной 0,2 мм;  $M$  — знаменатель численного масштаба. Например, для масштаба 1 : 1000 величина  $\Delta d = 0,2$  м, для масштаба 1 : 2000 величина  $\Delta d = 0,4$  м.

Предельная ошибка дирекционного угла, измеренного транспортиром,  $\Delta \alpha = 6'$ ; предельная ошибка горизонтального угла

$$\Delta \beta = 6' \sqrt{2} = 8'$$

Дирекционный угол линии можно точнее определить по координатам начальной и конечной точек, решением обратной геодезической задачи. Точность проектирования будет тем выше, чем крупнее масштаб плана.

Графический метод определения координат точки А сооружения. Из рис. 73, а следует, что координаты точки А выражаются формулами

$$\begin{aligned} x_A &= x + \Delta x \\ y_A &= y + \Delta y \end{aligned} \quad (138)$$

где  $x$  и  $y$  — координаты левого нижнего угла координатной сетки,  $\Delta x$  и  $\Delta y$  взяты графически с плана.

Учитывая деформацию бумаги, координаты точки А следует вычислять по формулам

$$\begin{aligned} x_A &= x + \frac{L}{\Delta x + \Delta x_1} \Delta x \\ y_A &= y + \frac{L}{\Delta y + \Delta y_1} \Delta y \end{aligned} \quad (139)$$

где  $L$  — длина стороны координатной сетки.

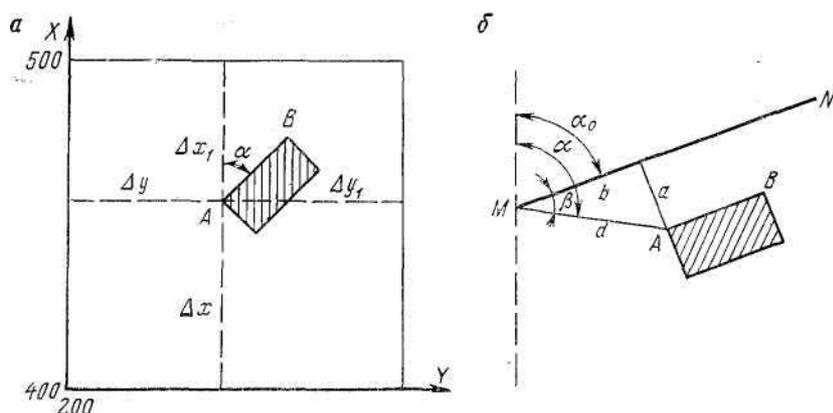


Рис. 73. Графическое и аналитическое определение координат точки А

Аналогично можно получить и координаты точки В.

Аналитический метод наиболее трудоемкий, но более точный. Сущность метода состоит в том, что все точки проекта, определяющие положение сооружения в горизонтальной плоскости, выражаются прямоугольными координатами  $x_{н\mu}$ , вычисленными аналитически.

Допустим, что положение точки А (рис. 73, б) на плане задано отрезками  $a$  и  $b$  от красной линии застройки  $MN$ , а координаты  $X_M$  и  $Y_M$  точки  $M$  известны. Для вычисления координат точки А необходимо знать дирекционный угол  $\alpha$  линии  $MA$  и ее длину  $d$ .

Из рис. 73, б видно, что

$$\alpha = \alpha_0 + \beta, \quad (140)$$

где  $\alpha_0$  — дирекционный угол линии  $MN$ , а

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a}{b} \quad (141)$$

$$d = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (142)$$

Координаты точки А будут равны

$$\begin{aligned} X_A &= X_M + d \cos \alpha \\ Y_A &= Y_M + d \sin \alpha \end{aligned} \quad (143)$$

Координаты точки В можно вычислить по формулам

$$x_B = x_A + AB \cos \alpha_0;$$

$$y_B = y_A + AB \sin \alpha_0.$$

Ось  $AB$  сооружения параллельна красной линии  $MN$ . Точность аналитического метода зависит от точности вычислений, следовательно, вычисление может проводиться с любой заданной точностью и не зависит от масштаба плана.

Сущность комбинированного метода состоит в том, что некоторые точки, линии и дирекционные углы проектируемого сооружения определяются графически, а другие — аналитически. Например, координаты точки А (см. рис. 73, б) можно получить графически, а координаты точки В вычислить аналитически по формулам (144). Если ось  $AB$  сооружения не параллельна

красной линии, то дирекционный угол этой оси можно измерить транспортиром.

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И НАКЛОННОЙ ПЛОЩАДОК

Одной из составных частей генерального плана является проект вертикальной планировки застраиваемой территории. В соответствии с этим проектом естественный рельеф строительной площадки преобразуется путем выполнения земляных работ.

Проектирование горизонтальной площадки проводится по топографическим планам масштабов 1:5000—1:500 или по результатам нивелирования поверхности при условии нулевого баланса земляных работ, т. е. при условии, чтобы объемы выемок и насыпей были примерно равны между собой. Для решения этой задачи строительный участок (рис. 74, а) нивелируют по сетке квадратов со сторонами от 10 до 50 м и находят среднюю отметку планируемого участка.

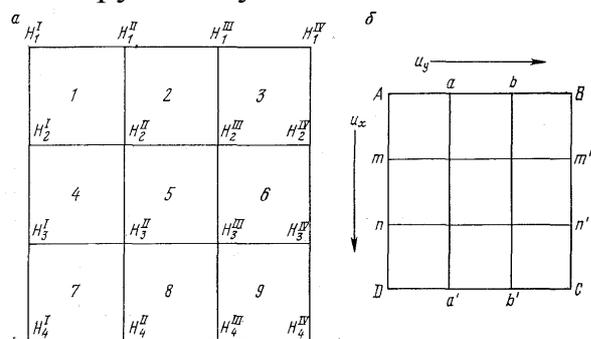


Рис. 74. Сетка квадратов:

а, — для проектирования горизонтальной площадки; б — для проектирования наклонной площадки

Допустим, вычисленные отметки углов в квадрате 1 оказались  $H'_1, H''_1, H'_2, H''_2$ , в квадрате 2 —  $H''_1, H'''_1, H''_2, H'''_2$  и т. д. Среднее значение отметки в каждом квадрате

$$H_1 = \frac{H'_1 + H''_1 + H'_2 + H''_2}{4}$$

$$H_2 = \frac{H''_1 + H'''_1 + H''_2 + H'''_2}{4} \quad (145)$$

и т. д.

Проектная отметка площадки вычисляется как среднее значение из отметок квадратов

$$H_0 = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n}{n} \quad (146)$$

или

$$H_0 = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 4\sum H_4}{4n} \quad (147)$$

где  $n$  — число квадратов;  $\sum H_1$  — сумма отметок вершин, входящих в один квадрат;  $\sum H_2$  — сумма отметок вершин, общих для двух квадратов;  $\sum H_4$  —

сумма отметок вершин, общих для четырех квадратов.

Рабочие отметки всех вершин квадратов вычисляются по формулам

$$\begin{aligned}\Delta h'_1 &= H_0 - H'_1 \\ \Delta h''_1 &= H_0 - H''_1 \\ \Delta h'''_1 &= H_0 - H'''_1 \\ \Delta h^{IV}_1 &= H_0 - H^{IV}_1\end{aligned}\quad (148)$$

и т. д.

Контролем правильности вычисления рабочих отметок служит формула

$$\Delta h_0 = \frac{\sum \Delta h_1 + 2 \sum \Delta h_2 + 4 \sum \Delta h_4}{4n} \approx 0 \quad (149)$$

Проектирование наклонной площадки проводится для обеспечения стока воды с заданным продольным уклоном  $u_x$ , поперечным  $u_y$  и отметкой исходной точки  $H_A$  (рис. 74, б).

Проектная отметка любой точки, расположенной на расстояниях  $d_x$  и  $d_y$  от начальной точки  $H_A$ , соответственно в направлении осей абсцисс и ординат, вычисляется по формуле

$$H_{np} = H_A + d_x u_x + d_y u_y. \quad (150)$$

Рабочие отметки всех вершин квадратов вычисляются как разность проектных и фактических отметок.

Вычисленные проектные и рабочие отметки при проектировании горизонтальной и наклонной площадок выписывают на план над соответствующими фактическими отметками. Для проведения земляных работ по вертикальной планировке площадок рабочие отметки выписывают со знаком плюс или минус на сторожках, забитых в землю в каждой вершине квадрата. Положительная рабочая отметка выражает высоту насыпи, а отрицательная — глубину выемки.

#### **4. СОСТАВЛЕНИЕ КАРТОГРАММЫ ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ И ВЫЧИСЛЕНИЕ ОБЪЕМА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ**

Графическим документом по вертикальной планировке является картограмма земляных работ, составленная на основе нивелирного плана крупного масштаба (рис. 75). На картограмме указываются фактические, проектные и рабочие отметки, положение линии нулевых работ. Положение точек нулевых работ на сторонах квадратов определяют аналитическим способом по формуле

$$X = \frac{d}{|\Delta h_1| + |\Delta h_2|} \cdot |\Delta h_1| \quad (151)$$

где  $d$  — длина стороны квадрата;  $\Delta h_1$  и  $\Delta h_2$  — рабочие отметки.

Определение точек нулевых работ, расположенных на сторонах

квадратов, проводится между смежными рабочими отметками, имеющими разные знаки.

Пример. Рабочие отметки точек  $\Delta h_1$  и  $\Delta h_2$  (см. рис. 75) равны соответственно  $-0,10$  м и  $+0,15$  м, сторона квадрата — 20 м.

$$x=20: (0,10 + 0,15) \times 0,10$$

Точка нулевых работ находится на расстоянии 8,0 м от вершины квадрата с рабочей отметкой  $-0,10$  м.

Соединив точки нулевых работ, получают линию нулевых работ.

Квадраты, имеющие в своих вершинах рабочие отметки с разными знаками, называются смешанными, а с одинаковыми — однородными или чистыми.

Объем земляных работ наиболее часто вычисляют методом четырехгранных или методом трехгранных призм.

Объем четырехгранной призмы определяется по формуле

$$v = \frac{\sum \Delta h}{4} S \quad (152)$$

где  $\frac{\sum \Delta h}{4} S$  — высота однородной призмы, равная среднему арифметическому из рабочих отметок;  $s$  — площадь основания призмы.

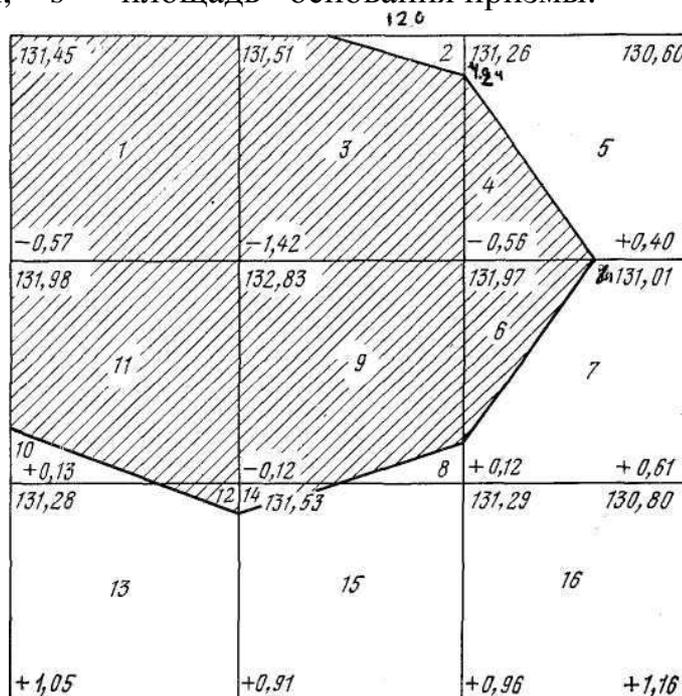


Рис. 75. Картограмма земляных работ

Объем трехгранной призмы вычисляется по формуле

$$v = \frac{\sum \Delta h}{3} \cdot s \quad (153)$$

Объем пятигранных призм в смешанных квадратах целесообразно

вычислять как разность объемов четырехгранных и трехгранных призм.

Подсчет объемов земляных работ, насыпей и выемок по методу квадратов производится для каждого квадрата или части его по формулам (152) и (153).

После подсчетов объемов для отдельных квадратов вычисляют общий объем насыпи и выемки. Разница в объемах насыпи и выемки допустима до 3%. Пример вычисления проектной отметки горизонтальной площадки и объема земляных работ по данным рис. 75 приведен в табл. 17 и 18.

Таблица 17  
Вычисление проектной отмет

$\Sigma H_1$	$2\Sigma H_2$	$4\Sigma H_4$	$\Sigma H_1 + 2\Sigma H_2 + 4\Sigma H_4$	$4n$	$H_0$
522,66	2 097,52	2 110,48	4 730,66	36	131,41

Таблица 18  
Ведомость вычисления объема земляных работ

№ фигур	$\Sigma \Delta h, м$	$\Sigma \Delta h : k, м$	$s, м$	$v_n, м$	$v, м^3$	
					Насыпь +	Выемка -
1	- 2,13		400			213,0
2+3	- 1,93		400	- 193,0	1,3	
2	+0,15	+0,05	25,32			194,3
3						
4+5	+ 0,80		400	+80,0		
4	- 0,56	- 0,19	92,31			17,5
5					97,5	
6+7	+0,57		400	+ 57,0		
6	- 0,56	- 0,19	96,52			17,5
7					74,5	
8+9	- 1,98		400	- 198,0		
8	+0,12	+0,04	17,50			198,7
9					0,7	
10+11	— 1,98		400	—198,0		
10	+0,13	+0,04	19,29			198,8
11					0,8	
12+ 13	+ 1,97		400	+ 197,0		
12	—0,12	- 0,04	10,13			0,4
13					197,4	
14+ 15	+ 1,87		400	+ 187,0		
14	- 0,12	—0,04	10,55			0,4
15					187,4	
16	+2,85		400		285,0	
				$\Sigma$	844,6	840,6
$\frac{ \Delta v }{ v_H  +  v_B } = \frac{4 * 100}{844.6 + 840.6} = 0.23\%$						

В табл. 18 обозначено:

$\Sigma\Delta h$  — алгебраическая сумма рабочих отметок вершин фигуры;  
 $k$  — число вершин фигуры (4 или 3);  $s$  — площадь фигуры в кв. м;  
 $v_n$  — суммарный объем земляных работ в смешанном квадрате.

Объем пятигранной призмы вычисляется как разность объемов смешанной четырехгранной ( $v_n$ ) и трехгранной призм. Трехгранные призмы следует нумеровать четными числами (2, 4, 6, 8, 10, 12 и т. д.).

### Вопросы для самопроверки

1. Каковы виды генеральных планов при строительстве, их содержание?
2. Что называется красной линией застройки и как она выносится на местность?
3. Каковы методы подготовки данных для перенесения проектов зданий и сооружений на местность?
4. В чем сущность графического метода подготовки данных для перенесения сооружения на местность?
5. В чем сущность аналитического метода подготовки данных для перенесения сооружения на местность?
6. В чем сущность комбинированного метода подготовки данных для перенесения сооружения на местность?
7. По какой формуле вычисляется проектная отметка при проектировании горизонтальной площадки?
8. Как вычисляются и контролируются рабочие отметки при проектировании горизонтальной площадки?
9. Что такое картограмма земляных работ и как она составляется?
10. Как определяется положение точки нулевых работ при составлении картограммы земляных работ?
11. Как вычисляется объем земляных работ при планировке горизонтальной площадки?
12. Как вычисляются проектные отметки вершин квадратов при проектировании наклонной площадки?

## Лекция-16

### ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПЕРЕНЕСЕНИИ ПРОЕКТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА МЕСТНОСТЬ

#### План

1. Сущность разбивочных работ
2. Перенесение на местность проектного горизонтального угла
3. Перенесение на местность проектной линии
4. Перенесение на местность проектов зданий и сооружений.  
Способы перенесения
5. перенесение на местность проектной отметки, линии и плоскости заданных уклонов
6. Передача отметок на дно глубокого котлована и высокие части сооружения
7. Разбивка на местности круговых кривых
8. Определение высоты сооружения

1. Разбивка сооружений или перенесение проекта в натуру заключается в нахождении и закреплении на местности точек и линий, определяющих плановое и высотное положение зданий и сооружений. Разбивочные работы включают перенесение на местность заданных углов, линий заданной длины, точек с заданной отметкой, линий и плоскостей заданных уклонов.

Для перенесения проекта зданий и сооружений на местность составляются при проектировании разбивочные чертежи, на которых записываются данные, необходимые для перенесения проекта в натуру.

#### 2. ПЕРЕНЕСЕНИЕ НА МЕСТНОСТЬ ПРОЕКТНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА

Перенесение или разбивка в натуре проектного горизонтального угла заключается в отыскании и закреплении на местности направления, образующего с исходным направлением угол, равный проектному. Предположим, что надо построить угол  $\beta$  в точке  $N$  вправо от линии  $NM$  (рис. 76, а). Для этого теодолит устанавливают в рабочее положение в точке  $N$ , совмещают алидаду с лимбом на нулевом отсчете и ориентируют теодолит при закрепленной алидаде по линии  $NM$  при каком-либо круге — правом или левом. Закрепляют лимб, открепляют алидаду и откладывают на лимбе заданный угол. Затем на местности путем обычного вешения намечают точку  $A_1$ . Далее строят значение угла таким же путем при другом положении круга и получают точку  $A_2$ . Расстояние между отмеченными точками  $A_1$  и  $A_2$  делят пополам и намечают точку  $A$ . Так будет построен угол  $\beta$ , свободный от влияния коллимационной погрешности. Аналогично делается построение угла  $\beta$  в точке  $M$  влево от линии  $MN$  (рис. 76, б) с той разницей, что совмещают алидаду с лимбом на отсчете, равном проектному углу, и ориентируют теодолит по линии  $MN$ . Открепляют алидаду и совмещают с лимбом на нулевом отсчете,

получают точку  $B_1$  а при другом круге точку  $B_2$ . Далее намечают точку  $B$ . Так будет построен угол  $\beta$  при точке  $M$  влево от линии  $MN$ . Правильность построения угла проверяют его измерением.

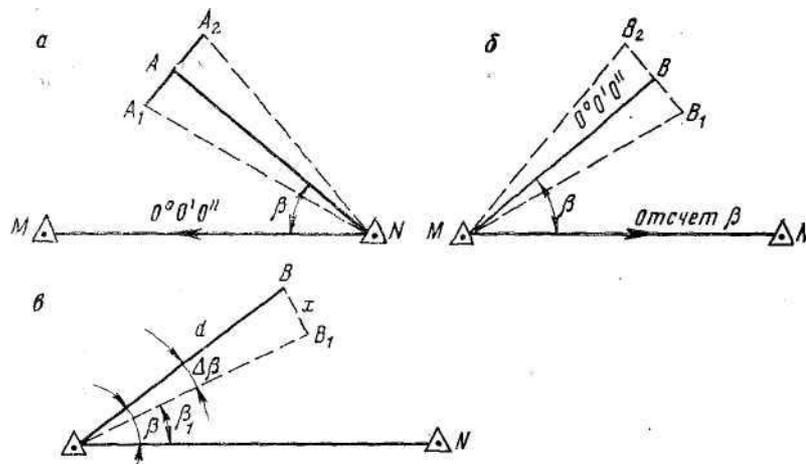


Рис. 76. Схемы перенесения на местность проектного угла

Если необходимо построить проектный угол  $\beta$  с повышенной точностью, то построенный при одном положении круга угол измеряют 2—3 раза и получают его более точное значение  $\beta_1$  (рис. 76, в). Далее находим

$$\Delta\beta = \beta - \beta_1 \quad (154)$$

Зная по проекту расстояние  $MB = d$ , вычисляют линейную поправку по формуле

$$x = d \frac{\Delta\beta''}{\rho} \quad (155)$$

где  $\rho$  — число секунд в радиане, равное  $206265''$ .

Откладывая на местности от точки  $B_1$  перпендикулярно к линии  $MB_1$  величину  $x$ , получим точку  $B$ . Угол между  $MN$  и направлением на точку  $B$  и будет проектный угол  $\rho$ , построенный с повышенной точностью.

*Пример.* Требуется построить проектный угол  $\rho = 45^\circ 10'$  в точке  $M$ . Угол  $\beta_1$  определенный из нескольких измерений, равен  $45^\circ 09' 24''$ ;  $d=100$  м. Согласно формуле (154)  $\Delta\rho = 36''$ . Тогда

$$x = \frac{100000 * 36}{206265} = 18 \text{ мм.}$$

Следовательно, для получения значения угла с повышенной точностью необходимо точку  $B_1$  передвинуть по перпендикуляру к линии  $MB_1$  на 18 мм.

### 3. ПЕРЕНЕСЕНИЕ НА МЕСТНОСТЬ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ

Для перенесения на местность проектной линии с помощью лент и

рулеток от исходной точки откладывают в заданном направлении наклонное расстояние, горизонтальное проложение которого равно проектному значению. Наклонное расстояние вычисляют по формуле

$$D = d + \Delta \quad (156)$$

где  $D$  — наклонное расстояние;  $d$  — длина проектной линии;  $\Delta$  — сумма поправок за наклон линии, компарирование мерного прибора и температуру.

Поправка за наклон линии вычисляется по формуле

$$\Delta d_v = 2D \sin^2 \frac{\nu}{2}, \quad (157)$$

где  $D = d/\cos \nu$ ;  $\nu$  — угол наклона линии. При  $\nu$  менее  $5^\circ$   $D$  в формуле (157) можно заменить через  $d$ . Поправку за наклон можно также вычислить по формуле

$$\Delta d_v = \frac{h^2}{2d} \quad (158)$$

Угол наклона или превышение  $h$  можно определить по плану или измерить в натуре. Поправка за наклон должна вводиться в результат измерений со знаком плюс.

Поправка к длине линии за компарирование определяется по формуле

$$\Delta d_k = \frac{d}{l} (l_r - l) \quad (159)$$

где  $l$  — номинальная длина мерного прибора например 20 м;  $l_r$  — фактическая длина мерного прибора.

Поправка за температуру определяется по формуле

$$\Delta d_k = \alpha d (t - t_0), \quad (160)$$

где  $\alpha$  — температурный коэффициент мерного прибора, для стали  $\alpha = 0,0000125$ ;  $t$  — температура при измерении линии;  $t_0$  — температура, при которой компарировался мерный прибор.

Пример. При разбивке цеха требуется отложить проектную линию 200,00 м. Поправка за наклон, вычисленная по формуле (157) или (158), оказалась равной 20,2 см; поправка за компарирование, вычисленная по формуле (159), равна — 2,0 см; поправка за температуру, вычисленная по формуле (160), равна — 2,4 см.

Общая поправка будет равна

$$\Delta = 20,2 + 2,0 + 2,4 = 24,6 \text{ см.}$$

Поправка за компарирование и температуру вводится с обратным знаком. Таким образом, на местности следует отложить

$$D = 200,000 + 0,246 = 200,246 \text{ м.}$$

#### 4. ПЕРЕНЕСЕНИЕ НА МЕСТНОСТЬ ПРОЕКТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. СПОСОБЫ ПЕРЕНЕСЕНИЯ

По данным геодезической подготовки проект переносится на местность, т. е. проводится разбивка главных и основных осей зданий и сооружений.

Главными осями зданий и сооружений называются две взаимно перпендикулярные линии (*I-I* и *II-II*) (рис. 77, а), по отношению к которым указываются данные для выноса в натуру сооружения или отдельных его частей.

Основными осями называются линии, определяющие внешний контур здания или сооружения в плане.

Главные и основные оси являются геодезической основой разбивочных работ. Главные оси разбиваются в тех случаях, когда здания или сооружения имеют сложную конфигурацию или здания связаны технологическими процессами. Для выноса в натуру зданий и сооружений простой конфигурации разбиваются основные оси. Главные и основные оси разбиваются на местности от пунктов плановой разбивочной сети. От опорных пунктов разбивается в натуре только одна из осей, от которой в последующем проводится дальнейшая разбивка. Разбивку осей начинают от выноса двух крайних точек, определяющих положение наиболее длинной продольной оси.

Перенесение в натуру проектных точек проводится различными способами: прямоугольных координат, полярных координат, прямой угловой засечки, линейной засечки, створной засечки.

С п о с о б п р я м о у г о л ь н ы х к о о р д и н а т применяется для разбивки зданий и сооружений, расположенных вблизи линий геодезической опорной сети или красной линии (рис. 77, б). Сущность способа заключается в том, что вдоль прямой *MN* откладывают отрезок  $d_1$ , а затем теодолитом из полученной точки восставляют перпендикуляр длиной  $d_2$ , и получают точку *A* угла здания.

По аналогии с точкой *A* получают точку *B*. Ось *AB* параллельна линии *MN*. Для контроля измеряют линию *AB* и определяют ошибку в ее построении

$$f_d = AB_{изм} - AB_{пр}. \quad (161)$$

Относительная ошибка в длине выносимой линии  $AB=a$  в пределах 1:2000-1:10000, в зависимости от вида и назначения

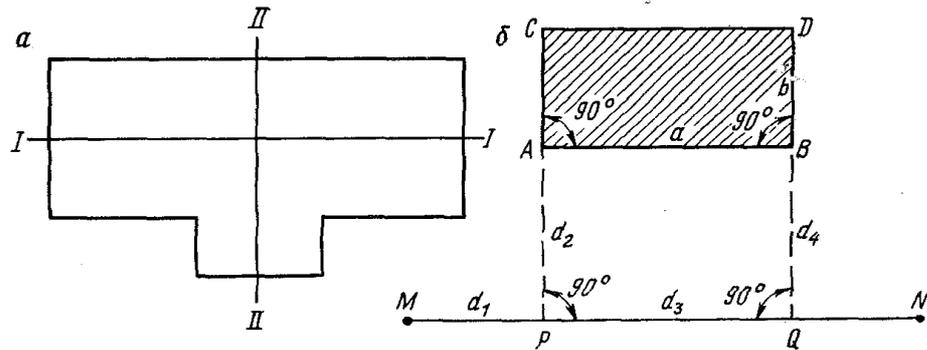


Рис. 77. Главные оси. Схема перенесения оси  $AB$  сооружения на местность способом перпендикуляров

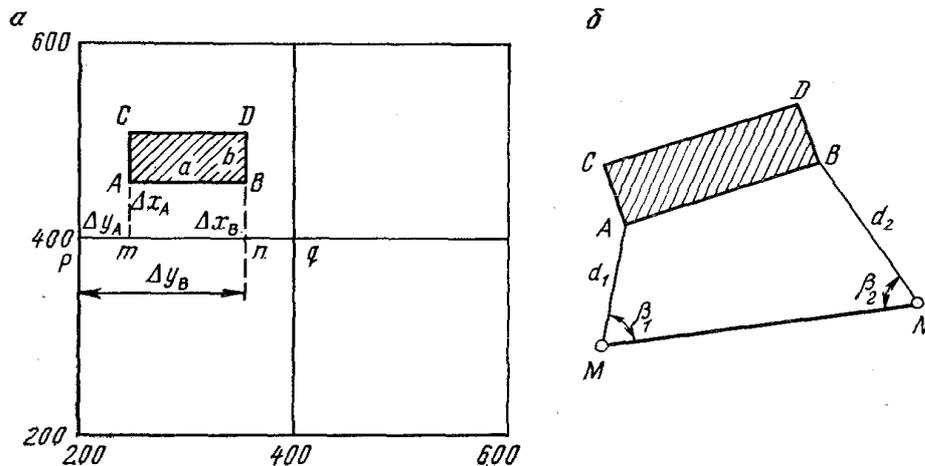


Рис. 78. Схемы перенесения на местность осей сооружений:  
 $a$  — от строительной сетки;  $b$  — полярным способом

разбиваемого здания или сооружения. Для промышленных сооружений относительная ошибка должна быть наименьшей. Линия  $AB$  является основной для разбивки всех других осей сооружения. Построением прямых углов в точках  $A$  и  $B$  и построением проектных линий  $AC$  к  $BD$  получают на местности проектные точки  $C$  и  $D$ . Для контроля измеряют линию  $CD$  и диагонали  $AD$  и  $BC$  и сравнивают их с проектными. Разница должна быть допустимой.

Если ось  $AB$  сооружения не параллельна исходной линии, то необходимо вычислить отрезки  $d_3$  и  $d_4$ . Положение точки  $A$  определено заданными отрезками  $d_1$  и  $d_2$ . Решая треугольник, у которого ось  $AB$  будет гипотенузой, а угол  $\beta$  между ней и линией, параллельной исходной линии, проведенной через точку  $A$

**Вычисление данных для разбивки здания способом прямоугольных координат с использованием строительной сетки**

Таблица 19

Названия вершин	Координаты, м		Величины, м
	X	Y	
A	430	260	$\Delta x_A = \Delta x_B = 430 - 400 = 30$
B	430	340	$\Delta y_A = 260 - 200 = 60$
C	450	260	$\Delta y_B = 340 - 200 = 140$

D	450	340	$a = 340 - 260 = 80$ $b = 450 - 430 = 20$
---	-----	-----	--

А, получим  $d_3 = AB \cdot \cos \beta$ ,  $d_4 = d_2 + AB \cdot \sin \beta$ . Угол  $\beta$  можно измерить транспортиром.

Способ прямоугольных координат широко применяют для разбивки зданий и сооружений при наличии строительной сетки (рис. 78, а).

Допустим, требуется произвести разбивку осей здания по известным координатам точек их пересечения. Для построения, например, оси АВ сооружения вычисляют  $\Delta x_A, \Delta y_A, \Delta x_B$  и  $\Delta y_B$  и, откладывая на местности под прямыми углами их величины, получают проектные точки А и В.

Далее получают проектные точки С и D, как указано выше, и контролируют разбивку. Данные для разбивки приведены в табл. 19.

С п о с о б п о л я р н ы х к о о р д и н а т (полярный способ) применяется на открытой и удобной для измерения линий местности.

Пусть требуется найти на местности положения точек А и В от пунктов геодезической сети М и N (рис. 78, б). Для определения дирекционных углов и расстояний между опорными и проектными точками решают обратные геодезические задачи по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha_{MA} = \frac{Y_A - Y_M}{X_A - X_M} \quad (162)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{NB} = \frac{Y_B - Y_N}{X_B - X_N}$$

$$d_1 = \sqrt{(Y_A - Y_M)^2 + (X_A - X_M)^2} \quad (163)$$

$$d_2 = \sqrt{(Y_B - Y_N)^2 + (X_B - X_N)^2}$$

или

$$d = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha} \quad (164)$$

Таблица 20

Определение координат точек А и В (см. рис. 78, б)

Параметры	А. В	Исходные данные
$a$ Румб $\gamma$ D	$70^\circ 15'$ СВ: $70^\circ 15'$ 80,00	1. Координаты $x_1$ и $y_1$ точки А и дирекционный угол $a_{AB}$ определены графически. 2. $d = AB = 80,00$ м — ось здания
$X_1$ $\Delta x$ $x_2$	+810,40 +27,03 +837,43	3. Координаты $x_2$ и $y_2$ точки В вычислены по формулам $x_2 = x_1 + d \cos \gamma$ $y_2 = y_1 + d \sin \gamma$
$Y_1$ $\Delta y$ $Y_2$	+494,20 +75,29 +569,49	

Находим углы

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \alpha_{MN} - \alpha_{MA}; \\ \beta_2 &= \alpha_{NB} - \alpha_{NM}.\end{aligned}\quad (165)$$

Затем на местности строят углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  откладывают расстояния  $d_1$  и  $d_2$  и получают точки  $A$  и  $B$ , которые закрепляют кольями.

Для контроля измеряют линию  $AB$  и получают разность

$$f_d = AB_{изм} - AB_{пр}, \quad (166)$$

$f_d / AB$  – в пределах 1: 2000— 1 :10 000.

Вычисление дирекционных углов и длин линий  $MA$  и  $NB$  (см. рис. 78, б)

Таблица 21

Параметры	$MA$	$NB$	Исходные данные
$x_1$	+750,35	+787,04	1. $x_1$ и $x_2$ - координаты опорных точек $M$ и $N$ . 2. $\alpha_{MN} = 75^{\circ}30'$ дирекционный угол линии $MN$ . 3. $x_2$ и $y_2$ - координаты точек $A$ и $B$ , взяты из табл.20
$x_2$	+810,40	+837,43	
$\Delta x = x_2 - x_1$	+60,05	+50,39	
$y_1$	+464,28	+606,15	
$y_2$	+494,20	+569,49	
$\Delta y = y_2 - y_1$	+29,92	—36,66	
$\text{tg } r$	0,49825	—0,72753	
Румб $r$	СВ : $26^{\circ}29,1'$	СЗ : $36^{\circ}02,2'$	
$A$	$26^{\circ}29,1'$	$323^{\circ}57,8'$	
$d = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$	67,09	62,31	
$d = \frac{\Delta x}{\cos r} = \frac{\Delta y}{\sin r}$	67,09	62,31	

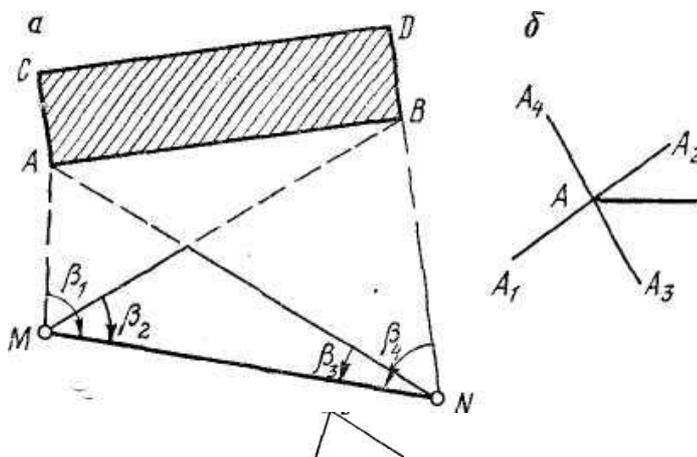


Рис. 79. Схемы перенесения на местность оси сооружения способом угловой засечки

Построением прямых углов в точках А и В и линий АС и ВD получают точки С и D. Пример вычисления данных для разбивки полярным способом приведен в табл. 20 и 21.

По дирекционным углам линий вычисляют углы

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \alpha_{MN} - \alpha_{MA} = 75^\circ 30' - 26^\circ 29,1' = 49^\circ 0,9'; \\ \beta_2 &= \alpha_{NB} - \alpha_{NM} = 323^\circ 57,8' - 255^\circ 30' = 68^\circ 27,8'; \\ d_1 &= 67,09 \text{ м}; \quad d_2 = 62,31 \text{ м}.\end{aligned}$$

*Способ прямой угловой засечки* применяется в тех случаях, когда непосредственно измерить линии затруднительно. Сущность способа заключается в построении на местности углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  и  $\beta_4$ , образованных исходной стороной и направлениями с ее конечных точек М и N на определяемые точки А и В (рис. 79, а). Углы засечки должны быть не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ .

Решая обратные геодезические задачи, находим дирекционные углы а соответствующих направлений. По дирекционным углам направлений вычисляют углы.

$$\left. \begin{aligned}\beta_1 &= \alpha_{MN} - \alpha_{MA} \\ \beta_2 &= \alpha_{MN} - \alpha_{MB} \\ \beta_3 &= \alpha_{NA} - \alpha_{NM} \\ \beta_4 &= \alpha_{NB} - \alpha_{NM}\end{aligned} \right\} \quad (167)$$

Полевые работы по перенесению на местность точек способом угловой засечки выполняются в следующем порядке.

В точках М и N строят теодолитом углы  $\beta$ , в точках А и В – створы, как показано на рис. 79, б.

В точках А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub> и А<sub>4</sub> забивают колья, а в колья гвозди, между которыми натягивают шнуры. Пересечение шнуров будет в проектной точке А. Аналогично получают точку В. Для контроля измеряют линию АВ и сравнивают ее с проектной. Разница должна быть допустимой.

Таблица 22

Определение координат точек А и В (см. рис. 79, а)

Параметры	А, В	Исходные данные
А	82°00'	1. Координаты $x_1$ и $y_1$ точки А и дирекционный угол $\alpha_{AB}$ определены графически
Румб r	СВ : 82°00'	
d	72 00	2. $d = AB = 72,00$ м — ось здания
$x_1$	+672,60	
$\Delta x$	+ 10,02	3. Координаты $x_2$ и $y_2$ точки В вычислены по формулам
$x_2$	+682,62	
$y_1$	+560,40	$x_2 = x_1 + d \cos r$
$\Delta y$	+71,30	
$Y_2$	+631,70	$y_2 = y_1 + d \sin r$

Построением в точках А и В прямых углов и линий АС и ВD получают точки С и D.

Пример вычисления данных для разбивки способом угловой засечки приведен в табл. 22 и 23.

По дирекционным углам линий вычисляют углы

$$\begin{aligned}\beta_1 &= \alpha_{MN} - \alpha_{MA} = 98^\circ 23,9' - 2^\circ 10,7' = 96^\circ 13,2'; \\ \beta_2 &= \alpha_{MN} - \alpha_{MB} = 98^\circ 23,9' - 49^\circ 44,3' = 48^\circ 39,6'; \\ \beta_3 &= \alpha_{NA} - \alpha_{NM} = 304^\circ 23,7' - 278^\circ 23,9' = 25^\circ 59,8'; \\ \beta_4 &= \alpha_{NB} - \alpha_{NM} = 341^\circ 10,6' - 278^\circ 23,9' = 62^\circ 46,7'.\end{aligned}$$

Способ линейной засечки применяется на ровной, открытой местности, когда проектные расстояния  $d_1$  и  $d_2$  (рис. 80, а) не превышают длины мерного прибора.

Таблица 23

Вычисление дирекционных углов линий МА, МВ, NA и NB (см. рис. 79, а)

Пара - метры	МА	МВ	NA	NB	Исходные данные
$x_1$	+620,56	+620,56	+605,88	+605,88	1. $x_1$ и $x_2$ – координаты опорных точек М и N 2. $\alpha_{MN} = 98^\circ 23,9'$ 3. $x_2$ и $y_2$ - координаты точек А и В, взяты из табл. 22
$x_2$	+672,60	+682,62	+672,60	+682,62	
$x_2 - x_1$	+52,04	+62,06	+66,72	+76,74	
$y_1$	+558,42	+558,42	+657,86	+657,86	
$y_2$	+560,40	+631,70	+560,40	+631,70	
$y_2 - y_1$	+ 1,98	+73,28	—97,46	—26,16	
$\text{tg } r$	+0,03805	+ 1,18079	— 1,46073	-0,34089	
Румб $r$	СВ : $2^\circ 10,7'$	СВ : $49^\circ 44,3'$	СЗ : $55^\circ 36,3'$	СЗ : $18^\circ 49,4'$	
А	$2^\circ 10,7'$	$49^\circ 44,3'$	$304^\circ 23,7'$	$341^\circ 10,6'$	

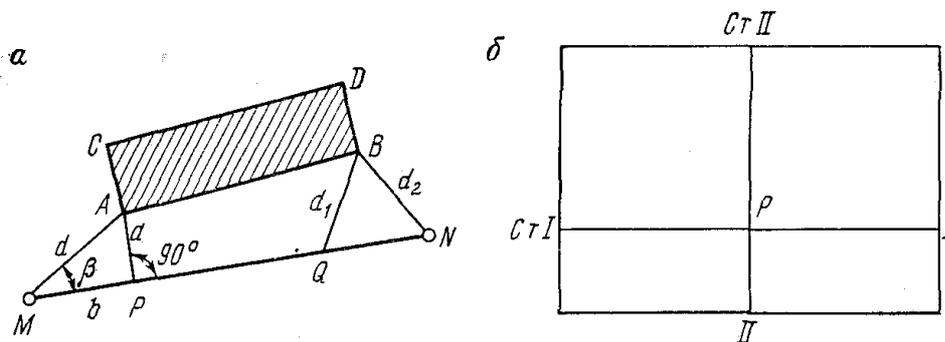


Рис. 80. Схемы перенесения на местность оси сооружения способом линейной засечки и точки P— способом створов

Координаты точек М и N, а также дирекционный угол  $\alpha_{MN}$  линии MN геодезической опорной сети, например, линии полигонометрического хода или красной линии, известны.

Координаты точки А можно вычислить по формулам

$$\begin{aligned} x_A &= x_M + d \cos \alpha_{MA}, \\ y_A &= y_M + d \sin \alpha_{MA} \end{aligned} \quad (168)$$

где

$$\alpha_{MA} = \alpha_{MN} - \beta; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{a}{b}; \quad d = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Величинами отрезков а и b задаются. Координаты точки В вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} x_Q &= x_A + AB \cos \alpha_{AB}, \\ y_Q &= y_M + AB \sin \alpha_{AB} \end{aligned} \quad (169)$$

где АВ — проектная ось здания;  $\alpha_{AB}$  — дирекционный угол измеряется транспортиром.

Координаты точки Q на линии NM вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} x_Q &= x_N + NQ \cos \alpha_{NM}, \\ y_Q &= y_N + NQ \sin \alpha_{NM} \end{aligned} \quad (170)$$

Решая обратные геодезические задачи, находим  $d_1$  и  $d_2$ .

Полевые работы по перенесению на местность точки способом линейной засечки выполняются в таком порядке.

В точке Q закрепляется нулевое деление рулетки и радиусом, равным  $d_1$ , прочерчивают на местности дугу, затем нулевое деление рулетки закрепляют в точке N и прочерчивают дугу радиусом  $d_2$ . Точка пересечения дуг является искомой проектной точкой В.

Точка А на местность переносится методом перпендикуляров, но может быть перенесена также способом полярных координат. После получения на местности точек А и В проводится контрольное измерение линии АВ,

Таблица 24

Вычисление координат точек А, В и Q (см. рис. 80, а)

Параметры	М, А	А, В	Н, Q	Исходные данные
А	37°16,1'	59°30'	243°50'	$x_M = +1218,37$
Румб r	СВ : 37°16,1'	СВ : 59°30'	ЮЗ : 63°50'	$y_M = +1769,04$
D	11,18	75,00	12,00	$x_N = +1258,59$
$x_1$	+ 1218,37	+ 1227,27	+1258,59	$y_N = +1850,89$
$\Delta x$	+8,90	+38,07	—5,29	$\alpha = 63^\circ 50'$
$x_2$	+ 1227,27	+ 1265,34	+ 1253,30	a = 5,00м; b = 10,00 м
$y_1$	+ 1769,04	+ 1775,81	+ 1850,89	$\operatorname{tg} \beta = 0,5, \beta = 26^\circ 33,9'$
$\Delta y$	+6,77	+64,62	—10,77	$\alpha_{MA} = 63^\circ 50' - 26^\circ 33,9' = 37^\circ 16,1'$
$y_2$	+ 1775,81	+ 1840,43	+ 1840,12	$\alpha_{AB} = 59^\circ 30'$ — измерен транспортиром; AB = 75,00 м — ось здания; NQ = 12,00 м

определяется относительная ошибка перенесения и ее допустимость. Далее определяются на местности известным способом точки С и D.

Пример вычисления данных разбивки способом линейной засечки приведен в табл. 24 и 25.

Желательно, чтобы треугольник QBN был близким к равностороннему.

Перенесение на местность точки способом створной засечки (рис. 80, б) целесообразно применять при наличии закрепленных на местности главных или основных осей сооружения. Искомая точка Р определяется пересечением двух створов I—I и II—II, закрепленных на противоположных осях сооружения. Створы можно строить с помощью двух теодолитов или с помощью тонких проволок.

Таблица 25

Вычисление длин линий  $d_1$  и  $d_2$  (см. рис. 80, а)

Параметры	Q.B	NB	Исходные данные
$x_1$	+ 1253,30	+ 1258,59	Координаты точек N, Q и B взяты из табл. 24
$x_2$	+ 1265,34	+ 1265,34	
$x_2 - x_1$	+ 12,04	+6,75	
$y_1$	+ 1840,12	+ 1850,89	
$y_2$	+ 1840,43	+ 1840,43	
$y_2 - y_1$	+0,31	— 10,46	
D	12,04	12,45	
$d_1 = 12,04$ м	$d_2 = 12,45$ м		

## 5. ПЕРЕНЕСЕНИЕ НА МЕСТНОСТЬ ПРОЕКТНОЙ ОТМЕТКИ, ЛИНИИ И ПЛОСКОСТИ ЗАДАНЫХ УКЛОНОВ

Перенесение на местность проектной отметки приходится делать довольно часто. Отметку выносят при закладке фундамента на дно глубокого котлована, на высокие части сооружения, на дно траншеи при укладке подземных коммуникаций и т. д.

Пусть требуется перенести на местность проектную отметку  $H_B$ , т. е. забить в точке В кол, верхний срез которого будет иметь отметку  $H_B$  (рис. 81). Для этого между репером А с известной отметкой  $H_A$  и точкой В устанавливают нивелир.

По рейке, стоящей на репере, производят отсчет  $a$  и вычисляют  $b = H_A + a - H_B$ .

После этого в точке В забивают кол так, чтобы отсчет по рейке, установленной на нем, был равен  $b$ , при котором высота пятки рейки и будет

равна проектной отметке.

Пример. Требуется забить кол в точке В с проектной отметкой  $H_B = 160,500$ . Отметка репера А равна  $H_A = 159,200$ . Отсчет  $a = 1925$ . Находим  $b = 159,200 + 1,925 - 160,500 = 625$  мм. Значит кол следует забивать постепенно с тем, чтобы отсчет по рейке, поставленной в точке В, был равен 625 мм.

Задача перенесения на местность линии и плоскости заданных уклонов возникает при строительстве линейных сооружений (дорог, трубопроводов и т. п.), а также аэродромов, городских площадей и др.

Допустим, требуется от точки А на местности с отметкой  $H_A$  разбить линию АВ с уклоном  $+i$  (рис. 82, а). Находим

$$H_B = H_A + id. \quad (171)$$

В точке В забивают кол с отметкой  $H_B$  так, как изложено выше. Промежуточные точки разбивают при помощи наклонного луча нивелира, теодолита или визирок. Если превышение одной точки над другой невелико, то применяют нивелир, в противном случае — теодолит, у которого труба устанавливается в необходимом направлении. Нивелир устанавливают в точке А так, чтобы один из подъемных винтов был расположен по линии АВ, а линия, соединяющая два других винта, была перпендикулярна к линии АВ.

При помощи подъемного винта, расположенного по линии АВ, ставят трубу на отсчет по рейке в точке В, равный высоте прибора L. После этого в точках С и D забивают колья такой высоты, чтобы отсчет по рейке, поставленной на эти колья, равнялся высоте прибора.

Для разбивки промежуточных точек при помощи трех визирок поступают так. В крайних точках А и В (рис. 82, б) устанавливают отвесно две визирки

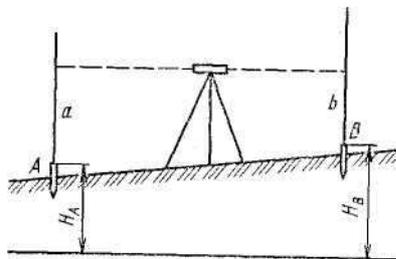
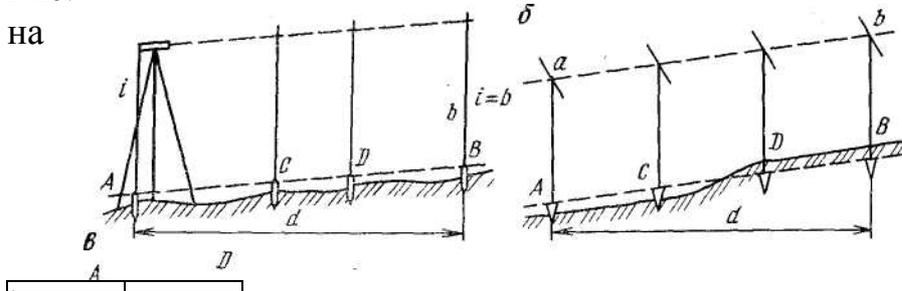


Рис. на



81. Схема перенесения местности проектной отметки а

Рис. 82. Схемы перенесения на местность наклонной линии и плоскости

. Затем третья визирка последовательно устанавливается на колышки в точках С и D которые забивают так, чтобы верхняя грань визирок была на прямой аБ. Визирка представляет собой две сколоченные под прямым углом линейки: вертикальная длина — около 1,0 м поперечная — около 0,5 м, ширина линейки

—7—8 см.

При разбивке наклонной площадки прежде всего переносят на местность плановое и высотное положение точек А В С и D определяющих границы площадки (см. рис. 74, б) и плановое положение вершин квадратов. Затем проводят разбивку по высоте всех точек методами, изложенными выше. Если площадка небольшая, то ее разбивку можно выполнить с одной станции. Для этого предварительно разбивают на местности две взаимно перпендикулярные линии АВ и DC (рис. 82, в), из которых одна DC имеет уклон. На местность выносят проектные отметки точек А, В, С и D.

Отметки точек А и В равны проектной отметке точки D, а отметка точки С вычисляется по формуле  $H_C = H_D - ud$  где d- длина отрезка DC, а  $u$  -проектный уклон площадки. После этого нивелир устанавливают в точке D так, чтобы два его подъемных винта расположились по направлению линии АВ, а третий — по направлению DC. Далее приводят ось вращения нивелира в вертикальное положение, при этом отсчеты по рейкам, установленным в точках А и В должны быть равны высоте  $i$  прибора. Затем, визируя на рейку, стоящую в точке С, вращают третий подъемный винт до тех пор, пока отсчет по рейке будет равен высоте  $i$  прибора. При такой установке нивелира визирная ось трубы при вращении будет описывать плоскость, параллельную проектной плоскости площадки. Затем забивают колышки в промежуточных точках так, чтобы отсчет по рейке на каждом колышке был равен высоте прибора.

Вертикальная планировка площадки может выполняться с помощью лазерных геодезических приборов, осуществляющих контроль за работой землеройных машин.

## 6. ПЕРЕДАЧА ОТМЕТОК НА ДНО ГЛУБОКОГО КОТЛОВАНА И ВЫСОКИЕ ЧАСТИ СООРУЖЕНИЯ

В практике строительства приходится передавать отметки вниз на дно глубокого котлована и вверх на высокие части сооружения. В таких случаях для передачи отметки кроме рейки применяют стальную рулетку. Наблюдения ведут одновременно двумя нивелирами, один из которых установлен на поверхности, другой на дне котлована или на соответствующем монтажном горизонте. На рис. 83, а изображена передача отметки на дно глубокого котлована. Над котлованом устанавливают кронштейн (козел), к которому подвешивают рулетку с грузом на нулевом конце. Взяв отсчет  $a_1$  по рейке, установленной на репере А, поворачивают трубу по направлению к подвешенной рулетке и одновременно по обоим нивелирам делают отсчеты,  $b_1$  и  $a_2$  После этого нивелировщик, стоящий внизу, направляет трубу на рейку, установленную на кол В в котловане, и делает отсчет  $b_2$ - Зная отметку  $H_A$  репера А, получим отметку верхнего среза кола В, находящегося в котловане, по формуле

$$H_B = H_A + a_1 - (b_1 - a_2) \quad (172)$$

Для того, чтобы отметка  $H_B$  была равна проектной, отсчет по рейке, установленной на дне котлована, должен быть

$$b_2 = H_A + a_1 - (b_1 - a_2) - H_B \quad (173)$$

Получив отсчет, временный знак на дне котлована перемещают по вертикали до тех пор, пока по рейке не получится отсчет, равный вычисленному по формуле (173).

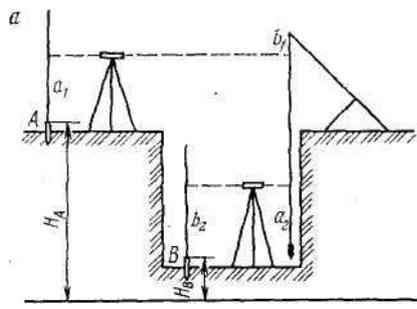


Рис. 83. Схемы передачи отметок на дно глубокого котлована и высокие части сооружения

Передача отметок на высокие части сооружения по существу ничем не отличается от перенесения отметок на дно глубокого котлована.

Допустим, требуется передать отметку от репера А на репер В, установленный на здании (рис. 83, б).

Отметка репера В вычисляется по формуле

$$H_B = H_A + a_1 + (a_2 - b_1) - b_2 \quad (174)$$

Вычислив отметку репера В на монтажном горизонте, на стене отмечают проектную отметку.

Пример. Отметка репера В, вычисленная по формуле (174), оказалась равной 125,200, проектная отметка равна 125,250. Значит проектная отметка выше репера (штыря) на 50 мм. Проектную отметку отмечают на стене соответствующего этажа.

## 7. РАЗБИВКА НА МЕСТНОСТИ КРУГОВЫХ КРИВЫХ

При строительстве линейных сооружений, при возведении отдельных зданий, имеющих закругленные части, возникает необходимость разбивки на местности круговых кривых. Разбивка кривой начинается с разбивки главных точек кривой, т. е. начала кривой А, конца кривой С и середины кривой М (рис. 84, а).

Для получения этих точек необходимо знать угол поворота  $\gamma = 180^\circ - \beta$ , радиус кривой R, длину касательной АВ—ВС=Т, называемую тангенсом, длину кривой АМС=К, биссектрису ВМ = Б

Угол  $\beta$  измеряется на местности теодолитом в точке В, радиус R назначается применительно к техническим нормативам для проектирования сооружения.

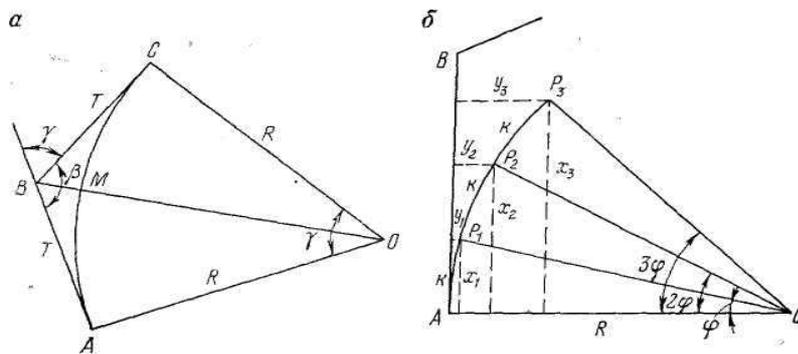


Рис. 84. Схемы разбивки главных точек кривой и детальной разбивки кривой способом перпендикуляров

Зная  $\gamma$  и  $R$ , остальные элементы могут быть получены по формулам

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \quad (175)$$

$$B = BO - MO = \frac{R}{\cos \gamma/2} - R = \frac{R}{\cos \gamma/2} (1 - \cos \frac{\gamma}{2})$$

или

$$B = 2R \frac{\sin^2 \frac{\gamma}{2}}{\cos \frac{\gamma}{2}} \quad (176)$$

$$K = \frac{\pi R}{180^\circ} \gamma \quad (177)$$

На практике все элементы кривой выбираются из специальных таблиц по аргументам  $\gamma$  и  $R$ . Пример приведен в табл. 26.

Отложив на местности от вершины угла поворота  $B$  отрезки  $BA = BC = T$ , а вдоль биссектрисы угла  $\beta$  отрезок  $B$ , получим начало кривой (НК), конец кривой (К.К) и середину кривой (С.К).

При строительстве возникает необходимость разбивать не только главные точки кривой, но и выполнять детальную разбивку кривых. В связи с этим между главными точками кривой разбивают промежуточные через 2, 5, 10, 20 м.

Наименьший интервал устанавливается для кривых с радиусом 20—100 м, наибольший — с радиусом 1000 м и более. В поактике строительства детальную разбивку кривых чаще

Таблица 26

Данные для разбивки главных точек кривых при  $R = 1$  м

$\nu$	$\Gamma$	$K$	$B$
45°00'	0,41421	0,78540	0,08239
01	438	569	246
02	455	598	252

03	472	627	259
04	490	656	265
05	507	685	272
06	524	714	278
07	541	743	285
08	558	773	291
09	575	802	298
10	592	831	305
11	609	860	311
12	626	889	318
13	643	918	324
14	660	947	331
15	667	976	337
16	694	0,79005	344
17	711	034	351
18	728	063	357
19	745	093	364
20	763	122	370

всего проводят способами прямоугольных и полярных координат. Первый способ применяется в условиях открытой площадки, второй — в стесненных условиях: при наличии застройки, высокой насыпи или глубокой выемки.

Сущность детальной разбивки кривых способом прямоугольных координат заключается в следующем. Допустим, что требуется провести детальную разбивку кривой радиуса  $R$ , т. е. найти точки  $P_1, P_2, P_3, \dots$  так, чтобы расстояния между ними по кривой были равны  $K$  (рис. 84, б). Примем касательную  $AB$  за ось  $X$ , а радиус  $R$  — за ось  $Y$ . Положение точек  $P_1, P_2, P_3$ , лежащих на кривой, можно определить прямоугольными координатами. Найдем сначала величину угла  $\Phi$ , соответствующего заданной дуге  $k$ .

$$\varphi = \frac{180}{\pi R} k \quad (178)$$

Из рис. 84, б видно, что

$$\begin{aligned} X_1 &= R \sin \varphi \\ Y_1 &= R - R \cos \varphi = 2R \sin^2 \frac{\varphi}{2} \end{aligned} \quad (179)$$

По аналогии могут быть определены координаты всех других точек  $P_2, P_3, \dots, P_n$ , т. е.

$$\begin{aligned} X_2 &= R \sin 2\varphi & Y_2 &= 2R \sin^2 \frac{2\varphi}{2} \\ X_3 &= R \sin 3\varphi & Y_3 &= 2R \sin^2 \frac{3\varphi}{2} \\ & \dots\dots\dots \end{aligned}$$

$$X_n = R \sin n\varphi \quad Y_n = 2R \sin^2 \frac{n\varphi}{2}$$

Абсциссы и ординаты откладывают по касательной и перпендикулярно ей при помощи рулетки или ленты. Перпендикуляры строят экером или теодолитом.

Разбивку кривой ведут от начала и конца кривой к середине. Координаты, вычисленные по формулам (179) и (180), на практике определяют при помощи таблиц для разбивки кривых.

В таблице часто вместо абсциссы дается разность «кривая без абсциссы». В таком случае, чтобы получить на касательной конец абсциссы, откладывают на ней от точки А вперед длину кривой и отступают назад на величину «кривая без абсциссы».

Точки  $P_1, P_2, P_3$  при этом способе получаются независимо одна от другой, поэтому ошибки не нарастают при переходе от одной промежуточной точки к другой. В этом достоинство способа прямоугольных координат при детальной разбивке кривой.

В табл. 26 записаны значения элементов разбивки главных точек кривой для углов поворота от  $45^\circ 00'$  до  $45^\circ 20'$  и радиуса кривой  $R = 1$  м. При угле поворота  $\gamma = 45^\circ 16'$  и  $R = 100$  м находим:

$$T = 41,69 \text{ м}; K = 79,00 \text{ м}; B = 8,34 \text{ м}.$$

Значения  $x$  и  $y$  для детальной разбивки кривой при  $R = 100$  м приведены в табл. 27.

Таблица 27 Детальная разбивка кривой

Точки кривой	R = 100 м		
	Расстояния точек от НК и КК, м	X, м	Y, м
P <sub>1</sub>	10	9,98	0,50
P <sub>2</sub>	20	19,87	1,99
P <sub>3</sub>	30	29,55	4,47
P <sub>4</sub>	40	38,94	7,89

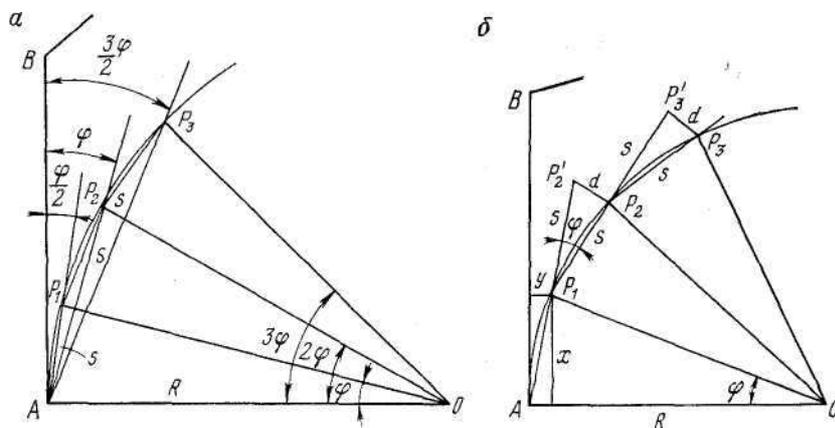


Рис. 85. Схемы детальной разбивки кривой способами: а — углов; б — хорд  
Способ полярных координат или способ углов основан на том, что углы с

вершиной в какой-нибудь точке А на окружности (рис. 85, а), образованные касательной и секущей и заключающие равные дуги, равны половине соответствующего центрального угла. Хорда  $s$  и радиус  $R$  даны.

Из рис. 85, а видно, что хорда

$$S = 2R \sin \frac{\varphi}{2} \quad (181)$$

откуда 
$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{S}{2R} \quad (182)$$

Далее находим значение  $\varphi$ .

Установив теодолит в точке А, совмещают нуль лимба с нулем алидады, визируют на точку В и от направления АВ вращением алидады откладывают угол  $\varphi/2$ .

Отложив лентой по направлению визирного луча отрезок  $s$ , получают точку  $P_1$  кривой. Затем вращают алидадный круг на угол  $\varphi$  от направления АВ. Совместив начало ленты с точкой  $P_1$  протягивают ее в сторону визирной оси трубы теодолита и, отложив расстояние  $s$  от точки  $P_1$ , получают точку  $P_2$  кривой и т. д. В точках  $P_1, P_2, P_3$  забивают колышки. Недостаток этого способа заключается в том, что ошибки в определении положения точек на кривой растут по мере увеличения их числа.

Способ продолженных хорд. По радиусу  $R$  кривой и заданной длине  $s$  хорды вычисляют угол  $\varphi$  по формуле (182) и, пользуясь формулой (179), разбивают точку  $P_1$  кривой способом прямоугольных координат (рис. 85,б). Закрепив ее, по продолжению хорды  $AP_1$  откладывают отрезок  $s$  и закрепляют полученную точку  $P_2$ . Положение второй точки  $P_2$  на кривой получают линейной засечкой отрезками  $s$  (при помощи ленты) и  $d$  (при помощи рулетки). Величина  $d$  определяется из подобия равнобедренных треугольников  $P_1P_2P_3$  и  $OP_1P_2$  по формуле

$$d = \frac{S^2}{R} \quad (183)$$

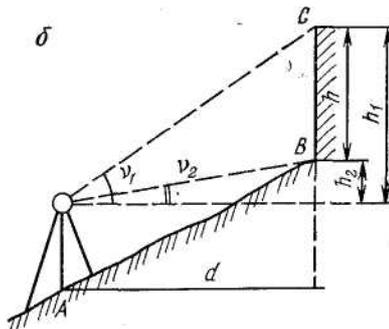
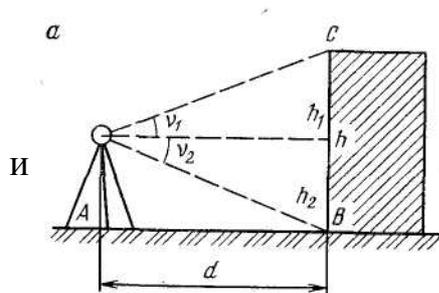
Для построения следующей точки продолжают хорду  $P_1P_2$  и на продолжении откладывают отрезок  $s$ . Из точек  $P_2$  и  $P_1$  засекают точку  $P_3$  радиусами  $s$  и  $d$  и т. д. Величина отрезка  $d$  называется промежуточным перемещением, она постоянна для всех точек кривой.

## 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ СООРУЖЕНИЯ

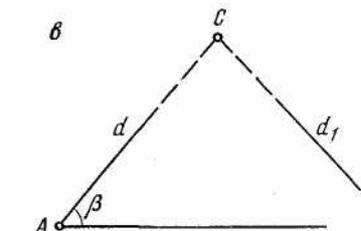
Для определения высоты сооружения, например, здания (рис. 86, а) в точке А, расположенной вблизи здания, устанавливают теодолит и измеряют углы наклона  $\nu_1$  и  $\nu_2$ , визируя на верхнюю и нижнюю точку здания. Измеряют расстояние  $AB = d$  и определяют высоту здания

$$h = h_1 + h_2 = d \operatorname{tg} \nu_1 + d \operatorname{tg} \nu_2 \quad (184)$$

или 
$$h = d(\operatorname{tg} \nu_1 + \operatorname{tg} \nu_2)$$



Если линия местности АВ наклонна (рис. 86,б), то нужно измерить ее наклон вычислить горизонтальное проложение d. Из рис. 86, б следует, что высота здания равна



$$h = h_1 - h_2 = d \operatorname{tg} v_1 - d \operatorname{tg} v_2 \quad (185)$$

или

$$h = d(\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2)$$

В формуле (185) углы наклона  $v_1$  и  $v_2$  положительные.

Если в формуле (184) учесть знак минус угла наклона (см. рис. 86,а), то формула (184) будет иметь вид (185) и будет универсальной.

— В том случае, когда измерить расстояние от теодолита до сооружения нельзя, его определяют как неприступное расстояние, для чего в стороне от сооружения разбивают базис AM (рис. 86,в).

Рис. 86. Схемы определения высоты сооружения

Теодолитом измеряют горизонтальные углы  $\beta$  и  $\beta_1$  и вычисляют длины линий

$$\begin{aligned} d &= \frac{AM \sin \beta_1}{\sin(\beta + \beta_1)} \\ d_1 &= \frac{AM \sin \beta}{\sin(\beta + \beta_1)} \end{aligned} \quad (186)$$

В точках А и М измеряют вертикальные углы соответственно  $v_1$ ,  $v_2$  и  $v_3$ ,  $v_4$  - Высоту сооружения вычисляют дважды

$$\begin{aligned} h &= d(\operatorname{tg} v_1 - \operatorname{tg} v_2) \\ h &= d_1(\operatorname{tg} v_3 - \operatorname{tg} v_4) \end{aligned} \quad (187)$$

## Определение высоты сооружения

№ точки стояния	Точки наблюдения	Отсчеты по микроскопу				МО	$\nu$	$\operatorname{tg} \nu$	d, м	h, м	$h_{\text{ср}}, \text{м}$
		КП		КЛ							
А	С	— 25°	55'	+25 °	54'	-0,5	25°54,5'	0,48 575			
	В	+4	32			-0,5	4 32,5	0,07 943			
A <sub>1</sub>	С	—22	24	+22	24	0,0	22 24	0,56 518	15,57	8,80	8,80
	В	+4	00	-4	00	0,0	4 00	0,41 217			
								0,06 993			
								0,48 210	18,26	8,80	

В формулах (187) следует учитывать знак угла наклона; за окончательное значение  $h$  берут среднее, если расхождение не более 1 :300 высоты измеряемого сооружения.

Пример определения высоты сооружения приведен в табл. 28. Углы наклона измерялись теодолитом 2Т30.

### Вопросы для самопроверки

1. В чем сущность разбивочных работ?
2. Для чего нужны рабочие чертежи, их содержание?
3. Какие виды работ выполняются при перенесении проекта сооружения на местность в горизонтальной плоскости?
4. Какие виды работ выполняются при перенесении проекта сооружения на местность по высоте?
5. Как построить на местности проектный горизонтальный угол?
6. Как построить на местности проектную линию?
7. Какие оси сооружения называются главными и какие основными, их назначение?
8. Как определяется положение оси сооружения на местности?
9. Каковы способы перенесения на местность проектных точек сооружения?
10. Какова сущность перенесения проектной точки на местность способом прямоугольных координат?
11. По каким данным проводится перенесение проектной точки на местность полярным способом?
12. По каким данным проводится перенесение проектной точки на местность способом угловой засечки?
13. Как перенести на местность проектную точку способом линейной засечки?

14. Как перенести на местность проектную точку способом створной засечки?
15. Как вынести на местность точку с заданной отметкой?
16. Как проводится на местности разбивка линии заданного уклона?
17. Как передать отметку на дно глубокого котлована?
18. Как передать отметку на высокую часть сооружения?
19. Какие точки круговой кривой называются главными?
20. Как определяются данные для разбивки главных точек кривой?
21. Какие существуют способы детальной разбивки кривой?
22. Какова сущность детальной разбивки кривой способом прямоугольных координат?
23. Какова сущность детальной разбивки кривой способом углов?
24. Какова сущность детальной разбивки кривой способом хорд?
25. Как определить высоту сооружения с помощью теодолита и мерной ленты?

**Лекция - 17**  
**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ**  
**В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**План**

- 1. Детальная разбивка зданий и сооружений**
- 2. Вынесение осей сооружения на обноску. Закрепление осей**
- 3. Разбивка котлованов и фундаментов**
- 4. Построение разбивочной основы на исходном и монтажных горизонтах**
- 5. Геодезические работы при монтаже строительных конструкций**
- 6. Геодезические работы при монтаже подкрановых путей**
- 7. Геодезические работы при монтаже технологического оборудования**
- 8. Геодезические работы при строительстве подземных коммуникаций**
- 9. Лазерные геодезические приборы в строительстве**
- 10. Исполнительные съемки**

1. Детальная разбивка выполняется после вынесения на местность основных осей зданий или сооружений. Основными видами геодезических работ при детальной разбивке являются следующие:

Разбивка котлованов и траншей для проведения земляных работ.

Разбивка осей для возведения фундаментов.

Разбивка осей для монтажа строительных конструкций и геодезический контроль за установкой конструкций в проектное положение.

Точность выполнения геодезических работ при детальной разбивке зависит от типа сооружения, этажности, высоты сооружения, материала возведения, технологических особенностей производства и регламентируется строительными нормами и правилами СНиП 3.01.03—84 «Геодезические работы в строительстве», а также ГОСТами «Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве». Вследствие того, что оси детальной разбивки определяют взаимное положение различных конструкций, к точности их разбивки предъявляют более высокие требования, чем к разбивке основных осей, определяющих положение всего здания или сооружения на местности. В зависимости от требуемой точности выбирают приборы и способы геодезических разбивочных работ.

## **2. ВЫНЕСЕНИЕ ОСЕЙ СООРУЖЕНИЯ НА ОБНОСКУ. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ОСЕЙ**

Для удобства линейных измерений при детальной разбивке осей зданий или сооружений, а также для закрепления разбивочных осей, вокруг разбиваемого здания или сооружения строят обноску. Обноску проектируют параллельно

основным осям на таком расстоянии от них, чтобы при рытье котлована под фундамент она не попала в зону земляных работ. Расстояние от край котлована до обноски не должно быть менее 3—4 м. Обноска бывает сплошная или створная. Сплошную обноску строят по периметру всего здания. По линии обноски, примерно через 3 м, вкапывают в землю столбы, на которые под одну отметку прибивают строганные доски, толщиной 40—50 мм. Отметку верхней грани доски назначают с таким расчетом, чтобы по ней было удобно проводить линейные измерения. Створная обноска состоит из отдельно стоящих столбов, каждая пара которых закрепляет какую-либо ось. В практике строительства широкое применение нашла инвентарная металлическая обноска. При использовании этой обноски вместо деревянных столбов в землю забиваются металлические полые якоря, в отверстия которых вставляются металлические стержни с укрепленными на них в горизонтальном положении трубчатыми штангами.

Независимо от вида обноски она должна удовлетворять следующим требованиям: стороны обноски должны быть параллельны продольным и поперечным осям сооружения; обноска должна быть прямолинейной, чтобы при откладывании проектных расстояний по обноске мерный прибор укладывался строго в створ линии; обноска должна быть горизонтальной, чтобы не вводить поправки за наклон в размеры откладываемых проектных расстояний.

Для установки обноски параллельно основным осям от точек I, II, III, IV (рис. 87), фиксирующих пересечение основных осей, откладывают отрезки, равные выбранному расстоянию до обноски, контролируя створность с помощью теодолита. Полученные точки фиксируют направление каждой стороны обноски. В пересечении сторон обноски закрепляются точки, углы при которых должны быть равны  $90^\circ$ . Правильность этих углов контролируется путем их измерения теодолитом. Установка столбов в створе каждой стороны обноски проводится по теодолиту, чтобы выдерживать с достаточной точностью прямолинейность обноски. Установка обноски на один уровень по высоте контролируется с помощью нивелира.

После устройства обноски на нее выносят разбивочные оси. Сначала выносят основные оси. Для этого теодолит устанавливают последовательно на точках I, II, III, IV и, ориентируя его по направлению основных осей, отмечают карандашом на обноске точки  $m_1, m_2, n_1, n_2, p_1, p_2, q_1, q_2$ . Вынос осей на обноску обязательно проводится при двух положениях вертикального круга. Полученное положение основных осей на обноске контролируют путем измерения расстояния между осями.

Для вынесения на обноску промежуточных осей одну из продольных осей (А—А) и одну из поперечных осей (I—I) принимают за исходные и откладывают от них по обеим парал-

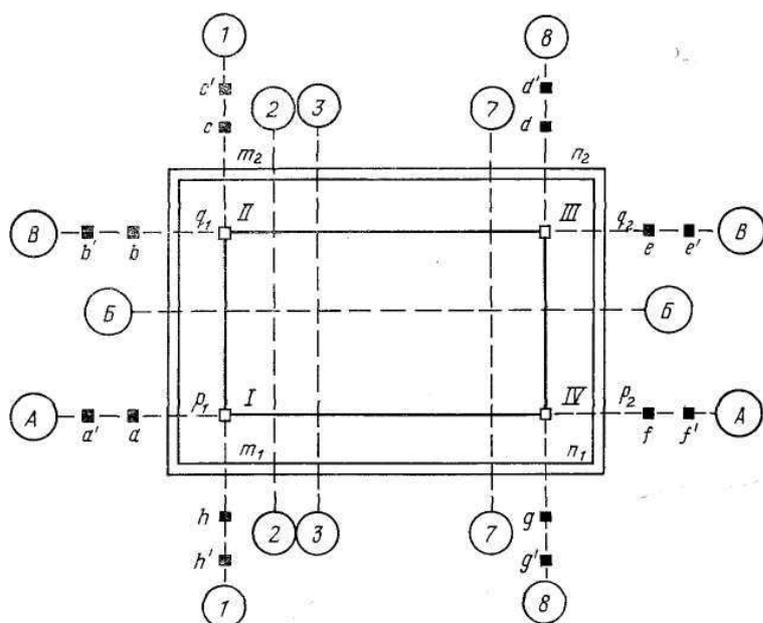


Рис. 87. Схема -вынесения разбивочных осей на обноску и закрепления их створными знаками лельным сторонам обноски проектные расстояния до промежуточных осей (2—2, 3—3, Б—Б и т. д.) Откладывание проектных расстояний по обноске выполняют инварной лентой или металлической рулеткой. Предварительно в проектные длины откладываемых отрезков вводятся поправки за компарирование мерного прибора и за температуру. После нанесения всех промежуточных осей на обноску измеряют расстояние от последней промежуточной оси, например, 7—7 (см. рис. 87), до основной оси 8—8, вынесенной теодолитом. Если измеренное расстояние будет незначительно отличаться от проектного, то полученное расхождение распределяется пропорционально расстояниям между промежуточными осями.

После нанесения на обноску всех осей положение их фиксируется гвоздями. Против каждого гвоздя прочерчивают яркой краской вертикальную линию и подписывают название оси.

При использовании металлической инвентарной обноски на горизонтальной штанге крепится передвижной хомутик так, чтобы устройство на нем для фиксации монтажной проволоки точно совпадало с положением разбивочной оси.

Для того, чтобы разбивочные оси могли обеспечивать геодезическое обслуживание в течение всего периода строительства, а также для сохранения осей на случай поломки обноски, эти оси дополнительно закрепляются грунтовыми знаками а — а', b — b', c — c' и т. д. Такие знаки устанавливаются на продолжении основных осей, строго в створе, на расстоянии 20—30 м от возводимого сооружения в виде бетонных столбиков с заложеными в них металлическими стержнями с насечкой на поверхности или с накернованным углублением. Эти знаки могут служить одновременно и плановыми опорными точками и рабочими реперами.

### 3. РАЗБИВКА КОТЛОВАНОВ И ФУНДАМЕНТОВ

Разбивка контура котлована или траншеи для проведения земляных работ выполняется согласно разбивочному чертежу, на котором должны быть указаны размеры фундаментов, глубина их заложения, а также разбивочные оси здания. Относительно основных осей здания, закрепленных на обноске, на местность выносятся проекция контура основания фундамента и линия верхней бровки котлована. Линия верхней бровки закрепляется кольями, между которыми натягивается шнур для обозначения границ вскрытия котлована.

В процессе проведения земляных работ постоянно проверяют глубину котлована, чтобы не было переборов земли. Перед зачисткой дна котлована его нивелируют по квадратам. Вершины квадратов закрепляют кольями, верхний срез которых располагают по заданной проектной отметке. Зачистку дна котлована ведут по торцам этих кольев. Для нивелирования глубоких и широких котлованов на дне их устанавливают временные реперы, отметки на которые передаются способом передачи отметки на дно глубокого котлована. После зачистки дна котлована и его откосов проводят исполнительную съемку котлована.

Одной из наиболее ответственных операций строительства является сооружение фундаментов. От качества фундамента будет зависеть устойчивость здания в процессе его эксплуатации. От точности установки фундаментов в соответствии с их проектным положением, от точности установки соответствующих закладных частей в фундаменты во многом будет зависеть точность установки колонн каркаса здания, технологического оборудования и т. д.

По конструктивным типам фундаменты подразделяют на ленточные, столбчатые, сплошные и свайные, а по способу изготовления на монолитные и сборные.

Ленточные фундаменты устраивают под стены здания или под ряд отдельных опор. Наибольшее распространение получили ленточные сборные фундаменты из крупных фундаментных блоков. Ленточные монолитные фундаменты применяются лишь при значительных нагрузках.

Столбчатые фундаменты чаще всего имеют вид отдельных опор под железобетонные или стальные колонны.

Сплошной фундамент представляет собой железобетонную плиту под всей площадью здания. Такой фундамент устраивают лишь в тех случаях, когда нагрузка, передаваемая на фундамент, весьма значительная.

Свайные фундаменты состоят из забиваемых в землю свай, по верху которых укладывается железобетонная плита, называемая ростверком. Преимущество свайных фундаментов заключается в уменьшении объема земляных работ при строительстве.

При возведении фундамента из монолитного железобетона строят опалубку — временное сооружение для придания бетону необходимой формы. В опалубку устанавливают арматуру и закладные части и затем заполняют ее бетоном. Детальную разбивку осей фундамента и опалубки на дне котлована проводят

относительно одноименных осей, закрепленных на обноске. Для этого между гвоздями, закрепляющими оси, натягивается тонкая монтажная проволока, вдоль которой перемещается отвес. С помощью отвеса пересечение соответствующих осей сносится на дно котлована и закрепляется кольями. При разбивке опалубки отклонения осей опалубки от проектного положения в плане не должны превышать 5—10 мм. На стены опалубки наносят отметки, указывающие верхний обрез фундамента. Передача отметок ведется нивелиром от ближайшего репера с точностью 3—5 мм.

При разбивке под монтаж сборных ленточных фундаментов оси фундамента с обноски сносят на дно котлована с помощью отвесов или наклонным визированием теодолитом при двух положениях вертикального круга. По вынесенным осям сначала устанавливают угловые блоки, а затем между ними через 15—20 м — маячные блоки. Между угловыми и маячными блоками параллельно оси фундамента на небольшом расстоянии от грани фундамента натягивается монтажная проволока, относительно которой устанавливаются все остальные блоки. Отклонение блока от оси допускается до 10 мм. Одновременно с установкой блоков в плане с помощью нивелира контролируют их установку по высоте. Допустимое отклонение по высоте не более 10 мм. При сооружении ленточных фундаментов под стены одновременно проводят разбивку вводов в здание подземных коммуникаций, устанавливая в опалубке монолитного фундамента деревянные пробки или предусматривая необходимые отверстия при установке блоков сборного фундамента.

Способы установки фундаментов под несущие колонны зависят от их устройства. Под железобетонные колонны наиболее часто используется фундамент стаканного типа Опалубка. Для стакана тщательно устанавливается по отвесам фиксирующий разбивочные оси. Отклонение осей фундамента от проектного положения не должно превышать 5 мм. бетонирование проводится таким образом, чтобы отметка дна стакана была нуле проектной на 2—3 см. После этого днище стакана заполняют цементным раствором до получения проектной отметки.

В фундаментах под металлические колонны для креплений колонн устанавливаются анкерные болты. Анкерные болты закладываются в тело фундамента с помощью специальных деревянных шаблонов, построенных сверху опалубки до бетонирования фундамента проводится тщательная плано-высотная выверка анкерных устройств. Отклонения в плане и по высоте этих устройств от их проектного положения не должны превышать 5 мм. После бетонирования и снятия шаблонов проверка правильности положения анкерных болтов в плане и по высоте повторяется.

При разбивке свайных фундаментов выносят на дно котлована основные и промежуточные оси. По направлению осей натягивают монтажную проволоку, относительно которой способом прямоугольных координат или промерами по створу определяют положение центров свай и закрепляют их кольями. При забивке свай следят за вертикальностью их погружения. По окончании забивки проводят исполнительную съемку поло-

жения свай в плане. Допускаемые отклонения 0,2-0,4 величины диаметра свай. Высотное положение свай контролируется методом геометрического нивелирования с применением навесной рейки. В дальнейшем по верху свай устраивают ростверк в виде бетонной или железобетонной плиты обеспечивающей связь между сваями и равномерную передачу на них нагрузок от здания.

Для продолжения разбивочных работ при возведении надземной части зданий и сооружений знаки, закрепляющие основные оси, устанавливаются внутри здания, на верхней плите фундамента, перенесением их створным методом с противоположных сторон обноска или с помощью теодолита с грунтовой знаков, закрепляющих основные оси с внешней стороны здания. Конструкция этих знаков может быть различной: металлические скобы с накернованным положением оси обрезки арматуры, металлические штыри и т. д. При строительстве сооружений, требующих повышенной точности геодезических работ, основные оси закрепляются фундаментальными знаками

Вместе со знаками, закрепляющими плановое положение основных осей внутри здания или сооружения, устанавливают два-три знака высотной опоры— реперы, в качестве репера может служить любой знак плановой опоры, гарантирующий неизменность своего положения по высоте и возможность удобного пользования им или специальные знаки, забетонированные в фундамент здания. Отметки на эти знаки передаются методом геометрического нивелирования относительно пунктов высотной опоры, установленных снаружи здания.

#### **4. ПОСТРОЕНИЕ РАЗБИВОЧНОЙ ОСНОВЫ НА ИСХОДНОМ И МОНТАЖНЫХ ГОРИЗОНТАХ**

Для проведения геодезических работ при возведении строительных конструкций в надземной части зданий или сооружений необходимо иметь опорную разбивочную сеть на исходном и монтажных горизонтах.

За исходный горизонт обычно принимают плоскость, проходящую через блоки фундаментов, бетонную подготовку или перекрытия нулевого цикла.

Монтажным горизонтом называют условную плоскость, проходящую через опорные площадки монтируемых элементов конструкций определенного этажа.

Опорная разбивочная сеть на исходном горизонте создается в виде простых фигур, стороны которых располагаются по направлению основных осей сооружения или параллельно им так, чтобы упростить детальную разбивку осей и перенос точек разбивочной сети на монтажные горизонты.

Порядок построения плановой опорной сети на исходном горизонте заключается в следующем. Предварительно запроектированные точки сети переносят на исходный горизонт от знаков, закрепляющих основные оси сооружения, методами полярных, прямоугольных координат или методом створов и закрепляют их временными знаками. Затем по этим точкам

прокладывают полигонометрический ход или строят сеть три-латерации. По результатам измерений в условной системе координат для данного здания вычисляют координаты намеченных предварительно точек, которые сравнивают с координатами запроектированных точек. По результатам сравнения фактических и запроектированных координат определяется величина и направление смещения точек (редукция). После соответствующего перемещения точек проводится окончательное закрепление пунктов плановой опорной сети. Для контроля по окончательно закрепленным точкам прокладывается полигонометрический ход.

Высотная основа на исходном горизонте создается методом геометрического нивелирования. Для этого по точкам плановой разбивочной сети прокладывается нивелирный ход, который привязывается не менее чем к двум реперам. В некоторых случаях отметки плоскостей или отдельных точек проекта за-

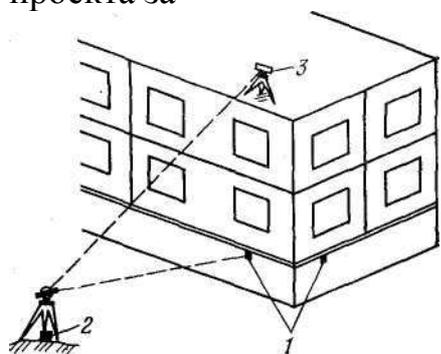


Рис. 88. Схема передачи разбивочных осей на монтажный горизонт способом наклонного проектирования

даются от условной поверхности, например, в зданиях от уровня чистого пола первого этажа и обозначаются вверх со знаком плюс, вниз — со знаком минус. Для каждого сооружения условная поверхность соответствует определенной абсолютной отметке, которая указывается в проекте.

Перенесение точек опорной разбивочной сети с исходного горизонта на монтажные может быть выполнено способом наклонного проектирования или способом вертикального проектирования с помощью специальных приборов. Способ наклонного проектирования заключается в построении вертикальной плоскости теодолитом. Предварительно разбивочные оси выносят на цоколь здания, отмечая их цветными рисками. Теодолит ставят точно в створе разбивочной оси над створным знаком 2 (рис. 88), закрепляющим разбивочную ось. Зрительную трубу наводят на риску 1, нанесенную на цоколь здания, и при закрепленном положении горизонтального круга поднимают ее в вертикальной плоскости. На монтажном горизонте ставят штатив 3 с визирной маркой и, перемещая марку, добиваются, чтобы штрих марки попал на перекрестие нитей сетки зрительной трубы. С помощью отвеса положение визирной марки проектируют на плоскость монтажного горизонта. Ту же работу повторяют при другом положении вертикального круга. При расхождении полученных проекций находят среднее положение, которое соответственным образом фиксируют. Аналогичным образом выносят положение разбивочных осей на монтажный горизонт со всех сторон здания. Способ наклонного

проектирования применяется при строительстве зданий малой и средней этажности при углах наклона визирной трубы, не превышающих  $45^\circ$ .

На точность перенесения точки наклонным проектированием в значительной мере влияют ошибки, возникающие за счет неперпендикулярности оси вращения зрительной трубы оси вращения теодолита, за счет коллимационной ошибки, за счет неточного приведения оси вращения прибора в отвесное положение. В связи с этим перед работой теодолит должен быть особо тщательно выверен с тем, чтобы максимально исключить влияние этих ошибок.

При перенесении точек опорной разбивочной сети с исходного горизонта на монтажный способом вертикального проектирования в перекрытиях зданий предусматриваются отверстия, размером не менее  $15 \times 15$  см. Проектирование осуществляется с помощью специальных приборов вертикального визирования: ОЦП — оптический центрировочный прибор, ПОВП — прибор оптического вертикального проектирования, PZL — автоматический прецизионный зенит-прибор, ЛЗЦ — лазерный надир-центрир. В настоящее время для вертикального проектирования широкое распространение получил автоматический прецизионный зенит-прибор PZL, выпускаемый Народным предприятием «Карл Цейс Йена» (ГДР). Прибор PZL относится к приборам с самоустанавливающейся линией визирования.

Корпус прибора 2 (рис. 89, а) имеет цилиндрическую форму. Внутри корпуса имеется прямоугольная призма, подвешенная на нитях в виде маятника. Эта призма служит компенсатором углов наклона оси вращения прибора. Компенсатор работает в пределах  $\pm 10'$  и позволяет установить вертикальную ось в отвесное положение с точностью около  $0,5''$ . В верхней части корпуса находится объектив 1. Лучи, идущие через объектив, проходят через призму компенсатора и дополнительную призму и попадают в окуляр зрительной трубы 7, в котором наблюдатель видит прямое изображение предмета. В рабочее положение прибор приводится по круглому уровню 5. Горизонтальный круг прибора с ценой деления лимба  $10'$  снабжен наводящим устройством 4. Отсчеты по шкаловому микроскопу снимаются через окуляр микроскопа 6. Точность отсчета Г. Фокусирование трубы выполняется с помощью фокусирующего устройства 3. Увеличение зрительной трубы прибора  $31,5^{\times}$ . Кратчайшее расстояние визирования 2,2 м. Центрирование прибора над центром знака выполняется с помощью оптического центрира с ошибкой 0,5 мм.

Для проектирования точек разбивочной сети на монтажные горизонты над опорной точкой 3 (рис. 89, б) на исходном горизонте тщательно центрируется зенит-прибор 2. Над отверстием монтажного горизонта с помощью специального приспособления укрепляется палетка 1. Палетка изготавливается из оргстекла, на которое наклеивается калька с нанесенной на нее координатной сеткой в виде взаимно перпендикулярных линий, выходы которых оцифровываются. Горизонтальная нить сетки нитей зенит-прибора устанавливается параллельно одной из сторон координатной сетки и на горизонтальном круге ставится отсчет, равный  $0^\circ$ . В этом положении с палетки

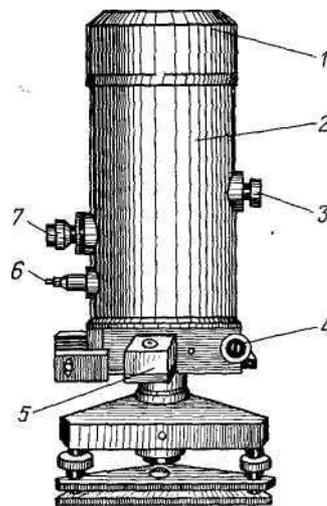
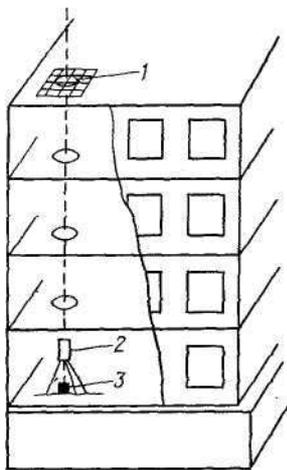


Рис. 89. Способ вертикального проектирования:

*а* — прибор вертикального проектирования PZL; *б* — схема проектирования точки на монтажный горизонт

снимается отсчет относительно оцифрованных линий координатной сетки палетки. Далее прибор поворачивают на  $180^\circ$  и снова берут отсчёт по палетке. После этого аналогичную работу повторяют при отсчетах по горизонтальному кругу  $90^\circ$  и  $270^\circ$ . Средние значения из каждых двух парных отсчетов покажут координаты точки на палетке. Положение опорной точки с палетки переносится на монтажный горизонт и соответствующим образом закрепляется. Аналогичная работа может быть выполнена путем фиксирования проекции пересечения нитей сетки прибора на палетку помощником наблюдателя, находящимся на монтажном горизонте, также при четырех положениях визирной оси с поворотом через  $90^\circ$ . В этом случае необходима надежная связь между наблюдателем и его помощником.

При использовании прибора PZL ошибка в определении положения точки составляет около 1 мм на 100 м вертикального расстояния.

После перенесения опорных точек на монтажный горизонт проводят контрольные измерения расстояний между этими точками. Полученные расстояния должны быть равны расстояниям между соответствующими точками на исходном горизонте.

Число точек разбивочной сети, необходимых для передачи на монтажные горизонты, зависит от размеров здания и не должно быть менее трех. Перенесенные точки закрепляют и относительно них строят разбивочную сеть данного горизонта.

Построение плановой сети на монтажном горизонте, проводят так же, как и на исходном горизонте.

Высотная сеть на монтажном горизонте создается методом геометрического нивелирования относительно реперов, расположенных на исходном горизонте. При этом используется способ передачи отметки на высокую точку сооружения.

## 5. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Одним из основных этапов строительства зданий и сооружений является монтаж строительных конструкций. От точности установки сборных строительных конструкций в проектное положение будет зависеть долговечность здания, нормальная работа различного оборудования в процессе эксплуатации сооружений. Поэтому на геодезический контроль за правильностью установки строительных конструкций в соответствии с проектом в процессе строительства необходимо обращать особое внимание. При проведении геодезических измерений по контролю за точностью выполнения отдельных этапов строительного-монтажных работ следует руководствоваться допусками, установленными строительными нормами и правилами (СНиП), а также техническими условиями проекта. Чтобы гарантировать соблюдение установленного допуска, геодезические работы должны выполняться с точностью, превышающей точность установки конструкции в проектное положение. Исследованиями установлено, что средняя квадратическая ошибка геодезического определения положения элемента конструкции  $t$  должна составить  $1/5$  от величины допуска  $b$ , установленного СНиПом, т. е.

$$t = 0,20b \quad (188)$$

Геодезические работы при монтаже строительных конструкций в процессе возведения зданий и сооружений можно разбить на следующие операции: контроль геодезических параметров и разметка элементов конструкций; детальные разбивочные работы; выверки конструкций в плане и по высоте при их монтаже.

Контроль геометрических параметров конструкций имеет в виду определение фактических размеров этих конструкций, полученных в результате их изготовления. Железобетонные элементы конструкций могут иногда значительно отличаться от их проектных размеров как по линейным размерам, так и по форме. Такие отклонения будут затруднять монтаж, снижать точность установки конструкций в проектное положение. Поэтому отклонение фактических размеров от проектных не должны превышать установленного допуска. Обмеры проводят металлическими рулетками с миллиметровыми делениями.

При контроле геометрических параметров плоских железобетонных элементов (стен, панелей) измеряют длину  $l$ , ширину (высоту)  $h$ , толщину  $p$ , длины диагоналей  $d$  (рис. 90,а). Измерение длины, ширины (высоты) и толщины необходимо выполнять в трех разных местах, находящихся от края на расстояниях  $0,1$ ;  $0,5$ ;  $0,9$  от длины измеряемого изделия. Результаты этих измерений будут характеризовать параллельность граней элемента. О наличии перекосов будут свидетельствовать также разности длин диагоналей.

При контроле геометрических параметров колонн определяют их длину  $l$  и элементы поперечного сечения  $r_1$  и  $r_2$  (рис. 90,б). Одновременно с этим проводят разметку колонн. Для этого в основании колонны и в ее вершине наносят тонкой вертикальной чертой по оси симметрии установочные (осевые)

риски 1 на всех гранях колонны. В нижней части колонны дополнительно наносят горизонтальную черту 2 и от нее измеряют расстояние  $h_1$  до консолей,  $h_2$  — до верха колонны, и записывают результаты измерений в журнал.

Детальные разбивочные работы при монтаже конструкций заключаются в нанесении на фундамент установочных рисок, фиксирующих проектное положение конструкций. Разбивку выполняют на каждом монтажном горизонте относительно плановой разбивочной сети.

При выполнении детальных разбивочных работ для строительства каркасных зданий делают разметку установочных рисок для установки колонн. Разбивку осей колонн А—А, Б—Б, В—В, 1—1, 2—2 и т. д. (рис. 91) выполняют от пунктов плановой разбивочной основы с помощью теодолита и металлической рулетки. Например, для разметки установочных рисок вдоль осей колонн А—А и В—В здания от пунктов плановой разбивочной сети I, II, III, IV откладывают длины отрезков II—l, I—k, III—l', IV—k'. Полученные створы ll' и kk' провешиваются теодолитом и по их направлению делают разметку рисок на фундаментах колонн, отмечая их яркой краской. Аналогично делается разметка установочных рисок по всем осям колонн.

При выполнении детальных разбивочных работ для строительства крупноблочных и крупнопанельных зданий на каждом монтажном горизонте разбиваются створные линии параллельно разбивочным осям на некотором расстоянии от них, установленном для данного здания (обычно 200 мм от плоскости панели). Створ линии провешивается теодолитом или фиксируется стальной проволокой. Относительно полученного створа, путем линейных промеров, с помощью металлической компарированной рулетки отмечается положение установочных рисок для последующей установки панелей.

Установка строительных конструкций в проектное положение обязательно сопровождается геодезическим контролем.

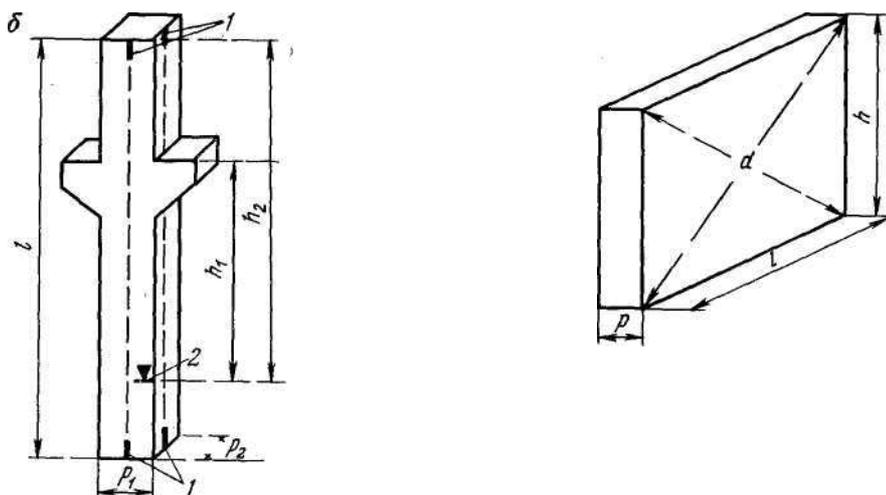


Рис. 90. Контроль геометрических параметров строительных конструкций:  
а — стеновых панелей; б — колонн

Рис. 91. Схема разбивки осей для установки колонн

При установке металлических колонн каждую колонну ставят таким образом, чтобы анкерные болты 1 (рис. 92, а) вошли в соответствующие отверстия башмаков колонны, а установочные риски 3, нанесенные на основание колонны, точно совпадали с рисками, соответствующими продольным и поперечным осям и нанесенными на фундамент.

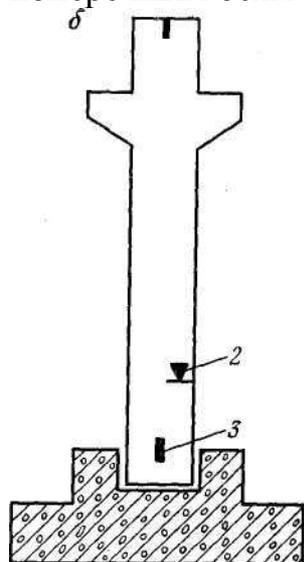


Рис. 92. Схемы установки металлических железобетонных колонн

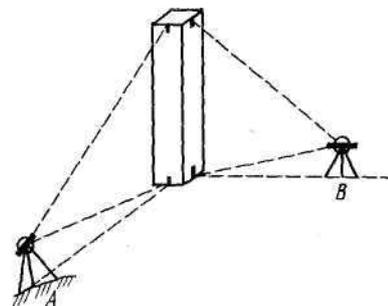
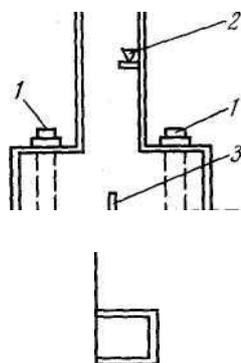


Рис. 93. Схема установки колонн в вертикальное положение способом наклонного проектирования

Основания железобетонных колонн устанавливают в заранее подготовленные углубления в фундаментах, называемые стаканами (рис. 92, б). При этом также следят за тем, чтобы установочные риски на основаниях колонн совпадали с соответствующими рисками на фундаменте.

Способ установки колонн в вертикальное положение зависит от их высоты. При установке невысоких колонн, высотой до 5 м, пользуются утяжеленными отвесами, которые подвешиваются к металлическим штырям, приваренным к верхней части колонны.

Для установки высоких колонн, высотой 10—15 м и более, применяется способ наклонного проектирования с использованием одновременно двух теодолитов. В этом случае строго в створе разбивочных осей в двух взаимно перпендикулярных направлениях на расстоянии от колонны немногим более ее высоты устанавливаются два теодолита в точках А и В (рис. 93). С помощью цилиндрического уровня вертикальная ось вращения каждого теодолита с особой тщательностью приводится в вертикальное положение. Затем трубу теодолита наводят на нижнюю осевую метку и, подняв трубу, проектируют положение этой метки на верх колонны. То же самое делают со второй установки теодолита. При несовпадении вертикальной нити сетки нитей с верхней осевой меткой колонну наклоняют до совмещения верхних осевых меток с вертикальной нитью каждого теодолита. После этого аналогичную работу выполняют при другом положении вертикального круга, давая при необходимости дополнительный наклон колонне.

После предварительного закрепления колонны проверяют вертикальность ее установки. Проверка вертикальности колонн высотой до 5 м проводится с помощью отвеса или специальной рейкой-отвесом. В верхней части такой рейки подвешен отвес, а в нижней части имеется шкала с делениями. Рейку последовательно прикладывают к боковым граням колонны и по отклонениям нити отвеса от нулевого деления шкалы определяют линейную величину наклона колонны.

Проверка вертикальности высоких колонн, высотой более 5 м, также проводится способом наклонного проектирования. Однако, в отличие от установки колонн в вертикальное положение, контроль ее вертикальности проводится путем проектирования верхней осевой риски на нижнюю, часть колонны. Проектирование выполняется также при двух положениях вертикального круга. Если проекции не совпадают, фиксируют чертой среднее положение и измеряют расстояние от этой черты до нижней осевой риски. Полученное расстояние будет характеризовать линейную величину наклона колонны. Таким же образом проверяют вертикальность колонны с другого направления, перпендикулярного первоначальному.

Следует заметить, что для контроля вертикальности колонн этим способом теодолиты, используемые в работе, должны быть тщательно выверены, чтобы обеспечить горизонтальность положения оси вращения трубы в процессе наблюдений. Целесообразно для этой цели использовать теодолиты с накладным уровнем.

Выверку вертикальности ряда колонн можно выполнить способом бокового нивелирования. В этом случае параллельно оси колонн разбивают линию  $A A'$  на расстоянии  $a$  от оси, равном 80—100 см (рис. 94), и закрепляют ее соответствующими знаками. На одной из точек линии (например,  $A$ ) тщательно центрируют теодолит, а на второй точке  $A'$  устанавливают визирную марку.

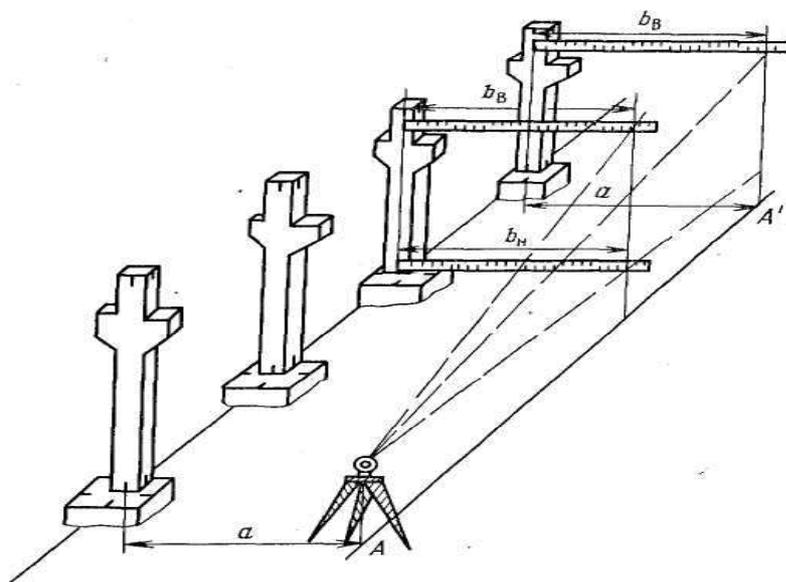


Рис. 94. Схема выверки вертикальности ряда колонн способом бокового нивелирования

Визирную ось теодолита ориентируют по направлению AA' наведением зрительной трубы на марку. Перемещая трубу в вертикальной плоскости, берут отсчеты по небольшой рейке, пятка которой последовательно прикладывается к осевой риске вверху и внизу каждой колонны ( $b_V$ ,  $b_H$ ). Отсчеты берут при двух положениях вертикального круга, вычисляя каждый раз среднее из двух отсчетов. При выполнении этой работы осуществляется двойной контроль установки колонн: проверка правильности установки колонн в плановое положение и контроль вертикальности колонн.

О точности установки колонн в плановое положение судят по отклонениям отсчетов  $b_H$  сделанных по рейке, прикладываемой к осевой риске в нижней части колонны, от расстояния  $a$  визирной плоскости теодолита до разбивочной оси колонн, т. е.

$$\Delta\alpha = a \cdot b_H \quad (189)$$

Допускаемое смещение осей колонны в нижнем сечении относительно разбивочных осей 5 мм. Для достижения такой точности проверка правильности установки колонн в плановое положение должна проводиться теодолитом повышенной точности.

Точность установки колонн в вертикальное положение в направлении, перпендикулярном вертикальной плоскости данного ряда, определяют по разностям отсчетов по рейке, сделанных в верхней и нижней части каждой колонны, т. е.

$$\Delta b = b_V - b_H \quad (190)$$

Аналогичные определения могут быть сделаны по рядам колонн перпендикулярного направления. Если отклонения колонн от вертикальной плоскости не превышают установленного допуска, то колонны окончательно закрепляют.

Недостатком способа бокового нивелирования для определения вертикальности колонн является необходимость прикладывания рейки к верхней части колонн, что не всегда соответствует требованиям техники безопасности.

После окончательного закрепления колонн определяют методом геометрического нивелирования от ближайшего репера отметки горизонтальных рисок 2 (см. рис. 92), относительно которых по известным расстояниям  $h_1$  и  $h_2$  (см. рис. 90, б) вычисляют отметки консолей и верхних площадок колонн.

Установку панелей и блоков проводят от установочных рисок с помощью специального шаблона или рейки. Если при установке панелей поперечных стен внутри здания предусмотрено наличие штыревых закладных фиксаторов, то при выполнении разбивочных работ по направлению монтажных осей натягивается проволока, симметрично по обе стороны от которой в панели перекрытия закладываются фиксаторы. Расстояния между фиксаторами принимаются на 3—5 мм больше толщины панели, монтируемой на данной оси. Для правильной установки панелей или блоков по высоте выравнивают опорные плоскости, используя для этой цели маяки — деревянные или керамические плитки различной толщины, закрепляемые раствором в местах

установки панелей и блоков. Маяки устанавливаются на проектную отметку с помощью нивелира способом вынесения на местность заданной проектной отметки. Под каждый элемент устанавливают не менее двух маяков, размещая их на расстоянии 20—30 см от торца панели или блока. После этого опорная плоскость выравнивается по маякам цементным раствором. В вертикальное положение каждую панель устанавливают с помощью специальных отвесов. После установки панелей проверяют нивелиром отметки верхнего торца каждой панели.

## **6. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ**

При строительстве промышленных зданий часто возникает необходимость оснащения здания подъемно-транспортным оборудованием. Для этих целей широко применяются мостовые краны, позволяющие перемещать тяжелые грузы в вертикальном и горизонтальном направлениях, не уменьшая полезной площади производственного помещения. Такой кран перемещается по рельсам, уложенным на подкрановые балки, которые опираются на консоли колонн каркаса здания.

Укладка рельсов должна быть выполнена по возможности точнее, так как от их правильной установки как в плане, так и по высоте будет зависеть нормальная работа мостового крана в процессе его эксплуатации. Требования, предъявляемые к установке рельсов, заключаются в их прямолинейности, горизонтальности и в сохранении заданного проектного расстояния между двумя нитками рельсов.

Для определения планового положения подкрановых балок на полу здания (цеха) с помощью металлической компарированной рулетки откладывают от продольных осей колонн в начале и в конце рельсового пути отрезки  $s$  (рис. 95), равные проектному расстоянию от осей рельсов до осей колонн. Расстояние  $l$  между полученными точками 1—2 и 1'—2' тщательно измеряют. Полученные значения  $l$  должны быть равны проектному расстоянию между осями рельсов. Затем устанавливают теодолит над точкой 1 и, сориентировав зрительную трубу по линии 1—1', при двух положениях вертикального круга проектируют ось рельса на поверхность консоли крайней колонны, отмечая положение оси соответствующей риску. Аналогично проектируют оси рельсов с точек 1'; 2 и 2' на консоли крайних колонн.

Через риски крайних консолей протягивают проволоку и отмечают ось на консолях всех промежуточных колонн. Если возможно установить теодолит на специально сделанных подмостках, контролируют эту работу по теодолиту. В некоторых случаях оси рельсов закрепляют насечками на скобах, укрепленных на противоположных стенах здания. Тогда между скобами натягивается проволока и ось проектируется на поверхности консолей с помощью отвеса, подвешенного на проволоку.

Для установки подкрановых балок по высоте определяют отметки опорных поверхностей консолей. С этой целью выполняется геометрическое

нивелирование горизонтальных рисок, размеченных в нижней части колонны, а отметки консолей определяют по измеренным до установки колонн расстояниям  $h$  (см. рис. 90,6) от риски до поверхности консоли.

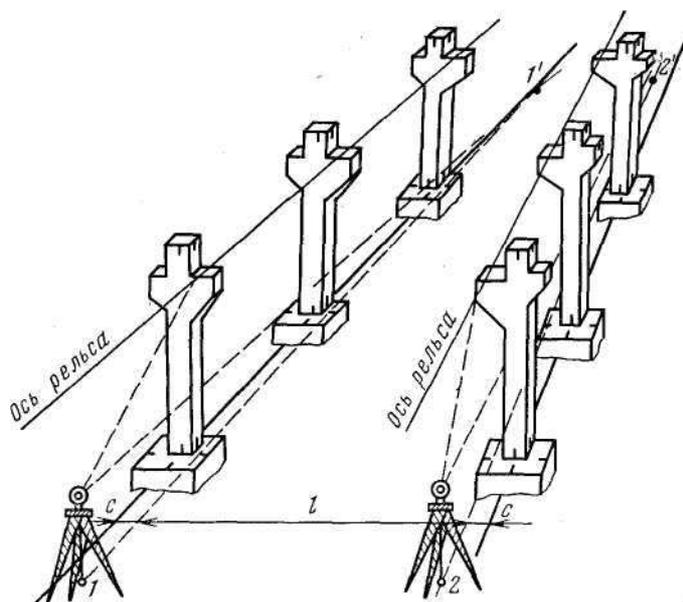


Рис. 95. Схема геодезических работ при монтаже подкрановых путей

Для более точного определения отметок поверхности консолей проводят непосредственное нивелирование их. Для этого нивелир устанавливается на одну из средних консолей противоположного ряда или на специально устроенные подмости. Отметку одной из консолей определяют относительно ближайшего репера методом передачи отметки на высокую точку сооружения с помощью металлической рулетки с миллиметровыми делениями и нивелира. Отметки остальных точек вычисляют по результатам геометрического нивелирования. Однако, эту работу следует выполнять, строго соблюдая правила техники безопасности. По полученным отметкам строится профиль в масштабах: горизонтальном—1:100 и вертикальном—1:10. На профиль наносится линия укладки балки по высоте, причем эта линия проводится через точку с наибольшей отметкой. На остальных точках определяется толщина металлических прокладок, которые должны быть уложены на поверхность консоли под балку для ее выравнивания, по разностям фактических и проектных отметок.

При укладке рельсов постоянно проводят контроль планового положения их путем измерения расстояния между осями рельсов с помощью компарированной металлической рулетки, причем компарирование рулетки в этом случае выполняется навесу, чтобы условия измерений и компарирования были одинаковыми. Если расстояние между осями рельсов превышает длину мерного прибора, то оси рельсов с помощью отвесов проектируют на поверхность пола и уже по полу проводят контрольные промеры. Отклонение расстояния между осями подкрановых рельсов одного пролета не должно превышать 10 мм.

После окончательной укладки рельсов определяют отметки головок рельса методом геометрического нивелирования. Разность отметок подкрановых рельсов на соседних колоннах одного ряда должна находиться в пределах 10 мм.

По результатам плановой и высотной проверки уложенных рельсов составляются исполнительные профили и схема планового положения рельсов. Укладка других элементов конструкций, образующих пространственный каркас сооружения: балок для перекрытий, ферм, арок и т. д., проводится аналогично установке подкрановых балок. Для установки балок перекрытий с помощью теодолита на консоли колонн выносятся разбивочные оси и отмечаются рисками. Для установки ферм разбивочные оси выносятся на оголовки колонн. Укладываемые конструкции также предварительно размечаются. Отметки консолей и оголовок колонн определяются по измеренным заранее расстояниям до горизонтальной риски колонны, отметка которой находится геометрическим нивелированием от репера. Вертикальность ферм проверяется по отвесу. После установки всех конструкций также проводится исполнительная съемка.

## **7. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Геодезические разбивочные работы при монтаже технологического оборудования выполняются с высокой точностью, которая, в зависимости от технических условий на монтаж оборудования, может меняться от 1—2 мм до 0,1—0,01 мм. Высокая точность, предъявляемая к геодезическим работам при монтаже технологического оборудования, требует специальной квалификации исполнителей.

Монтаж оборудования выполняют относительно монтажных осей, которые могут совпадать с осями монтируемых агрегатов или располагаться параллельно им. Монтажные оси закрепляются специальными знаками, положение которых определяется относительно плановой геодезической основы. Если установка технологического оборудования требует выполнения геодезических работ особо высокой точности, монтажные оси закрепляют фундаментальными знаками с глубиной закладки их до коренных пород. В остальных случаях применяются знаки более простых типов: металлические марки, металлические скобы различных форм, пластины. Эти знаки закладываются в тело фундамента и положение монтажных осей фиксируется на них керном.

Положение монтажной оси при установке технологического оборудования задается струнным, струнно-оптическим и оптическим способами.

*Струнный способ* является наиболее простым и наименее точным способом. При этом способе между закрепленными точками, фиксирующими монтажную ось, натягивается струна диаметром 0,1—0,5 мм. На струну подвешивается отвес, который может перемещаться вдоль струны. В местах, необходимых для установки оборудования, с помощью отвеса направление струны сносится на

фундамент или выверяемую конструкцию.

Основными источниками ошибок при створном способе являются колебания струны в процессе работы и недостаточно высокая точность проектирования направления струны нитяным отвесом. При небольших расстояниях и при работе в закрытых помещениях, исключающих влияние ветра на положение отвеса, можно обеспечить точность монтажа технологического оборудования порядка 2 мм. При длинах створов, превышающих 80 м, применять этот метод не рекомендуется.

При *струнно-оптическом способе* также подвешивают струну между зафиксированными точками монтажных осей, но направление струны сносят на оборудование с помощью специальных оптических приборов. Одним из таких приборов является оптический проектирующий прибор ОПП-2. Особенностью устройства этого прибора является наличие специальной призмы, которая преломляет наклонно расположенный визирный луч зрительной трубы и направляет его вертикально вверх к струне. На продолжении вертикального луча, в нижней части прибора, имеется контактная плоскость с устройством для фиксации проекции отвеса. При использовании этого прибора его устанавливают на монтируемом оборудовании и, перемещая подставку прибора, следят, когда струна совпадает с центром сетки нитей зрительной трубы. В этот момент на оборудовании фиксируют положение монтажной оси. На точность построения монтажной оси в этом случае также оказывает влияние колебание струны, но исключается ошибка проектирования струны нитяным отвесом.

При использовании оптического способа для монтажа оборудования над одной из точек, фиксирующих монтажную ось, устанавливают теодолит, на противоположном конце оси ставят неподвижную визирную марку. Визирная линия теодолита, наведенного на визирную марку, дает направление монтажной оси. Примерно в створе визирной оси ставят подвижную визирную марку с микрометром, с помощью которого марку вводят точно в створ. После этого положение марки с помощью оптического центра проецируют на оборудование и фиксируют. Способ применяют обычно при монтаже технологических линий значительной протяженности.

Установка по высоте технологического оборудования сопровождается контрольным методом геометрического нивелирования. Поскольку в этом, случае часто необходима довольно высокая точность, создаются специальные нивелирные сети высокоточным нивелированием.

Кроме геометрического нивелирования установка и выверка оборудования по высоте может быть выполнена микронивелированием с помощью накладного уровня большой длины с ценой деления уровня 5" и гидростатическим нивелированием.

## **8. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ**

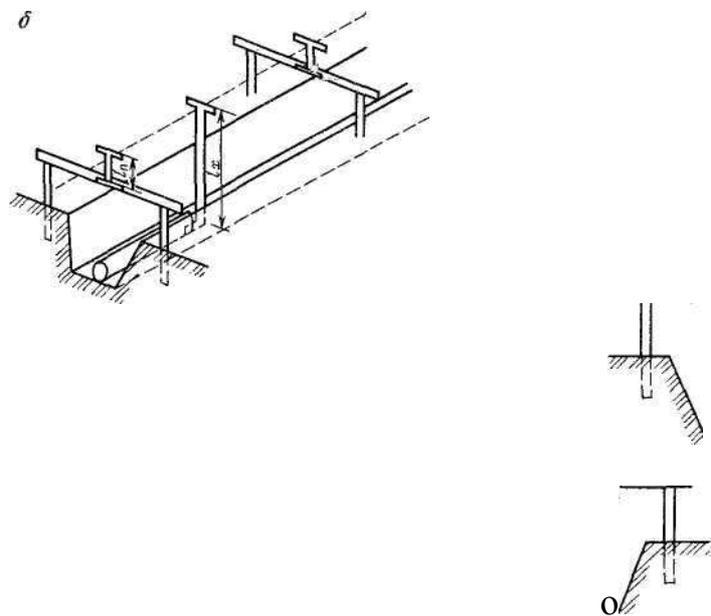
Строительство зданий, сооружений, населенных пунктов сопровождается

проектированием и сооружением различного рода подземных коммуникаций. Подземные коммуникации и сооружения можно разделить на три основных группы: трубопроводы, кабельные сети и коллекторы. Трубопроводы включают в себя водопровод, канализацию, газопровод, теплоснабжение и водостоки. Канализация и водостоки относятся к самотечным трубопроводам. Водопровод, газопровод, теплосети и частично канализация относятся к напорным трубопроводам. Кабельные сети включают в себя электросети, телеграфные, телефонные сети и кабели радиовещания. Коллекторы используют для совместной прокладки трубопроводов различного назначения и кабелей или для прокладки однотипных сетей.

При проектировании трасс подземных коммуникаций используются топографические планы для выбора направления трассы, а также продольные и поперечные профили, составленные по результатам геометрического нивелирования вдоль выбранного направления трассы.

Для разбивки подземных коммуникаций на местности на основе проектного плана трассы и продольного профиля составляется разбивочный чертеж, на котором показываются оси трассы и схема привязки трассы коммуникации к опорной геодезической сети или к существующей застройке. Кроме того, показываются размеры трассы, координаты углов поворота, координаты центров смотровых колодцев, расстояния между ними и другие данные, относящиеся к укладке подземных коммуникаций в траншеи.

Геодезические работы при сооружении траншей для трубопроводов или кабельных сетей начинаются с разбивки продольной оси трассы.



уровенная поверхность

Рис. 96. Схемы укладки трубопроводов с помощью постоянных и ходовых визирок

Для этого на местность выносятся углы поворота трассы от пунктов геодезической опорной сети или от существующей застройки с относительной ошибкой порядка  $1 : 2000$ . При вынесении на местность проектных точек трассы используется какой-либо из известных способов: прямоугольных координат; полярных координат, угловых и линейных засечек, створов. Прямолинейные

участки трассы провешиваются теодолитом, по направлению визирной оси которого мерной лентой откладываются необходимые проектные расстояния. Направление трассы закрепляется кольями через 5—10 м. Одновременно с этим отбиваются грани траншеи откладыванием в обе стороны от оси трассы половины ширины траншеи. Для рытья котлованов под колодцы центры их закрепляют кольями, относительно которых разбиваются бровки котлованов.

Для закрепления оси трассы и центров колодцев строится обноска, состоящая из двух столбов, зарываемых в землю на глубину до 1 м и на расстоянии до 1,5 м от краев траншеи. К столбам прибивается горизонтально по уровню доска на высоте до 1 м от земли (рис. 96, а). На построенную обноску теодолитом выносят ось траншеи и отмечают ее гвоздем. Между гвоздями смежных обносок натягивается проволока, обозначающая направление оси трассы.

Выверку глубины траншеи при проведении земляных работ выполняют с помощью постоянных и ходовых визирок. Для этого к доске каждой обноски прибивается горизонтально деревянный брусок 1, называемый полочкой. Отметка верха полочки определяется методом геометрического нивелирования от ближайшего репера. Ходовые визирки бывают двух типов: для рытья траншей Т-образной формы и для укладки труб — дополнительно с башмаком в нижней части. Длина ходовой визирки выбирается с таким расчетом, чтобы при установке ее на дно траншеи она возвышалась над поверхностью земли не менее, чем на 1 м. На практике ходовые визирки изготавливают длиной 3; 3,5; 4 м. Постоянные визирки 2 на полочках между двумя смежными обносками устанавливаются таким образом, чтобы плоскость, проходящая через их верхние грани, шла параллельно направлению линии заданного уклона трассы. Длина постоянной визирки  $l_{п}$  на каждой обноске зависит от длины ходовой визирки  $l_{х}$  отметки полочки  $H_{пол.}$  полученной из нивелирования, и вычисляется по формуле

$$l_n = H_{пр} + l_{х} - H_{пол.}, \quad (191)$$

где  $H_{пр}$  — проектная отметка дна траншеи.

Обычно выемка грунта в траншеях подземных коммуникаций проводится с помощью землеройной машины. Для того, чтобы не допустить перебора грунта, оставшиеся 10—15 см земли до проектной отметки выбирают вручную, постоянно контролируя уровень дна траншеи с помощью ходовой визирки. Для этого перемещают ходовую визирку по дну траншеи и, визируя невооруженным глазом через ребра соседних постоянных визирок, следят за тем, чтобы линия визирования проходила через ребро ходовой визирки. Это положение будет соответствовать положению пятки ходовой визирки на проектной отметке.

Укладка трубопроводов и кабелей в траншеи в плановом отношении проводится по отвесам, перемещаемым вдоль проволоки, натянутой между гвоздями обносок, отмечающих направление оси трассы.

Высотная установка труб проводится разными способами в зависимости от требований к точности установки трубопровода по высоте. Ошибки в

высотном положении напорных трубопроводов могут допускаться до 1—2 см. Установка таких трубопроводов проводится визуально с помощью визирок. В этом случае башмак, находящийся в нижней части ходовой визирки, вставляется внутрь трубы (рис. 96,б). Если труба уложена правильно, то верх ходовой визирки и двух постоянных визирок будут находиться на одной прямой.

При установке самотечных трубопроводов, у которых уклоны обычно небольшие, допустимые ошибки в высотном положении не должны превышать 3—5 мм. В этом случае для укладки трубопроводов следует применять геометрическое нивелирование. Для удобства укладки труб с повышенной точностью применяют способ маяков. Через определенные промежутки длины на дне траншеи забиваются кольца примерно до проектной отметки с контролем по нивелиру. В верхний срез каждого кола завинчивают шуруп. Ввинчивая или вывинчивая шуруп, добиваются получения нивелирного отсчета по рейке, установленной на головке шурупа, вычисленного в соответствии с заданной проектной отметкой. Полученные точки называются маяками. По установленным головкам шурупов или маякам бетонируют дно траншеи или выравнивают грунт, после чего укладывают трубы.

Для укладки труб подземных коммуникаций с успехом могут быть применены лазерные приборы. Лазерный луч может быть использован как для укладки труб, так и для контроля выполненной работы.

Перед засыпкой траншей и котлованов проводится исполнительная съемка, в результате которой определяется фактическое положение на местности в плане и по высоте подземных коммуникаций.

## **9. ЛАЗЕРНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В настоящее время при создании геодезических сетей, при проведении топографических съемок, а также при выполнении различных геодезических работ для обеспечения строительства довольно широкое распространение получили лазерные геодезические приборы.

Слово лазер состоит из начальных букв английской фразы, которая в переводе на русский язык означает «усиление света в результате вынужденного излучения».

Главным элементом лазера является активная среда, которая служит для преобразования подводимой к ней энергии в энергию электромагнитного поля. Для образования активной среды используют: воздействие света нелазерных источников, электрический разряд в газах, химическую реакцию и др. В геодезических лазерных приборах наибольшее применение нашли газовые лазеры, в которых в качестве активной среды используют смесь гелия и неона.

Активная среда помещается между зеркалами, образующими оптический резонатор. Под действием электрического разряда в трубке резонатора возбуждаются электромагнитные волны оптического диапазона. После многократного отражения через одно из зеркал, которое делается

полупрозрачным, выходит световой пучок, характеризующийся высокой направленностью.

При использовании лазерных геодезических приборов световой луч принимается за опорную линию или образует световую плоскость, относительно которых проводятся соответствующие геодезические измерения. Лазерные приборы могут быть использованы для задания направления движения строительных машин и механизмов, при устройстве фундаментов, укладке в проектное положение инженерных коммуникаций, при монтаже и съемке подкрановых путей, контроле монтажа оборудования и различных строительных конструкций. Лазерные приборы вертикального проектирования могут быть использованы для передачи планового положения точек разбивочной основы с исходного горизонта на монтажный, для выверки вертикальности стеновых панелей, блоков, колонн и других строительных конструкций.

Большинство лазерных приборов создано на базе существующих геодезических приборов: теодолитов, нивелиров, оптических приборов вертикального проектирования и др.

Применяемые в настоящее время в строительстве лазерные геодезические приборы можно разделить на две группы: самостоятельные лазерные приборы и приборы, используемые в качестве приставки к геодезическому прибору.

К первой группе относятся выпускаемые нашей промышленностью лазерные приборы и системы: СКП-1, САУЛ-1, ПИЛ-1, ЛВ-5М и др.

К приборам второй группы следует отнести отечественный лазерный нивелир ПЛ-1.

Лазерный геодезический прибор СКП-1 используется в целях геодезического контроля планировки поверхностей земельных участков под горизонтальную плоскость. Прибор состоит из двух блоков — лазерного излучателя и фотоприемного устройства с индикатором. Излучатель устанавливается примерно в середине планируемого участка таким образом, чтобы лазерный луч излучателя при своем вращении образовывал горизонтальную плоскость на заданной проектной отметке. Фотоприемное устройство, устанавливаемое на землеройной машине, фиксирует положение рабочего органа машины относительно проектной плоскости. Контроль за работой механизма осуществляется по показаниям индикатора, установленного в кабине машины.

Средняя квадратическая ошибка регистрации положения рабочего органа землеройной машины относительно проектной плоскости при использовании лазерного прибора не превышает  $\pm 3$  см.

Лазерная геодезическая система САУЛ-1 (система автоматического управления лазерным лучом) в отличие от прибора СКП-1 позволяет создавать не только горизонтальную световую плоскость, но и плоскость с проектным уклоном от 0,000 до 0,030. Использование этой системы позволяет выполнять геодезический контроль за планировкой участков земной поверхности под наклонную плоскость.

Лазерный прибор ПИЛ-1 кроме горизонтальных световых линий и

плоскостей может задавать и вертикальные световые линии и плоскости, что позволяет использовать прибор и для вертикального проектирования. Средняя квадратическая ошибка вертикального проектирования прибором ПЛ-1 составляет 4 мм на высоту 100 м.

Прибор ПЛ-1 (рис. 97) относится к лазерным геодезическим приборам второй группы и представляет из себя лазерную при-

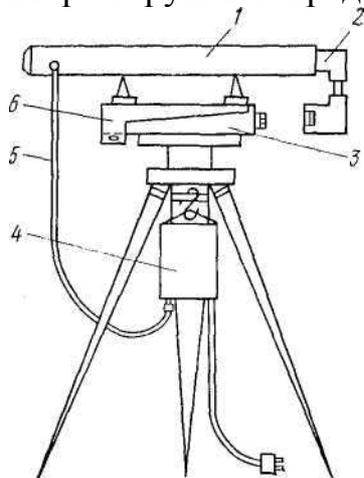


Рис. 97. Лазерная приставка ПЛ-1

ставку для совместной работы с нивелиром НЗ. Лазерная приставка с помощью кронштейна 6 крепится сверху на зрительной трубе нивелира 3. Источник питания 4 с помощью высоковольтного кабеля 5 подсоединяется к лазерному излучателю 1. Луч излучателя проходит через оптическую насадку 2, в которой располагается система зеркал (призм), расположенных под углом  $45^\circ$  к направлению луча. Отразившись, от зеркал, лазерный луч изменяет свое направление на  $180^\circ$  и попадает в окуляр нивелира. Выходящий из нивелира лазерный луч и используется в качестве опорной линии при проведении различного рода геодезических контрольных измерений.

Использование лазерных геодезических приборов позволяет автоматизировать процесс геодезических работ, повысить производительность труда, вести работы в любое время суток.

## 10. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ

Исполнительные съемки проводятся для выявления соответствия построенного здания или сооружения в целом или отдельных его конструктивных элементов проектным данным. В отличие от геодезического контроля за положением отдельных конструкций в процессе их монтажа, исполнительные съемки заключаются в определении фактического положения в плане и по высоте частей зданий, сооружений и инженерных коммуникаций, постоянно закрепленных по окончании монтажа.

Исполнительные съемки можно разбить на текущие и окончательные. Текущие исполнительные съемки ведутся в процессе строительства и характеризуют качество выполнения строительно-монтажных работ на данном этапе. Текущей исполнительной съемке подлежат: основные и разбивочные

оси, дно котлована, свайные основания перед устройством ростверков, опалубка и закладные устройства монолитных фундаментов, стаканы для железобетонных колонн, подземные коммуникации, стены крупнопанельных зданий, колонны, подкрановые пути и т. д. 238

Плановая исполнительная съемка ведется относительно плановой геодезической основы, создаваемой для обеспечения строительства или относительно разбивочных осей. При определении положения конструкций в плановом отношении применяется полярный способ, способы угловых и линейных засечек, способ перпендикуляров, способ створов.

Высотная исполнительная съемка выполняется методом геометрического нивелирования от пунктов высотного геодезического обоснования.

Определение вертикальности конструкций высотой до 5 м выполняют специальной рейкой-отвесом. Вертикальность конструкций высотой свыше 5 м проверяют способами наклонного проектирования и бокового нивелирования. Вертикальность особо высоких сооружений может быть проверена способом вертикального проектирования с использованием приборов вертикального визирования.

Все подземные коммуникации подлежат обязательной исполнительной съемке до засыпки их землей, так как отсутствие исполнительных планов на эти коммуникации впоследствии может привести к авариям или повреждениям их при прокладке других коммуникаций. При плановой исполнительной съемке подземных коммуникаций определяются координаты всех углов поворота трассы, а на прямолинейных участках — точек вдоль оси трассы не реже, чем через 50 м, мест изменения уклонов, точек пересечения трасс, центров колодцев и т. д. Координаты этих точек определяются от точек геодезической опорной сети аналитическим способом.

На застроенной территории положение характерных точек трассы может быть определено относительно точек капитальной застройки линейными засечками, способом перпендикуляров или способом створов.

По результатам плановой исполнительной съемки составляется исполнительный план подземных коммуникаций в масштабе 1 :500 или 1: 1000. Высотная исполнительная съемка подземных коммуникаций выполняется методом геометрического нивелирования. По результатам нивелирования составляется исполнительный продольный профиль с указанием отметок всех характерных точек коммуникации.

Исполнительная съемка вертикальной планировки выполняется методом нивелирования поверхности.

Все результаты исполнительных съемок конструкций зданий и сооружений, выполняемых в процессе строительства, наносятся на специальные схемы и чертежи, на которых показываются фактические и проектные данные или величины отклонений фактических данных от проектных. Такие исполнительные схемы составляются после выполнения каждого этапа инженерно-строительных работ. В зависимости от конструктивных особенностей здания или сооружения в результате исполнительных съемок в основном должны быть получены следующие мате-

риалы.

Рис. 96. Исполнительные схемы.

Исполнительные схемы на разбивочные работы: схема разбивки и закрепления основных осей, схема детальной разбивки и закрепления осей, схема разбивки контуров котлована.

Исполнительные схемы по подземной части зданий и сооружений: схема планово-высотной съемки котлована, схема планово-высотного положения сборного фундамента, схема планово-высотного положения стаканов фундамента, схема планово-высотного положения анкерных болтов, схема планово-высотного положения свай и монолитного ростверка.

Исполнительные схемы по надземной части зданий и сооружений: схема положения колонн в плане и по вертикали, схемы планово-высотного положения оголовков и консолей колонн, схемы планово-высотного положения балок и подкрановых путей, схема положения стеновых панелей, схема фундамента под оборудование.

Исполнительные схемы по подземным инженерным сетям: схемы водопровода, канализации, теплосети, газопровода, схемы кабельных сетей, общего коллектора. Исполнительные схемы подземных коммуникаций должны сопровождаться исполнительным продольным профилем по оси сооружения с указанием величин отклонений от проекта.

Пример исполнительных схем приведен на рис. 98. На рис. 98, а показана часть исполнительной схемы планово-высотного положения стаканов фундамента. На рис. 98, б приведен образец исполнительной схемы положения колонн в плане и по вертикали.

Анализ текущей исполнительной документации путем сравнения полученных отклонений в положении элементов конструкций с допусками для данного вида работ, предусмотренными соответствующей главой СНиПа, позволяет делать вывод о возможности перехода от одного этапа инженерно-строительных работ к другому.

Окончательные исполнительные съемки выполняют после завершения всех строительно-монтажных работ. По результатам съемки составляют исполнительный генеральный план, на который наносят все построенные по проекту постоянные здания и сооружения, надземные и подземные инженерные коммуникации. Исполнительный генеральный план

Рис. 98. Исполнительные схемы:

а — планово-высотного положения стаканов фундамента; б — положения колонн в плане и по вертикали используется при последующей эксплуатации построенного сооружения или комплекса сооружений. В случае произошедших изменений в процессе ремонта объекта или его реконструкции в

исполнительный генеральный план вносятся соответствующие изменения.

В случае отсутствия исполнительных схем подземных коммуникаций определение их месторасположения в настоящее время выполняется с помощью специальных электронных приборов—: трубокабелеискателей. Эти приборы могут быть использованы для отыскания металлических трубопроводов и различного рода кабелей. В данном случае отыскиваемая подземная коммуникация является проводником тока.

В основу устройства и работы трубокабелеискателей положен закон электромагнитной индукции. Комплект прибора состоит из двух блоков: передающего, включающего в себя генератор звуковой частоты, и приемного, служащего для приема, преобразования и усиления сигнала. При помощи генератора на исследуемую коммуникацию подается переменный электрический ток звуковой частоты, который создает переменное магнитное поле. Наличие магнитного поля обнаруживается с помощью антенны приемного устройства.

Наиболее точным способом поиска подземных коммуникаций является контактный способ, при котором генератор присоединяется непосредственно к коммуникации через колодец или у ввода коммуникации в здание. Средняя квадратическая ошибка определения планового положения коммуникации и глубины ее заложения с помощью трубокабелеискателей  $\sim 10$  см.

**Лекция -18**  
**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ**  
**ЭКСПЛУАТАЦИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**  
**План**

- 1. Общие сведения о деформациях зданий и сооружений**
- 2. Размещение реперов и марок наблюдений за осадками**
- 3. Методы определения осадок зданий и сооружений**
- 4. Методы определения горизонтальных перемещений зданий и сооружений**
- 5. Наблюдение за кренами и трещинами зданий и сооружений**
- 6. Фотограмметрические методы определения деформаций**
- 7. Основные требования по технике безопасности при выполнении геодезических работ**

1. Под воздействием природных условий и других причин здания и сооружения в процессе эксплуатации могут изменять свое положение в вертикальной и горизонтальной плоскостях, вызывая их деформацию в виде трещин, прогибов, перекосов и крена. Если эти явления не будут своевременно обнаружены и не приняты меры к их устранению, то здание или сооружение может разрушиться. Поэтому за зданиями и сооружениями в процессе их эксплуатации необходимо вести натурные наблюдения и в необходимых случаях проводить геодезические измерения.

Технологическое оборудование в процессе эксплуатации может также изменить свое положение в вертикальной и горизонтальной плоскостях, что может привести к нарушению технологического процесса и к аварии. Во избежание таких случаев необходимо тщательное наблюдение за работой оборудования в процессе его эксплуатации и своевременное принятие мер к устранению возникших нарушений.

Смещение здания, сооружения в вертикальной плоскости называется осадкой, в горизонтальной — горизонтальным перемещением (сдвигом).

При равномерных осадках здание, сооружение, перемещается в вертикальном направлении одинаково во всех его частях и не влияет существенно на их прочность и устойчивость.

В тех случаях, когда сжимаемость грунта под фундаментом неодинакова или нагрузка, приходящаяся на грунт, различная, осадка имеет неравномерный характер и это приводит к заметным деформациям здания, сооружения, к появлению трещин и даже разломов.

Наблюдение за деформациями зданий и сооружений должно проводиться в первые годы эксплуатации и до их стабилизации. При этом желательно, чтобы циклы наблюдений проводились через равные промежутки времени. По мере уменьшения скорости осадок интервал между циклами наблюдений увеличивается.

**2. РАЗМЕЩЕНИЕ РЕПЕРОВ И МАРОК**  
**НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСАДКАМИ**

Наблюдение за осадками зданий и сооружений ведется относительно специальных постоянных нивелирных знаков — фундаментальных глубинных реперов, закладываемых в стороне от сооружения, где их сохранность и неизменность высотного положения обеспечены на длительное время.

В районе наблюдений за осадками зданий, сооружений устанавливают не менее трех глубинных реперов с учетом возможности обеспечения контроля неизменности их высотного положения с одной постановки нивелира.

Глубинные фундаментальные реперы устанавливаются при наблюдениях особо ответственных сооружений и при измерении осадок нивелированием I класса. При измерении осадок нивелированием II и III классов можно использовать грунтовые реперы, которые закладываются ниже глубины промерзания грунта. Наиболее распространенными типами грунтовых реперов являются трубчатые и реперы в виде забитых в грунт свай. Верхняя часть трубчатого репера и сваи имеет сферическую головку.

Для определения осадки в сооружение закладываются контрольные осадочные марки, которые перемещаются вместе с сооружением. По наблюдениям за ними можно определять величины осадки сооружения и отдельных его частей. От правильности размещения и числа осадочных марок, заложенных в сооружение, зависит качество определения величия осадок, при этом следует учитывать удобство для их наблюдения.

Размещение марок на сооружении проводится с учетом конструкции фундамента, нагрузки на отдельные части основания, а также геологических и гидрогеологических условий. Желательно осадочные марки устанавливать примерно на одном уровне и в местах, где ожидаются наибольшие осадки.

Для жилых и общественных бескаркасных зданий с кирпичными стенами и ленточным фундаментом марки размещаются по периметру через 10—15 м.

Для промышленных сооружений и каркасных жилых и общественных зданий марки размещают на несущих колоннах до продольным и поперечным осям не менее трех в каждом направлении.

Для бескаркасных крупнопанельных жилых и общественных зданий со сборными фундаментами марки устанавливаются по периметру через 6—8 м. Для сооружений со свайными фундаментами марки размещаются через 10—15 м по продольным и поперечным осям сооружения.

На сооружениях типа дымовых труб, доменных печей и др. устанавливается не менее четырех марок по периметру.

Для гидротехнических сооружений, разделенных на секции, устанавливают не менее трех марок на каждую секцию, а при ширине секции более 15 м — не менее четырех марок.

Для причальных и подпорных стен марки устанавливают по периметру через 15—20 м.

Осадочные марки бывают различных видов. Простейшая из них представляет собой отрезок угловой стали, примерно 15 см, при закладке в каменных стенах и 5—6 см при креплении их к стальным конструкциям. Более сложная марка имеет сферическую или полусферическую форму и при закладке

в стену она должна выступать на 3—4 см, чтобы удобно было устанавливать на нее рейку.

В земляные сооружения (плотины, дамбы и т. п.) закладываются марки, представляющие собой штанги, верхний конец которых имеет головку, а нижний — башмак в виде диска с арматурными шипами. Марка устанавливается в защитную трубу, заполненную на 0,5 м бетоном, в который вдавливаются башмак. Сверху марка закрывается крышкой. Марки закладывают на разную глубину и по результатам их нивелирования определяют деформации земляного сооружения.

### 3. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСАДОК ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Наиболее распространенным методом наблюдений за осадками зданий и сооружений является метод геометрического нивелирования. При использовании этого метода периодически, через определенные промежутки времени, проводится нивелирование осадочных марок относительно исходных, глубинных или грунтовых реперов.

Величина и скорость изменения положения осадочных марок по высоте будет показывать характер осадки сооружения.

Интервал между циклами наблюдений выбирается в зависимости от типа сооружения, характера грунта в основании фундамента, времени, прошедшего с начала эксплуатации сооружения.

Наблюдения за особо сложными сооружениями, например, гидроэлектростанциями, АЭС и др., начинаются с возведения фундаментов и проводятся нивелированием I класса в прямом и обратном направлениях с ошибкой в превышениях, полученных из двух горизонтов нивелира, не более 0,3 мм.

Для многих промышленных сооружений определение осадок проводится нивелированием II и III классов. Нивелирование II класса проводят при одном горизонте прибора в прямом и обратном направлениях, используя нивелиры типа Н-1, Н-2 и инварные штриховые рейки.

При определении осадок нивелированием III класса нивелирами типа Н-3 с использованием двусторонних реек с сантиметровыми делениями, нивелирование проводят при двух горизонтах прибора в одном направлении. Длина визирного луча не более 40 м, высота визирного луча не менее 0,3 м над поверхностью Земли, неравенство расстояний от нивелира до реек не более 2 м, а предельная невязка хода не более  $2\sqrt{n}$  мм, где  $n$  — число станций.

Допустимые средние квадратические ошибки определения осадок зданий и сооружений не должны превышать относительно исходного репера:

1 мм — для зданий и сооружений, возводимых на скальных и полускальных грунтах;

2 мм — для зданий и сооружений, возводимых на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;

5 мм — для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных и других сильно сжимаемых грунтах.

Определение осадок зданий, сооружений можно проводить также гидростатическим и тригонометрическим нивелированием.

Гидростатическое нивелирование целесообразно применять при наблюдениях за осадками фундаментов и несущих строительных конструкций в стесненных условиях подвальных и других помещений, где наблюдение геометрическим нивелированием крайне затруднительно или невозможно.

Тригонометрическое нивелирование для измерения осадок зданий и сооружений применяется в том случае, когда нельзя использовать геометрическое или гидростатическое нивелирование, например, при наблюдениях гидротехнических сооружений в горных районах.

#### **4. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Горизонтальные перемещения (сдвиги) определяются от опорных пунктов, расположенных вне сферы влияния здания, сооружения и принятых за неподвижные. Перемещения, определяемые относительно какой-либо точки здания, сооружения, называются относительными или взаимными.

Согласно требованиям СНиП средние квадратические ошибки определения горизонтальных перемещений зданий, сооружений не должны превышать:

1 мм — для зданий и сооружений, возводимых на скальных и полускальных грунтах;

3 мм — для зданий и сооружений, возводимых на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах;

10 мм — для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных и других сильно сжимаемых грунтах;

15 мм — для земляных плотин.

Наблюдение за горизонтальными перемещениями зданий, сооружений после ввода их в эксплуатацию проводится дважды в году, желательно весной и осенью, и прекращаются, когда скорость смещения становится меньше 2 мм в год. Наблюдения возобновляются, когда появляются деформации, непредусмотренные проектом.

*Метод створных наблюдений* применяют для определения горизонтальных перемещений прямолинейных плотин, колонн зданий и других сооружений, где возможно установить наблюдаемые точки в плане на одной прямой.

На рис. 99 изображена схема расположения знаков при створных наблюдениях, где А и В — опорные пункты; 1, 2, 3,... — наблюдаемые контрольные точки. При наблюдениях за горизонтальными перемещениями сооружения определяют отклонение контрольных точек от створа АВ с помощью подвижной визирной марки, которая устанавливается на каждом контрольном знаке.

При наблюдениях визирную цель марки наводящим винтом передвигают до совмещения вертикальной оси этой цели с визирной осью теодолита,

установленного в пункте А и ориентированного по створу АВ. Взяв отсчет а по шкале марки, получают величину сдвига у контрольной точки от створа линии по формуле  $y = a - MO$ , где MO — место нуля визирной марки.

Эта же задача может быть решена путем измерения высокоточным теодолитом малых углов  $v$  между створом АВ и направлениями А1, А2, А3,... (см. рис. 99). При измерении этих углов в контрольных точках устанавливается неподвижная марка.

Измерив расстояния  $d_1, d_2, d_3 \dots$  от точки А (см. рис. 99) до контрольных точек, вычисляют значения горизонтальных перемещений

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= d_1 \frac{v_1''}{\rho''}; \\ y_2 &= d_2 \frac{v_2''}{\rho''}; \\ \dots\dots\dots \\ y_n &= d_n \frac{v_n''}{\rho''}; \end{aligned} \right\} \quad (192)$$

При невозможности закрепления створа на здании, сооружении для измерения перемещений применяется *метод отдельных направлений*. Сущность метода заключается в повторных измерениях горизонтальных углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  в опорных пунктах А и В (рис. 100).

Рис. 99. Схема расположения знаков при створных наблюдениях

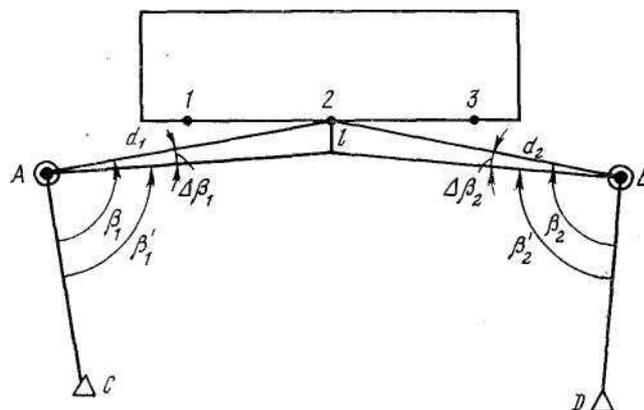


Рис. 100. Схема определения смещения точек сооружения методом отдельных направлений

Величина горизонтального перемещения наблюдаемой точки будет равна

$$l = d_1 \frac{\Delta\beta_1''}{\rho''} = d_2 \frac{\Delta\beta_2''}{\rho''} \quad (193)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  — расстояния соответственно от опорных пунктов А и В до наблюдаемой точки сооружения;  $\Delta\beta_1''$  и  $\Delta\beta_2''$  — изменения углов ( $\beta_1$  и  $\beta_2$  при

повторном их измерении.

При отклонении направлений A2 и B2 от оси здания не более  $8^\circ$  ошибка в определении  $l$  не будет превышать 1 : 100 ее значения.

Углы  $\beta$  измеряются высокоточным теодолитом, расстояния измеряются приборами, обеспечивающими точность измерения порядка 1 : 1000.

При невозможности создать створ, например, в горной местности, для наблюдений за горизонтальными перемещениями сооружений пользуются методом триангуляции. Сущность метода заключается в периодическом определении координат контрольных знаков, включенных в триангуляционную сеть. По разностям координат между смежными циклами наблюдений определяют горизонтальное перемещение сооружений.

## 5. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА КРЕНАМИ И ТРЕЩИНАМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Отклонение сооружения от проектного положения в вертикальной плоскости называется креном. Крен возникает от неравномерной осадки основания сооружения и определяется с помощью тяжелых отвесов, теодолитов и приборов вертикального проектирования. При наблюдениях за кренами зданий и сооружений предельные ошибки измерений не должны превышать:

для стен гражданских и промышленных зданий - 0,0001 h;

для дымовых труб, башен, мачт - 0,0005 h,

где h — высота сооружения.

При использовании отвеса для определения крена нить закрепляют вверху сооружения (рис. 101, а) и по ее отклонению от сооружения определяют абсолютную величину крена  $l$  при помощи шкаловых устройств, например, линейки с миллиметровыми делениями. Крен в относительной мере выразится формулой

$$i = \frac{l}{h}; \quad (194)$$

где h — высота сооружения.

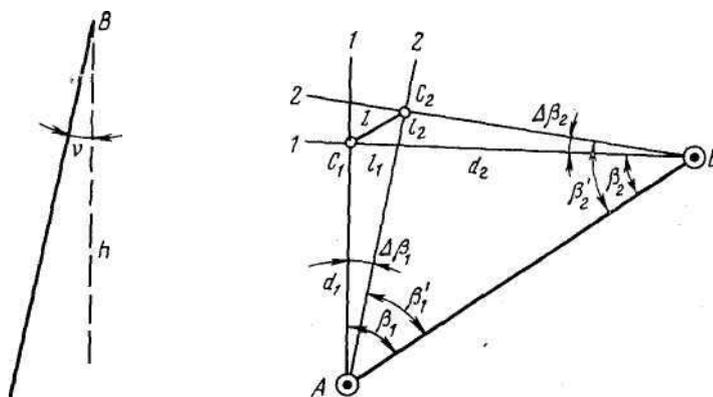


Рис. 101. Схемы определения крена сооружения:

а — вертикальным проектированием; б — способом горизонтальных углов

Этот простой способ обеспечивает требуемую точность при высоте сооружения до 15 м.

Определение крена сооружения может быть выполнено с помощью теодолита, установленного над постоянным знаком примерно в расстоянии двойной высоты сооружения. Зрительную трубу наводят на заметную верхнюю точку сооружения В (см. рис. 101, а) и, опустив трубу вниз, отмечают проекцию этой точки В<sub>0</sub> на горизонтальной реечке, расположенной перпендикулярно к визирной линии теодолита. Аналогично определяют величину крена в другой вертикальной плоскости, перпендикулярной первоначальной. Если в первой плоскости величина крена была равной  $l_1$ , а в другой —  $l_2$ , то общая величина крена будет равна

$$l = \sqrt{l_1^2 + l_2^2} \quad (195)$$

Для определения изменения величины и направления крена проводят цикл наблюдений через определенные промежутки времени с одних и тех же постоянных знаков.

Для определения кренов сооружений применяют оптические приборы вертикального визирования с уровнем для приведения визирной оси в отвесное положение. С помощью таких приборов крены сооружений высотой до 100 м можно определить с точностью до 1 мм.

Крен сооружения можно определить *способом координат*, для чего вокруг сооружения, на расстоянии около трех его высот, прокладывают замкнутый полигонометрический ход и вычисляют в частной системе координаты трех – четырех постоянно закрепленных на местности пунктов. С этих пунктов прямой засечкой определяют координаты заметной точки на вершине сооружения. По разности координат между текущим и начальным циклами наблюдений находят составляющие приращения крена за данный промежуток времени

$$\Delta x = x_1 - x_0; \quad \Delta y = y_1 - y_0; \quad (196)$$

полную величину приращения крена и его направление

$$l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (197)$$
$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Для наблюдений за изменениями величины крена высотных зданий и сооружений целесообразно пользоваться *способом горизонтальных углов*. В этом случае с закрепленных на местности пунктов А и В (рис. 101,б), находящихся в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, периодически измеряют высокоточным теодолитом углы между опорными направлениями АВ и ВА и направлениями на наблюдаемую верхнюю точку сооружения С. По разности углов между циклами измерений и горизонтальному проложению до

наблюдаемой точки, которое определяется прямой засечкой из пунктов А и В, определяют составляющие крена  $I_1$  и  $I_2$  из равенств

$$I_1 = \frac{d_1 \Delta \beta''_1}{\rho''} \quad I_2 = \frac{d_2 \Delta \beta''_2}{\rho''} \quad (198)$$

Полную величину крена  $I$  определяют по формуле (195), а отношение линейной величины крена к высоте сооружения дает крен в относительной мере и вычисляется по формуле (194).

Деформации фундаментов зданий и сооружений вызывают в несущих конструкциях не только крены, но и трещины, которые делят на активные, когда идет процесс их расширения, и неактивные, когда этот процесс прекратился.

Наблюдения за трещинами проводятся с помощью специальных маяков, которые представляют собой плитки из гипса или алебаstra. Маяк крепится к конструкции поперек трещины в наиболее широком ее месте. Если трещина продолжает увеличиваться, то на маяке через некоторое время появится трещина, которую измеряют линейкой между заранее нанесенными на стене штрихами, а трещину перекрывают новым маяком и продолжают наблюдение. Результаты наблюдений за трещинами заносят в специальный журнал, записывают ширину трещины, время ее образования, время установки и замены маяков. Ноли для наблюдения за трещинами используются специальные приборы, например, деформетры, то по ним периодически регистрируют их показания.

## 6. ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ

Определение деформаций зданий и сооружений может быть выполнено фотограмметрическим методом с использованием фототеодолита и стереофотограмметрических приборов. Применение фотограмметрического метода дает возможность определять смещения практически неограниченного количества точек исследуемого сооружения одновременно по направлению двух или трех координатных осей.

Сущность фотограмметрического метода заключается в фотографировании объекта фототеодолитом с закрепленных на местности пунктов. Фотографирование проводится через определенные промежутки времени, называемые циклами наблюдений.

Для определения смещений точек сооружения в вертикальной плоскости фотографирование выполняют с одного пункта. В этом случае смещение точки сооружения в горизонтальном направлении  $AХ$  (сдвиг) и смещение точки в вертикальном направлении  $AZ$  (осадка) определяются по формулам

$$\Delta X_i = X_i - X_0 = \frac{Y}{f} x_i - \frac{Y}{f} x_0 = \frac{Y}{f} \Delta x \quad (199)$$

где  $X_i, Z_i, X_0, Z_0$  — координаты точки сооружения в текущем и начальном циклах наблюдений;  $x_i, z_i, x_0, z_0$  — координаты точки сооружения на фотоснимке в текущем и начальном циклах наблюдений;  $\Delta x, \Delta z$  — смещения точек вдоль осей  $x$  и  $z$  на фотоснимке между циклами наблюдений;  $Y$  — отстояние фототеодолита от наблюдаемого сооружения;  $f$  — фокусное расстояние фотокамеры.

Величины  $\Delta x$  и  $\Delta z$  измеряются по снимкам на стереокомпараторе. Отстояние  $Y$  измеряется стальной лентой при выполнении полевых работ. При необходимости определить смещения точек сооружения по направлению трех координатных осей применяется стерео-фотограмметрический метод. Фотографирование сооружения проводится с двух пунктов, расстояние между которыми называется базисом фотографирования  $B$ . В этом случае смещение точки сооружения по направлению осей  $Y, X$  и  $Z$  может быть определено по формулам

$$\Delta Y_i = Y_i - Y_0 = Bf \left( \frac{1}{p_i} - \frac{1}{p_0} \right) \quad (200)$$

$$\Delta X_i = X_i - X_0 = B \left( \frac{x_i}{p_i} - \frac{x_0}{p_0} \right)$$

$$\Delta Z_i = Z_i - Z_0 = B \left( \frac{z_i}{p_i} - \frac{z_0}{p_0} \right)$$

где  $p_i, p_0$  — продольные параллаксы точек в текущем и начальном циклах наблюдений, равные разностям абсцисс одноименных точек на левом и правом фотоснимках.

Координаты точек снимка  $x, z$  и продольный параллакс  $p$  в каждом цикле наблюдений измеряются на стереокомпараторе. Базис фотографирования  $B$  измеряется металлической рулеткой в процессе полевых работ.

Точность определения деформаций фотограмметрическим методом зависит от величины отстояния базиса фотографирования от объекта, величины базиса, от неизменности положения пунктов, с которых проводится фотографирование, от правильности ориентирования оптической оси фотокамеры в пространстве в каждом цикле наблюдений. При точном соблюдении всех требований, предъявляемых к производству фототеодолитной съемки, деформации исследуемых зданий и сооружений могут быть определены с точностью порядка 1—3 мм при отстояниях базиса фотографирования 10—20 м.

## **7. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ**

При выполнении геодезических работ при строительстве зданий и сооружений следует руководствоваться правилами техники безопасности,

изложенными в главе СНиП по технике безопасности и другими нормативными документами, утвержденными в установленном порядке применительно к конкретным условиям работы, например, при проведении геодезических работ на стройплощадках соблюдаются правила техники безопасности, принятые для данного строительного объекта.

К геодезическим работам допускаются лица, прошедшие инструктаж и проверку знаний по технике безопасности.

При работе на проезжей части дороги с интенсивным движением транспорта и при работе на строительной площадке с большим числом работающих механизмов следует быть особенно осторожным и назначать наблюдателя, освобожденного от всех обязанностей, кроме наблюдения за движущимся транспортом и механизмами. Нельзя проводить геодезические работы в опасных зонах: вблизи работающих экскаваторов, подъемных кранов, в местах, где проходят электролинии. В случае необходимости проведения таких работ электролинию следует отключить. Во избежание обвалов нельзя проводить геодезические работы в глубоких котлованах, вблизи нависших стенок, на краю незакрепленных откосов.

Перемещение лиц, выполняющих геодезические работы, с теодолитами, нивелирами и другими приборами должно осуществляться по блокам лестничных маршей, имеющих инвентарные ограждения, ступеньки лестниц должны быть очищены от грязи, снега и льда. При работе на монтажном горизонте все проемы и отверстия должны быть закрыты, а при монтаже различных конструкций геодезические приборы должны быть установлены на расстоянии полуторной высоты от монтируемой конструкции. При выполнении работ на первых этажах здания и вблизи его стен следует принимать меры к тому, чтобы были сделаны защитные приспособления, предохраняющие наблюдателя и рабочих от падающих сверху предметов и материалов.

При выполнении геодезических работ на строительной площадке с использованием лазерного луча необходимо соблюдать меры предосторожности: луч лазера не должен попадать непосредственно в глаз и выходить за пределы строительной площадки; запрещается во включенном состоянии вскрывать прибор и блок питания, это опасно.

Нельзя работать на стройплощадке без защитной каски. Обувь должна быть на жесткой подошве, одежда — не стеснять движений.

Необходимо знать правила оказания первой помощи при несчастных случаях.

### **Вопросы, для самопроверки**

1. С какой целью проводятся геодезические наблюдения за осадками и деформациями зданий и сооружений?
2. Как должны размещаться глубинные реперы и осадочные марки для наблюдения за осадками?
3. Какими методами проводятся наблюдения за осадками сооружений?
4. Какие существуют методы определения сдвигов зданий и сооружений,

в чем их сущность?

5. Как проводятся наблюдения за кренами и трещинами зданий и сооружений?

6. В чем заключается сущность фотограмметрических методов определения деформаций?

7. Какие существуют правила техники безопасности при проведении геодезических работ на строительной площадке?