

СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

М.И.КИСЕЛЕВ, Д.Ш.МИХЕЛЕВ

ГЕОДЕЗИЯ

*Допущено
в качестве учебника для студентов образовательных
учреждений среднего профессионального образования*

2-е издание, переработанное и дополненное

№64

Москва

ACADEM'A
2004

УДК 528(075.32)
ББК 26.12я723
К 44

Рецензент —
проректор Московского колледжа архитектуры
и строительных искусств *В.Л.Зайченко*

Киселев М. И.

К44 Геодезия: Учебник для сред. проф. образования / М.И.Киселев, Д.Ш.Михелев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 384 с.

ISBN 5-7695-1641-0

Даны общие сведения по геодезии, картографии и топографии; геодезическим приборам, методам геодезических измерений, вычислений и оценке точности их результатов; инженерно-геодезическим работам, выполняемым при изыскании, проектировании и строительстве инженерных сооружений. Изложены методы изысканий, производства разбивочных работ, исполнительных съемок. Приведены материалы по геодезическому обеспечению кадастра, лесоустройству, привязке горных выработок, наблюдению за деформациями сооружений, лицензированию, организации геодезических работ и технике безопасности при их проведении.

Для студентов средних профессиональных учебных заведений. Может быть использован студентами негеодезических вузов.

УДК 528(075.32)
ББК26.12я723

ISBN 5-7695-1641-0 © Киселев М.И., Михелев Д.Ш., 2004
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2004
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник методически построен таким образом, чтобы на первой стадии изучения курса студенты могли ознакомиться с общими сведениями по геодезии, картографии и топографии; геодезическими приборами, включая самые современные; методами геодезических измерений, вычислений и оценки точности их результатов.

В учебнике рассмотрены инженерно-геодезические работы, выполняемые при изысканиях, проектировании и строительстве инженерных сооружений. Излагаются методы изысканий построения инженерно-геодезических сетей, разбивочных работ, исполнительных съемок, геодезического обеспечения строительства гражданских и промышленных зданий, дорог и мостов, подземных коммуникаций, гидротехнических сооружений, тоннелей метрополитена, линий электропередачи и связи, магистральных трубопроводов, лесоустроительных работ, выноса в натуру и привязки горных выработок. Даны разделы по геодезическому обеспечению кадастра, наблюдению за деформациями сооружений, сертификации, лицензированию, организации геодезических работ и технике безопасности при их проведении.

Авторы включили в учебник некоторые вопросы, выходящие за рамки соответствующих учебных программ, но сегодня они уже реализуются в инженерно-геодезическом производстве и имеют перспективу в будущем.

Второе издание дополнено новыми представлениями о построении государственной геодезической спутниковой сети, переработан материал о фототопографической съемке, включен новый подраздел по специальным методам съемки (лазерное сканирование и съемка спутниковыми приемниками).

Авторы надеются, что учебник может быть полезен и специалистам производства, выполняющим разнообразные инженерно-геодезические работы.

ВВЕДЕНИЕ

Геодезия (от гр. *землеразделение*) — наука об измерениях на земной поверхности, проводимых для определения формы и размеров Земли, изображения земной поверхности в виде планов, карт и профилей; создания различных инженерных сооружений.

В процессе своего развития геодезия разделилась на несколько самостоятельных научных дисциплин: высшую, космическую, топографию, инженерную и др. Высшая геодезия изучает вид и размеры Земли, а также методы определения геодезических координат отдельных точек земной поверхности. Космическая геодезия изучает геометрические соотношения между точками земной поверхности с помощью искусственных спутников Земли. Топография рассматривает способы изучения земной поверхности для изображения ее сравнительно небольших участков на планах и картах. Инженерная геодезия призвана решать геодезические задачи, связанные с построением опорной геодезической основы для проведения съемочных и разбивочных работ, составлением крупномасштабных планов и профилей для проектирования инженерных сооружений, производством разбивочных работ в плане и по высоте при строительстве зданий и сооружений, текущим обслуживанием строительномонтажных операций, составлением исполнительных чертежей объектов и исследованием их деформаций в процессе строительства и эксплуатации.

Геодезия имеет огромное значение в различных отраслях народного хозяйства. Особенно велика ее роль при картографировании страны и изучении ее природных богатств. Широкое развитие землеустроительных работ, направленных на наиболее рациональное использование земли, учет ее качества, проведение оросительных и осушительных мероприятий — все это невозможно без геодезических измерений.

Геодезические работы ведут при планировке, озеленении и благоустройстве населенных мест, лесоустройстве и т.д. Развитие тяжелой индустрии, производство электроэнергии, металла, топлива и других отраслей промышленности ставят все новые задачи перед инженерной геодезией. Комплексная механизация и автоматизация строительномонтажных операций невозможна без высокой точности геодезических измерений.

В инженерной геодезии все более широкое применение находят новые методы фотограмметрической съемки, усовершенствованные автоматические, оптико-механические и электронные приборы, радиогеодезические и спутниковые системы. Исследования деформации земной поверхности и инженерных сооружений в период их строительства и эксплуатации также проводят на основе достижений инженерной геодезии.

Исключительно велика роль геодезии в обороне страны: карта — «глаза» армии. Карту используют при разработке стратегических планов и проведении военных операций.

Дальнейшее развитие народного хозяйства выдвигает новые задачи и перед геодезической наукой, которая должна более активно способствовать развитию всех отраслей промышленности, строительства, транспорта и обороны России.

Геодезические работы предшествуют и сопутствуют инженерным изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации инженерных сооружений.

При проектировании вертикальной планировки строительной площадки и подготовке выноса проектов зданий и сооружений в натуру составляют специальные разбивочные чертежи, на которых указывают линейные и угловые величины, определяющие положение на местности зданий и сооружений. Геодезические разбивочные работы обеспечивают соблюдение всех геометрических требований проекта и должны предусматриваться в технологических схемах возведения зданий и сооружений. В процессе возведения объектов выполняют контрольные геодезические измерения. После окончания строительства производят исполнительную съемку законченных объектов и составляют исполнительный генеральный план, используемый при эксплуатации зданий и сооружений. При эксплуатации сооружений ведут систематические геодезические наблюдения за их устойчивостью и прочностью.

Инженерная геодезия тесно связана с другими геодезическими дисциплинами и использует методы измерений и приборы, предназначенные для общегеодезических целей. В то же время для геодезического обеспечения строительного-монтажных работ, наблюдений за деформациями сооружений и других подобных работ применяют свои приемы и методы измерений, используют специальную измерительную технику, лазерные приборы и автоматизированные системы, а также соответствующие вычислительные программы.

Инженерно-геодезические измерения выполняют непосредственно на местности в различных физико-географических условиях, поэтому необходимо заботиться об охране окружающей природы: не допускать повреждений лесов, сельскохозяйственных угодий, не загрязнять водоемы.

ЧАСТЬ 1

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Понятие о форме и размерах Земли

Физическая поверхность Земли, состоящая из суши и водной поверхности, имеет сложную форму. *Суша* представляет собой сочетание низменностей и возвышенностей, высоты которых над уровнем моря достигают 8...9 км.

Задача определения формы и размеров Земли включает в себя: установление формы и размеров некоторой типичной фигуры — математической поверхности Земли; изучение отступлений физической поверхности Земли от ее математической поверхности.

За математическую поверхность Земли принимают *уровненную поверхность*, которая представляет собой поверхность воды океанов в ее спокойном состоянии, мысленно продолженную под материи.

Уровненная поверхность обладает следующим свойством: в каждой данной точке ее поверхность перпендикулярна отвесной линии, проходящей через эту точку. В общем уровенная поверхность Земли не совпадает с поверхностью ни одной математической фигуры и представляет собой неправильную форму, которая называется *геоидом*.

В качестве первого приближения Землю принимают за шар. Более точные исследования показали, что математическая форма Земли больше соответствует поверхности эллипсоида, получающегося от вращения эллипса вокруг его малой оси (рис. 1.1).

В 1946 г. под руководством проф. Ф. Н. Красовского были вычислены размеры земного эллипсоида: большая полуось $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м и сжатие

$$\alpha = (a - b) / a = 1:298,3.$$

Такой эллипсоид называют *референц-эллипсоидом Красовского*.

Его поверхность отклоняется от уровенной на величину не более 150 м.

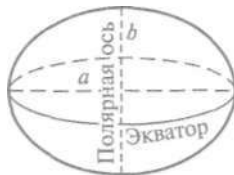


Рис. 1.1. Земной эллипсоид

1.2. Метод проекций в геодезии

Пусть многоугольник $ABCDE$ (рис. 1.2) представляет собой часть земной поверхности. Возьмем плоскость PQ и опустим из каждой вершины многоугольника перпендикуляры на эту плоскость. Основания этих перпендикуляров обозначим соответственно через a, b, c, d, e . Полученные на плоскости точки называются ортогональными (прямоугольными) проекциями точек пространства; линии ab, bc, \dots называются ортогональными проекциями линий AB, BC, \dots , а углы abc, bcd, \dots — ортогональными проекциями углов ABC, BCD, \dots . Плоский многоугольник $abede$ является ортогональной проекцией пространственного многоугольника $ABCDE$.

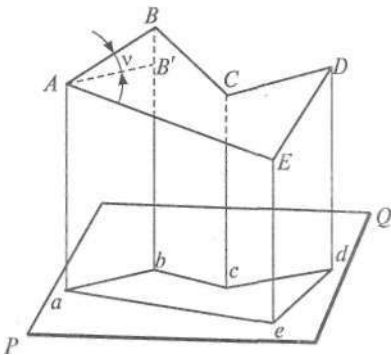


Рис. 1.2. Ортогональная проекция

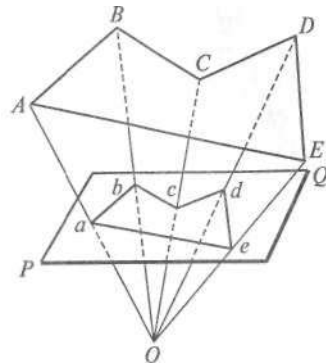


Рис. 1.3. Центральная проекция

Другая имеющая важное значение в геодезии проекция называется *центральной*. Суть ее заключается в следующем. Возьмем произвольную точку O (рис. 1.3) и соединим ее со всеми вершинами многоугольника $ABCDE$, находящегося на земной поверхности. Полученные в пересечении с горизонтальной плоскостью PQ точки a, b, c, d, e будут центральными проекциями точек A, B, C, D, E .

Плоский многоугольник $abede$ называется центральной проекцией многоугольника $ABCDE$.

1.3. Определение положения точек на земной поверхности

Положение точек на земной поверхности может быть определено в различных системах координат.

Системы географических и геодезических координат. Система географических координат является единой системой для всех точек Земли. При этом уровенная поверхность принимается за поверхность сферы. За начало отсчета в географической системе координат принимают начальный меридиан PM_0P_b проходящий через центр Гринвичской обсерватории на окраине Лондона, и плоскость экватора EQ (рис. 1.4, а).

Положение всякой точки M на сфере в этой системе координат определяется углом φ , образованным радиусом-вектором MO с плоскостью экватора, и углом λ , составленным плоскостью меридиана PMP_x данной точки с плоскостью начального меридиана.

Угол φ , называемый *географической широтой*, отсчитывается от плоскости экватора к северу и югу от 0 до 90° . Широты точек, расположенных в северном полушарии, называют *северными*, а в южном — *южными*.

Угол λ , называемый *географической долготой*, отсчитывается от плоскости начального меридиана к востоку и западу от 0 до 180° . Точки, расположенные восточнее начального меридиана, имеют *восточные* долготы, а западнее — *западные*.

Система геодезических координат определяет положение точек на поверхности эллипсоида вращения (рис. 1.4, б).

Под геодезической широтой B точки M понимают угол между нормалью MO_x к поверхности эллипсоида и плоскостью экватора, а под геодезической долготой L — двугранный угол между начальным меридианом и меридианом данной точки.

Если широта и долгота отнесены к уровенной поверхности Земли, то такую систему называют *астрономической*. В геодезических работах различиями между астрономическими и геодезическими координатами не пренебрегают. Более того, эти различия являются предметом особого изучения.

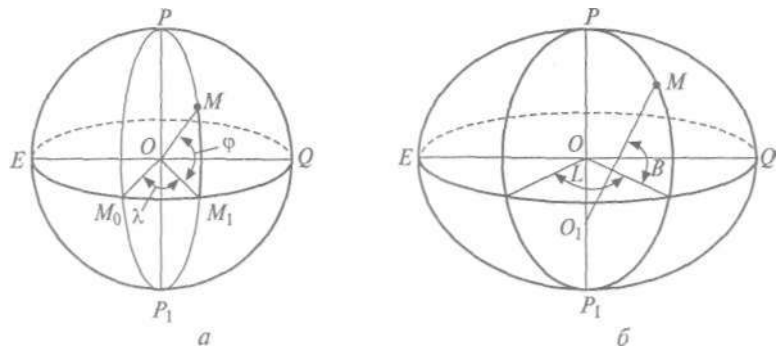


Рис. 1.4. Системы координат:
а — географическая; б — геодезическая

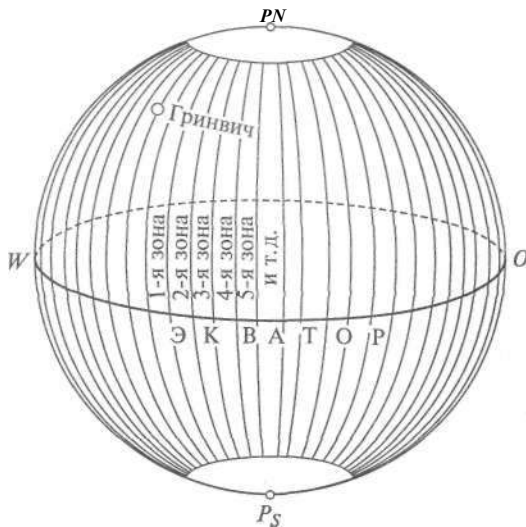


Рис. 1.5. Деление земного шара на зоны

Зональная система прямоугольных координат Гаусса. Чтобы установить связь между географическими координатами любой точки Земли и прямоугольными той же точки на плоскости, применяют способ проектирования поверхности земного шара на плоскость по частям, которые называются *зонами*. При этом земной шар делят меридианами на шести- или трехградусные зоны (рис. 1.5). Счет зон ведется на восток от Гринвичского меридиана.

Прежде чем спроектировать такую зону на плоскость, ее проектируют на поверхность цилиндра, который располагают так, чтобы его ось проходила через центр земного шара и находилась в плоскости земного экватора. При этом земной шар должен касаться цилиндра по среднему меридиану данной зоны. После этого цилиндр разворачивают на плоскости и получают на ней изображение проекции данной зоны. Такая проекция называется *проекцией Гаусса — Крюгера*.

В такой системе начало координат для всех зон принимается в точке пересечения осевого меридиана данной зоны с экватором. Координатными осями являются соответственно ось абсцисс и ось ординат (рис. 1.6). Абсциссы, отсчитываемые от экватора к северному полюсу, считаются положительными, к южному — отрицательными; значения ординат от осевого меридиана на восток — положительными, на запад — отрицательными. Точка *A* будет иметь следующие координаты: абсциссу x_A и ординату y_A .

Так как территория Российской Федерации расположена в северном полушарии, то все абсциссы для всех ее точек положи-

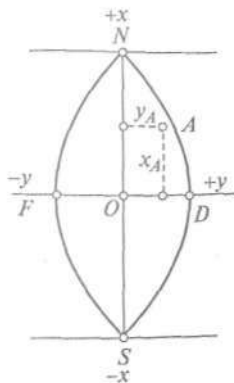


Рис. 1.6. Зональная система координат

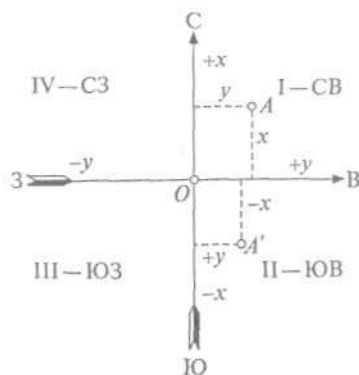


Рис. 1.7. Система прямоугольных координат

тельны. Чтобы избежать отрицательных значений ординат, ординату осевого меридиана зоны принимают не за нуль, а за 500 км, т.е. начало координат в каждой зоне перемещают на 500 км к западу. При этом принята следующая система записи ординат: например, запись 7 382000 указывает на то, что точка находится в седьмой зоне и ее ордината равна 118 000 м (382000...500000).

Система прямоугольных координат. В геодезической практике положение точек часто определяют плоскими прямоугольными координатами. В этой системе плоскость координат совпадает с плоскостью горизонта в данной точке O , являющейся началом этих координат; ось x всегда направлена на север, а ось y — на восток. Северное направление оси абсцисс считается положительным (+), южное — отрицательным (-); направление оси ординат считается положительным на восток и отрицательным на запад.

Оси координат делят плоскость чертежа на четыре части, которые называются *координатными четвертями*: I — СВ, II — ЮВ, III — ЮЗ, IV — СЗ (рис. 1.7).

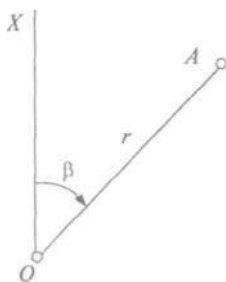


Рис. 1.8. Полярная система координат

Полярная система координат. В полярной системе координат (рис. 1.8) положение любой точки A на плоскости определяется радиусом-вектором r , исходящим из точки O , называемой *полюсом*, и углом β , отсчитываемым по ходу часовой стрелки от линии OX (полярной оси) до радиуса-вектора. Положение полярной оси на плоскости можно выбирать произвольно; иногда его совмещают с направлением меридиана, проходящего через полюс O .

Абсолютные, условные и относительные высоты. Спроектируем точку A (рис. 1.9) физи-



Рис. 1.9. Абсолютные и условные отметки

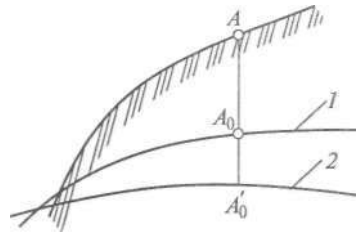


Рис. 1.10. Система высот:
; — эллипсоид; 2 - геоид

ческой поверхности Земли по направлению отвесной линии на уровенную поверхность. Высота H_A этой точки, измеряемая от уровня моря, называется *абсолютной*, а $H_{усл}$, измеряемая от произвольной уровенной поверхности, — *условной*. *Относительной высотой*, или *превышением*, точки называется высота ее над другой точкой земной поверхности; она обозначается через h_A . Например, превышение точки A над точкой B составит $h_A = H_A - H_B$. Для определения высоты уровня моря на его берегу надежно закрепляют в вертикальном положении рейку с делениями — *футшток* и периодически фиксируют уровень моря относительно этой рейки.

В Российской Федерации высоты точек физической поверхности Земли отсчитывают от нуля Кронштадтского футштока (черта на медной доске, установленной в гранитном устое моста через Обводной канал в г. Кронштадте).

Числовые значения высот точек называют *отметками*.

В случае выполнения геодезических работ на больших площадях приходится учитывать несовпадение поверхностей референц-эллипсоида и геоида (рис. 1.10). Поэтому различают высоты *геодезические*, измеряемые от поверхности эллипсоида, и *гипсометрические*, измеряемые от поверхности геоида.

1.4. Влияние кривизны Земли на измерение горизонтальных и вертикальных расстояний

В практике геодезических работ на незначительных по размерам участках уровенную поверхность принимают за плоскость. Это влечет за собой появление погрешностей в определении расстояний и высот точек, которые возрастают с увеличением площадей участков.

Пусть точки A_0 и B_0 (рис. 1.11) — горизонтальные проекции точек A и B поверхности Земли на уровенную поверхность, принимаемую за сферу радиуса R . В точке A_0 проведем касательную

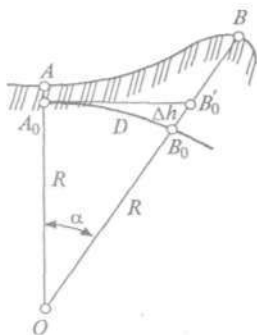


Рис. 1.11. Определение горизонтальных и вертикальных расстояний

плоскость до пересечения ее с прямой BB_0 в точке B'_0 . Тогда замена урениной поверхности A_0B_0 горизонтальной плоскостью $A_0B'_0$ повлечет за собой погрешность: в горизонтальном расстоянии

$$\Delta D = A_0B'_0 - A_0B_0,$$

в вертикальном расстоянии

$$\Delta h = OB'_0 - OB_0.$$

Рабочие формулы для вычисления этих погрешностей имеют следующий вид:

$$\Delta D = R\alpha^3/3 = D^3/(3R^2); \quad (1.1)$$

$$\Delta h = R\alpha^2/2 = D^2/(2R). \quad (1.2)$$

Приняв $R = 6371$ км и $D = 10$ км, по формуле (1.1) получим $\Delta D = 1$ см, или

$$\Delta D/D = 1 : 1\,000\,000.$$

Такая погрешность считается допустимой при самых точных геодезических работах. Поэтому если изображаемый участок земной поверхности не выходит за пределы круга диаметром 20 км, то соответствующую ему часть урениной поверхности можно принять за плоскость. С увеличением D погрешность ΔD растет очень быстро, так как она пропорциональна кубу расстояний.

Подставляя в формулу (1.2) различные числовые значения D , получим значения Δh :

D , км	0,1	1	2	3	10
Δh , см	0,078	7,8	31	71	780

Поэтому при измерении вертикальных расстояний необходимо определять величину Δh для данных условий и, в соответствии с требованиями к точности, учитывать или пренебрегать влиянием кривизны Земли.

Контрольные вопросы

1. Что такое физическая и урениная поверхности Земли?
2. Обоснуйте понятия ортогональной и центральной проекций в геодезии.
3. Что называется географической широтой и долготой?
4. Дайте определения геодезической широты и долготы.
5. Какие системы координат применяются в геодезии?
6. Что называется абсолютной и условной высотой точки на земной поверхности?

магнитный меридиан располагается восточнее истинного меридиана, то склонение называется восточным, и перед величиной δ ставят знак плюс. Западному склонению приписывается знак минус.

Для ориентирования линий на местности служат азимуты, дирекционные углы и румбы.

Азимут линии называется углом, отсчитываемый от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии. Азимуты могут иметь значения от 0 до 360°. Азимут называют *истинным* $A_{и}$, если его измеряют от истинного меридиана $N_{и}$, и *магнитным* $A_{м}$, если его отсчитывают от магнитного меридиана $N_{м}$.

Дирекционным углом α называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана зоны или от линии, ему параллельной, до ориентируемой линии. Дирекционные углы могут принимать значения от 0 до 360°.

Сближение меридианов. Пусть l — расстояние между точками A и B , расположенными на параллели с широтой φ (рис. 2.2). Проведя в точках A и B касательные к меридианам, проходящим через эти точки, в пересечении получим точку T . Линии AT и BT называются *полуденными*, а угол γ между ними — *углом сближения меридианов*, или *сближением меридианов*, в точках A и B .

При небольшом значении угла γ расстояние l можно принять за дугу радиуса TA . Рассматривая спектр ATB и треугольник OAT , можно записать

$$\gamma = l/AT, \quad AT = R \operatorname{tg}(90^\circ - \varphi) = R/\operatorname{tg} \varphi.$$

Следовательно,

$$\gamma = (l/R) \operatorname{tg} \varphi.$$

Выражая γ в минутах, получим

$$\gamma' = (l/R) \operatorname{tg} \varphi \cdot 3438'.$$

При $R = 6371$ км и $l = 1$ км имеем

$$\gamma' \approx 0,54 \operatorname{tg} \varphi,$$

т.е. приблизительно сближение меридианов на 1 км (выраженное в минутах) равно половине тангенса широты точек, для которых определяется сближение меридианов. Если известны долготы меридианов, проходящих через точки A и B , то сближение меридианов можно определить по формуле

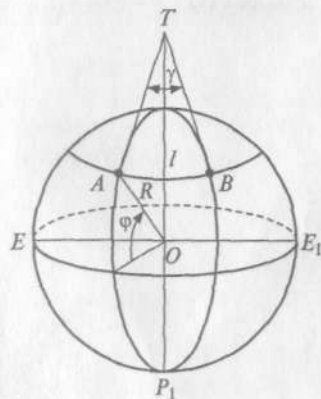


Рис. 2.2. Определение сближения меридианов

$$\gamma \approx \Delta\lambda \sin \varphi, \quad (2.1)$$

где $\Delta\lambda$ — разность долгот меридианов, проходящих через точки A и B .

Если один из меридианов является осевым, а другой располагается в пределах той же зоны, то сближение называется *зональным*.

Зависимости между дирекционным углом, истинным и магнитным азимутами линии. Рассмотрим зависимость между истинным азимутом $A_{и}$ линии OB и дирекционным углом α этой же линии (см. рис. 2.1). Если N_0 — параллель осевому меридиану зоны, а γ — сближение меридианов, то

$$A = \alpha + \gamma. \quad (2.2)$$

Зональное сближение меридианов γ приводится на топографических картах местности или может быть вычислено по формуле (2.1).

Рассмотрим зависимость между истинным и магнитным азимутами. Пусть $A_{и}$ — истинный азимут линии OB , $A_{м}$ — магнитный азимут той же линии, а δ — склонение магнитной стрелки (см. рис. 2.1). Тогда

$$A_{и} = A_{м} + \delta. \quad (2.3)$$

Магнитное склонение для данной местности можно получить на ближайшей метеорологической станции, по топографической карте или специальной карте склонений.

Для получения зависимости между дирекционным углом и магнитным азимутом приравняем правые части равенства (2.2) и (2.3):

$$\alpha + \gamma = A_{м} + \delta \text{ или } \alpha = A_{м} + \delta - \gamma.$$

Прямые и обратные дирекционные углы и азимуты. Рассмотрим зависимость между прямым α_{AB} и обратным α_{BA} дирекционными углами линии AB . Из рис. 2.3 имеем

$$\alpha_{BA} = \alpha_{AB} + 180^\circ. \quad (2.4)$$

Для определения зависимости между истинными азимутами линий AB и BA воспользуемся рис. 2.4. Если γ — сближение меридианов между точками A и B , то

$$A_{BA} = A_{AB} + 180^\circ - \gamma.$$

Зависимость между горизонтальными углами и дирекционными углами сторон хода. Пусть имеем две стороны хода

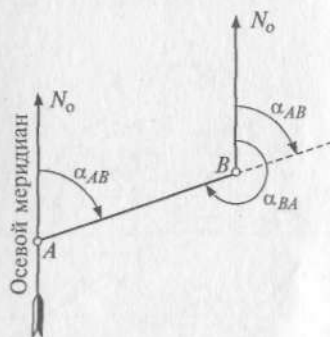


Рис. 2.3. Зависимость между прямым и обратным дирекционными углами

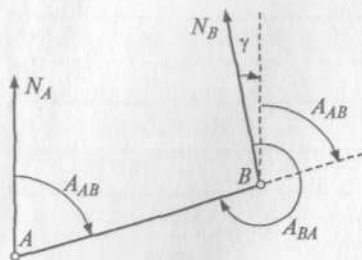


Рис. 2.4. Зависимость между прямым и обратным истинными азимутами

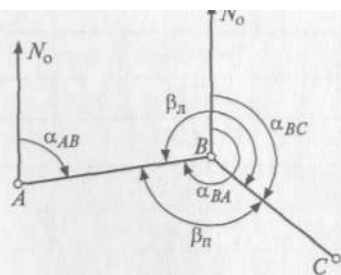


Рис. 2.5. Зависимость между дирекционными углами сторон хода

AB и BC (рис. 2.5). Дирекционный угол α_{AB} стороны AB будем считать известным. Если правый по ходу угол обозначить через β_n , то

$$\alpha_{BC} = \alpha_{BA} - \beta_n.$$

Подставляя значение α_{BA} из формулы (2.4), получим

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180^\circ - \beta_n.$$

Если бы мы имели при точке B не правый, а левый угол β_l , то получили бы формулу

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180^\circ + \beta_l.$$

Румбы. Румбом r называется горизонтальный угол (острый), отсчитываемый от ближайшего (северного или южного) направления меридиана до ориентируемой линии. Следовательно, румбы могут принимать значения только от 0 до 90° . Для того чтобы

определить румбом направление данной линии относительно меридиана, необходимо кроме его числового значения указать название четверти, в которой эта линия находится. Румбы, как и азимуты, бывают истинные (r_n) и магнитные (r_m).

Зависимость между дирекционными углами и румбами показана на рис. 2.6, а формулы для перехода приведены в табл. 2.1.

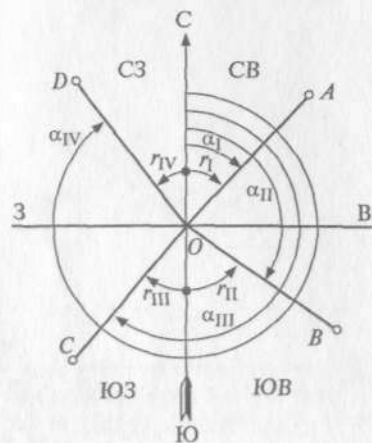


Рис. 2.6. Зависимость между дирекционными углами и румбами

Четверть	$\alpha, ^\circ$	r
I (СВ)	0...90	α
II (ЮВ)	90...180	$180^\circ - \alpha$
III (ЮЗ)	180...270	$\alpha - 180^\circ$
IV (СЗ)	270...360	$360^\circ - \alpha$

2.2. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости

Прямая задача. Пусть AB (рис. 2.7) — линия на местности, для которой известны ее горизонтальное проложение (проекция линии на горизонтальную плоскость) d , дирекционный угол α и координаты начальной точки $A(x_1, y_1)$. Требуется определить координаты второй точки $B(x_2, y_2)$. Согласно рис. 2.7,

$$x_2 - x_1 = \Delta x; \quad y_2 - y_1 = \Delta y.$$

Разности Δx и Δy координат точек последующей и предыдущей называют *приращениями координат*.

Из прямоугольного треугольника ABC имеем

$$\Delta x = d \cos \alpha; \quad \Delta y = d \sin \alpha.$$

Знаки Δx и Δy зависят от знаков $\cos \alpha$ и $\sin \alpha$ (табл. 2.2).

С помощью румбов Δx и Δy можно вычислить по следующим формулам:

$$\Delta x = d \cos r; \quad \Delta y = d \sin r.$$

Тогда искомые координаты точки B будут следующими:

$$x_2 = x_1 + \Delta x; \quad y_2 = y_1 + \Delta y.$$

Обратная задача. По данным координатам точек A и B найти горизонтальное проложение d и дирекционный угол α (см. рис. 2.7).

Из прямоугольного треугольника ABC имеем

$$\operatorname{tg} \alpha = \Delta y / \Delta x; \quad (2.5)$$

$$d = \Delta x / \cos \alpha = \Delta y / \sin \alpha. \quad (2.6)$$

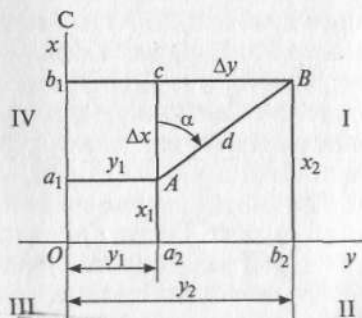


Рис. 2.7. Решение прямой и обратной задач на плоскости

16164

БИБЛИОТЕКА
ЮЖНО-УРАЛЬСКОГО
ПРОМЫШЛЕННО-ГУМАНИТАРНОГО
КОЛЛЕДЖА

Таблица 2.2

Приращение	Знаки Δx и Δy для четверти, в которую направлена линия			
	СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ
Δx	+	-	-	+
Δy	+	+	-	-

При работе на вычислительных машинах формулу (2.6) удобнее привести к следующему виду:

$$d = \Delta x \sec \alpha = \Delta y \operatorname{cosec} \alpha. \quad (2.7)$$

Формула (2.7) дает более точные результаты, чем формула (2.6), так как $\sec \alpha$ и $\operatorname{cosec} \alpha$ имеют больше значащих цифр, чем $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$ при одном и том же числе десятичных знаков у этих функций.

2.3. Измерения и построения в геодезии

Под *измерениями* понимают процесс сравнения какой-либо величины с другой однородной величиной, принимаемой за единицу. При всем многообразии геодезических измерений все они сводятся в основном к трем видам:

линейные — определяются расстояния между заданными точками;

угловые — определяются значения горизонтальных и вертикальных углов между направлениями на заданные точки;

высотные (нивелирование) — определяются разности высот отдельных точек.

За единицу линейных и высотных измерений (расстояний, высот и превышений) в геодезии принят метр, представляющий собой длину жезла — эталона, изготовленного из платино-иридиевого сплава в 1889 г. и хранящегося в Международном бюро мер и весов в Париже. Копия № 28 этого жезла находится в НИИ метрологии им. Д.И. Менделеева в Санкт-Петербурге. В качестве эталона более высокой точности в настоящее время служит метр, определенный как длина пути, пройденного светом за $1/299792548$ доли секунды.

Единицей для измерений углов (горизонтальных и вертикальных) служит градус, представляющий собой $1/90$ прямого угла или $1/360$ окружности. Градус содержит $60'$, минута делится на $60''$. В некоторых странах применяют градовую систему, в которой 1 град составляет $1/400$ окружности, градовая минута — $1/100$ град, а градовая секунда — $1/100$ град мин.

В современных автоматизированных угломерных приборах единицей измерений служит гон, равный 1 град или 54'; тысячная его доля, равная 3,24", называется *миллигоном*.

Измерения называют *прямыми*, если их выполняют с помощью приборов, позволяющих непосредственно сравнить измеряемую величину с величиной, принятой за единицу, и *косвенными*, когда искомую величину получают путем вычислений на основе результатов прямых измерений. Так, угол в треугольнике можно непосредственно измерить угломерным прибором (прямое измерение) или вычислить по результатам измерения трех сторон треугольника (косвенное измерение).

Необходимыми условиями любого измерения являются: объект измерения; субъект измерения — лицо, производящее измерение; мерный прибор, которым выполняют измерения; метод измерения — совокупность правил и действий, определяющих процесс измерения; внешняя среда, в которой выполняют измерения.

Обозначенные на местности точки, от которых выполняют геодезические измерения, называются *исходными*. Точки, положение которых на местности необходимо определить, называют *определяемыми*.

Исходные и определяемые точки могут располагаться в горизонтальной плоскости в плане (плановые точки) и вертикальной — по высоте (высотные точки).

Рассмотрим шесть основных геодезических способов построения, применяемых для определения положения точки в плане.

Требуется определить положение точки C относительно обозначенных на местности исходных точек A и B .

1. Положение точки C (рис. 2.8, *a*) можно определить, если опустить из этой точки перпендикуляр на прямую AB , а затем измерить расстояние / от точки A до основания перпендикуляра и длину перпендикуляра d . Отрезки / и d будут координатами точки C . Такое построение называют *способом перпендикуляров*.

Если прямую AB принять за ось абсцисс прямоугольной системы координат, то перпендикуляр d будет ординатой определяемой точки, а расстояние / — ее абсциссой. Поэтому способ называют также *способом ординат*.

2. Положение точки C (рис. 2.8, *б*) определяется, если измерить на точке A угол α и длину AC — ρ . Такой способ называют *способом полярных координат*: полярные координаты точки C — α и ρ , угол α — полярный, точка A — полюс, прямая AB — полярная ось, отрезок ρ — радиус-вектор.

3. Для определения положения точки C (рис. 2.8, *в*) относительно прямой AB достаточно измерить углы α и ρ на точках A и B . Этот способ называют *прямой угловой засечкой* (прямая AB — базис засечки).

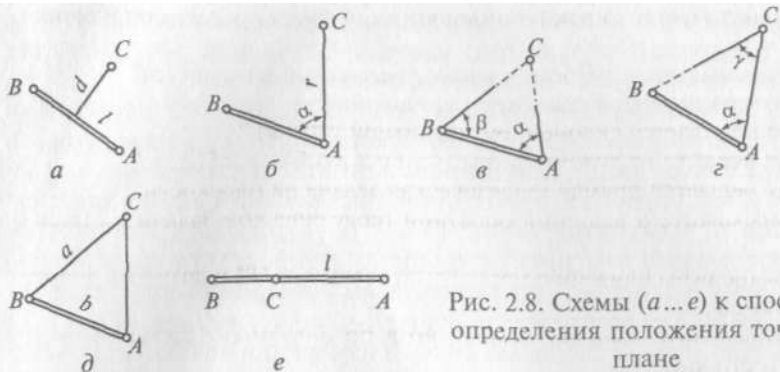


Рис. 2.8. Схемы (а...е) к способам определения положения точки в плане

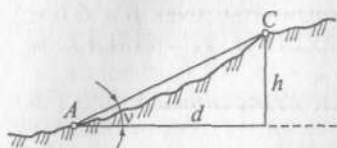


Рис. 2.9. Схема к способу определению положения точки по высоте

4. Положение точки C (рис. 2.8, z) определяется, если измерит угол α из точки A и угол γ на определяемой точке C (*способ боковой засечки*).

5. Для определения положения точки C (рис. 2.8, d) можно измерить длину линий $AB = b$ и $BC = a$ (*способ линейной засечки*).

6. Точка C (рис. 2.8, e) находится на линии AB (в створе AB): на расстоянии l от точки A (*способ створно-линейной засечки*).

Эти построения выполняют, если расстояния между точками сравнительно невелики и есть непосредственная видимость между исходными и определяемыми точками. Когда расстояния между исходными точками значительны или требуется найти положения нескольких точек, пользуются более сложными построениями.

Положение определяемой точки C по высоте (рис. 2.9) находят, измерив ее превышение h над исходной точкой A или угол наклона γ линии AC к горизонту и горизонтальное проложение (проекцию линии AC на горизонтальную плоскость), или расстояние AC .

Контрольные вопросы

1. Что называется ориентированием линии на местности?
2. Что называется азимутом линии?
3. В чем заключается разница между истинным и магнитным азимутами?

4. Что называется дирекционным углом, в каких пределах он изменяется?

5. Что называется румбом, в каких пределах он изменяется?

6. Что называется сближением меридианов?

7. Что называется склонением магнитной стрелки?

8. Как перейти от дирекционных углов к румбам и обратно?

9. Как решается прямая геодезическая задача на плоскости?

10. Расскажите о решении обратной геодезической задачи на плоскости.

11. Вычислите сближение меридианов, если $\varphi = 60^\circ$ и разность долгот составляет $30'$.

12. Определите горизонтальный угол по обратным дирекционным углам его сторон.

13. Вычислите дирекционный угол и румб стороны BC (см. рис. 2.5), если $\alpha_{AB} = 48^\circ 20'$ при $\beta_n = 243^\circ 14'$ и $\beta_d = 104^\circ 07'$.

14. Вычислите плоские прямоугольные координаты точек B и C (см. рис. 2.5), если координаты точки A : $x_A = 4175,243$ м, $y_A = 2181,152$ м; горизонтальные расстояния: $S_{AB} = 54,123$ м, $S_{BC} = 46,143$ м; дирекционный угол $\alpha_{AB} = 65^\circ 20'$ и горизонтальный угол, измеренный в точке B , $\beta_n = 148^\circ 13'$.

15. Вычислите горизонтальное расстояние $AB = d$ и дирекционный угол α_{AB} (см. рис. 2.7), если координаты точек A и B соответственно следующие: $x_A = 5271,245$ м, $y_A = 3825,148$ м, $x_B = 4728,101$ м и $y_B = 4002,025$ м.

16. Какие виды измерений вы знаете?

17. Назовите единицы линейных и угловых измерений.

18. Расскажите о способах построений для определения положения точки в плане и по высоте.

ГЛАВА 3

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ, КАРТЫ И ЧЕРТЕЖИ

3.1. Понятие о геодезических планах, картах и чертежах

Планом местности называется чертеж, представляющий собой уменьшенное и подобное изображение ее проекции на горизонтальную плоскость.

На плане длины линий, углы и площади контуров участков местности не искажаются, а степень уменьшения ее линейных элементов (масштаб изображения) постоянна для всех частей плана. Планы, на которых изображена только ситуация местности, называются *ситуационными* или *контурными*. Планы, на которых кроме предметов местности изображен еще и рельеф, называются *топографическими*.

Картой называется построенное по определенным математическим законам уменьшенное обобщенное изображение на плоскости всей Земли или значительных ее частей с учетом кривизны уреченной поверхности.

Карты в зависимости от масштабов условно подразделяют: на крупномасштабные — 1:100000 и крупнее; среднемасштабные — от 1:200 000 до 1:1000 000; мелкомасштабные — мельче 1:1000 000.

При выполнении геодезических работ, входящих в комплекс строительного-монтажного производства, для составления планов применяют масштабы 1:200, 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000.

При создании карт прежде всего строят сетку меридианов и параллелей, которая называется *картографической сеткой*. Кроме того, на многих картах изображают километровую сетку квадратов, вершины углов которой имеют координаты, кратные целому числу километров (одному, двум и т.д.), а стороны — параллельны осям абсцисс и ординат.

Профилем местности называется уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Профили местности используют для строительства и монтажа надземных и подземных инженерных сооружений и сетей.

Топографические планы применяют в основном для строительного проектирования. На таком плане изображают весь комплекс подземных и надземных сооружений. В зависимости от размеров и назначения строительства его рабочий проект составляют в масштабе 1:500... 1:1000, а на отдельные объекты в зависимости от их сложности — в масштабе 1:200 и крупнее.

3.2. Масштабы

Масштабом называется отношение длины линии на плане (профиле) к соответствующей проекции этой линии на местности. Следовательно, масштаб представляет собой правильную дробь. Для удобства использования и сравнения все масштабы имеют однообразный вид: числителем дроби всегда является единица; при этом знаменатель непосредственно выражает степень уменьшения. Такой масштаб называется *числовым*. Например, 1/500, 1/1000, 1/10000, 1/50000 и т.д.

Числовой масштаб дает общую характеристику степени уменьшения и не всегда удобен на практике. Для построения планов или определения длины отрезков, взятых с плана, применяют *графические масштабы*: линейный и поперечный.

Линейный масштаб представляет собой шкалу с делениями, соответствующими данному числовому масштабу.

Для построения линейного масштаба (рис. 3.1) на прямой несколько раз откладывают один и тот же отрезок, называемый *ос-*

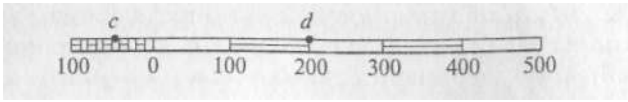


Рис. 3.1. Линейный масштаб

нованием масштаба. Крайний левый отрезок делят на 10 равных частей. Тогда отрезки, отложенные от нулевой точки вправо, например в масштабе 1:10000, представляют на местности 100, 200, 300, 400 и 500 м, а влево — 10, 20, 30, ..., 100 м. Если отрезок линии на плане оказался равным cd (см. рис. 3.1), то на местности ему соответствует отрезок линии длиной 240 м. Наименьший отрезок в таком масштабе соответствует 10 м на местности.

Для более точного построения плана или определения длин отрезков пользуются поперечным масштабом (рис. 3.2). За основание такого масштаба обычно принимают отрезок $AB = 2$ см и делят его на 10 равных частей. Для этого под произвольным углом к основанию проводят прямую AF и на ней от точки A откладывают 10 произвольных, но равных частей; соединив точки B и F , проводят через все точки линии AF прямые, параллельные BF , которые и разделят основание на 10 равных частей. Далее, на линии AC , перпендикулярной AB , откладывают 10 произвольных, но равных между собой отрезков и через полученные точки проводят линии, параллельные AB . Отрезки между наклонными линиями, параллельными BE , равны десятым долям основания AB , т. е. $ED = AB/10$.

Отрезки, заключенные между перпендикуляром BD и наклонной BE , равны сотым долям основания, т. е. $l = ED/10 = AB/10 \cdot 10 = AB/100$. Такой масштаб называют еще *нормальным поперечным масштабом*.

Цифры, написанные внизу масштаба, изображенного на рис. 3.2, соответствуют численному масштабу 1:10000. Тогда основание AB для такого масштаба соответствует на местности 200 м, а наименьшее деление $l = 200:10 \cdot 10 = 2$ м. Отрезки ab и kl для данного случая будут соответствовать 468 и 356 м.

Обычно считают, что 0,1 мм — наименьшее расстояние, различаемое непосредственно глазом. *Точностью масштаба* называют

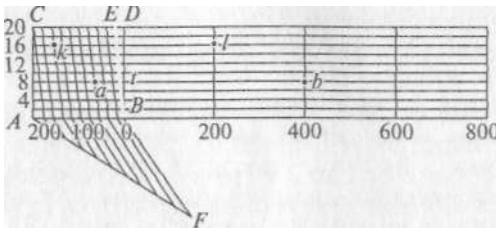


Рис. 3.2. Поперечный масштаб

горизонтальное расстояние на местности, соответствующее в данном масштабе 0,1 мм плана. Так, для масштабов 1:500; 1:1000; 1:5000; 1:10000 и 1:25 000 точность соответственно равна 0,05; 0,1; 0,5; 1,0 и 2,5 м; отрезки, меньше указанных, не будут изображаться на плане данного масштаба. Зная размеры предметов местности, которые необходимо изобразить на плане, можно установить соответствующий масштаб плана.

3.3. Номенклатура карт и планов

В инженерной геодезии часто пользуются топографическими планами и картами. Их составляют в масштабах 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000. Границами листов таких карт служат меридианы и параллели.

Номенклатурой называется система обозначений (нумераций) отдельных листов топографических карт (планов). В основу номенклатуры топографических карт различных масштабов положена карта масштаба 1:1000 000. Для получения одного листа карты этого масштаба весь земной шар делят (рис. 3.3) меридианами и параллелями на *колонны ж ряды* (пояса). Меридианы проводят через каждые 6° на восток и запад, начиная от Гринвичского меридиана, а параллели — через каждые 4° к северу и югу, начиная от экватора. В результате этого размеры каждого листа такой карты будут равны 4° по широте (ряды) и 6° по долготе (колонны). Номенклатура каждого листа карты 1:1000 000 состоит из двух цифр: одна определяет широтный ряд — пояс, другая — номер колонны. Так, Москва находится на листе 14-37.

Для получения карты масштаба 1:500 000 лист миллионной карты делят на четыре части и обозначают цифрами 1, 2, 3, 4. Лист карты масштаба 1:200 000 получают делением листа миллионной карты на 36 частей: I...XXXVI. Для получения листа карты масштаба 1:100 000 каждый лист карты масштаба 1:1 000 000 делят на 144 части: 001 — 144.

Листы карт масштабов 1:50000, 1:25000 и 1:10000 получают из листа карты масштаба 1:100 000 последовательным делением листа карты предыдущего более мелкого масштаба на четыре части и обозначают цифрами 1, 2, 3, 4 (рис. 3.4). В табл. 3.1 приведены номенклатура и размеры трапеций листов карт масштабов 1:1000000... 1:10000.

Трапецию масштаба 1: 5000 получают путем деления каждого листа карты масштаба Г. 100000 на 256 частей и обозначают их арабскими цифрами от 1 до 256 (рис. 3.5). Для получения трапеций масштаба 1:2000 каждую трапецию масштаба 1:5000 делят на девять частей и обозначают арабскими цифрами. Номенклатура трапеции масштаба 1:5000 складывается из названия соответству-

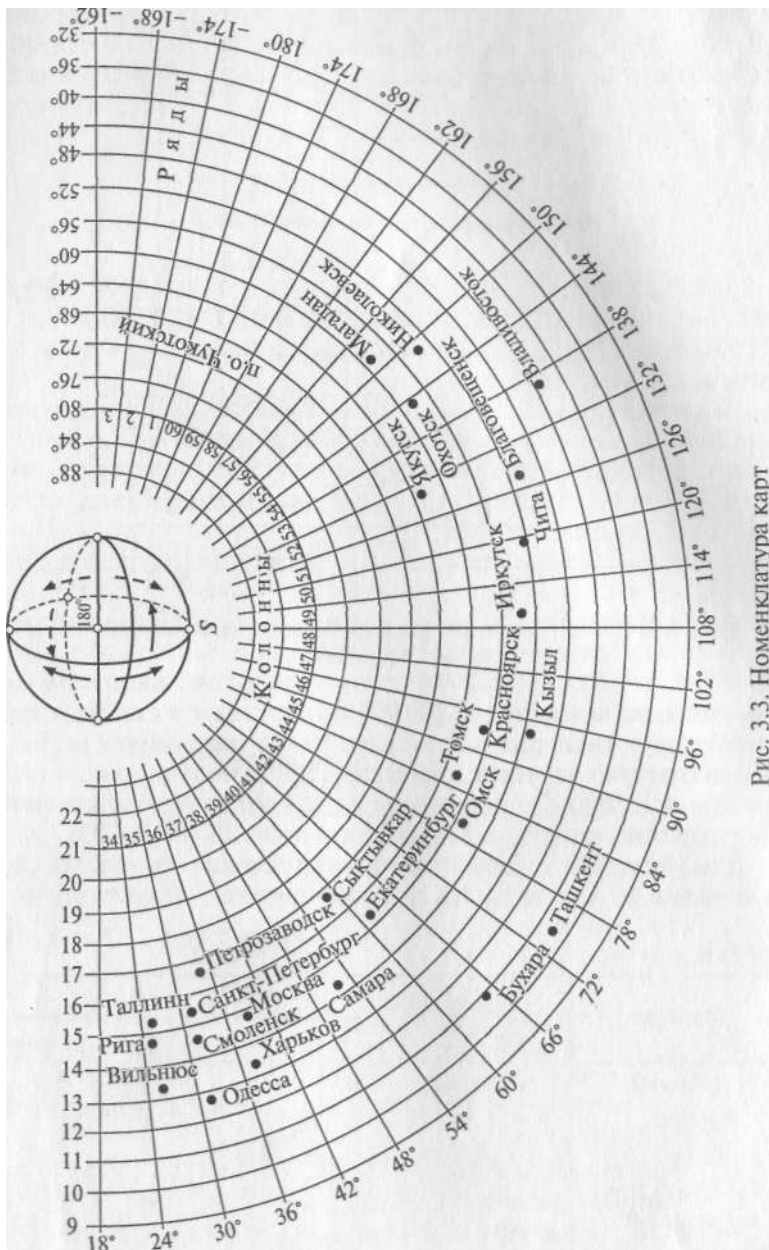


Рис. 3.3. Номенклатура карт

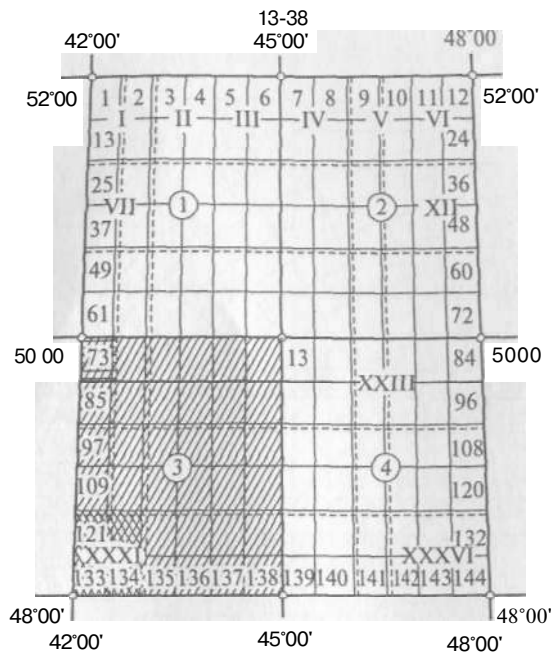


Рис. 3.4. Образование листов карт масштаба 1:500 000, 1:200 000, 1:100000

юшего листа масштаба 1:100000 с указанием в скобках порядкового номера трапеции масштаба 1:5000, например 13-38-5 (232); номенклатура трапеции масштаба 1:2000 получается из названия трапеции 1:5000 с добавлением в скобках соответствующей цифры трапеции масштаба 1:2000, например 13-38-5 (232-2).

Для топографических планов, создаваемых на участках площадью менее 20 км², используют, как правило, прямоугольную раз-

Таблица 3.1

	Номенклатура листа	Размеры по	
		широте	долготе
1	1000000	4"	6"
1	500000	7"	3"
1	200000	40'	60'
1	100000	20'	30'
1	50000	10'	15'
1	25000	5'	7'30"
1	10000	2'30"	3'45"

Таблица 3.2

Масштаб	Номенклатура планшета	Размеры рамок, см
1:5000	4	40x40
1:2000	4-2	50x50
1:1000	4-2-11	50x50
1:500	4-2-15	50x50

графку. В основу этой разграфки положен планшет 1:5000 с размерами рамок 40 x 40 см, обозначаемый арабскими цифрами (рис. 3.6).

Ему соответствуют четыре листа 1:2000, каждый из которых обозначается присоединением к номеру листа масштаба 1:5000 одной из цифр 1, 2, 3, 4, например 4-1.

Листу масштаба 1:2000 соответствуют четыре листа масштаба 1:1000, обозначаемых цифрами 1, 2, 3, 4, и 16 листов масштаба 1:500, обозначаемых цифрами 1, 2, ..., 16.

Номенклатура листов масштабов 1:1000 и 1:500 складывается из номенклатуры листа масштаба 1:2000 и соответствующей цифры для листа масштаба 1:1000 или числа из цифр для листа масштаба 1:500.

Для отдельных площадок обозначение листов топографических планов масштабов 1:1000 и 1:500 устанавливается в программе работ.

Номенклатура листов масштабов 1:5000... 1:500 и размеры их рамок приведены в табл. 3.2.

3.4. Условные знаки на планах, картах, геодезических и строительных чертежах

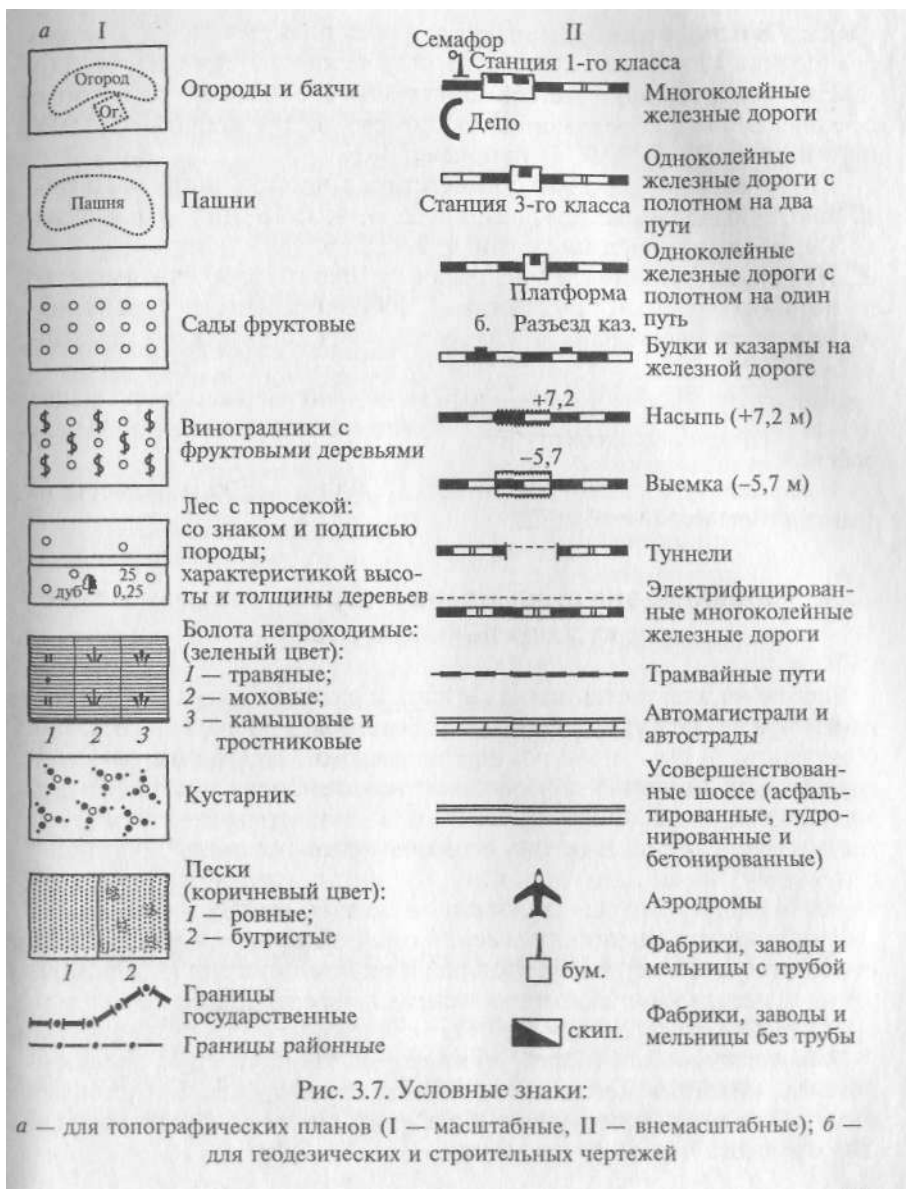
Для обозначения на планах и картах различных объектов местности применяют специально разработанные условные знаки. Для облегчения пользования планом или картой очертания условных знаков напоминают вид изображаемых элементов местности. Условные знаки для топографических планов и карт являются едиными для всей России. В основу создания условных знаков положено единство их начертания, поэтому для чтения планов и карт достаточно изучить условные знаки одного какого-нибудь масштаба.

Некоторую особенность имеют условные знаки разбивочных и исполнительных чертежей, которые применяются при проектировании генеральных планов сооружаемых объектов. Условные знаки принято делить на контурные, или масштабные, и внемасштабные.

Масштабными называют условные знаки, служащие для изображения объектов местности с соблюдением масштаба карты или плана. Они дают возможность определить не только местоположение предмета, но и его размеры.

Внемасштабными называют условные знаки, служащие для изображения объектов, размеры которых не отображаются в данном масштабе карты или плана. Предметы, обозначаемые такими условными знаками, занимают на плане или карте больше места, чем это следовало бы по масштабу.

На рис. 3.7 представлены некоторые условные знаки для топографических планов, геодезических и строительных чертежей.



б	II		
	уг. Шахты, штольни, шурфы действующие		Капитальное здание и отметка пола 1-го этажа
	медн. Рудники, прииски		Капитальное здание
	Склады горючего, автоколонки		Номера и координаты точек
	Электростанции		Отметки угла здания: красная, черная
	Элеваторы		Отметки вертикальной планировки
	Метеорологические станции		Объем, м ³ , земли насыпи или выемки внутри квадрата сетки
	камен. Каменоломни		Контур выемки
	гл. Место добычи глины		Контур насыпи
	пес. Место добычи песка		Расстояние по оси проектируемого проезда, азимут направления оси
	астр. Астрономические пункты		Черная горизонталь и ее отметка
	91,6 Пункты государственной геодезической сети		Красная (проектная) горизонталь и ее отметка (при сечении через 0,25 м)
	71,9 Нивелирные марки и реперы (грунтовые)		Уклон, выраженный в тысячных долях, его направление и протяженность, м
	Пункты полигонометрии		Отметки переломных точек проектируемых углов: черная, красная
	347,1 Отметки командных высот		Оси, номера железнодорожных путей, номер стрелки и марка крестовины
	Дома лесников		Отметка головки рельса железнодорожного пути
			Кладбища

Рис. 3.7. Окончание

3.5. Рельеф местности и способы его изображения

Рельефом местности называется совокупность неровностей земной поверхности. В зависимости от характера рельефа местность подразделяют на горную, холмистую и равнинную. Из всего многообразия форм рельефа местности можно выделить наиболее характерные (рис. 3.8, а).

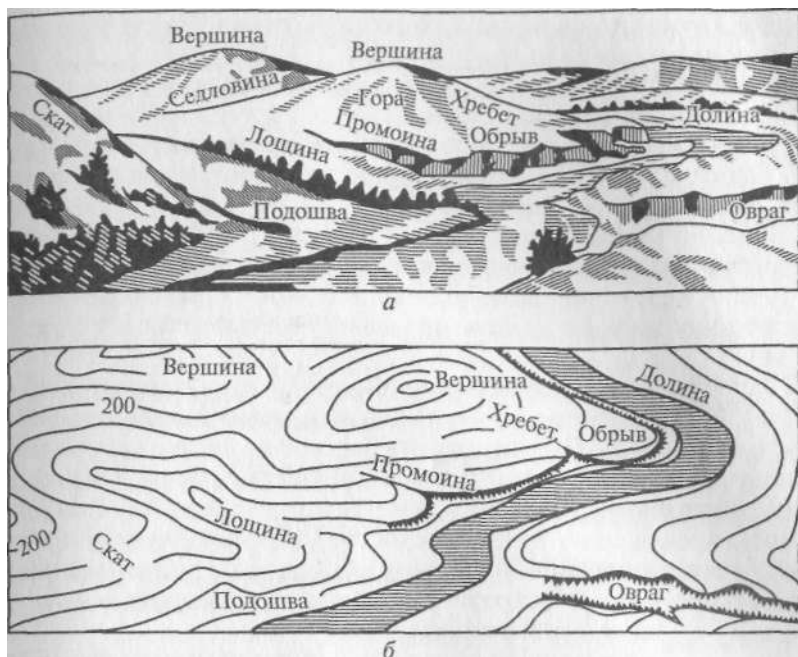


Рис. 3.8. Формы рельефа местности:

а — основные формы рельефа; *б* — изображение горизонталями

Гора — куполообразная или коническая возвышенность земной поверхности. В ней выделяют: вершину, представляющую собой самую высокую часть; скаты или склоны, которые расходятся от вершины во все стороны; основание возвышенности, называемое подошвой. Небольшая гора называется холмом или сопкой, а искусственный холм — курганом.

Котловина — чашеобразное замкнутое со всех сторон углубление. В ней различают: дно — самую низкую часть; щеки — боковые покатости и окраину — то место, где котловина переходит в окружающую равнину.

Хребет — возвышенность, вытянутая в одном направлении и образованная двумя противоположными скатами. Линия встречи скатов называется осью хребта, водоразделом или водораздельной линией. Наиболее низкие места водоразделов называются перевалами.

Лощина — вытянутое в одном направлении желобообразное углубление с наклоном в одну сторону. Склоны лощины пересекаются по линии, называемой осью лощины или водосливной линией. Широкая лощина с пологим дном называется долиной, а

узкая с крутыми склонами — балкой; в горной местности узкая лощина называется ущельем.

Седловина — понижение между двумя соседними горными вершинами или возвышенностями.

Для изображения рельефа местности пользуются различными способами: перспективным изображением, штриховкой, отмывкой, горизонталями (рис. 3.8, б).

На крупномасштабных планах и картах, служащих для нужд строительства, рельеф изображается горизонталями.

Горизонталь — это замкнутая кривая линия, все точки которой имеют одну и ту же высоту над поверхностью, принятой за начальную.

Пусть некоторая возвышенность постепенно заливается водой (рис. 3.9). Представим, что в начальный момент вода находилась на уровне точек А. Проектируя эту береговую линию на плоскость *P*, получим замкнутую кривую АА. Допустим теперь, что уровень воды поднялся на 1 м и образовал береговую линию в точках Б. Спроектировав ее на ту же плоскость *P*, получим вторую замкнутую кривую линию ББ. Продолжая подъем воды в такой же последовательности, на плоскости *P* получим изображение возвышенности с помощью горизонталей.

Для большей наглядности направление понижения скатов показывается черточками, называемыми *бергштрихами*. Для указания высот горизонталей их отметки подписывают в разрывах го-

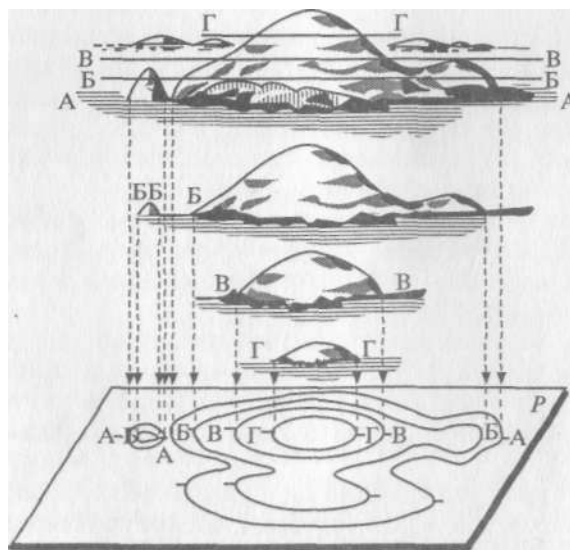


Рис. 3.9. Образование горизонталей

горизонталей, располагая верх цифр по направлению верха ската. Для большей выразительности рельефа, как правило, пятая, а иногда десятая горизонтали утолщаются.

Разность высот двух соседних горизонталей называется *высотой сечения рельефа*.

Расстояние между двумя смежными горизонталями на плоскости называется *заложением*.

Горизонтали обладают следующими свойствами:

все точки, лежащие на одной и той же горизонтали, имеют одинаковую высоту;

все горизонтали должны быть непрерывными;

горизонтали не могут пересекаться или раздваиваться;

расстояния между горизонталями в плане характеризуют крутизну ската — чем меньше расстояние (заложение), тем круче скат;

кратчайшее расстояние между горизонталями соответствует направлению наибольшей крутизны ската;

водораздельные линии и оси лощин пересекаются горизонталями под прямыми углами;

горизонтали, изображающие наклонную плоскость, имеют вид параллельных прямых.

Часто для уточнения форм рельефа применяют дополнительные горизонтали, которые изображаются штрихпунктирными линиями и называются *полугоризонталями*. Обычно полугоризонтالي принято проводить в тех случаях, когда расстояние между горизонталями на плане превышает 2 см.

3.6. Уклон линии. График заложений

Уклоном линии i называется отношение превышения h к ее заложению d . Уклон i является мерой крутизны ската.

Пусть линия местности AB , называемая *скатом*, наклонена под углом ν к горизонту \hat{A} (рис. 3.10). Тогда

$$i = h/d = \operatorname{tg} \nu. \quad (3.1)$$

Следовательно, уклон линии есть тангенс угла наклона ее к горизонту.

Например, при $i = 1$ м и $s = 20$ м по формуле (3.1) имеем $i = 1:20 = 0,05$. Уклоны линий выражают в процентах или промилле. Полученный уклон соответственно будет $i = 5\% = 50\text{‰}$.

Из формулы (3.1) следует, что при данной высоте сечения крутизна ската тем больше, чем меньше заложение d .

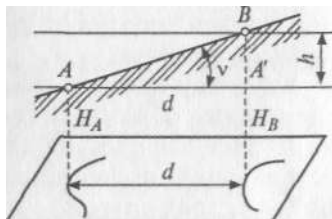


Рис. 3.10. Определение уклона линии

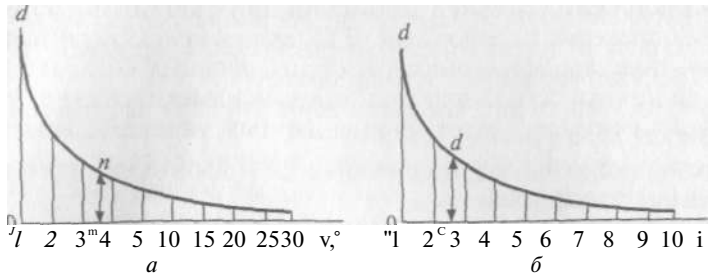


Рис. 3.11. Масштабы заложений:

a — по углам наклона; *б* — по уклонам

Так, например, при $h = 1$ м и $l = l/d$, откуда $id = 1$, т.е. произведение уклона на заложение для данного плана — величина постоянная.

Обычно крутизну ската и уклоны определяют графически. Для этого на планах строят графики заложений. При построении такого графика величину заложения d определяют по следующей формуле:

$$d = h/i. \quad (3.2)$$

Следовательно,

$$d = hctgv. \quad (3.3)$$

Подставляя в формулу (3.3) натуральные значения $ctgv$ для углов 1, 2, 3° и т.д., вычисляют соответствующие им заложения при одной и той же высоте сечения (постоянной для данного плана).

На горизонтальной прямой OB (рис. 3.11, *a*) откладывают произвольной величины равные отрезки и подписывают величины углов.

Углы наклона/... ..	1	2	3	4	5	10	15	20	25
Заложения..... ..	57,3	28,7	19,1	14,3	11,5	5,7	3,8	2,8	2,2

Из точек вверх по вертикали откладывают соответствующие углам величины заложений в масштабе плана. Соединив точки плавной кривой, получают график, называемый *графиком заложений по углам наклона*.

Крутизну ската с помощью графика заложений определяют следующим образом: измерив циркулем заложение линии на плане, ставят циркуль на график заложений таким образом, чтобы острие одной ножки циркуля находилось на горизонтальной прямой, а острие другой — на кривой линии графика, при этом прямая, соединяющая ножки циркуля, должна быть перпендикулярна прямой OB . Пусть раствор циркуля занимает положение mn в этом случае крутизна ската $v = 3^\circ 40'$.

Для построения графика заложений по уклонам величину заложения d определяют по формуле (3.2). Если в эту формулу последовательно подставить величины уклонов i , равные 0,001; 0,002; 0,003 и т.д., то при известной для данного плана высоте сечения $h = 1$ м можно получить соответствующие данным уклонам заложения:

Уклоны.....	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
Заложения....	1000	500	333	250	200	167	143	125	111

График заложений по уклонам (рис. 3.11, б) строят подобно графику заложений по углам наклона, но только в этом случае по горизонтальной прямой в произвольном масштабе откладывают уклоны, а по вертикали — соответствующие этим уклонам заложения в масштабе плана. Пользуются графиком заложений по уклонам так же, как и графиком заложений по углам наклона. Так, например, для линии cd уклон $i = 0,0025$.

3.7. Ориентирование на местности с помощью карты

Ориентировать карту на местности — это значит расположить ее в горизонтальной плоскости таким образом, чтобы линии карты стали параллельны соответствующим линиям местности. Ориентировать карту можно по местным предметам, с помощью буссоли (по магнитному меридиану) и, в исключительных случаях, по истинному меридиану, направление которого должно быть определено предварительно. Для ориентирования карты по местным предметам необходимо вначале опознать на карте точку, в которой расположился наблюдатель. Затем наметить направление AB , имеющееся на местности, и повернуть карту так, чтобы эти направления совпали. Для этой цели обычно применяют визирную линейку. При ориентировании карты по магнитному меридиану необходимо учитывать соответственно магнитное склонение и сближение меридианов.

Если карта ориентирована правильно, то все точки местности должны находиться в направлениях, соответствующих точкам на карте.

3.8. Способы измерения площадей на планах и картах

На планах и картах площади можно определить аналитическим, геометрическим и механическим способами.

Аналитический способ. Пусть дан четырехугольник $ABCD$ (рис. 3.12), координаты вершин которого известны. Непосредственно из рисунка можно записать:

$$P_{ABCD} = P_{1}Bb_{a} + P_{2}cM \sim P_{3}cdC \sim P_{4}CaA-$$

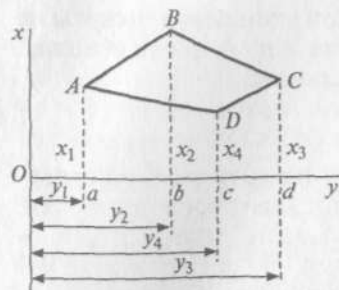


Рис. 3.12. Определение площади участка

Представив площадь каждой трапеции как произведение полусуммы параллельных сторон на высоту и удвоив полученные результаты, найдем

$$2P = (x_1 + x_2)(y_2 - y_1) + (x_2 + x_3)(y_3 - y_2) - (x_3 + x_4)(y_3 - y_4) - (x_4 + x_1)(y_4 - y_1).$$

Преобразовывая, получим

$$2P = x_1(y_2 - y_4) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_4 - y_2) + x_4(y_1 - y_3).$$

Эту формулу для n -угольника в общем виде можно записать следующим образом:

$$2P = \sum_{i=1}^n x_i(y_{i+1} - y_{i-1})$$

или

$$2P = \sum_{i=1}^n y_i(x_{i-1} - x_{i+1}).$$

Точность определения площади таким способом зависит от точности определения координат точек.

Геометрический способ. Этот способ заключается в разбивке данной на плане или карте фигуры на ряд простейших геометрических фигур. Тогда площадь всей фигуры будет равна сумме площадей элементарных фигур. Частным случаем этого способа является применение различных палеток, нанесенных на прозрачном материале.

Механический способ. Этот способ основан на применении специального прибора — планиметра. Наибольшее распространение получил полярный планиметр (рис. 3.13).

Перед измерением площади определяют цену одного деления счетного механизма планиметра. Для этого выбирают участок, площадь которого легко получить геометрически (например, один из

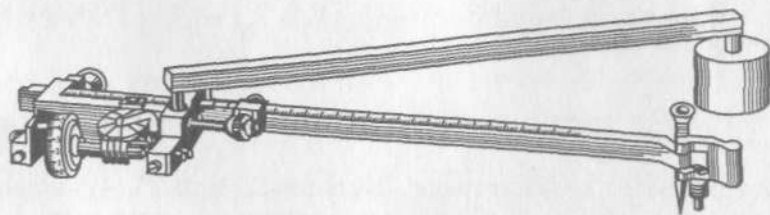


Рис. 3.13. Полярный планиметр

квадратов сетки плана), и обводят его. При этом берут отсчеты по счетному механизму n_1 до обводки участка и n_2 — после обводки. Тогда цена одного деления счетного механизма

$$C = P / (n_2 - n_1).$$

При этом $n_2 > n_1$, если участок обводят по ходу часовой стрелки, и $n_2 < n_1$ — при обводе участка против хода часовой стрелки. Зная цену одного деления планиметра, можно определить площадь любого участка. Для этого необходимо произвести два отсчета n_0 и n до и после обвода этого участка планиметром; значение площади получают по следующим формулам:

$$P = C(n - n_0); \quad (3.4)$$

$$P = C(n - n_0) + Q, \quad (3.5)$$

где Q — постоянное число планиметра.

Формулу (3.4) используют в том случае, когда полюс планиметра находится вне обводимого контура, а формулу (3.5) — когда полюс расположен внутри контура. Постоянное Q планиметра определяют по следующей формуле:

$$Q = P / C - n',$$

где P — известная площадь участка, например площадь квадрата, вычисленная геометрически; C — цена деления планиметра (должна быть известна); $n' = n - n_0$.

Цену деления можно изменять путем перемещения счетного механизма по обводному рычагу. Допустим, что цена деления равна некоторому числу C_0 и этому числу соответствует длина рычага R_0 , тогда

$$R_0 = C_0 R / C.$$

Точность определения площади планиметром характеризуется относительной погрешностью порядка 1:300.

В настоящее время механические планиметры заменили электронными (цифровыми). Так, японская фирма «Торкон» выпускает несколько моделей цифровых планиметров, позволяющих проводить измерения площадей по картам или другим материалам с точностью 0,2%.

3.9. Решение задач на топографических планах (картах)

Определение координат точки. Пусть точка A (рис. 3.14) находится в квадрате, абсциссы и ординаты вершин которого x_1, x_2 и y_1, y_2 . Проведя через точку A прямые, параллельные осям координат,

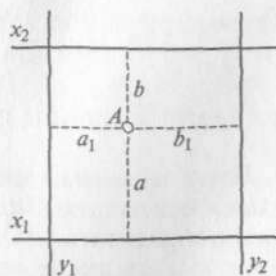


Рис. 3.14. Определение координат точки

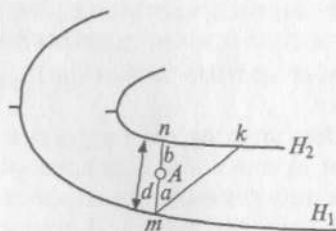


Рис. 3.15. Определение отметки точки

и измерив с помощью измерителя и масштабной линейки расстояния a , a_1 и b , b_1 , получим:

$$x_A = x_1 + \frac{\Delta x}{a+b} a = x_2 - \frac{\Delta x}{a+b} b; \quad (3.6)$$

$$y_A = y_1 + \frac{\Delta y}{a_1+b_1} a_1 = y_2 - \frac{\Delta y}{a_1+b_2} b_1, \quad (3.7)$$

где $\Delta x = x_2 - x_1$, $\Delta y = y_2 - y_1$.

Определение отметки точки. Если точка лежит на горизонтали, то ее отметка равна отметке этой же горизонтали.

Пусть точка A (рис. 3.15) лежит между горизонталями с отметками H_1 и H_2 , причем $H_1 < H_2$. Проведя через точку A кратчайшую линию между горизонталями и измерив с помощью измерителя и масштабной линейки расстояния d , a и b , получим

$$H_A = H_1 + ha/d = H_2 - hb/d, \quad (3.11)$$

где h — высота сечения рельефа горизонталями.

Определение направления и крутизны ската. Построим линии mn и mk , проведя их между горизонталями с отметками H_1 и H_2 (см. рис. 3.15). Длина линии mn меньше длины mk , а вертикальное расстояние между горизонталями (высота сечения рельефа) одно и то же. Следовательно, линия, соответствующая заложению mn , круче линии, соответствующей заложению mk . Отсюда можно сделать вывод, что самому короткому расстоянию между двумя соседними горизонталями соответствует самая крутая линия на местности. Направление этой линии принимается за направление ската, а уклон этой линии служит мерой его крутизны.

Определение уклона линии. Пусть имеются две точки A и B (см. рис. 3.10), горизонтальное расстояние между которыми равно d , а отметки их равны H_A и H_B . Тогда согласно формуле (3.1) уклон линии AB

$$i_{AB} = (H_B - H_A)/d,$$

а уклон линии BA

$$i_{BA} = (H_A - H_B)/d.$$

Абсолютные значения i_{AB} и i_{BA} равны, но противоположны по знаку.

Определение горизонтальных расстояний. Пусть даны на карте (плане) точки A и B , расстояние между которыми неизвестно. Зная масштаб карты (плана), расстояние AB можно определить измерителем и масштабной линейкой. Более точно расстояние AB определяют путем решения обратной задачи на координаты. Для этого вначале по формулам (3.6), (3.7) и (2.5) определяют координаты точек A и B и дирекционный угол направления AB , а затем по формуле (2.6) вычисляют горизонтальное расстояние AB .

Построение по горизонталям профиля местности. Пусть требуется построить профиль по направлению AB (рис. 3.16). Для этого на листе бумаги проводят прямую ab и на ней откладывают расстояния I—II, II—III, ..., равные соответствующим расстояниям между горизонталями, определяемым по направлению AB . В полученных точках восставляют перпендикуляры, на которых в выбранном масштабе откладывают высоты точек I, II, ..., VII. Соединив концы перпендикуляров прямыми, получают профиль местности по направлению AB . Для построения профиля вертикальный масштаб принимают крупнее горизонтального в 10 раз.

Проведение линии заданного уклона. Допустим, требуется через точки M (рис. 3.17) и N провести кратчайшую линию так, чтобы уклоны ее отдельных участков не превышали заданного уклона i_0 . Подставив в формулу (3.2) вместо h высоту сечения рельефа для данной карты (плана), а вместо i уклон i_0 , получим кратчайшее расстояние d между горизонталями, которое и будет соответство-

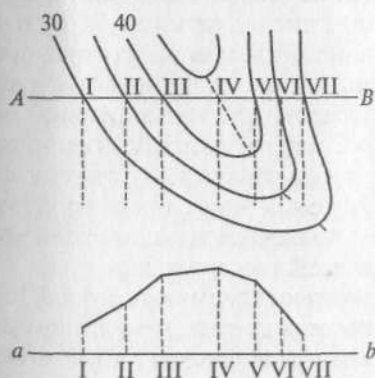


Рис. 3.16. Построение профиля местности

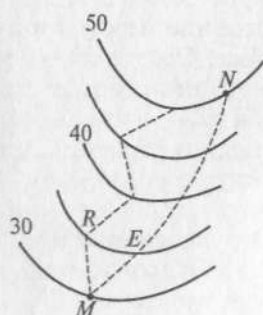


Рис. 3.17. Проведение линии заданного уклона

вать уклону α_0 . Взяв циркулем в масштабе карты (плана) расстояние d , засекают этим радиусом из точки M следующую горизонталь в точках R и E . Из этих точек тем же радиусом засекают следующую горизонталь и т.д. Следовательно, получают два варианта решения задачи. Направление MEN , как более короткое, принимают за искомое.

3.10. Изображение земной поверхности в цифровом виде

Развитие вычислительной техники и появление автоматических чертежных приборов (графопостроителей) привело к созданию автоматизированных систем для решения различных инженерных задач, связанных с проектированием и строительством сооружений. Часть этих задач решается с использованием топографических планов и карт. В связи с этим появилась необходимость представления и хранения информации о топографии местности в цифровом виде, удобном для применения компьютеров.

В памяти компьютера цифровые данные о местности наилучшим образом могут быть представлены в виде координат x, y, H некоторого множества точек земной поверхности. Такое множество точек с их координатами образует *цифровую модель местности* (ЦММ).

По своему содержанию ЦММ разделяется на цифровую модель ситуации (контуров местности) и цифровую модель рельефа (ЦМР).

Все элементы ситуации задаются координатами x и y точек, определяющих положение предметов и контуров местности. Цифровая модель рельефа характеризует топографическую поверхность

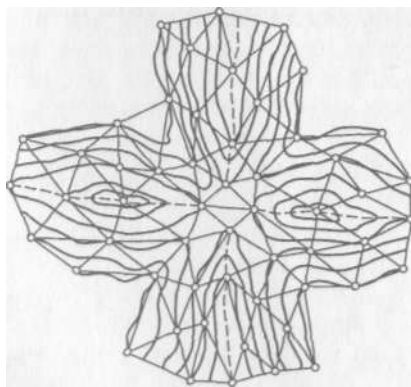


Рис. 3.18. Схема расположения точек цифровой модели в характерных местах рельефа и на горизонталях

ность местности. Она определяется некоторым множеством точек с координатами x, y, H , выбранных на земной поверхности так, чтобы в достаточной мере отобразить характер рельефа.

Ввиду многообразия форм рельефа подробно описать его в цифровом виде довольно сложно, поэтому в зависимости от решаемой задачи и характера рельефа применяют различные способы составления цифровых моделей. Например, ЦМР может иметь вид таблицы значений координат x, y, H в вершинах некоторой сетки квадратов или

правильных треугольников, равномерно расположенных на всей площади участка местности. Расстояние между вершинами выбирается в зависимости от формы рельефа и решаемой задачи. Модель может быть задана также в виде таблицы координат точек, расположенных в характерных местах (перегибах) рельефа (водоразделах, тальвегах и др.) или на горизонталях (рис. 3.18). Пользуясь значениями координат точек цифровой модели рельефа для более подробного его описания на компьютере по специальной программе, определяют высоту любой точки участка местности.

Контрольные вопросы

1. Что называется планом?
2. Что называется картой?
3. Что называется профилем местности?
4. Что называется масштабом?
5. Что представляют собой численный, линейный и поперечный масштабы?
6. Постройте линейный масштаб, если численный масштаб равен 1:200.
7. Определите цену наименьшего деления поперечного масштаба, если его основание равно 2 см, число делений на основании 10, по высоте 5, а численный масштаб 1:500.
8. Определите точность масштаба 1:100 000.
9. С какой точностью измеряют длины линий на плане масштаба 1:1000?
10. Запишите номенклатуру любого листа карты масштаба 1:300000.
11. Возможна ли номенклатура карты 14-37-XXXVII?
12. В чем заключается разница между масштабными и немасштабными условными знаками?
13. Что называется рельефом местности?
14. Какие основные типовые формы рельефа вы знаете?
15. Что называется горизонталью, каковы ее основные свойства?
16. Что такое высота сечения рельефа?
17. Что называется заложением?
18. Что называется уклоном линии?
19. Что является мерой крутизны ската?
20. Что понимается под ориентированием карты на местности?
21. Вычертите для плана в масштабе 1:5000 масштаб заложений по углам наклонов и по уклонам, если $h = 0,5$ м.
22. В чем сущность аналитического, геометрического и механического способов определения площадей на планах и картах?
23. Как определить координаты и отметки точек на планах (картах)?
24. Как определяются направление и крутизна ската?
25. Определите уклон линии AB , если известно, что $H_A = 121,75$ м, $H_B = 92,03$ м и $l = 121,71$ м.
26. Как построить по горизонталям профиль местности?
27. Как провести линию заданного уклона на плане (карте)?
28. Каким образом представляется модель местности в цифровом виде?

ГЛАВА 4 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

4.1. Погрешности измерений

Любое измерение производят при наличии следующих факторов: объект измерения; субъект измерения — наблюдатель; мерный прибор; метод измерений — совокупность правил и действий при измерениях; внешняя среда, в которой производят измерение.

В зависимости от условий измерения могут быть равноточными и неравноточными. Если в процессе измерений сохраняются неизменными все пять факторов, то такие измерения называют *равноточными*. При неодинаковых условиях, т. е. когда изменяется хотя бы одно из пяти условий (например, наблюдатели были разной квалификации), производимые измерения называются *неравноточными*.

Каждый из перечисленных факторов в процессе измерений порождает множество элементарных погрешностей¹. Суммарное действие элементарных погрешностей образует погрешность результата измерений, в связи с чем результат измерений никогда не совпадает с истинным значением измеряемой величины.

Различают три основных вида погрешностей: грубые, систематические и случайные.

Грубые погрешности резко отклоняют результат измерения от истинного значения измеряемой величины. Примером грубых погрешностей могут быть просчеты по измерительным приборам, неверные записи и т.д. Такие погрешности обнаруживают и устраняют путем проведения повторных наблюдений.

Систематические погрешности входят в каждый результат измерений по строго определенному закону; их делят на *постоянные*, т. е. неизменные по знаку и величине, и *переменные* — изменяющие свою величину от одного измерения к другому по определенному закону. Источником систематических погрешностей могут быть, например, неправильная длина мерного прибора, отклонение визирного луча от горизонтали при нивелировании, личная погрешность наблюдателя и т.д. Такие погрешности должны быть обнаружены, изучены и исключены из результатов наблюдений путем введения соответствующих поправок.

¹ В геодезии термины «погрешность» и «ошибка» — синонимы, применение которых зависит от восприятия словосочетания.

Случайные погрешности носят случайный характер, их возникновение не подчиняется определенным математическим законам, они связаны между собой статистической закономерностью, т. е. проявляются в массовых явлениях.

В дальнейшем будем считать, что результаты измерений свободны от грубых и систематических погрешностей и содержат только случайные погрешности.

4.2. Свойства случайных погрешностей измерений

Случайной погрешностью Δ называют разность между измеренным значением l величины и ее истинным значением X , т. е.

$$\Delta = l - X. \quad (4.1)$$

Приняв это условие, основные свойства случайных погрешностей можно сформулировать следующим образом:

при определенных условиях измерений случайные погрешности по абсолютной величине не могут превышать известного предела;

малые по абсолютной величине погрешности в данном ряду измерений появляются чаще больших;

одинаковые по абсолютной величине положительные и отрицательные погрешности в данном ряду измерений равновозможны;

среднее арифметическое из всех случайных погрешностей данного ряда равнозначных измерений одной и той же величины при неограниченном возрастании числа измерений n стремится к нулю, т. е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, \infty). \quad (4.2)$$

При этом условии (4.2) следует понимать в статистическом смысле, т. е. среднее арифметическое из случайных погрешностей при увеличении числа измерений n будет то уменьшаться, то возрастать, однако при неограниченном увеличении n оно в общем будет стремиться к нулю.

4.3. Принцип арифметической середины

Рассмотрим только равнозначные измерения. Пусть некоторая величина, истинное значение которой равно X , измерена n раз. При этом получены значения l_1, l_2, \dots, l_n . На основании определения (4.1) имеем

$$\Delta_1 = l_1 - X;$$

$$\Delta_2 = l_2 - X;$$

.....

$$\Delta_n = l_n - X.$$

Суммируя левые и правые части, найдем

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = \sum_{i=1}^n l_i - nX,$$

откуда

$$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i.$$

Учитывая условие (4.2), окончательно получаем

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i, \quad (4.3)$$

где \bar{x} — среднее арифметическое.

Из этого выражения следует, что при бесконечно большом числе измерений средняя арифметическая величина будет равна истинному значению, а при конечном числе измерений она является вероятнейшим значением искомой величины.

Таким образом, за вероятнейшее значение измеряемой величины при равноточных наблюдениях следует принимать среднюю арифметическую величину из ряда результатов измерений; ее называют *арифметической серединой*.

4.4. Средняя квадратическая погрешность

При выборе критерия для оценки наблюдений необходимо пояснить, что на практике результат считается одинаково ошибочным, будет ли он больше истинного значения или меньше. Поэтому стараются установить такой критерий оценки точности наблюдений, который не зависел бы от знаков отдельных погрешностей и заметно отображал наибольшие из них. Таким требованиям удовлетворяет средняя квадратическая погрешность¹:

$$m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (4.4)$$

По этой формуле, которую называют формулой Гаусса, определяют среднюю квадратическую погрешность отдельного резуль-

¹ При априорной (предшествующей измерениям) оценке используют понятие «среднее квадратическое отклонение», обозначаемое буквой σ .

тата измерений, когда известно истинное значение X измеряемой величины. В противном случае среднюю квадратическую погрешность отдельного результата измерений определяют через отклонения от арифметической середины δ по следующей формуле:

$$m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (4.5)$$

где $\delta_i = l_i - x$.

Формулу (4.5) часто называют формулой Бесселя.

Для определения средней квадратической погрешности арифметической середины представим формулу (4.3) в следующем виде:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} l_1 + \frac{1}{n} l_2 + \dots + \frac{1}{n} l_n.$$

Так как величина погрешности i -го измерения характеризуется средней квадратической погрешностью m_i , то квадрат средней квадратической погрешности арифметической середины

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

Принимая во внимание, что наблюдения равноточны, можно положить, что

$$m_1 = m_2 = \dots = m_n = m.$$

Тогда $M^2 = m^2/n$, откуда

$$M = m/\sqrt{n}. \quad (4.6)$$

Следовательно, средняя квадратическая погрешность арифметической середины в \sqrt{n} раз меньше средней квадратической погрешности отдельного измерения.

Пример. В результате шести измерений длины линии на местности получены данные, приведенные в табл. 4.1.

Таблица 4.1

По формуле (4.3) имеем $\bar{x} = 56,24$ м. Затем составляем разности δ между каждым из измерений и арифметической серединой, возводим их в квадрат и суммируем. По формулам (4.5) и (4.6) получаем

$$m = \sqrt{\frac{8}{6-1}} = 1,26 \text{ см};$$

$$M = \frac{1,26}{\sqrt{6}} = 0,52 \text{ см}.$$

Измеренное значение линии, м	δ , см	δ^2 , см ²
56,25	+1	1
56,23	-1	1
56,24	0	0
56,26	+2	4
56,23	-1	1
56,23	-1	1
$\bar{x} = 56,24$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 8$

4.5. Предельная, абсолютная и относительная погрешности

Применительно к конкретным условиям измерений указывают критерий отбраковки результатов наблюдений. В качестве такого критерия принимают предельную погрешность $\Delta_{пр}$. При более ответственных измерениях

$$\Delta_{пр} = 2m. \quad (4.7)$$

Для менее ответственных измерений такая погрешность будет составлять

$$\Delta_{пр} = 3m.$$

Погрешность, определяемая по формуле (4.1), является абсолютной.

В практике геодезических измерений точность наблюдений принято характеризовать не только абсолютным значением погрешности (истинной, средней квадратической), но и ее относительной величиной. В качестве относительной погрешности принимают отношение абсолютной погрешности к значению измеряемой величины:

$$\Delta_{отн} = m/l = 1/(l/m), \quad (4.8)$$

где l — значение измеряемой величины.

Пример. Дано $m = 0,11$ м; $l = 212,43$ м.

По формулам (4.7) и (4.9) имеем

$$\Delta_{пр} = 0,22 \text{ м}; \Delta_{отн} = 0,11/212,43 \approx 1/2000.$$

4.6. Средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин

Пусть дана функция

$$z = x + y,$$

где x и y — независимые слагаемые. Через Δz , Δx и Δy обозначим соответствующие случайные погрешности величин x , y , z при однократном их измерении. При этих условиях $z + \Delta z = (x + \Delta x) + (y + \Delta y)$, откуда

$$\Delta z = \Delta x + \Delta y. \quad (4.9)$$

Если каждое слагаемое измерить n раз, то можно написать n равенств вида (4.9). Если каждое из них возвести в квадрат, сло-

жить левые и правые части и разделить затем обе части равенства на n , то получим

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta z_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta y_i^2 + \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \Delta y_i.$$

Здесь $\sum_{i=1}^n \Delta x_i \Delta y_i$ представляет собой сумму произведений случайных независимых погрешностей, поэтому при достаточно большом числе n последний член этого равенства мал и им можно пренебречь. Приняв во внимание формулу (4.4), получим

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2. \quad (4.10)$$

Эта формула справедлива и для функции $z = x - y$.

При $m_x = m_y = m$ формула (4.10) принимает следующий вид:

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

Если дана функция $z = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n$, то, обозначив через $m_z, m_1, m_2, \dots, m_n$ средние квадратические погрешности этой функции и аргументов, получим

$$m_z^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2.$$

При $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$ будем иметь

$$m_z = m\sqrt{n}.$$

Рассмотрим теперь функцию общего вида

$$z = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

В теории погрешностей измерений доказывается, что если x_1, x_2, \dots, x_n — независимые величины, то

$$m_z^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 m_1^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 m_n^2, \quad (4.11)$$

где

$$\frac{\partial f}{\partial x_1}; \quad \frac{\partial f}{\partial x_2}; \quad \dots; \quad \frac{\partial f}{\partial x_n}$$

представляют собой частные производные данной функции, вычисленные для соответствующих значений аргументов.

Пример. Определить среднюю квадратическую погрешность превышения по формуле

$$h = d \operatorname{tg} v,$$

где горизонтальное положение $d = 143,5$ м; угол наклона линии визирования к горизонту $v = 2^\circ 30'$. Определены они со средними квадратическими погрешностями $m_d = 0,5$ м и $m_v = 1'$.

Вычисляем частные производные

$$\frac{\partial h}{\partial d} = \operatorname{tg} v, \quad \frac{\partial h}{\partial v} = \frac{d}{\cos^2 v}.$$

По формуле (4.11) получаем

$$m_h = \sqrt{\operatorname{tg}^2 v m_d^2 + \frac{d^2}{\cos^4 v} \frac{m_v^2}{\rho^2}} = \sqrt{0,044^2 \cdot 0,5^2 + \frac{143,5^2}{0,999^2} \frac{1^2}{3438^2}} = 4,8 \text{ см.}$$

4.7. Двойные измерения

Пусть имеем ряд двойных равноточных измерений некоторой величины:

$$x_1, x_2, \dots, x_n;$$

$$y_1, y_2, \dots, y_n.$$

При этом будем считать, что систематические погрешности в полученных результатах измерений отсутствуют.

Составим следующие разности:

$$d_1 = x_1 - y_1;$$

$$d_2 = x_2 - y_2;$$

.....

$$d_n = x_n - y_n.$$

По этим разностям определяют среднюю квадратическую погрешность отдельного результата измерений

$$m = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n d_i^2}. \quad (4.12)$$

Если ряд двойных наблюдений имеет систематические погрешности, то для определения m пользуются формулой

$$m = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n (d_i - \theta)^2},$$

где

$$\theta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i,$$

представляет собой среднее значение систематической погрешности в наблюдениях.

Пример. В результате измерения отрезка AB на местности двумя 20-метровыми лентами получены данные, приведенные в табл. 4.2.

Таблица 4.2

x_i , м	y_i , м	d_i , см	d_i^2 , см ²
124,46	124,49	-3	9
124,52	124,50	2	4
124,48	124,51	-3	9
124,50	124,47	3	9
124,49	124,47	2	4
			$\Sigma = 35$

Вычислив разности $d_i = x_i - y_i$, возведем их в квадрат и сложим. Пользуясь формулой (4.12), получим

$$m = \sqrt{\frac{35}{2(5-1)}} \approx 2,1 \text{ см.}$$

4.8. Понятие о весе измерения. Общая арифметическая средина

Понятие о весе измерения вводят для обработки результатов неравноточных измерений. Вес определяет степень надежности результатов измерений. Чем надежнее результат, тем больше его вес. Следовательно, вес связан с точностью измерений.

За вес результата измерения p_i принимают величину, обратно пропорциональную квадрату средней квадратической погрешности, т.е.

$$p_i = c/m_i^2,$$

где c — некоторая постоянная величина. Обозначив через p вес одного результата измерения, а через P — вес арифметического среднего из n таких измерений, получим

$$P/p = m^2/M^2 = m^2/(m^2/n) = n,$$

т.е. вес арифметической средины в n раз больше веса одного результата измерения. Условимся, что результат, полученный из одного приема, имеет вес, равный единице, а результат, найденный из n таких приемов, имеет вес, равный n .

Пусть величина X измерена n раз в различных условиях. При этом получены значения x_1, x_2, \dots, x_n с весами p_1, p_2, \dots, p_n .

Тогда без доказательств формула весового среднего или *общей арифметической средины*, учитывающая вес измерений, будет

$$x_0 = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}. \quad (4.13)$$

Средняя квадратическая погрешность μ , соответствующая результату измерения, вес которого принят равным единице, или так называемая *средняя квадратическая погрешность единицы веса* определяется по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n p_i v_i^2}, \quad (4.14)$$

где $v_i = x_i - x_0$.

Средняя квадратическая погрешность M_0 весового среднего или общей арифметической середины

$$M_0 = \mu / \sqrt{P}. \quad (4.15)$$

Пример. Требуется определить весовое среднее, среднюю квадратическую погрешность единицы веса и среднюю квадратическую погрешность весового среднего по данным табл. 4.3.

Таблица 4.3

Значение измеренного угла	Число измерений n	$p = n/3$	v	v^2	$p v^2$
73°08'10"	3	1	+6	36	36
73°08'06"	9	3	+2	4	12
73°08'08"	6	2	+4	16	32
73°08'00"	15	5	-4	16	80
73°08'04"	12	4	0	0	0
73°08'04"		$\Sigma = 15$			$\Sigma = 160$

Подставляя данные табл. 4.3 в формулу (4.13), получим

$$x_0 = 73^\circ 08' + \frac{10'' \cdot 1 + 6'' \cdot 3 + 8'' \cdot 2 + 0'' \cdot 5 + 4'' \cdot 4}{1 + 3 + 2 + 5 + 4} = 73^\circ 08' 04''.$$

Здесь для упрощения общая часть 73°08' вынесена за знак операций, а веса получали делением на 3.

По формулам (4.14) и (4.15) имеем

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{160}{5-1}} = 6'', 3; \quad M_0 = \pm \frac{6'', 3}{\sqrt{15}} = 1'', 6.$$

4.9. Понятие о правилах и технике геодезических вычислений

При выполнении геодезических вычислений очень важно придерживаться правил, выработанных практикой, соблюдение которых экономит труд вычислителя и позволяет рационально ис-

пользовать имеющуюся вычислительную технику и вспомогательные средства. Прежде всего необходимо разработать подробную схему, точно указывающую порядок действий и дающую возможность получить искомый результат наиболее простым и быстрым путем.

Второе, на что нужно обратить серьезное внимание, — это контроль вычислений. Без проверки вычисление не может считаться законченным.

Третий важный момент — аккуратность и четкость записи чисел в вычислительных бланках.

Практика показывает, что нечеткая и небрежная запись чисел часто приводит к погрешностям.

В настоящее время при массовых геодезических вычислениях используют совершенную вычислительную технику. Широкое применение получили электронные вычислительные машины (ЭВМ), а также микрокалькуляторы, отличающиеся малыми размерами и сравнительно большим числом производимых математических операций.

Наряду с такой современной вычислительной техникой для геодезических вычислений используют различного рода таблицы и вычислительные номограммы.

Контрольные вопросы

1. Что называется измерением?
2. Какие измерения называют равноточными, а какие — неравноточными?
3. Назовите виды геодезических измерений на местности и единицы мер, применяемые в геодезии.
4. Что такое грубые, систематические и случайные погрешности измерений?
5. Каковы основные свойства случайных погрешностей измерений?
6. Как определяется вероятнейшее значение измеряемой величины при равноточных и неравноточных измерениях?
7. Что называется предельной, абсолютной и относительной погрешностью?
8. Что такое средняя квадратическая погрешность, как она определяется?
9. Как определяется средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин?
10. Что такое вес измерения?
11. Сколько необходимо сделать измерений, чтобы получить среднюю квадратическую погрешность, не превышающую 2 см, если средняя квадратическая погрешность отдельного измерения равна 5 см?
12. Определите вероятнейшее значение измеряемой величины и дайте оценку точности измерений, выполненных в примерно одинаковых условиях, если $x_1 = 86,214$ м; $x_2 = 86,217$ м; $x_3 = 86,208$ м; $x_4 = 86,204$ м.

13. Определите вероятнейшее значение измеряемой величины и приведите оценку точности измерений, если $\beta_1 = 72^\circ 13' 30''$; $\beta_2 = 72^\circ 13' 45''$; $\beta_3 = 72^\circ 14' 00''$; $\beta_4 = 72^\circ 13' 20''$; $\beta_5 = 72^\circ 14' 10''$, веса которых равны $p_1 = 0,4$; $p_2 = 1,0$; $p_3 = 0,7$; $p_4 = 0,5$; $p_5 = 0,8$.

14. Определите среднюю квадратическую погрешность значения $h = S \sin \beta$, если S определяли четыре раза со средней квадратической погрешностью 2 см, а угол β измеряли пять раз со средней квадратической погрешностью $40''$.

ГЛАВА 5 УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

5.1. Схема измерения горизонтального угла

Принцип измерения горизонтального угла заключается в следующем. Пусть на местности имеются три точки A , B и C (рис. 5.1), расположенные на разных высотах. Необходимо измерить горизонтальный угол при вершине B между направлениями BA и BC . Этот угол определяется проекцией aBc угла ABC на горизонтальную плоскость P . Проекция aBc служит мерой двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями $AA'B'B$ и $CC'B'B$.

Расположим над вершиной измеряемого угла параллельно горизонтальной плоскости градуированный круг R , центр которого совместим с произвольной точкой отвесной линии BB' . Тогда угол P между радиусами $B'a'$ и $B'c'$ — сечениями круга вертикальными плоскостями $AA'B'B$ и $CC'B'B$ — выразит измеряемый горизонтальный угол. Если деления на круге подписаны по ходу часовой стрелки, a' и c' — отсчеты по градуированной окружности круга, тогда

$$\beta = a' - c'.$$

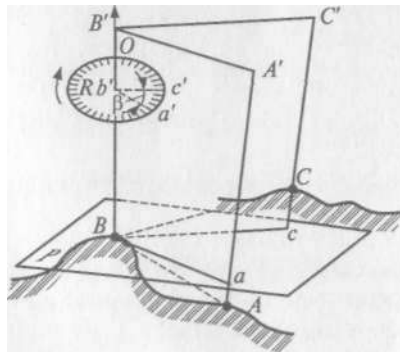


Рис. 5.1. Измерение горизонтальных углов

Рассмотренная геометрическая схема измерения горизонтального угла осуществляется в угломерном инструменте, называемом *теодолитом*.

Теодолит (рис. 5.2) имеет металлический или стеклянный круг, называемый лимбом 7, по скошенному краю которого нанесены деления от 0 до 360° . Счет делений идет по ходу часовой стрелки. Центр лимба устанавливается на отвесной линии, про-

Рис. 5.2. Схема устройства теодолита:

/ — подъемный винт; 2 — подставка; 3 — вертикальный круг; 4 — зрительная труба; 5 — цилиндрический уровень; 6 — алидада; 7 — лимб; 8 — становой винт

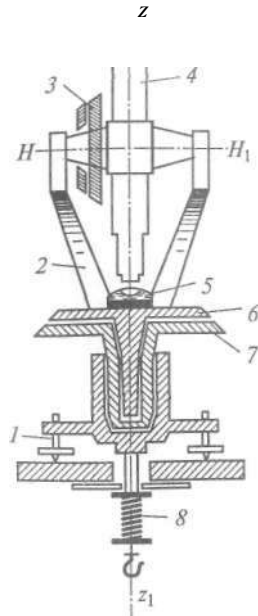
ходящей через вершину B (см. рис. 5.1) измеряемого угла. На плоскость лимба проектируются стороны BA и BC измеряемого угла. При измерении угла лимб неподвижен и горизонтален.

Над лимбом помещена вращающаяся вокруг отвесной линии верхняя часть теодолита, содержащая алидаду 6 и зрительную трубу 4. При вращении зрительной трубы вокруг горизонтально устанавливаемой на подставках 2 оси HH_1 , воспроизводятся вертикальные плоскости $B'C'sV$ и $B'A'aV$ (см. рис. 5.1), называемые *коллимационными*. Оси лимба и алидады должны совпадать, причем ось zz_x (см. рис. 5.2) вращения алидады называется *основной*, или *вертикальной*, осью инструмента. На алидаде имеется индекс, позволяющий фиксировать ее положение на шкале лимба, который для повышения точности отсчета сопровождается специальным устройством — отсчетным приспособлением. Лимб и алидада закрыты прикрепленным к алидаде металлическим кожухом.

Основная ось теодолита устанавливается в отвесное положение (а плоскость лимба — в горизонтальное) по цилиндрическому уровню 5 с помощью трех подъемных винтов 1. Зрительная труба может быть повернута на 180° вокруг горизонтальной оси, т.е. *переведена через зенит*. На одном из концов оси вращения трубы укреплен вертикальный круг 3, который наглухо соединен с осью и вращается вместе с ней. Вертикальный круг принципиально устроен так же, как и горизонтальный; он служит для измерения вертикальных углов (углов наклона или зенитных расстояний¹). Вертикальный круг может располагаться справа или слева от зрительной трубы, если смотреть со стороны окуляра.

Первое положение называется «круг право» (КП), второе — «круг лево» (КЛ).

В комплект теодолита входят буссоль, штатив и отвес. Буссоль служит для измерения магнитных азимутов и румбов. Штатив представляет собой треногу с металлической головкой. Теодолит крепится к головке штатива с помощью станowego винта 8. Отвес



¹ Угол наклона отсчитывается от горизонтальной плоскости, зенитное расстояние — от вертикальной.

служит для центрирования инструмента над точкой, т. е. для установления центра лимба над вершиной измеряемого угла.

Вращающиеся части теодолита снабжены зажимными видами для закрепления их в неподвижное состояние и микрометренными (наводящими) для медленного и плавного вращения.

Для измерения горизонтального угла при неподвижном лимбе вращением алидады последовательно наводят зрительную трубу на точки A и C местности (см. рис. 5.1). При этом коллимационная плоскость последовательно проходит через стороны BA и BC измеряемого угла, т.е. совмещается с плоскостями $BC'sBя$ $B'A'aB$. В обоих случаях с помощью отсчетного приспособления производятся отсчеты по лимбу. Разность отсчетов дает значение измеряемого угла ρ .

5.2. Зрительная труба

В современных геодезических инструментах применяют зрительные трубы с внутренней фокусировкой (рис. 5.3, *а*). Оптическая схема такой трубы показана на рис. 5.3, *б*.

При производстве работ обычно визируют на предметы, значительно удаленные от инструмента, поэтому предмет AB всегда находится вне фокусного расстояния $O_xF_{объектива}$ (ОБ), а изображение A_2B_2 предмета, полученное через объектив, будет действительным и обратным¹. Чтобы увеличить это изображение, в трубу вводят окуляр (ОК).

Окуляр устанавливают таким образом, чтобы расстояние O_2C было меньше фокусного расстояния O_2F_3 . В таком случае изображение A_2B_2 получится мнимым и увеличенным.

Между объективом и окуляром ставится двояковогнутая линза, перемещаемая внутри трубы с помощью кремальеры. Изменение положения этой линзы меняет положение фокуса объектива, поэтому она называется *фокусирующей линзой*.

В окулярной части зрительной трубы, в том месте, где получается действительное изображение предмета A_2B_2 , помещается диафрагма, в отверстие которой вставлена стеклянная пластинка с нанесенной на ней *сеткой нитей*. Различные системы сеток нитей, применяемых в современных геодезических инструментах, показаны на рис. 5.4.

Зрительная труба имеет три оси: визирную, оптическую и геометрическую.

Прямая, соединяющая оптический центр объектива с центром сетки нитей, называется *визирной осью трубы*. Прямая, соединя-

¹ у некоторых современных геодезических приборах применяют зрительные трубы прямого изображения, маркируемые буквой «П».

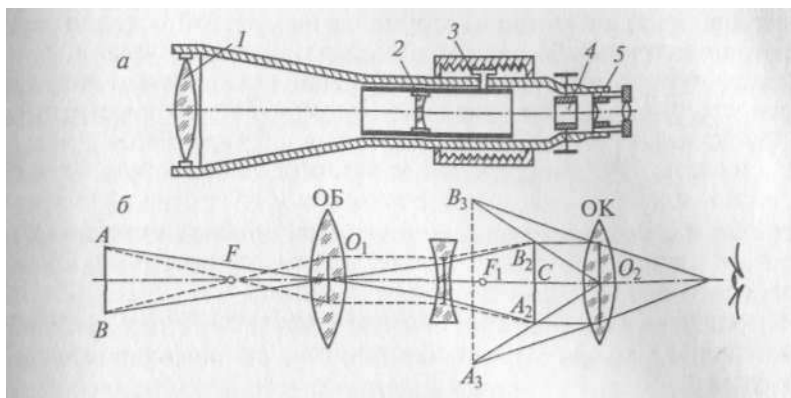


Рис. 5.3. Зрительная труба:

a — разрез; *б* — оптическая схема; 1 — объектив; 2 — фокусирующая линза; 3 — кремальера; 4 — сетка нитей; 5 — окуляр

ющая оптические центры объектива и окуляра, называется *оптической осью трубы*. Прямая, проходящая через центры поперечных сечений объективной части трубы, называется *геометрической осью трубы*.

Установка зрительной трубы для наблюдений. Перед наведением трубы на предмет окуляр должен быть установлен по глазу, а изображение предмета совмещено с плоскостью сетки нитей. Для установки окуляра по глазу трубу наводят на светлый фон и передвигают окулярную трубочку до тех пор, пока нити сетки не станут резко очерченными.

Совмещение изображения предмета с плоскостью сетки нитей, т. е. фокусировку, производят перемещением фокусирующей линзы в трубе с помощью кремальеры; при этом добиваются такого положения, чтобы изображение предмета получилось резким. Если изображение предмета не совпадает с плоскостью сетки нитей, то при перемещении глаза относительно окуляра точка пересечения нитей сетки будет проектироваться на разные точки изображения. Такое явление называется *параллаксом*. Параллакс сетки нитей устраняется небольшим поворотом кремальеры.

Увеличение трубы. Увеличением трубы Γ^* называется отношение угла ρ , под которым изображение предмета видно в трубу,



Рис. 5.4. Виды сеток нитей

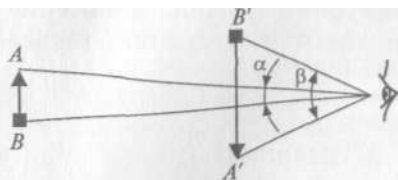


Рис. 5.5. Определение увеличения трубы

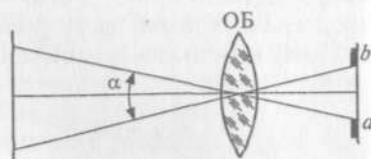


Рис. 5.6. Определение поля зрения трубы

к углу α , под которым предмет виден невооруженным глазом (рис. 5.5), т. е.

$$\Gamma^{\times} = \beta/\alpha.$$

Практически увеличение трубы принимается равным отношению фокусного расстояния объектива к фокусному расстоянию окуляра:

$$\Gamma^{\times} = f_{об}/f_{ок}.$$

Трубы геодезических инструментов имеют увеличение от 15 до 50 и более крат.

Поле зрения трубы. Пространство, видимое в трубу при неподвижном ее положении, называется *полем зрения*. Поле зрения определяется углом α (угол зрения) (рис. 5.6), вершина которого находится в оптическом центре объектива, а стороны опираются на диаметр ab сеточной диафрагмы. Величину поля зрения определяют по формуле

$$\alpha = 38,2^{\circ}/\Gamma^{\times}. \quad (5.1)$$

Из формулы (5.1) следует, что чем больше увеличение трубы, тем меньше ее поле зрения. В геодезических инструментах поле зрения трубы обычно колеблется в пределах от $30'$ до 2° .

Точность визирования зрительной трубой. Разрешающая способность¹ глаза человека примерно равна одной минуте, поэтому предельная погрешность визирования невооруженным глазом принимается равной $60''$.

При рассмотрении изображения предмета в зрительную трубу погрешность визирования уменьшается пропорционально увеличению трубы Γ^{\times} и средняя квадратическая погрешность

$$m_b = 20''/\Gamma^{\times}.$$

В последнее время в геодезических инструментах применяются трубы с зеркально-линзовыми объективами системы Д. Д. Максудова. Применение таких объективов позволяет при большом диа-

¹ Разрешающая способность — это предельно малый угол, при котором глаз наблюдателя еще воспринимает раздельно две точки.

метре выходного отверстия освободиться от влияния искажений предметов. Кроме того, такие трубы имеют малую длину (около 210 мм) и большое увеличение (до 65 крат).

5.3. Уровни и их устройство

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

Цилиндрический уровень (рис. 5.7, а) представляет собой стеклянную трубку, верхняя внутренняя поверхность которой отшлифована по дуге определенного радиуса. Радиус кривизны в зависимости от назначения уровня бывает от 3,5 до 200 м. Стеклянная трубка заполняется нагретым до 60 °С спиртом или эфиром и запаивается. После охлаждения жидкость сжимается, и в трубке образуется небольшое пространство, заполненное парами спирта или эфира, которое называют *пузырьком уровня*. Трубка помещается в металлическую оправу. Для регулирования уровень снабжен исправительным винтом *М*. На наружной поверхности трубки нанесены штрихи. Расстояние между соседними штрихами равно 2 мм. Точка *О* в средней части ампулы называется *нульпунктом уровня*.

Прямая uu_1 , касательная к внутренней поверхности уровня в его нульпункте, называется *осью уровня*.

Пузырек уровня всегда стремится занять наивысшее положение, поэтому когда концы пузырька расположены симметрично относительно нульпункта, ось уровня занимает горизонтальное положение. Этим свойством пользуются для приведения отдельных частей инструмента в горизонтальное положение.

Уровни различают в зависимости от цены деления, чувствительности и конструкции.

Ценой деления уровня τ (рис. 5.7, б) называют угол, на который наклонится ось уровня, если пузырек сместится на одно деление, т. е.

$$\tau = l\rho/R.$$

Линейная величина одного деления данного уровня OO постоянна, поэтому его цена зависит от радиуса R дуги внутренней поверхности трубки. Чем

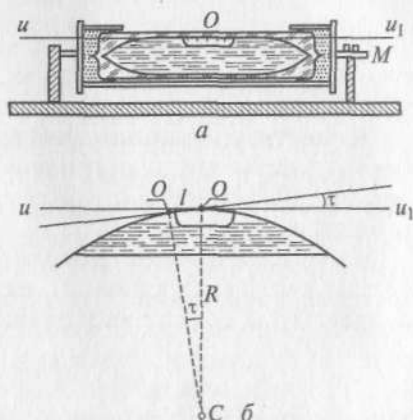


Рис 5.7. Цилиндрический уровень:

а — конструкция; б — определение цены деления

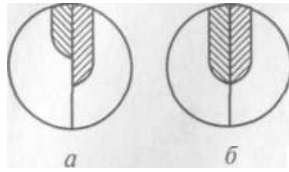


Рис. 5.8. Контактный уровень.

a — поле зрения уровня при негоризонтальном положении; *б*— при горизонтальном

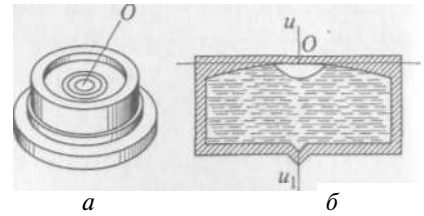


Рис. 5.9. Круглый уровень:

a — конструкция; *б* — уровень в разрезе

больше радиус, тем цена деления уровня меньше и уровень чувствительнее, и наоборот. Под *чувствительностью* уровня понимают наименьший угол, на который необходимо наклонить его ось, чтобы пузырек переместился на едва заметную невооруженным глазом величину. Чувствительность должна соответствовать точности инструмента. В технических теодолитах цена деления уровней колеблется в пределах 15...60".

Для более точной установки пузырька в нульпункт, а также для большего удобства в работе применяются контактные уровни. В них над уровнем устанавливается система призм, через которую изображение концов пузырька передается в поле зрения глаза наблюдателя. При перемещении пузырька к нульпункту изображения его концов движутся навстречу друг другу (рис. 5.8, *a*). Когда пузырек уровня будет находиться в нульпункте, изображения его концов совместятся (рис. 5.8, *б*). Точность установки пузырька в нульпункт в контактном уровне в 5...6 раз выше, чем у обычных.

Для регулирования длины пузырька на одном из концов уровня имеется запасная камера, в которую можно перегонять часть жидкости из ампулы, и наоборот.

Круглый уровень (рис. 5.9, *a*) представляет собой стеклянную ампулу, помещенную в оправу, отшлифованную по внутренней сферической поверхности определенного радиуса. За нульпункт *O* круглого уровня (рис. 5.9, *б*) принимают центр окружности, выгравированной в середине ампулы. Осью круглого уровня является нормаль *uu*₀, проходящая через нульпункт *O* перпендикулярно плоскости, касательной внутренней поверхности уровня в его нульпункте. Круглый уровень имеет, как правило, небольшую чувствительность и применяется там, где не требуется большая точность, а также для предварительной установки инструмента.

В ряде современных геодезических приборов вместо уровней используются специальные компенсаторы, приводящие визирную

ось зрительной трубы в горизонтальное положение автоматически. На это указывает в заводской марке таких приборов буква «К».

5.4. Теодолиты

Отечественная промышленность выпускает теодолиты, измерения которыми выполняют с погрешностью $0,5...30,0''$. Максимальная погрешность указывается в марке прибора, например ЗТ5КП-5'', ЗТ30-30'' и т.д.

Рассмотрим устройство наиболее часто применяемых теодолитов. Особый интерес представляют теодолиты серии ЗТ — высокопроизводительные, удобные в работе, многофункциональные угломерные приборы, эксплуатация которых возможна в пределах температур $-40...+50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В строительстве, изыскательских работах, при монтаже машин, оборудования, конструкций чаще всего применяют теодолиты типа ЗТ5КП (рис. 5.10). Как правило, теодолиты укомплектовывают принадлежностями, существенно расширяющими область их применения. К стандартной комплектации относятся: буссоль, линзовая насадка на объектив, окулярная насадка на зрительную трубу и отсчетный микроскоп, электроосвещение отсчетных шкал, требующееся при работе в шахтах и ночью, визирная вешка, устанавливаемая в ручку для переноски теодолита, штатив.

Теодолит ЗТ5КП имеет полуо цилиндрическую систему осей вращения горизонтального круга. На прижимной к штативу пластине / на трех подъемных винтах 2 в трегере винтом 3 фиксируют верхнюю часть прибора. Отсчетные шкалы горизонтального круга закрыты кожухом, на котором укреплены стойки 6. На одной из стоек укреплена шкала для снятия отсчетов по вертикальному кругу 21. Центрирование теодолита осуществляют встроенным в алидадную часть оптическим центриром 5. Отсчеты по шкалам вертикального и горизонтального кругов, проходя через систему преломляющих призм, сводятся в микроскоп 15. Цена деления лимба Г.

В поле зрения микроскопа (рис. 5.11) видны более мелкие деления шкалы — минуты. Отсчет определяют по штриху лимба на отсчетной шкале, например, отсчет до горизонтальному кругу Г равен $174^{\circ}55,2'$, по вертикальному В — $2^{\circ}04,3'$. Если штрих совпадает с целым делением, то десятые доли самого мелкого деления определяют «на глаз». В данном случае это будут десятые доли минуты.

Вертикальный круг теодолита жестко скреплен со зрительной трубой, а с алидадой вертикального круга — цилиндрический уровень. Наличие уровня на алидаде вертикального круга позволяет устанавливать ее начальные штрихи горизонтально. В теодолите

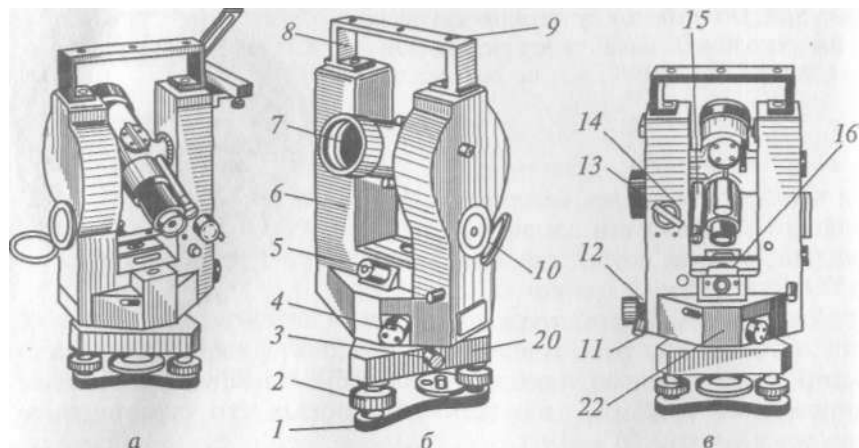
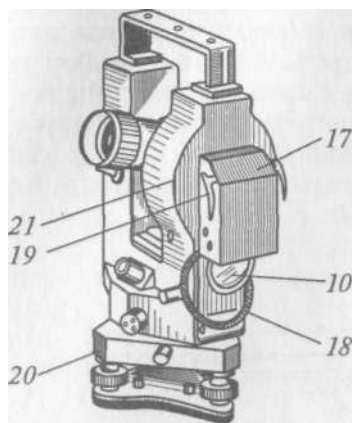


Рис. 5.10. Теодолит ЗТ5КП в рабочем состоянии с буссолью (а...г) в различных ракурсах:



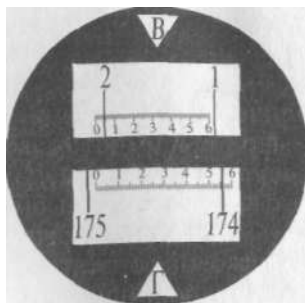
1 — прижимная пластина; 2 — подъемный винт; 3, 11, 12, 14 — зажимные винты; 4 — винт установки отсчета; 5 — окуляр центрира; 6 — стойка; 7 — объектив трубы; 8 — ручка для переноски; 9 — отверстие для установки вехи; 10 — зеркало подвески; 13 — винт совмещения шкалы вертикального круга; 15 — микроскоп; 16 — уровень; 17 — электроосветительное устройство; 18 — электрический кабель; 19 — защелка; 20 — подставка; 21, 22 — вертикальный и горизонтальный круги

ЗТ5К уровня при вертикальном круге нет, его роль выполняет оптический компенсатор. Индекс компенсатора занимает горизонтальное положение, и при измерении вертикальных углов показания отсчитывают по шкале без дополнительных действий.

Теодолит ЗТ30 (рис. 5.12) отличается от теодолита ЗТ5КП тем, что в его отсчетном устройстве нет шкалы. Цена деления лимба 10'.

Отсчеты по кругам выполняют по вертикальному отсчетному штриху / (рис. 5.13). Минуты определяют «на глаз» (70°05' — по горизонтальному кругу, 358°48' — по вертикальному). Зрительная труба 8 (см. рис. 5.12, а) теодолита ЗТ30 может применяться для центрирования над точкой, для чего используют окулярную насадку и полюю вертикальную ось. Эту же насадку используют для визирования вертикально вверх. Фокусировку трубы производят винтом-кремальерой 11. Резкость изображения сетки регулируют

р.яс. 5.11. Поле зрения отсчетного микро-
па теодолита ЗТ5КП: отсчет по горизон-
тальному Г кругу $174^{\circ}55,2$; по вертикально-
му В — $2^{\circ}04,3$.



в соответствии со зрением наблюдателя вращением кольца окуляра 3. У наблюдателя должно быть зрение $+5$ диоптрий, в ином случае ему необходимо работать, не снимая очков. Зрительную трубу наводят, поворачивая ее в горизонтальной плоскости при отпущенном зажимном винте 15, который закрепляют при подведении трубы к цели, а наводящим винтом 16 точно вводят в биссектор (пространство, ограниченное двумя вертикальными нитями сетки поля зрения трубы). Зрительную трубу наводят на цель в вертикальной плоскости наводящим винтом 12, при этом закрепительный винт 9 при точной подводке зажимают. Для наведения зрительной трубы вместе с лимбом и алидадой служит закрепительный винт 17 и наводящий винт, который расположен на подставке теодолита. На зрительной трубе установлен оптический визир 7, с помощью которого трубу «на глаз» наводят на предмет. Рядом с окуляром зрительной трубы находится окуляр 4 отсчетного микроскопа.

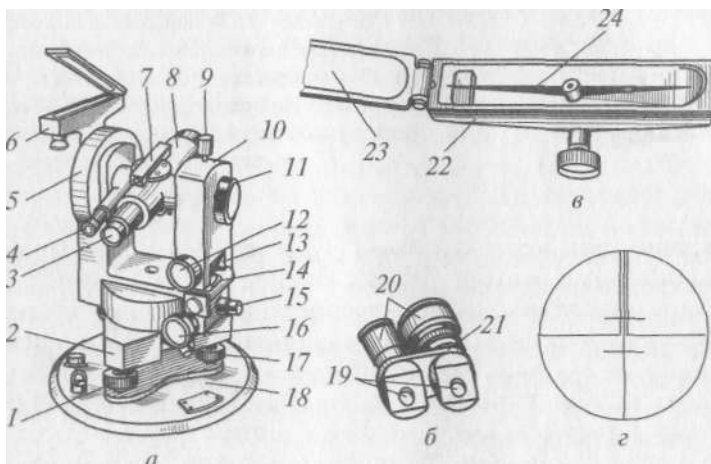


Рис. 5.12. Теодолит ЗТ30:

а — внешний вид; *б* — окулярная насадка; *в* — ориентир-буссоль; *г* — поле зрения трубы; 1, 9, 11... 13, 15... 17 — винты; 2 — подставка; 3, 4 — окуляры; 5 — вертикальный круг; 6 — ориентир-буссоль; 7 — визир; 8 — зрительная труба; 10 — колонка; 14 — уровень; 18 — основание; 19, 20 — призмы; 21 — обойма; 22 — корпус; 23 — зеркало; 24 — магнитная стрелка



Рис. 5.13. Поле зрения
отсчетного микроскопа
теодолита ЗТЗО:
/ — отчетный штрих

Теодолит имеет стеклянный круг с делениями от 0 до 360°. Каждое градусное деление оцифровано. Вертикальную ось прибора устанавливают в отвесное положение по цилиндрическому уровню 14. Уровень имеет котировочные винты 15. Подставка 2 теодолита несъемная, жестко скреплена с основанием 18, служащим одновременно дном футляра. Ход подъемных винтов 1 подставки регулируется, что дает возможность устанавливать плавный ход.

Окулярные насадки надевают на окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа.

Окулярная насадка (см. рис. 5.12, б) представляет собой призму 19, изменяющую направление визирной оси на 90°. Призма 20 заключена в оправу, которая, в свою очередь, помещена в обойму 21. Оправа с призмой свободно вращается в обойме. На боковой крышке теодолита есть посадочный паз для установки ориентир-буссоли б.

Ориентир-буссоль (см. рис. 5.12, в) помещена в металлический корпус 22 с крышкой, в которую для удобства наблюдений вмонтировано зеркало. В корпусе нанесены два индекса и помещена магнитная стрелка 24. Для уравнивания магнитной стрелки на ее южный конец надет грузик, который можно перемещать вдоль стрелки. Ориентир-буссоль крепится к теодолиту таким образом, чтобы линия, проходящая через индексы, была параллельна визирной оси трубы. Перед работой стрелку буссоли, находящуюся постоянно в закрепленном положении, опускают (разарретируют) для свободного вращения в горизонтальной плоскости.

Трубу теодолита ЗТЗО можно при необходимости располагать горизонтально. Для этого на трубу устанавливают уровень: трубу перемещают примерно горизонтально, снимают визир, а на его месте закрепляют уровень.

Теодолитом ЗТЗО можно, не сходя с одного места, визировать зрительной трубой, снимать отсчеты по обоим кругам, наблюдать за установкой уровня. Это особенно важно при работе на неустойчивом грунте. Ряд других теодолитов (в том числе зарубежных) имеют аналогичное устройство.

В настоящее время для автоматизации процесса измерения углов выпускают кодовые теодолиты. В кодовых теодолитах на лимбах вместо штрихов располагаются кодовые дорожки (диски), дающие возможность на основе сочетания прозрачных и непрозрачных полос получать при пропускании через них света лишь два сигнала: темно—светло. В этом случае значение каждого наблюдаемого направления получается как сочетание двух таких

сигналов, тем самым в основу кода кладется двоичная система счисления, как в ЭВМ.

При работе с кодовым теодолитом в обязанность наблюдателя входит лишь наведение трубы на цель. Считывание отсчета по лимбу и последующая обработка выполняются автоматически, что ускоряет и упрощает процесс угловых измерений. Кодовые теодолиты выпускают различной точности, характеризующейся погрешностью измерения угла $1 \dots 5''$. Первым отечественным кодовым теодолитом является ТГ11, созданный на базе теодолита 2Т2.

Теодолит, особенно кодовый, является сложным и дорогостоящим прибором, требующим умелого и бережного обращения с ним. Поэтому до начала работы вновь осваиваемым теодолитом необходимо воспользоваться инструкцией, имеющейся у каждого экземпляра теодолита. Следует помнить, что все оптические, винтовые и другие части теодолитов после небрежного отношения и поломки в основном не восстанавливаются.

5.5. Инструментальные погрешности

Под *инструментальными погрешностями* подразумевают отклонения, существующие в реальном инструменте или его частях, от идеальной (теоретической) их схемы.

По своему происхождению инструментальные погрешности могут быть разделены на две группы: погрешности, вызванные неточностью изготовления и сборки инструментов и их частей; погрешности как результат неправильного взаимного расположения отдельных частей и осей инструмента, вызывающий несоблюдение геометрической схемы теодолита.

К первой группе относятся: погрешности нанесения штрихов на лимбе, отклонение от сферической формы внутренней поверхности ампулы уровня, недостаточное качество изготовления оптики зрительной трубы, несовпадение центров лимба и алидады (эксцентриситет алидады), отклонение действительной точности отсчетных приспособлений от точности, заданной конструктивно, плохая работа зажимных и микрометрических винтов и т.п. Инструментальные погрешности такого рода, как правило, не могут быть устранены в теодолите в процессе его эксплуатации. Исправляют их, как правило, на заводах или в специальных мастерских.

Величины инструментальных погрешностей указанного характера и постоянные прибора определяются при исследовании инструмента. Влияние некоторых источников таких погрешностей может быть в значительной степени ослаблено или исключено применением соответствующих методов работы с инструментом (например, влияние эксцентриситета алидады исключается в

среднем из отсчетов по двум диаметрально расположенным отсчетным приспособлениям).

В точных работах исследования теодолитов производят со всей тщательностью. В инструментах малой точности при современном уровне их изготовления влиянием этих погрешностей обычно пренебрегают.

Вторая группа инструментальных погрешностей выявляется в результате специально производимых проверок инструмента и устраняется путем его последующей юстировки или регулировки. Остаточное влияние этих погрешностей исключается надлежаще установленным методом работы с инструментом.

Производство измерений без предварительного выполнения проверок и, если это необходимо, юстировки инструмента недопустимо.

В отдельных случаях, преимущественно в точных измерениях, определяют величины, характеризующие погрешности инструмента, по которым вводят поправки в результат измерений.

5.6. Проверки и юстировки теодолитов

Основные геометрические условия, которые должны быть соблюдены в теодолите, следуют из принципиальной схемы измерения горизонтального угла и заключаются в следующем: вертикальная ось инструмента должна быть отвесна; плоскость лимба должна быть горизонтальна, а визирная плоскость — вертикальна.

Для соблюдения этих условий выполняются следующие проверки теодолита.

1. *Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна основной оси инструмента.*

Предположим, что ось цилиндрического уровня uu' не перпендикулярна основной оси инструмента zz_1 (рис. 5.14).

Повернем алидаду на 180° вокруг оси zz_1 , тогда ось уровня займет положение $u_1u'_1$, т. е. отклонится от правильного положения $u_2u'_2$ на тот же угол, но в противоположную сторону. Изменение наклона оси уровня, которое может быть выражено разностью отсчетов по уровню при двух его положениях, даст удвоенное значение угла между правильным положением уровня $u_2u'_2$ и неправильным uu' (или $u_1u'_1$). Следовательно, для устранения рассматриваемой непер-

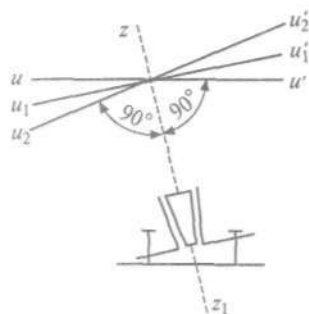


Рис. 5.14. Проверка цилиндрического уровня

$$N = (R + L \pm 180^\circ)/2,$$

т.е. среднее из отсчетов свободно от влияния коллимационной погрешности.

Для определения коллимационной погрешности вычтем выражение (5.2) из выражения (5.3):

$$L - R \pm 180^\circ - 2c = 0 \text{ или } L - R \pm 180^\circ = 2c,$$

отсюда

$$c = (L - R \pm 180^\circ)/2.$$

Для исключения влияния коллимационной погрешности устанавливают на лимбе средний отсчет N . Центр сетки нитей при этом сойдет с точки M . С помощью исправительных винтов сетки ее передвигают до совмещения центра сетки нитей с изображением точки M . Эту поверку повторяют несколько раз до тех пор, пока коллимационная погрешность не будет превышать двойной точности инструмента.

3. *Горизонтальная ось вращения трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси инструмента.*

Установив теодолит на 30...40 м от стены какого-либо здания и приведя лимб в горизонтальное положение, центр сетки нитей наводят на некоторую высоко расположенную точку A стены (рис. 5.16). При закрепленной алидаде наклоняют трубу примерно до горизонтального положения ее визирной оси и отмечают карандашом на стене точку a_1 , в которую проектируется центр сетки нитей. Переводят трубу через зенит, открепляют алидаду и при втором положении трубы снова наводят центр сетки нитей на точку A и далее аналогично намечают точку a_2 . При совпадении

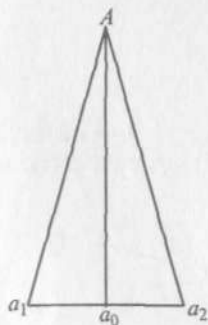


Рис. 5.16. Определение перпендикулярности горизонтальной оси вращения трубы к оси теодолита

точек a_1 и a_2 условие считается выполненным. В противном случае ось вращения трубы не будет перпендикулярна основной оси инструмента. Эта погрешность вызвана неравенством подставок, на которых располагается труба. Среднее из отсчетов по лимбу, взятых после наведения на точку A при двух положениях трубы (КП и КЛ), свободно от влияния данной погрешности. В современных конструкциях инструментов подставки трубы не имеют исправительных винтов, с помощью которых можно было бы на месте ликвидировать погрешность, поэтому приходится устранять ее в заводских условиях или мастерских.

4. *Одна из нитей сетки должна быть горизонтальна, другая вертикальна.*

После выполнения рассмотренных выше проверок и юстировки наводят центр нитей сетки на какую-нибудь точку и медленно поворачивают алидаду вокруг ее оси вращения, наблюдая за положением точки. Если при перемещении алидады изображение точки не будет сходиться с горизонтальной нитью, то условие выполнено. В противном случае производят исправление положения сетки нитей путем ее поворота. После выполнения этой проверки необходимо повторить проверку перпендикулярности визирной оси горизонтальной оси вращения трубы.

5.7. Центрирование теодолита. Приведение измеренных направлений к центрам знаков

Перед измерением горизонтальных углов теодолит должен быть центрирован, т. е. его вертикальная ось совмещена с отвесной линией, проходящей через знак, фиксирующий в натуре вершину измеряемого угла (центр, кол и т. п.).

Установим требования к точности центрирования теодолита. Предварительно получим выражение, определяющее погрешность измерения с пункта C на пункт M направления от несовмещения оси теодолита J с вершиной C измеряемого угла (рис. 5.17). Линейную величину несовпадения центра инструмента J с центром знака C обозначим через e , а угол при J между C и наблюдаемым пунктом M (по ходу часовой стрелки) — через θ_M .

В результате измерений нужно получить направление CM , а фактически измеряем JM , следовательно, из-за неточности центрирования направление CM будет ошибочно на величину x .

Из треугольника CJM получим

$$x'' = \frac{e\rho''}{d} \sin \theta_M. \quad (5.4)$$

Аналогичное влияние оказывает несовпадение визирной цели с отвесной линией, проходящей через центр наблюдаемого пункта. В этом случае на рис. 5.17 точка J как бы становится точкой визирования, а e и θ_M — e' и θ'_M .

Тогда

$$x'' = \frac{e'\rho''}{d} \sin \theta'_M. \quad (5.5)$$

В этом случае x следует рассматривать как погрешность направления с пункта M .

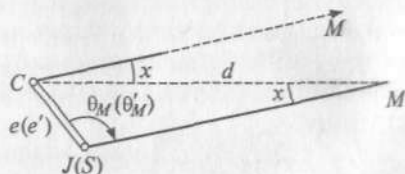


Рис. 5.17. Определение погрешности центрирования

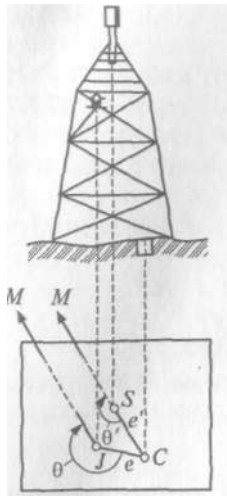


Рис. 5.18. Элементы приведения

При угловых измерениях на пунктах государственной геодезической сети, как правило, не добиваются тщательного центрирования инструмента и визирной цели над центром пункта, а производят определение величин e , 9 и e' , $9'$ и вводят в результаты измерения поправки.

Поправка за внецентренное положение инструмента называется *поправкой за центрировку* и обозначается через s , она вычисляется по формуле (5.4).

Поправка за внецентренное положение визирной цели называется *поправкой за редукцию* и обозначается через z , она вычисляется по формуле (5.5).

Введение указанных поправок называется *приведением наблюдений к центрам знаков*. Величины e , 9 и e' , $9'$ называются *элементами центровки и редукции*, а в совокупности — *элементами приведения* (рис. 5.18).

В инженерной практике центрирование производится с помощью нитяного или оптического отвеса. Точность центрирования составляет 0,1... 1,0 см.

При точных угловых измерениях в строительстве допустимые погрешности центрирования иногда характеризуются сотыми долями миллиметра; в этом случае обеспечивают точное непосредственное центрирование с использованием дополнительных приспособлений.

5.8. Измерение горизонтальных углов

Будем считать, что поверки и юстировка теодолита произведены. Работу по измерению углов на станции выполняют в следующем порядке:

установка теодолита в рабочее положение — центрирование инструмента, приведение его оси в отвесное положение (нивелирование инструмента), установка трубы для визирования;

измерение горизонтальных углов (направлений);

обработка журнала наблюдений и контроль измерений на станции.

Для измерения горизонтальных углов применяют преимущественно способ приемов при измерении одного угла и способ круговых приемов при измерении на станции углов между тремя и более направлениями.

Способ приемов. Для измерения угла ACB (рис. 5.19) теодолит устанавливают в вершине угла C , закрепив лимб, наводят на заднюю точку A . Закрепив алидаду, производят отсчет a_x по горизонтальному кругу. Далее открепляют алидаду, визируют на переднюю точку B и делают отсчет a_2 . Величина измеряемого угла $\rho = a_2 - a_1$.

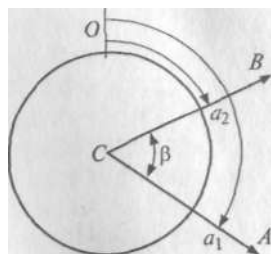


Рис. 5.19. Измерение горизонтальных углов

Такое измерение угла называется *полу-приемом*. Для контроля и ослабления влияния инструментальных погрешностей угол измеряют при втором положении вертикального круга, сместив лимб на $5... 10^\circ$ для оптических теодолитов, и приблизительно на 90° — для теодолитов с двумя отсчетными приспособлениями.

Два таких измерения составляют *прием*.

Из результатов измерений в полуприемах вычисляют среднее значение измеряемого угла.

Способ круговых приемов. Установив теодолит над точкой, визируют последовательно на все направления по ходу часовой стрелки и производят отсчеты.

Последнее наведение делают на начальное направление, чтобы убедиться в неподвижности лимба. Эти действия составляют первый полуприем.

Во втором полуприеме смещают лимб, переводят трубу через зенит и последовательно визируют на все направления против хода часовой стрелки.

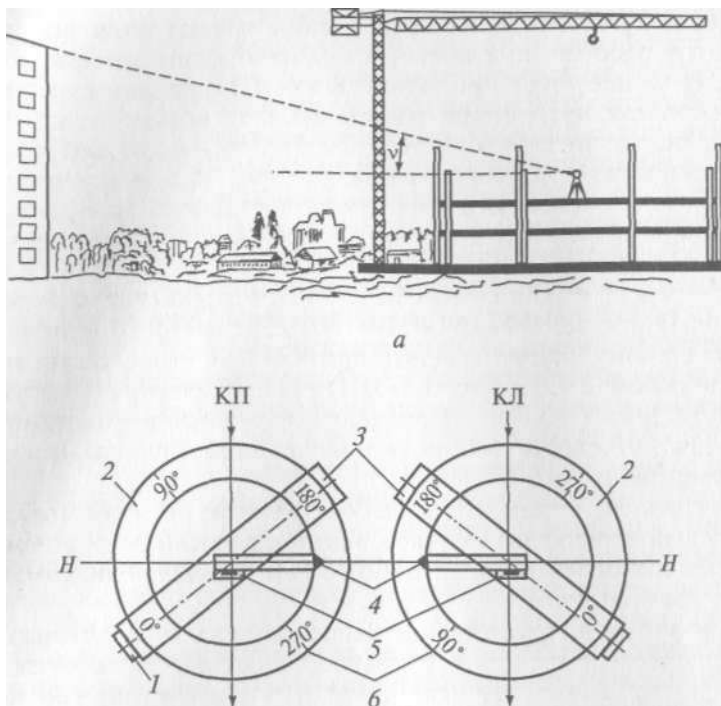
5.9. Измерение вертикальных углов

В вертикальной плоскости теодолитом измеряют углы наклона или зенитные расстояния (рис. 5.20).

Принято различать положительные и отрицательные углы наклона.

Положительный угол образуется разностью между направлением на предмет, располагаемым выше уровня горизонтальной оси вращения трубы, и направлением, соответствующим горизонтальному положению визирной оси. Отрицательный угол образуется между горизонтальным положением визирной оси трубы и направлением на точку, располагаемую ниже горизонтальной оси вращения трубы.

При измерении вертикальных углов (см. рис. 5.20, *а*) исходным (основным) направлением является горизонтальное. Отсчеты ведут по шкалам, нанесенным на вертикальный круг 2 теодолита (на вертикальном круге (см. рис. 5.20, *б*) показана подпись



б

Рис. 5.20. Измерение вертикального угла:

a — схема; *б* — положение оси визирования; 1 — окуляр; 2 — вертикальный круг; 3 — объектив; 4 — отсчетный индекс; 5 — уровень; 6 — оцифровка; *НН* — горизонтальная ось

делений от 0 до 360°). У некоторых типов теодолитов подпись шкал на вертикальном круге иная, но во всех случаях с горизонтальным направлением визирной оси трубы совпадает целое число градусов: 0°, 90°. У теодолитов ЗТ30 начальный индекс, относительно которого производят отсчеты по вертикальному кругу, приводится в горизонтальное положение уровнем при горизонтальном круге. Уровень скреплен с алидадой так, что его ось установлена параллельно коллимационной плоскости зрительной трубы.

Для вычисления значений углов наклона определяют место нуля (МО). *Место нуля* — это отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси и положению пузырька уровня при алидаде вертикального круга в нуль-пункте, или горизонтальности отсчетного индекса у теодолитов с компенсатором при вертикальном круге.

Место нуля определяют так: устанавливают теодолит, приводят его в рабочее положение, находят хорошо видимую точку и наводят на нее трубу при «круге лево». При наличии уровня при вертикальном круге приводят его пузырек в нуль-пункт и берут отсчет по вертикальному кругу. Трубу переворачивают через зенит, теодолит — на 180° и вновь, теперь уже при «круге право», наводят крест сетки нитей на ту же точку. Вновь приводят пузырек уровня в нуль-пункт и берут второй отсчет по вертикальному кругу.

При работе с теодолитом ЗТЗО место нуля вычисляют по следующей формуле: $MO = (П + Л + 180^\circ)/2$, где П и Л — отсчеты по вертикальному кругу теодолита при КП и КЛ соответственно.

При работе с теодолитом ЗТ5КП МО вычисляют по следующей формуле: $MO = (П + Л)/2$. При работе с другими теодолитами формулу для вычислений МО узнают из паспорта, прикладываемого к каждому теодолиту.

Место нуля может иметь любое значение. Важно, чтобы при измерении вертикальных углов оно оставалось постоянным. Для удобства вычислений желательно, чтобы МО было близким, а еще лучше равным нулю.

Место нуля исправляют так. После определения МО вращением трубы теодолита при КЛ устанавливают отсчет по вертикальному кругу, равный вычисленному углу наклона. В этом случае средняя горизонтальная нить сетки сойдет с изображения точки. Вертикальными исправительными винтами сетки среднюю горизонтальную нить наводят на точку.

Измерение вертикальных углов основано на конструктивной особенности теодолита, лимб вертикального круга которого жестко скреплен с трубой. С визирной осью трубы совпадают направления на лимбе вертикального круга: $0...180^\circ$ или $90...270^\circ$. Лимб, вращаясь вместе с трубой, подводит к отсчетным индексам различные отсчеты. Разность отсчетов между направлением и горизонтальным отсчетным индексом даст значение вертикального угла v или угла от горизонта до измеряемого направления.

Для решения некоторых инженерных задач требуется определить зенитное расстояние, которое является дополнением угла наклона до 90° : $z=90^\circ - v$. Зенитное расстояние образуется визирной линией и отвесной линией, называемой *направлением на точку зенита*.

При измерении зенитных расстояний вместо МО определяют Место зенита (МЗ). Отсчеты по вертикальному кругу производят при положении пузырька уровня при вертикальном круге в нуль-Пункте, что означает приведение отсчетного индекса в горизонтальное положение. Если теодолиты снабжены компенсатором, то отсчетный индекс автоматически приводится в горизонтальное Положение. Если у теодолита нет уровня при вертикальном круге

и компенсатора (например, теодолиты 3Т30), то перед отсчетом по вертикальному кругу приводится в нуль-пункт уровень при горизонтальном круге.

Хотя оцифровка делений на вертикальных кругах теодолитов различна, правила придания знаков вертикальным углам общие: поднятие визирной оси трубы над горизонтом образует положительные углы наклона. Поэтому при определении угла наклона разными теодолитами его вычисляют по следующим формулам:

$$3Т30: v = Л - М0, v = М0 - П - 180°, v = (Л - П - 180°)/2;$$

$$3Т5К, 2Т5П: v = Л - М0, v = М0 - П, v = (Л - П)/2.$$

Если из уменьшаемого отсчета нельзя вычесть вычитаемое, то к отсчету, меньшему $90°$, прибавляют $360°$.

5.10. Экер и его применение

Экеры применяют для построения на местности прямых углов.

Они бывают зеркальные и призмённые. На рис. 5.21, *а* представлен двухзеркальный экер. Он состоит из коробки с двумя гранями, к которым прикреплены плоские зеркала z_1 и z_2 . Над зеркалами в обеих гранях вырезаны окна F_1 и F_2 . Коробка скреплена с ручкой, которая оканчивается крючком для подвешивания отвеса.

Луч от вехи A (рис. 5.21, *б*) падает на зеркало z_1 под углом α ($MK \perp z_1$) и, отразившись от него под тем же углом, падает в точке E на зеркало z_2 под углом β ($LE \perp z_2$). Отражившись далее от зеркала z_2 , луч пересекается в точке C с первоначальным лучом AK под углом ε . Таким образом, глаз наблюдателя G увидит в зеркале z_2 изображение E вехи A .

Так как угол ε является внешним углом треугольника KEC , то

$$\varepsilon = 2\alpha + 2\beta = 2(\alpha + \beta).$$

Из треугольника EOK следует, что

$$\gamma = 180° - (90° - \alpha) - (90° - \beta) = \alpha + \beta.$$

Из этих двух равенств получаем

$$\varepsilon = 2\gamma.$$

В двухзеркальных экерах угол между зеркалами $\gamma = 45°$, следовательно, $\varepsilon = 90°$. Если теперь, глядя в окно F_2 экера, выставить в створе CE веху D , то угол ACD на местности будет прямой. Точка C намечается отвесом экера.

Если требуется из точки местности N (рис. 5.21, *в*) опустить перпендикуляр на линию AB , то наблюдатель становится с экером в створе этой линии лицом к точке N и держит в руке экер

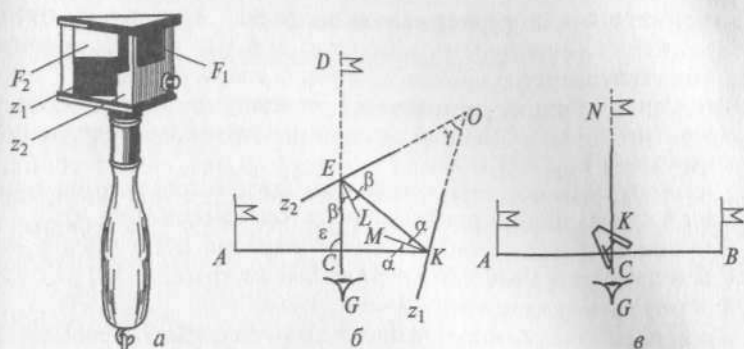


Рис. 5.21. Экер:

a — общий вид; *б* — принципиальная схема; *в* — восстановление перпендикуляра

так, чтобы получить в нем изображение *K* вехи *B*. Наблюдая далее в окно экера по створу *CK*, наблюдатель передвигается по линии *AB* вправо или влево до тех пор, пока точка *N* не окажется в створе *CK*. Полученная точка *C* и будет основанием перпендикуляра, опущенного из точки *N* на линию *AB*.

Исправленный экер дает погрешность в построении прямого угла, не превышающую $\Delta_\epsilon = \pm 5'$. Проверку экера выполняют следующим образом. Встав с экером в точке *C* (рис. 5.22), восстанавливают к ней перпендикуляры *CN₁* и *CN₂*, пользуясь последовательно вехами *A* и *B*. Если при этом точки *N₁* и *N₂* совпадут, то экер исправен. В противном случае определяют погрешность в построении прямого угла. Из треугольника *CN₁N₂* имеем

$$\frac{N_1 N_2}{CN} = \frac{2\Delta_\epsilon}{\rho} = \frac{10'}{3438'} \approx \frac{1}{350}. \quad (5.6)$$

Если теперь погрешность в построении прямого угла окажется больше вычисленной по формуле (5.6), то экер юстируют имеющимися у одного из его зеркал исправительными винтами.

Направления *CN₁* и *CN₂* должны совпасть со средним направлением *CN*.

Призмный экер имеет прямоугольную трехгранную призму, два других угла которой равны по 45° . Его применяют и поверяют так же, как и двухзеркальный экер. Исправительных винтов призмный экер не имеет, и обнаруженные неисправности могут быть устранены в мастерской.

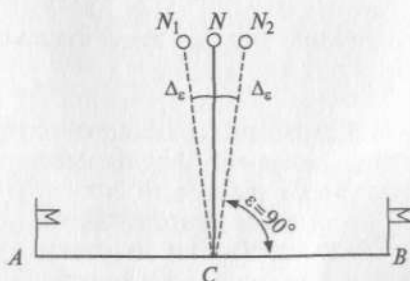


Рис. 5.22. Проверка экера

1. В чем заключается сущность измерения горизонтального угла?
2. Объясните причину расхождения отсчетов на двух противоположных отсчетных приспособлениях и причину расхождения значений углов, измеряемых при КП и КЛ.
3. Для чего смещают горизонтальный круг между полуприемами и приемами в случае измерения отдельного горизонтального угла?
4. Для чего измеряют горизонтальный угол при КП и КЛ?
5. Как определяется МО и МЗ вертикального круга?
6. Как определить чувствительность уровня?
7. В чем состоит особенность конструкции оптических теодолитов?
8. Как привести основную ось вращения теодолита в отвесное положение?
9. Каким образом определяют коллимационную погрешность?
10. Как определить погрешность за центрирование теодолита?
11. Объясните порядок измерения горизонтальных углов способом приемов и круговых приемов.
12. Вычислите МО и вертикальный угол, если $KП = 349^{\circ}27'20''$ и $КЛ = 14^{\circ}17'40''$.
13. От чего зависит точность визирования?

ГЛАВА 6 ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ЛИНИЙ

6.1. Измерение длины линий мерными приборами

Измерение линий на местности — один из самых распространенных видов геодезических измерений. Без измерения линий не обходится ни одна геодезическая работа. Линии измеряют на горизонтальной, наклонной и вертикальной плоскостях. Их производят непосредственно — металлическими и деревянными метрами, рулетками, землемерными лентами и специальными проволоками, а также косвенно — электронными, нитяными и другими дальномерами.

Метры, из-за простоты их конструкции, рассматривать нет необходимости, однако следует подчеркнуть, что при использовании складных метров необходимо прежде всего проверить наличие всех звеньев.

Рулетки (рис. 6.1) выпускают стальные и тесемочные длиной 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50 и 100 м, шириной 10... 12 мм, толщиной 0,15 ...0,30 мм. На полотне рулетки наносят *штрихи* — деления через 1 мм по всей длине или только на первом дециметре. В послед-

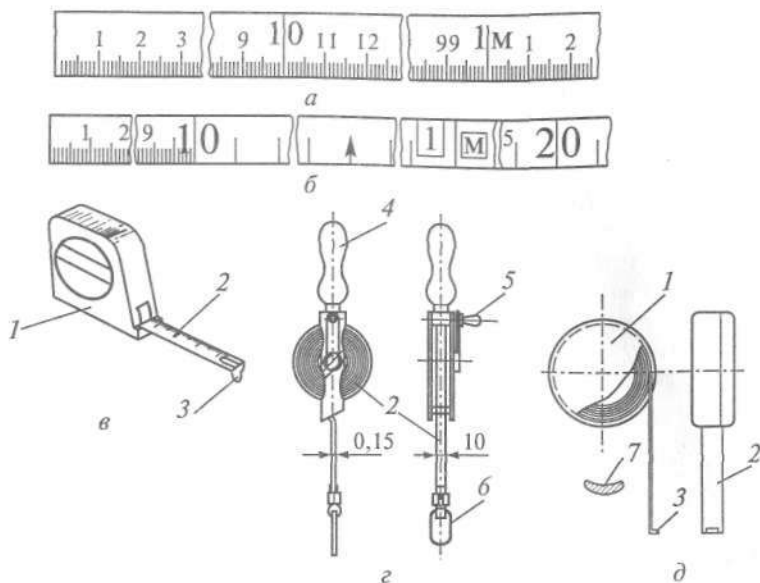


Рис. 6.1. Стальные рулетки:

а, б — виды делений; *в* — карманная, автоматически сматывающаяся; *г* — на вилке; *д* — в футляре; / — футляр; 2 — полотно; 3 — Г-образные окончания для фиксации; 4, 5 — ручки; 6 — кольцо; 7 — желобковый вид сечения

нем случае все остальное полотно размечают сантиметровыми штрихами. Цифры подписывают у каждого дециметрового деления. Чтобы измерить расстояние между двумя точками, штрих с подписью 0 (ноль) прикладывают к одной точке и смотрят, какой штрих совпадает со второй точкой. Если вторая точка не совмещается со штрихом на рулетке, а попадает между ними, то расстояние между штрихами визуально делят на 10 частей и «на глаз» оценивают отстояние ее от ближайшего штриха. У рулеток с миллиметровыми делениями (см. рис. 6.1, *а*) отсчет берут до 0,1 мм, у рулеток с сантиметровыми делениями (см. рис. 6.1, *б*) — до 0,1 деления или до 1 мм. Цифры у метровых делений даны с размерностью метров — буквой м. Стальные рулетки выпускают либо в футляре (см. рис. 6.1, *в*), либо с полотном, намотанным на крестовину (вилку) (см. рис. 6.1, *г*). Для измерений коротких отрезков металлические рулетки делают изогнутыми по ширине — желобковыми (см. рис. 6.1, *д*).

Длинномерные рулетки типа РК (на крестовине) и РВ (на вилке) применяют в комплекте с приборами для натяжения — *динамометрами*. Как правило, пружинными динамометрами обеспечивают натяжение рулеткам до 100 Н (стандартное натяжение, равное усилию 10 кг). Тесемочные рулетки состоят из плотного

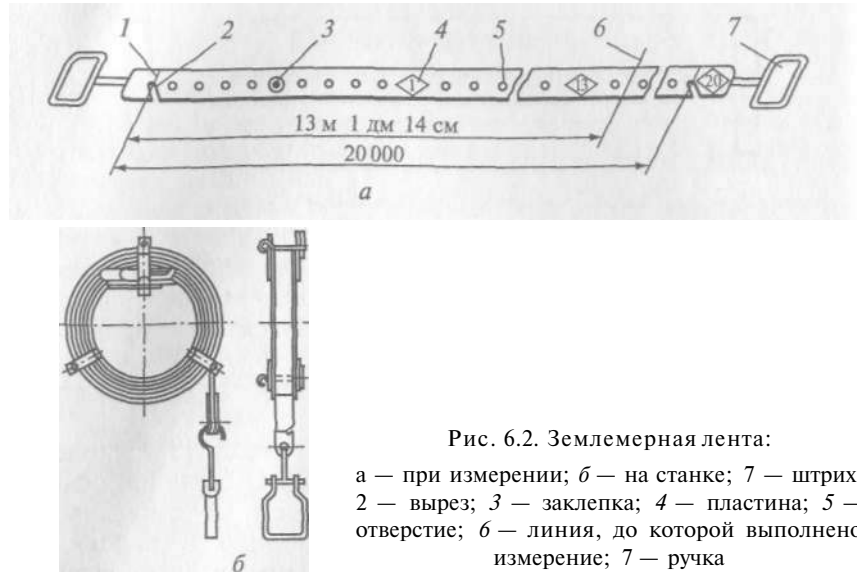


Рис. 6.2. Землемерная лента:

а — при измерении; б — на станке; 7 — штрих; 2 — вырез; 3 — заклепка; 4 — пластина; 5 — отверстие; 6 — линия, до которой выполнено измерение; 7 — ручка

полотна с металлическими, обычно медными, прожилками. Полотно тесемочной рулетки покрыто краской и имеет деления через 1 см. Тесемочными рулетками пользуются, когда не требуется высокая точность измерений. Тесемочные рулетки свертывают в пластмассовый корпус.

Землемерная лента (ЛЗ) (рис. 6.2) представляет собой стальную полосу длиной 20, 24, 30 и 50 м, шириной 1... 15 мм и толщиной 0,5 мм. На концах ленты нанесено по одному штриху 1, между которыми и считается длина ленты. У штрихов сделаны вырезы 2, в которые вставляют шпильки, фиксируя длину измеряемых отрезков. Оканчивается лента ручками 7. На каждой плоскости ленты отмечены деления через 1; 0,5 и 0,1 м. Для исключения просчетов при измерении линий короче номинальной длины ленты подписи метровых делений на одной плоскости возрастают от одного конца ленты, а на другой плоскости — от противоположного конца. Метры на ленте отмечены медными пластинами 4, полуметровые деления — заклепками 3, дециметровые — отверстиями 5. Более мелких делений не делают. Длину отсчитывают с точностью до сотых долей метра делением дециметровых частей между отверстиями «на глаз». На приведенном рисунке отсчет от начального штриха до вертикальной полосы равен И м и 14 см.

Землемерная шкаловая лента (ЗЛШ) (рис. 6.3) отличается от описанной выше наличием на ее концах шкал с миллиметровыми делениями. Длины отрезков на концах ленты с миллиметровыми делениями равны 10 см. Номинальной длиной ленты является расстояние между нулевыми штрихами шкал.

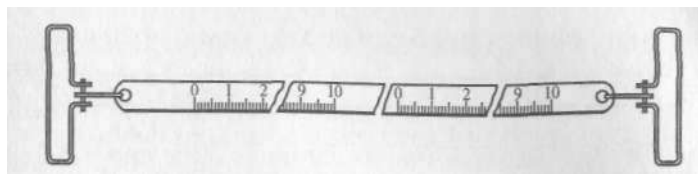


Рис. 6.3. Землемерная шкаловая лента

В комплекты ЛЗ и ЗЛШ входят наборы (от 6 до 11 шт.) *шпилек* — металлических стержней с заостренными концами и кольцами-ручками (рис. 6.4). Для переноски шпильки надевают на проволочное кольцо.

Для транспортировки и хранения ленты наматывают на металлическое кольцо — станок.

Для некоторых видов точных измерений применяют специальные инварные проволоки. Инвар обладает малым коэффициентом линейного расширения в зависимости от температуры, повышенной твердостью и упругостью. На концах проволоки закреплены специальные шкалы-линейки с наименьшими делениями 1 мм. На остальной части проволоки маркировки длины нет, поэтому проволоками измеряют расстояния, равные длине между штрихами (24 м). Расстояния, не кратные 24 м, измеряют инварными рулетками.

На практике применяют также другие приборы и инструменты для непосредственного измерения линий, например: длинномеры (измерения аналогичны измерениям проволоками); нутромеры — концевые меры со сферическими окончаниями для измерения и контроля расстояний контактным способом; катетометры — специальные приборы для измерения небольших (до 1 м) вертикальных отрезков с очень большой точностью (0,006...0,050 мм); измерительные микроскопы, а также шаблоны и другие приспособления, часть из которых будет рассмотрена при изучении геодезического обеспечения строительного-монтажных работ.

До начала работы мерные приборы сравнивают с эталонами — компарируют. За эталоны принимают отрезки линий на местности или в лаборатории, длины которых известны с высокой точностью. Длина /-мерного прибора ленты или рулетки определяется Уравнением, которое в общем виде можно записать следующим образом:

$$l = l_0 + \Delta l_k + \Delta l_t,$$

где l_0 — номинальная длина ленты при Нормальной температуре (в Российской Федерации — +20 °С); Δl_k — поправка за компарирование; Δl_t — поправка за Температуру.

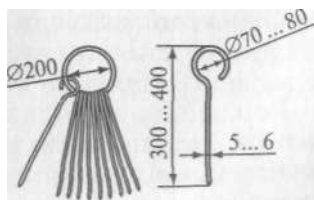


Рис. 6.4. Набор шпилек

Уравнение мерного прибора может иметь, например, такой вид:

$$l_{30} = 30 + 3,8 \text{ при } t = +20^\circ\text{C}.$$

Это означает, что мерный прибор длиной 30 м при температуре $+20^\circ\text{C}$ имеет поправку к конечному штриху $+3,8$ мм.

Чтобы вычислить номинальную длину мерного прибора для каждого температурного режима эксплуатации, поступают следующим образом. Сначала определяют величину поправки из-за температуры. Известно, что коэффициент линейного расширения стали $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$ при изменении температуры на 1°C .

Пусть требуется узнать полную поправку при температуре эксплуатации -6°C . Тогда для мерного прибора $L = 30$ м поправка $\Delta l_t = \alpha(t - t_0)L = 12,5 \cdot 10^{-6}(-6 - 20)30 = -9,8$ мм, а общая длина ленты $l_{30} = 30 + 3,8 - 9,8 = 29,994$ мм.

В производственных условиях мерные приборы чаще всего эталонируют на полевых компараторах. Эти компараторы представляют собой выровненные участки местности преимущественно с твердым покрытием. Концы компаратора закрепляют знаками со специальными метками, расстояние между которыми известно с большой точностью.

Компарирование длинномерных рулеток и лент в полевых условиях производят на компараторах, длина которых, как правило, близка к $l = 120$ м. Такую длину выбирают для того, чтобы уложить мерный прибор на компараторе несколько раз. Укладывание мерных приборов ведут в прямом и обратном направлениях. Подсчитывают число целых и дробных уложений рулетки или ленты и определяют поправку за компарирование. Ее вычисляют по формуле

$$\Delta l_k = (l_0 - l_z)/n,$$

где l_z — измеренная длина компаратора; n — число уложений мерного прибора.

Например, поправка в длину рулетки за температуру, при которой производится эталонирование, $\Delta l_t = 12,5 \cdot 10^{-6}(10 - 20)30 = -3,8$ мм.

Следовательно, длина отрезка эталонируемой рулетки $l = 29953,2 - 3,8 = 29949,4$ мм.

Длина компаратора в рассматриваемом примере $B_0 = 29954$ мм. Тогда поправка в длину рулетки при $t = +20^\circ\text{C}$ и натяжении 100 Н $\Delta l_k = l - B_0 = 29949,4 - 29954 = -5,6$ мм.

При необходимости знать фактическую длину вновь вводимого в эксплуатацию мерного прибора со сравнительно небольшой точностью поступают так. Нормальный мерный прибор (нормальным считается прибор, прошедший компарирование) и испытываемый укладывают на одну и ту же плоскость. Совмещают

начальные штрихи, обе рулетки натягивают с одинаковой силой и миллиметровой линейкой измеряют расстояния между конечными штрихами. Измеренную величину считают поправкой вводимого в эксплуатацию мерного прибора по отношению к нормальному.

Определение поправки в длину испытываемой рулетки производят после приведения длины нормальной и испытываемой рулетки к одной и той же температуре.

На строительно-монтажной площадке часто приходится откладывать меньшую длину, чем длина рулетки. В этом случае проверяют длины метровых, дециметровых делений и более мелких. Компарирование мелких делений выполняют контрольной (например, Женевской) линейкой, где минимальные отрезки нанесены через 0,2 мм. Показания считывают через увеличительные стекла или микроскопы.

Измерение линий состоит в том, что мерный прибор (ленту, рулетку) последовательно откладывают между начальной и конечной точками измеряемой линии.

Для этого сначала подготавливают к измерению створ линии и измерительные приборы.

При подготовке створа линии к измерению ее концы фиксируют кольями, штырями, обрезками труб и т.п.; расчищают полосы шириной 1,5...2 м от растительности и остатков снесенных строений; забивают колья или штыри в местах перегибов местности. До измерения линию обозначают на местности (примерно через 100 м) вешками — деревянными или металлическими кругляками с равномерной яркой красно-белой окраской и заостренными концами. Вехи устанавливают либо «на глаз», либо с помощью оптической зрительной трубы с такой частотой, чтобы при нахождении мерщика у одной обеспечивалась видимость двух смежных. Вешение «на глаз» менее точно, чем с помощью оптической трубы с увеличением, однако его точность вполне достаточна, если измерение делать мерной лентой со шпильками.

Вешение «на глаз» (рис. 6.5, *а*) выполняют приемами «от себя» и «на себя». При вешении «от себя» один мерщик становится на исходной точке, а на конечной точке второй мерщик устанавливает веху 7 такой высоты, чтобы она была видна с исходной точки.

Второй мерщик по створу на расстоянии не более 100 м от начала устанавливает веху 4, перемещая ее перпендикулярно створу. До совпадения ее с вехой 7 на конечной точке. Команды о смещении устанавливаемой вехи в створ подают отмашкой руки.

При вешении «на себя» мерщик выставляет вешку или укладывает мерную ленту в створе двух других вех, имея их перед собой.

Измерение линии (рис. 6.5, *б*) выполняет бригада из двух человек. Ленту разматывают с кольца. Передний мерщик 6 (МП) с

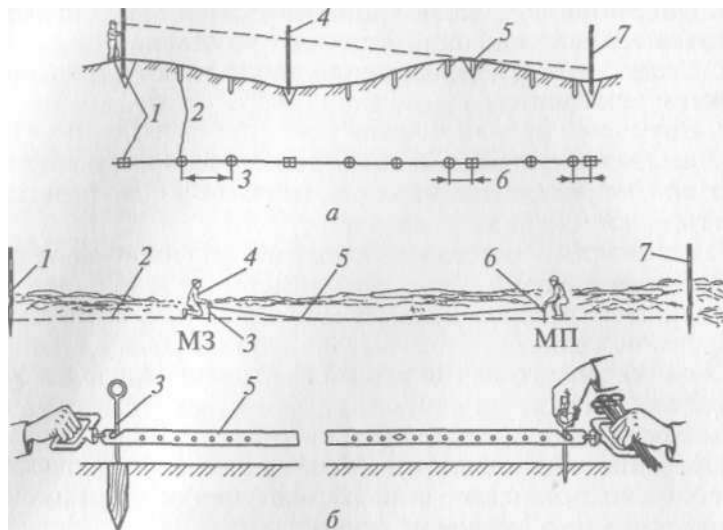


Рис. 6.5. Вешение линии:
 а — профиль и план; б — измерение линии; 1, 4, 7 — вехи; 2, 5 — шпильки; 3, 6 — замеры

10 (5) шпильками и передним концом ленты протягивает ленту и по указанию заднего мерщика 4 (МЗ) укладывает ее в створ измеряемой линии. Задний мерщик совмещает начальный штрих заднего конца ленты с началом линии, вставляя в вырез ленты шпильку. Передний мерщик встряхивает ленту, натягивает ее и в вырез на переднем конце вставляет шпильку, далее МЗ вынимает заднюю шпильку, МП снимает со шпильки ленту, и оба переносят ее вперед вдоль линии. Дойдя до первой шпильки, МЗ закрепляет на ней ленту, ориентирует МП, выставив его руку со шпилькой и лентой в створ линии по передней вехе 7. Затем работа продолжается в том же порядке, что и на первом уложении ленты. Целое уложение ленты называется *пролетом*.

Когда все 11 (6) шпилек будут выставлены, у МЗ окажется десять или пять шпилек. Задний мерщик передает переднему все собранные шпильки. Измеренный отрезок будет равен $10/$, что при 20-метровой длине ленты равно 200 м. Число таких передач записывают в журнал измерений. Сюда же записывают результаты измерения неполного пролета: от последней шпильки в полном пролете до конечной точки линии.

Для контроля линию измеряют вторично, при этом мерщики меняются местами, а за начало измерений принимают бывшую последней точку при измерении линии «прямо».

Чтобы избежать грубых погрешностей при измерении, выполняют следующие действия.

1. Подсчитывают, сколько шпилек у МЗ и МП, чтобы удостовериться, что в сумме они составляют комплект.

2. Следят, чтобы при измерении остатка отсчет выполнялся от заднего конца ленты.

3. При отсчитывании делений на середине ленты следят, чтобы лента не была перекручена, так как при этом можно спутать число целых метров. Например, вместо отсчета 6 м отсчитать 9 м, вместо 9... 11 м.

Измеренную 20-метровой лентой длину линии D вычисляют по следующей формуле:

$$D = 200N + 20(n - 1) + l.$$

где N — число передач шпилек; n — число шпилек у МЗ; l — остаток.

За окончательное значение принимают среднее арифметическое от измерений «прямо» и «обратно». Измерения считают выполненными правильно, если расхождения результатов измерений «прямо» и «обратно» не превышают:

1:3000 от измеренной длины — при благоприятных условиях измерений (например, твердое покрытие);

1:2000 — при средних условиях измерений (например, ровная поверхность грунта);

1:1000 — при неблагоприятных условиях измерений (например, болотистая, кочковатая заросшая местность, измерения по снегу и т.п.).

Измерения линий рулетками производят аналогично. Однако фиксация концов измеренных отрезков при работе рулеткой может выполняться более точно (вешкой, иглами, остро отточенным карандашом и т.п.). На рис. 6.6 показано измерение линии в вертикальной плоскости между заранее заданными плоскостями, где фиксация точек не производится.

Как правило, результат измерений линии отличается от действительного ее размера. В измеренную длину вводят поправки из-за неравенства мерного прибора эталону (см. подразд. 6.1) и температуры, отличающейся от той, для которой составлено уравнение мерного прибора ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Результаты измерений линий чаще всего необходимо выражать на чертежах, планах и картах, т.е. на горизонтальной плоскости. Измерения же производят обычно по поверхности рельефа, имеющего уклоны.

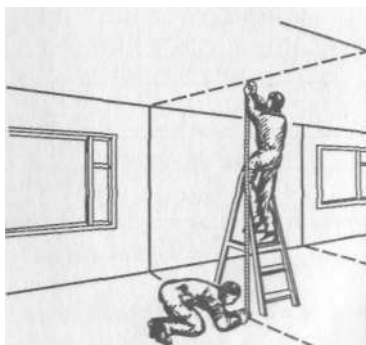


Рис. 6.6. Измерение линии по вертикали

Для приведения наклонно измеренного расстояния к горизонтальному в результат измерений вводят поправку из-за наклона линии к горизонту (рис. 6.7, а).

Из рисунка ясно, что для получения проекции / измерений на местности линии длиной D необходимо знать угол ν или превышение h точки B над горизонтальной линией.

Из решения прямоугольного треугольника

$$l = D \cos \nu.$$

Горизонтальные проложения обычно вычисляют по специальным таблицам или на ЭВМ.

Если известно превышение h , то поправку вычисляют по формуле

$$\Delta l_h = -\frac{h^2}{2l}.$$

Поправку из-за наклона линии к горизонту вводят для каждого пролета отдельно, если пролеты имеют разный наклон.

Если наклон линии значителен, то измерения ведут отдельными малыми отрезками: 5, Юм, стараясь уложить концы мерного прибора горизонтально. Измеряемая горизонтальная линия будет иметь ступенчатый вид.

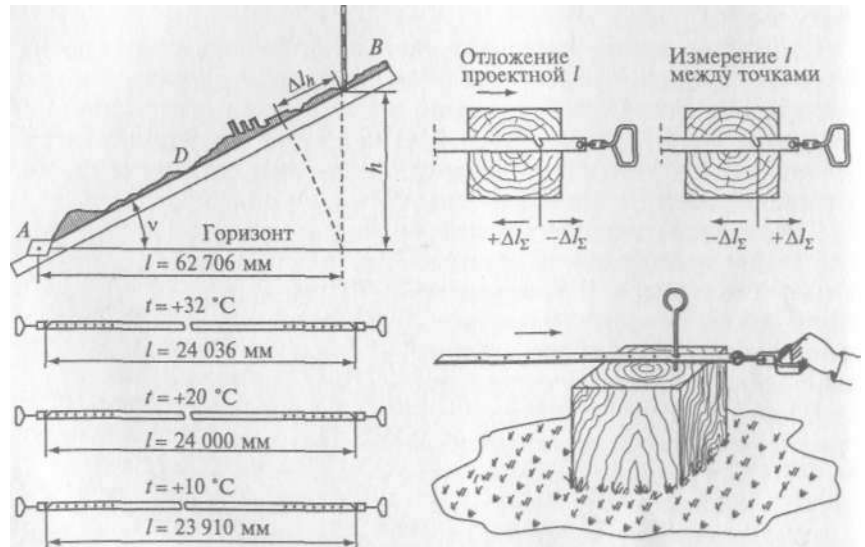


Рис. 6.7. Определение и учет поправок на горизонтальной плоскости: а — определение поправки за наклон линии; б — отложение с учетом знаков

Если требуется измерить линию через овраг, канаву и другие препятствия, то мерный прибор может изгибаться или провисать. При значительном изгибе определяют величины превышений на отдельных участках. При значительных провисаниях и длинном мерном приборе в средней части линии делают одну-две подпорки.

Суммарная поправка в измеренную линию вычисляется по формуле

$$\Delta l_{\Sigma} = \Delta l_h + \Delta l_k + \Delta l_f.$$

Очень часто кроме измерения линий между известными точками возникает необходимость вынести на местности проектный размер: длину дороги, габаритные размеры здания, спортплощадки и т.п. В этом случае следует помнить, что при отложении заранее заданной длины поправка $-D/2$ вводится назад от конечного штриха рулетки, а $+A/5$ — вперед (рис. 6.7, б).

6.2. Измерение длины линий дальномерами

Дальномерами называются геодезические приборы, с помощью которых расстояние между двумя точками измеряют косвенным способом. Дальномеры подразделяют на оптические и электронные. Оптические дальномеры делятся на дальномеры с постоянным параллактическим углом и дальномеры с постоянным базисом. Электронные дальномеры — на электронно-оптические (светодальномеры) и радиоэлектронные (радиодальномеры).

Простейший оптический дальномер с постоянным углом — нитяной (рис. 6.8, а) имеется в зрительных трубах всех геодезических приборов. В поле зрения трубы (рис. 6.8, б) прибора видны три горизонтальные нити. Две из них, расположенные симметрично относительно средней нити, называются *дальномерными*. Нитяной дальномер применяют в комплекте с нивелирной рейкой, разделенной на сантиметровые деления. В приведенном примере между крайними нитями располагаются 21,5 сантиметровых делений рейки. Расстояние между измеряемыми точками на местности $21,5 \cdot 100 = 21,5$ м (100 — коэффициент дальномера).

На расстоянии до 200 м по нитяному дальномеру «на глаз» можно отсчитать до 0,5 сантиметрового деления, что соответствует погрешности при определении расстояния 50 см; на расстоянии до 100 м — до 0,2 сантиметрового деления или погрешности 20 см.

Нитяным дальномером можно измерить линии длиной до 300 м с погрешностью до 1:300 от длины (рис. 6.8, в).

Принцип действия дальномера с постоянным базисом рассмотрим на конкретном примере расстояния от точки А до точки В (рис. 6.9).

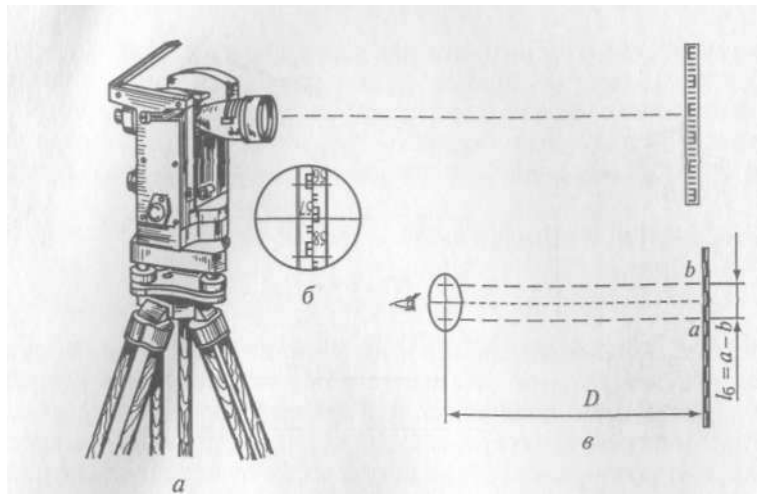


Рис. 6.8. Оптический дальномер:
a — внешний вид; *b* — поле зрения трубы; *в* — схема измерения

В точку *A* устанавливают теодолит. В точке *B* располагают отрезок (базис), длина которого l_6 точно известна. Тогда, измерив угол α , можно по известной из тригонометрии формуле $D = l_6 \operatorname{tg} \alpha$ вычислить расстояние между точками *A* и *B*.

В основе электронных средств измерений лежит известное из физики соотношение $S = vt/2$ между измеряемым расстоянием S , скоростью распространения электромагнитных колебаний v и временем t распространения электромагнитных колебаний вдоль измеряемой линии и обратно.

Из-за особенностей излучения, приема и распространения радиоволн радиодальномеры применяют главным образом при измерении сравнительно больших расстояний и в навигации. Светодальномеры, использующие электромагнитные колебания светового диапазона, широко применяют в практике инженерно-геодезических измерений.

Для измерения расстояния *AB* (рис. 6.10) в точке *A* устанавливают светодальномер, а в точке *B* — отражатель. Световой поток

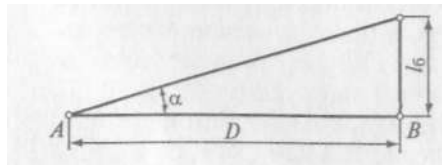


Рис. 6.9. Схема выполнения дальномерных измерений при постоянном базисе

посылается из передатчика на отражатель, который отражает его обратно на тот же прибор. Если измерить время прохождения световых волн от светодальномера до отражателя и обратно, то при известной скорости распространения световых волн можно вычислить искомую длину линии. Вре-

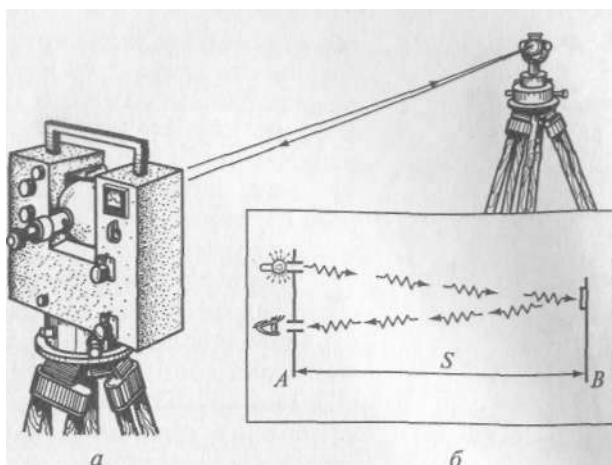


Рис. 6.10. Светодальномер:

a — установка светодальномера и отражателя; *б* — ход лучей при измерении линий

мя распространения световых волн может быть определено как прямым, так и косвенным методами.

Прямое определение промежутка времени осуществляется в дальномерах, называемых *импульсными*. В них измерение времени производится по запаздыванию принимаемого после отражения светового импульса по отношению к моменту его излучения.

Косвенное определение времени прохождения световых волн основано на измерении разности фаз двух электромагнитных колебаний. Такие светодальномеры называют *фазовыми*. С внедрением полупроводниковых лазерных источников излучения и цифровых методов измерения разности фаз появились импульсно-фазовые светодальномеры, в основе которых лежит фазовый метод измерения временного интервала при импульсном методе излучения.

Примером современного фазово-импульсного светодальномера может служить широко распространенный в нашей стране топографический светодальномер СТ-5. Это высоко автоматизированный прибор, точность измерения расстояний которым характеризуется величиной $(10 + 5D)$ мм; предельная дальность — 5 км.

Улучшенный вариант этого светодальномера — 2СТ-10 (рис. 6.11). Его технические характеристики: средняя квадратическая погрешность измерения расстояний $(5 + 3D)$ мм; диапазон измерения 0,2 м... 10 км; диапазон рабочих температур +40...-30 °С; масса прибора — 4,5 кг. Управление процессом измерения обеспечивается встроенной микроЭВМ. Результаты измерения с учетом поправки на температуру воздуха и атмосферное давление высвечиваются на цифровом табло и могут быть введены в регистрирующее устройство. В приборе имеется звуковая сигнализация

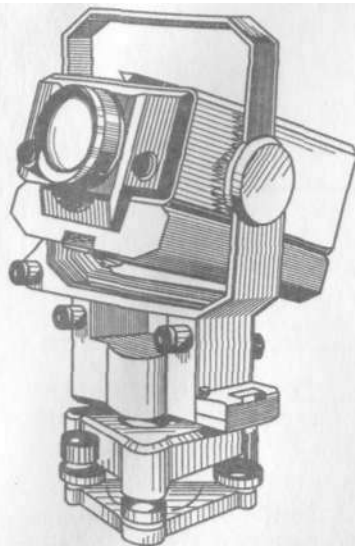


Рис. 6.11. Светодальномер 2СТ-10

обнаружения отраженного сигнала, готовности результата измерения и разряженности источника питания. В комплект светодальномера входят: отражатели, штативы, источники питания, зарядное устройство, барометр, термометр, набор инструментов и принадлежностей.

В инженерной геодезии применяют и высокоточные светодальномеры. Отечественная промышленность выпускает светодальномеры «Топаз СП-2» и СП-03 (ДК-001), точность измерения которыми характеризуется соответственно величинами $(1 + D \text{ км}) \text{ мм}$ и $(0,8 + 1,5D \text{ км}) \text{ мм}$.

Для маркшейдерских работ в шахтах используют светодальномер МСД-1М во взрывобезопасном исполнении с дальностью действия до 500 м и погрешностью измерения $(2 + 5D \text{ км}) \text{ мм}$.

Светодальномеры с пассивным отражением измеряют расстояния до предметов без отражателя, т.е. используют отражательные свойства самих предметов. Примером может служить отечественный светодальномер ДИМ-2, погрешность измерения расстояний которым составляет 20 см.

В настоящее время известны дальномеры с пассивным отражением и погрешностью измерения расстояний до 10 мм. Так, напри-

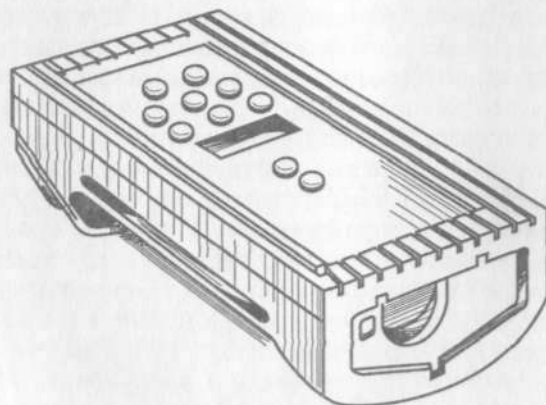


Рис. 6.12. Лазерная рулетка

мер, дальномер, выпускаемый фирмой «Лейка» (Швейцария), измеряет расстояния до 50 м с погрешностью 2 мм.

Для измерений на строительных площадках, в помещениях используют лазерные рулетки (рис. 6.12), которые не требуют отражателей.

Довольно часто в силу местных условий (река, овраг и т.д.) измерить линию мерным прибором не представляется возможным. Тогда используют косвенный метод.

Пусть требуется определить расстояние $D = AB$ (рис. 6.13) через некоторое препятствие.

Для этого на местности измеряют базисы $b_1 = AD$, $b_2 = AC$ и углы $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ (рис. 6.14).

Решая треугольники ABD и ABC по теореме синусов, определяют расстояние

$$D = b_1 \sin \beta_1 \operatorname{cosec} \varphi_1 = b_2 \sin \beta_2 \operatorname{cosec} \varphi_2, \quad (6.1)$$

где $\varphi_1 = 180^\circ - (\alpha_1 + \beta_1)$; $\varphi_2 = 180^\circ - (\alpha_2 + \beta_2)$.

Разность между двумя значениями стороны AB не должна превышать $1/1000$ ее длины.

Пример. Для определения длины линии AB через реку на местности отложены базисы $b_1 = b_2 = 100,00$ м. Измеренные горизонтальные углы оказались следующими: $\alpha_1 = 60^\circ 20'$, $\beta_1 = 80^\circ 30'$, $\alpha_2 = 54^\circ 55'$ и $\beta_2 = 85^\circ 40'$.

Горизонтальные углы при точке B будут $\varphi_1 = 180^\circ - (60^\circ 20' + 80^\circ 30') = 39^\circ 10'$ и $\varphi_2 = 180^\circ - (54^\circ 55' + 85^\circ 40') = 39^\circ 25'$.

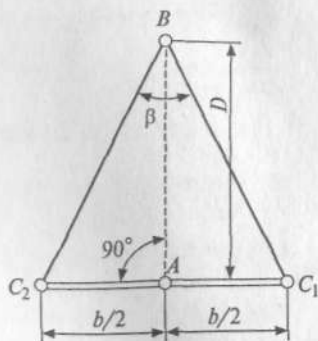


Рис. 6.13. Параллактический способ определения расстояний

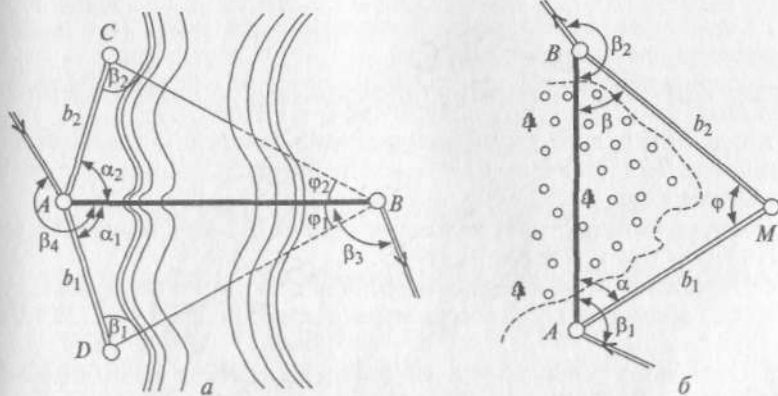


Рис. 6.14. Определение недоступных расстояний:

а — через реку; *б* — через лес

По формуле (6.1) получаем, м:

$$D_1 = 100,00 \cdot 0,9863 \cdot 1,2898 = 127,21;$$

$$D_2 = 100,00 \cdot 0,9971 \cdot 1,2763 = 127,26.$$

Вероятнейшим значением определяемого неприступного расстояния будет среднее из D_1 и D_2 , м:

$$D_{\text{ср}} = (D_1 + D_2)/2 = 127,235.$$

Относительная погрешность определения неприступного расстояния AB составит

$$\frac{D_1 - D_2}{D_{\text{ср}}} = \frac{127,26 - 127,21}{127,235} = \frac{1}{2500}.$$

Контрольные вопросы

1. Как закрепляются отрезки линий на местности?
2. Что называется вешением линии на местности?
3. Что называется створом?
4. Какие приборы применяются для непосредственного измерения расстояний?
5. Что такое компарирование мерных приборов?
6. Как измеряются отрезки линий стальной 20-метровой лентой?
7. Как приводятся наклонные отрезки линий к горизонту?
8. Каким образом определяется поправка за температуру в измеренные отрезки линий?
9. Как измеряются расстояния нитяным дальномером?
10. Как определяются постоянная и коэффициент нитяного дальномера?
11. Определите поправку за компарирование мерной ленты, если длина компаратора при температуре $t_k = 20^\circ\text{C}$, $L = 120,00$ м, а при измерении его компарируемой лентой при той же температуре получены следующие результаты: $l_1 = 119,821$ м; $l_2 = 119,819$ м; $l_3 = 119,817$ м.
12. Определите поправку за температуру в измеренную длину отрезка линии, если $D = 182,35$ м, $t_k = 20^\circ\text{C}$ и температура, при которой производились измерения, $t = -2^\circ\text{C}$.
13. Определите поправку за наклон отрезка линии к горизонту, если $D = 210,011$ м и угол наклона $\alpha = 5^\circ 15'$.
14. Определите относительную погрешность линейных измерений, если результаты прямого и обратного измерения составляют: $D_1 = 1725,14$ м и $D_2 = 1725,05$ м.
15. Определите неприступное расстояние параллактическим способом, если базис $b = 80,00$ м, а параллактический угол $\beta = 25^\circ 30'$.
16. В чем заключается принцип измерения расстояний светодальномером?

ГЛАВА 7 ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ

7.1. Сущность и методы измерения превышений

Измерения, проводимые для определения отметок точек местности или их разностей, называют *нивелированием*.

Существует несколько методов нивелирования: геометрическое, тригонометрическое, физическое, механическое и стереофотограмметрическое.

Геометрическое нивелирование заключается в непосредственном определении разности высот двух точек с помощью горизонтального визирования луча.

Тригонометрическое нивелирование заключается в определении превышений между точками по измеренному между ними расстоянию и углу наклона. Вычисление превышений ведут по формулам тригонометрии.

Физическое нивелирование делится на три вида: а) барометрическое, в основу которого положена зависимость между величиной атмосферного давления на точке местности и ее высотой; б) гидростатическое, основанное на свойстве свободной поверхности жидкости в сообщающихся сосудах всегда находиться на одинаковом уровне независимо от превышения точек, на которых установлены эти сосуды; в) радиолокационное, основанное на использовании отражения электромагнитных волн.

Механическое нивелирование производят с помощью специальных приборов, устанавливаемых на велосипедных рамах, автомобилях и т.д. При движении такого прибора автоматически регистрируются пройденные им расстояния, высоты точек и вычерчивается профиль пройденного пути.

Стереофотограмметрическое нивелирование основано на определении превышений по паре фотоснимков одной и той же местности.

7.2. Геометрическое нивелирование

Геометрическое нивелирование производят специальными приборами — нивелирами.

Для определения превышения точки B над точкой A (рис. 7.1, «) геометрическим нивелированием из середины устанавливают в них вертикально рейки R_1 и R_2 , а между ними по возможности на одинаковом расстоянии от реек — нивелир. Последовательно визируя на рейки средней горизонтальной нитью зрительной

трубы, берут отсчеты: по задней рейке a и по передней b . Тогда непосредственно из рисунка следует, что

$$h = a - b, \quad (7.1)$$

т.е. превышение равно отсчету по задней рейке минус отсчет по передней рейке.

Превышение будет положительным при $a > b$ и отрицательным при $a < b$, соответственно передняя точка выше или ниже задней.

Если отметка точки A известна, то отметка точки B (рис. 7.1, б)

$$H_B = H_A + h, \quad (7.2)$$

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

С другой стороны, подставив в формулу (7.2) вместо h его значение из выражения (7.1), найдем

$$H_B = H_A + a - b. \quad (7.3)$$

Введем обозначение

$$H_i = H_A + a. \quad (7.4)$$

Величина H_i называется *горизонтом прибора* (ГП) или *горизонтом инструмента* (ГИ) и, как это видно из рис. 7.1, а, является высотой визирного луча над исходной уральной поверхностью. Следовательно, горизонт прибора на данной станции равен отметке точки плюс отсчет по рейке, установленной в этой точке.

Выразив из формулы (7.4) значение H_A и подставив в выражение (7.3), получим

$$H_B = H_i - b,$$

т.е. отметка точки равна горизонту прибора минус отсчет по установленной в ней рейке.

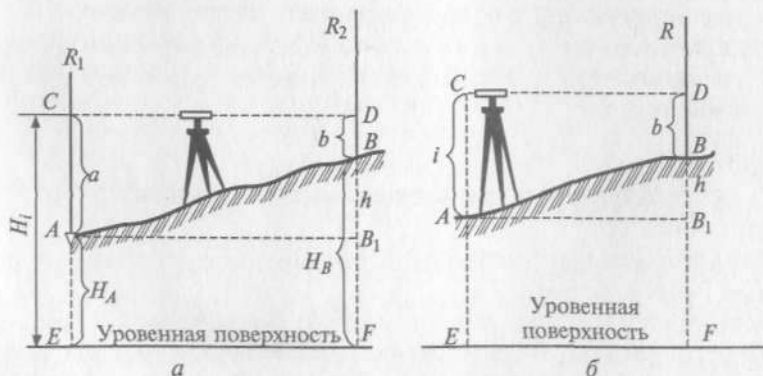


Рис. 7.1. Способы нивелирования:

a — при установке нивелира между точками; b — над одной из точек

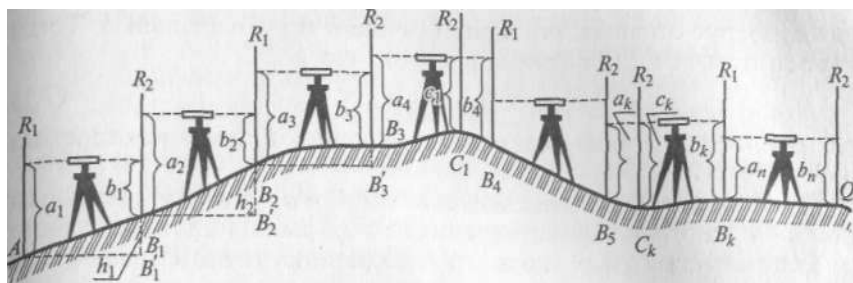


Рис. 7.2. Последовательное нивелирование

Иногда при геометрическом нивелировании (см. рис. 7.1, б) нивелир устанавливают так, чтобы окуляр зрительной трубы находился над задней точкой A , а в передней точке B устанавливают рейку R . Затем делают отсчет b по рейке и измеряют рулеткой или с помощью рейки расстояние i по отвесному направлению от центра окуляра до точки A , называемое *высотой прибора*. Из рис. 7.1, б следует, что

$$h = i - b,$$

а горизонт прибора

$$H_i = H_A + i.$$

Чаще всего приходится определять превышение между точками A и D (рис. 7.2), находящимися на значительном расстоянии одна от другой. Тогда производят последовательное нивелирование на первой, второй станциях и т. д., т. е. прокладывают нивелирный ход.

После того как взяты отсчеты a_1 и b_1 по рейкам на первой станции, заднюю рейку R_1 из точки A переносят в точку B_2 , а нивелир устанавливают на второй станции между точками B_1 и B_2 ; далее берут отсчеты a_2 и b_2 по рейкам. Затем заднюю рейку R_2 устанавливают в точке B_3 , а нивелир — на третьей станции до тех пор, пока нивелир не окажется на станции между точками B_k и D . Точки, общие для двух соседних станций, называются *связующими*, например B_1, B_2, B_3, B_4 . Точки, расположенные между связующими, называются *промежуточными*, например C_1 и C_k .

Такие точки служат для получения отметок характерных изломов местности.

Из рис. 7.2 следует, что

$$h_1 = a_1 - b_1; \quad (7.5)$$

$$h_2 = a_2 - b_2;$$

.....

$$h_n = a_n - b_n.$$

Алгебраическая сумма всех превышений равна превышению между конечными точками хода, т. е.

$$h = \sum_{i=1}^n h_i = \sum_{i=1}^n a_i - \sum_{i=1}^n b_i.$$

Отметки связующих точек вычисляют последовательно по формуле (7.2). Если требуется отметка только конечной точки хода, то ее определяют по формуле

$$H_{\text{кон}} = H_{\text{нач}} + \sum_{i=1}^n h_i.$$

Отметки промежуточных точек вычисляют через горизонт прибора.

7.3. Нивелиры и их устройство

В зависимости от устройств, применяемых для приведения визирной оси трубы в горизонтальное положение, нивелиры выпускают двух типов: с компенсатором углов наклона зрительной трубы и с уровнем при ней. У нивелиров, выпускаемых промышленностью СНГ, наличие в марке буквы «К» означает, что труба нивелира снабжена компенсатором, а буквы «П» — прямое изображение, например нивелиры Н-05, Н-3КП, Н-10КП.

Нивелиры с компенсатором угла наклона зрительной трубы называются *самоустанавливающимися* (рис. 7.3, а). Компенсация угла наклона визирной оси или автоматическое приведение ее в горизонтальное положение у этих нивелиров проис-

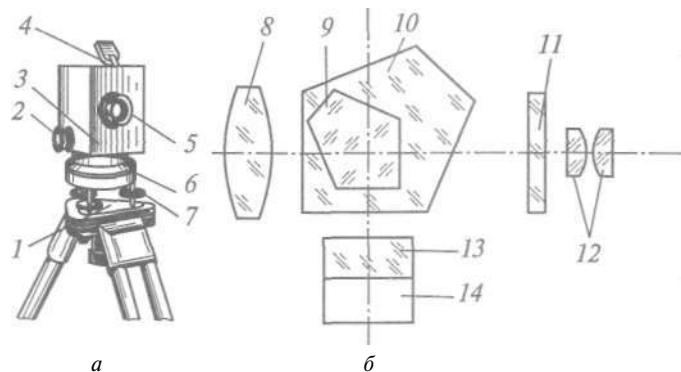


Рис. 7.3. Нивелир Н-10К:

а — внешний вид; б — оптическая схема; 1 — установочная прижимная пластина; 2 — маховичок; 3 — корпус; 4 — круглый уровень с зеркальцем; 5 — объектив; 6 — подставка; 7 — закрепительный винт; 8, 12 — линзы объектива и окуляра; 9, 10 — пентапризмы; 11 — сетка нитий; 13, 14 — призма и рамка

одит за счет автоматического поворота компенсирующего элемента (компенсатора) оптической системы (рис. 7.3, б).

Так, компенсатор нивелира Н-10КП состоит из двух пентапизм 9а 10 (пятиугольных призм), склеенных между собой и скрепленных с корпусом прибора коробчатой формы, а также подвижной прямоугольной призмы. Прямоугольная призма заключена в амку, перемещаемую в вертикальной плоскости маховичком 2, крепленным в корпусе 3. Ее перемещение обеспечивает фокусировку зрительной трубы по объекту наведения. Диапазон работы компенсатора определяют по максимальному углу наклона оси нивелира. У нивелиров для низкоточных и технических работ этот диапазон колеблется в пределах 5...20'.

До начала работ нивелир вынимают из укладочного ящика и репляют на штативе становым винтом. Выдвигая и убирая ножки штатива, устанавливают его головку «на глаз» в горизонтальное положение. Затем с помощью подъемных винтов подставки приводят пузырек круглого уровня к середине концентрических окружностей или в нуль-пункт.

Подготовка нивелиров для работы состоит из двух действий: приведения визирной оси прибора в горизонтальное положение (нивелир с компенсатором считается готовым к работе, если пузырек круглого уровня приведен в середину концентрических окружностей, нанесенных на стеклянной капсуле уровня) и установки трубы для наблюдения.

Трубу устанавливают по рейке вращением корпуса рукой. Наведение трубы на рейку фиксируют закрепительным винтом. В некоторых нивелирах закрепительного винта нет, а корпус имеет постоянное фрикционное (тугое) сцепление с вертикальной осью вращения нивелира. Точное наведение зрительной трубы по рейке производят наводящим винтом (под точным наведением понимают такое положение, при котором сетка нитей зрительной трубы совпадает с осью рейки).

Нивелиры с цилиндрическим уровнем имеют зрительную трубу и цилиндрический уровень. Труба с уровнем укреплена на вертикальной вращающейся оси, входящей в подставку. Наиболее распространенные нивелиры этого типа: Н-3, Н-10. Нивелир Н-3 (рис. 7.4, а) состоит из верхней части, несущей зрительную трубу 6 с цилиндрическим 7 и круглым 3 уровнями, основанием, наводящим 10, элевационным 4 и закрепительными 9 винтами, и нижней, представляющей собой подставку с тремя подъемными винтами 1 и прижимной пластиной 11.

Зрительная труба представляет собой телескопическую систему (рис. 7.4, б), состоящую из объектива 12, фокусирующей линзы 13, сетки нитей 14 и окуляра 75. Лучи, идущие от концов пузырька Уровня 22, отражаются от скошенных граней призм 21, направляются в расположенную сбоку прямоугольную призму 19, идут в

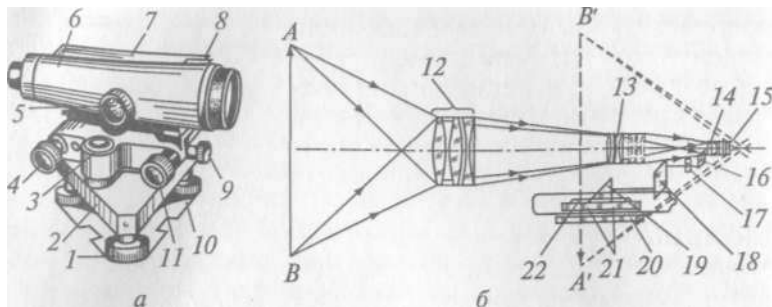


Рис. 7.4. Нивелир Н-3:

a — внешний вид; *б* — оптическая схема; 1, 4, 5, 9, 10 — винты; 2 — подставка; 3, 7 — уровни; 6 — зрительная труба; 8 — визир; 11 — установочная прижимная пластина; 12 — объектив; 13 — фокусирующая линза; 14 — сетка нитей; 15 — окуляр; 16... 19, 21 — призмы и линзы; 20 — зеркало; 22 — уровень

призму 18, затем через линзу 17 и призму 16 попадают в окуляр зрительной трубы нивелира. Пузырек уровня освещается светом, передаваемым в трубу зеркала 20. Пузырек цилиндрического уровня приводится в нулевое положение элевационным винтом 4.

Цилиндрический уровень 7, расположенный в корпусе слева от зрительной трубы, служит для точного приведения визирной оси прибора в горизонтальное положение. Для грубого приведения вертикальной оси прибора в отвесное положение служит круглый уровень 3. Пузырек круглого уровня приводится в нулевое положение подъемными винтами / подставки 2. Зрительную трубу б наводят на рейку винтами 1 подставки 2. Затем зрительную трубу наводят на рейку по визиру 8 винтом 10 при закрепленном винте 9. Резкость изображения нивелирной рейки достигается вращением винта 5 фокусирующей линзы.

Нивелир крепится к штативу прижимной пластиной 11, которая в своей центральной части имеет втулку с резьбой под становой винт штатива.

Нивелир с цилиндрическим уровнем готовят к работе так же, как нивелир с самоустанавливающейся линией визирования.

Лазерные нивелиры (рис. 7.5) представляют собой комбинацию нивелира б с компенсатором и лазерной трубкой 1. Из лазерной трубки с помощью световода 2 луч направляют в переходную деталь 4, из которой он попадает в оптическую систему и выходит в виде видимого горизонтального лазерного луча из объектива 5 нивелира. Блок электропитания 7 крепится к штативу 3. При небольших расстояниях (до 100 м) используют деревянные рейки с сантиметровыми делениями. Рейки устанавливают в нивелируемых точках; после визирования на них и фокусировки лазерного пучка реечник берет отсчет визуально на рейке по пят-

у лазерного пучка. При необходимости выполнения точных нивелирных работ используют рейки со специальными подвижными каретками с фотодетекторами, по которым с высокой точностью определяют центр лазерного луча, попавшего на рейку.

Иностранные фирмы выпускают высокоточные нивелиры с регистрирующим электронным устройством, которое позволяет автоматически регистрировать отсчеты по рейкам и вычислять превышения между точками. Автоматизирован и весь процесс обработки результатов нивелирования с их запоминанием и хранением. Примером может служить нивелир Рени 002А фирмы «Карл-Цейсе Йена» (Германия).

Технические возможности нивелиров позволяют работать с ними людям со зрением +5 диоптрий. Как правило, нивелиры работоспособны при температуре -30...+50°С.

Каждому нивелиру придается не менее двух однотипных нивелирных реек.

Нивелирная рейка (рис. 7.6, а) состоит из двух брусков двутаврового сечения, соединенных между собой металлической фурнитурой. Это позволяет складывать рейку для транспортирования. Рейка имеет градуировку на обеих сторонах. Сантиметровые шашки наносят по всей длине рейки с погрешностью 0,5 мм и оцифровывают через 1 дм. Высота подписанных цифр не менее 40 мм. На основной стороне рейки шашки черные на белом фоне, на другой (контрольной) — красные на белом фоне. На каждой стороне рейки три цветные шашки каждого дециметрового интервала, соответствующие участку в 5 см, соединяются вертикальной полосой. Для контроля при отсчетах по двум сторонам рейки начало первого оцифрованного дециметрового интервала контрольной стороны смещено по отношению к началу первого оцифрованного дециметрового интервала основной стороны.

Для удобства и быстроты установки нивелирные рейки иногда снабжают круглыми уровнями и ручками. На торцах нивелирной Рейки укрепляют пятки в виде металлических полос толщиной 2 мм.

Рейки маркируют так: например, тип РН-ЮП-3000С означает, что это рейка нивелирная, со шкалой деления (разграфкой) 10 мм, Подписью цифр «прямо», длиной 3000 мм, складная. Для точных и технических работ выпускают рейки длиной 3 и 4 м.

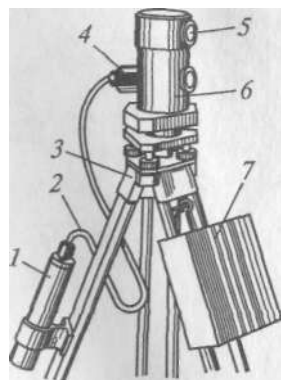


Рис. 7.5. Лазерный нивелир:

1 — лазерная трубка; 2 — световод; 3 — штатив; 4 — переходная деталь; 5 — объектив; 6 — нивелир; 7 — источник электропитания

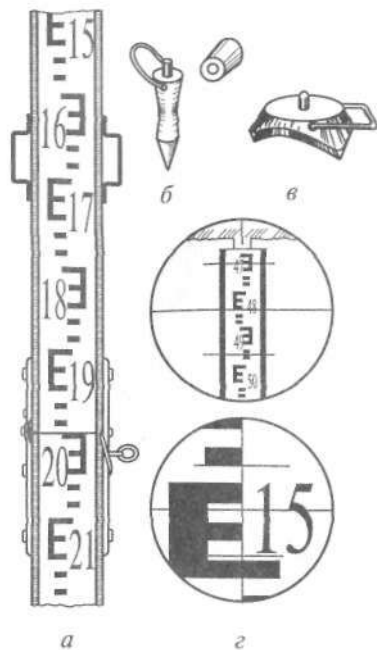


Рис. 7.6. Нивелирная рейка
а — внешний вид; *б* — костыль;
в — башмак; *г* — отсчеты по рейке

ший — он соответствует отвесному положению рейки.

Отсчеты по рейкам (рис. 7.6, *г*) производят по средней нити нивелира — по месту, где проекция средней нити пересекает рейку. Сделать отсчет по рейке — это значит определить высоту визирной оси нивелира над нулем (основанием) рейки. Цифры считывают в такой последовательности: сначала меньшую подпись, видимую вблизи средней нити (сотни миллиметров), потом прибавляют к ней целое число делений, на которое нить сетки отстоит от меньшей подписи в сторону большей (десятки миллиметров), затем наименьший десятимиллиметровый отрезок делят «на глаз» (число миллиметров). Отсчет записывают в миллиметрах (на рис. 7.6, *г* он равен 1514).

7.4. Поверки и юстировки нивелиров

Поверки нивелира с цилиндрическим уровнем. Нивелир такого типа должен удовлетворять следующим геометрическим условиям.

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения инструмента.* Для поверки этого условия подъемными винтами

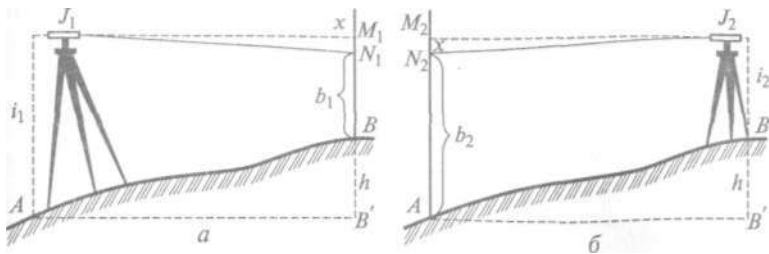


Рис. 7.7. Проверка нивелира:
 а — положение 1; б — положение 2

приводят пузырек круглого уровня в центр ампулы и поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° . Если после этого пузырек останется в центре ампулы, то условие выполнено. В противном случае исправительными винтами круглого уровня перемещают пузырек к центру на половину дуги отклонения и окончательно совмещают пузырек уровня с центром ампулы с помощью подъемных винтов. Проверку повторяют до полного выполнения требуемого условия.

2. *Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси нивелира.* В защищенном от ветра месте подвешивают отвес. В 20... 25 м от отвеса устанавливают нивелир, приводят его по круглому уровню в рабочее положение и совмещают один из концов вертикальной нити со шнуром отвеса. Если другой конец нити отклоняется от шнура не более 0,5 мм, то условие выполнено.

Если условие нарушено, то, ослабив крепежные винты, пластинку с сеткой нитей поворачивают до совмещения вертикальной нити со шнуром отвеса.

3. *Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня.* Это условие часто называют главным условием нивелира. Проверяют его двойным нивелированием одного и того же отрезка линии. С этой целью закрепляют кольшками линию AB (рис. 7.7) длиной 50...75 м.

Нивелир устанавливают в положение 1 на станции (см. рис. 7.7, а) так, чтобы окуляр находился над точкой A , и измеряют высоту инструмента i_1 а по рейке, установленной в точке B , берут отсчет B_x .

Затем нивелир и рейку меняют местами в положение 2 (см. рис. 7.7, б), измеряют высоту инструмента i_2 и берут отсчет по рейке B_2 . При этом, если визирная ось не будет параллельна оси цилиндрического уровня, то отсчеты B_x и B_2 по рейке будут ошибочны на величину x .

Из рис. 7.7 получим

$$h = i_1 - (b_1 + x) \text{ и } h = (b_2 + x) - i_2.$$

Так как в обоих случаях нивелировали одни и те же точки, то левые части формул равны между собой. Следовательно,

$$i_1 - (b_1 + x) = (b_2 + x) - i_2,$$

откуда погрешность в отсчете по рейке

$$x = (i_1 + i_2)/2 - (b_1 + b_2)/2.$$

Если полученное значение $|x| \leq 4$ мм, то главное условие практически считается выполненным. В противном случае вычисляют правильный отсчет по рейке $(b_2 + x)$ и с помощью элевационного винта наводят на него среднюю нить сетки, а затем исправительными винтами цилиндрического уровня совмещают изображение концов пузырька в поле зрения трубы. После юстировки поверку повторяют.

Проверка нивелира с самоустанавливающейся линией визирования. 1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира.* Эту проверку выполняют обычным путем (см. п. 1 подразд. 7.4).

2. *Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси нивелира.* Проверку данного условия выполняют так же, как у нивелиров с цилиндрическим уровнем.

3. *Линия визирования должна быть горизонтальна* (главное условие). Линию АВ длиной 50...70 м закрепляют кольшками и устанавливают на них рейки. Точно посередине между рейками устанавливают нивелир, приводят его ось в отвесное положение и производят отсчеты a_1 по задней, b_1 по передней рейкам и вычисляют превышение

$$h = a_1 - b_1.$$

Далее нивелир устанавливают за передней рейкой на наименьшем расстоянии визирования и производят отсчеты a_2 по дальней, b_2 по ближней рейкам и вычисляют отсчет a_2' , соответствующий горизонтальному положению визирного луча:

$$a_2' = h + b_2 = a_1 - b_1 + b_2.$$

Разность

$$\delta_1 = a_2 - a_2'$$

по абсолютной величине не должна превышать 4 мм.

Если условие нарушено, то сетку нитей с помощью исправительных винтов перемещают до совмещения с отсчетом a_2' .

7.5. Тригонометрическое нивелирование

Пусть требуется определить превышение h точки В над точкой А (рис. 7.8). Для этого в точке А устанавливают теодолит, а в точке

B — рейку или вежу. Измеряют рулеткой высоту инструмента i и длину линии AB лентой или дальномером. С помощью вертикального круга теодолита определяют угол наклона визирной оси трубы при наведении ее на какую-либо точку рейки. Расстояние v от этой точки до пятки рейки называется *высотой визирования*. Из рис. 7.8 имеем

$$h = h' + i - v.$$

Но

$$h' = dtg v,$$

тогда

$$h = dtg v + i - v. \quad (7.6)$$

Если на рейке отложить высоту инструмента i и в эту точку визировать трубой, т.е. положить $i = v$, то превышение можно вычислить по следующей формуле:

$$h = dtg v. \quad (7.7)$$

Превышения, вычисляемые по формуле (7.6) или (7.7), округляют до 0,01 м.

Если расстояние $AB = D$ измеряют лентой или дальномером с горизонтальной рейкой, то $d = D \cos v$ и вместо формулы (7.7) будем иметь

$$h = D \sin v.$$

Если расстояние между точками измеряют дальномером с вертикальной рейкой, то, подставляя в формулу (7.7) вместо d его значение, после несложных преобразований получим

$$h = \frac{1}{2} KI \sin 2v \quad (7.8)$$

или

$$h = \frac{1}{2} D' \sin 2v. \quad (7.9)$$

Формулы (7.8) и (7.9) называются *тахеометрическими*. При определении превышений h по этим формулам пользуются тахеометрическими таблицами или калькулятором.

Если отметка точки A известна, то отметку точки B можно определить по формуле

$$H_B = H_A + h.$$

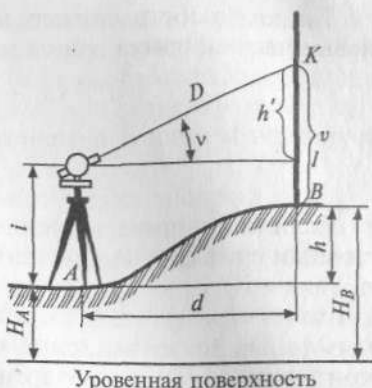


Рис. 7.8. Тригонометрическое нивелирование

Среднюю квадратическую погрешность m_h превышения, определяемого методом тригонометрического нивелирования, можно получить из равенства (7.9) по общим правилам теории погрешностей по формуле

$$m_h^2 = h^2(m_D/D')^2 + D'^2 \cos 2\nu (m_\nu/\rho)^2. \quad (7.10)$$

Действующие инструкции допускают расхождение в превышениях двух соседних точек 4 см на каждые 100 м. При малых углах наклона ν можно принять, что

$$\cos 2\nu = \cos^2 \nu - \sin^2 \nu \approx \cos^2 \nu.$$

Можно также записать, что

$$d = D' \cos^2 \nu.$$

При этих условиях формула (7.10) примет следующий вид:

$$m_h^2 = h^2(m_D/D')^2 + d^2(m_\nu/\rho)^2.$$

При углах наклона до $1^\circ 30'$ первое слагаемое правой части этого равенства мало по сравнению со вторым, поэтому можно принять

$$m_h = dm_\nu/\rho.$$

При $d = 200$ м и $m_\nu = 30''$ получим $m_h = 2,9$ см.

7.6. Понятие о барометрическом нивелировании

С изменением высоты точки над уровнем моря изменяется давление воздуха. Следовательно, по результатам измерения давления воздуха на двух точках можно вычислять отметки этих точек. Наиболее часто для определения отметок точек методом барометрического нивелирования применяют следующую упрощенную формулу:

$$H = 18\,470 (1 + 0,00366t)(\lg 762 - \lg p),$$

где H — приближенная высота точки, определенная по давлению воздуха, называемая приблизительной альтитудой; t — температура воздуха на точке, где измерено давление воздуха p .

Давление воздуха измеряют барометрами; они бывают ртутные, безжидкостные, или барометры-анероиды, и дифференциальные барометры. Наиболее точные результаты дают ртутные барометры, но они неудобны для полевых работ, поэтому их применяют для стационарных наблюдений и поверки анероидов.

Для того чтобы показания анероида привести к показаниям B_p ртутного барометра, пользуются следующей формулой:

$$p_0 = A + a + bt_{\text{ан}} + c(760 - A),$$

где $A = 760$ мм; a — поправка, равная разности показаний ртутного барометра и anerоида при $t = 0^\circ$; b — температурный коэффициент; $t_{ан}$ — температура anerоида; c — коэффициент пропорциональности. Величины a , b и c даются в паспорте anerоида.

Современные приборы барометрического нивелирования позволяют определять отметки точек с точностью 0,5 м и выше.

7.7. Понятие о гидростатическом нивелировании

В сообщающихся сосудах свободная поверхность жидкости устанавливается на одинаковом уровне независимо от поперечного сечения сосудов, массы жидкости и превышения. Это свойство и положено в основу устройства гидростатических нивелиров.

Если определить разность высот столбов жидкости в сообщающихся сосудах (рис. 7.9, *а*), то по этой величине можно получить превышение h точек A и B , на которых установлены эти сосуды.

Высоту столба жидкости в каждом сосуде можно определить, например, зная высоты d_1 и d_2 сообщающихся сосудов и измерив расстояния c_1 и c_2 (рис. 7.9, *б*) от уровня жидкости до края каждого сосуда. Тогда получим высоты столбов жидкости в сосудах $(d_1 - c_1)$ и $(d_2 - c_2)$ и превышения

$$h = (d_2 - c_2) - (d_1 - c_1) \text{ или } h = (d_2 - d_1) - (c_2 - c_1).$$

Для данной пары сосудов $(d_2 - d_1)$ — величина постоянная, поэтому, обозначив

$$k = d_2 - d_1, \quad (7.11)$$

получим превышение

$$h = k - (c_2 - c_1). \quad (7.12)$$

Поменяв местами сосуды (см. рис. 7.9, *б*),

$$h = (d_1 - c'_1) - (d_2 - c'_2) \text{ или } h = (c'_2 - c'_1) - (d_2 - d_1),$$

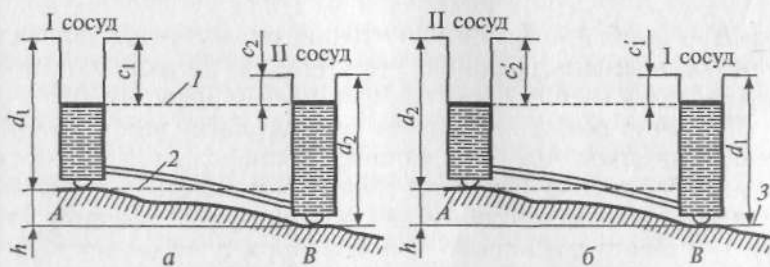


Рис. 7.9. Гидростатическое нивелирование:

а — положение 1; *б* — положение 2; 1 — горизонт жидкости; 2 — горизонт точки A ; 3 — горизонт точки B

а с учетом формулы (7.11)

$$h = (c_2' - c_1') - k. \quad (7.13)$$

Складывая формулы (7.12) и (7.13), получим

$$h = [(c_2' - c_1') - (c_2 - c_1)]/2, \quad (7.14)$$

а вычитая формулу (7.12) из выражения (7.13), имеем

$$k = [(c_2' - c_1') + (c_2 - c_1)]/2.$$

Определив по этой формуле k , затем по любой из формул (7.12)... (7.14) находят превышение h .

Современные конструкции гидростатических нивелиров позволяют определять превышение между точками с точностью до десятых и даже сотых долей миллиметра.

7.8. Производство геометрического нивелирования

Геометрическое нивелирование сводится к установке визирной оси прибора в горизонтальное положение и взятию отсчетов по рейкам.

Нивелирование, как правило, начинают с репера или с точки, отметка которой известна. В этом случае на начальной и следующей (определяемой) точках устанавливают рейки. Нивелир размещают приблизительно посередине между точками. Пользуясь подъемными винтами, пузырек круглого уровня приводят в нуль-пункт. Трубу нивелира наводят на рейку задней (начальной) точки. Далее, пользуясь элевационным винтом, пузырек цилиндрического уровня приводят в нуль-пункт (совмещают изображения концов пузырька контактного уровня) и берут отсчет по черной стороне рейки. Результаты нивелирования записывают в специальный журнал.

Наводят трубу на черную сторону передней рейки, берут отсчет по средней нити. Затем поворачивают рейки красными сторонами к нивелиру и берут отсчеты по передней и задней рейкам. Если между задней и передней точками есть промежуточная точка, то переносят и устанавливают на нее заднюю рейку и берут отсчет по черной и красной сторонам.

Правильность отсчетов по рейкам контролируют, вычисляя разность: отсчет по красной стороне минус отсчет по черной стороне. Разность отсчетов не должна отличаться более чем на 5 мм от разности в подписи начальных делений сторон рейки.

Контроль наблюдений производят также по превышениям: отсчет по черной стороне задней рейки минус отсчет по черной стороне передней рейки и то же по красным сторонам. Разность

превышений, вычисленных по черной и красной сторонам, не должна быть более 5 мм.

Если это условие выполнено, то вычисляют среднее превышение

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

После контроля наблюдений на одной станции переходят на другую станцию и работу проводят в такой же последовательности.

В случаях когда на нивелируемом отрезке есть промежуточные точки, по окончании нивелирования связующих точек реечник последовательно устанавливает на них рейку.

Наблюдатель, каждый раз приводя визирную ось в горизонтальное положение, делает отсчеты по черной стороне рейки. После этого реечник, находящийся сзади, устанавливает рейку на следующей точке.

Если нивелирование в одном ходе выполняют с двух станций и более, то заканчивать его следует на точке с известной отметкой. Как правило, ход заканчивают на втором репере, что обеспечивает контроль правильности нивелирования.

Теоретически сумма полученных превышений должна равняться разности отметок конечного и начального реперов. В тех случаях, когда ход начал и закончен на одной и той же точке, сумма превышений должна равняться нулю. Отличие практически полученной суммы средних превышений от теоретического значения называется *невязкой*. Невязка $f_h = \sum_i h_i - (H_{\text{к}} - H_{\text{н}})$, где $H_{\text{к}}$ и $H_{\text{н}}$ — отметки конечной и начальной точек.

Полученная невязка не должна превышать определенной величины.

Для технического нивелирования она не должна быть больше 50 мм на 1 км хода или 5 мм на одну станцию. При n станциях невязка $f_{h_{\text{доп}}} \leq 10\sqrt{n}$.

7.9. Нивелирование по квадратам

Для решения на участке местности различных задач производят нивелирование поверхности по квадратам (рис. 7.10). Для этого участок делят на квадраты со сторонами 10, 20, 50 или 100 м. Если рельеф участка слабо выражен (плоский), то нивелируемые точки располагают на участке равномерно, а длины сторон квадратов увеличивают. При ясно выраженном рельефе (изрезанном, с водоразделами, тальвегами и т.д.) в местах изменения профиля их частоту увеличивают.

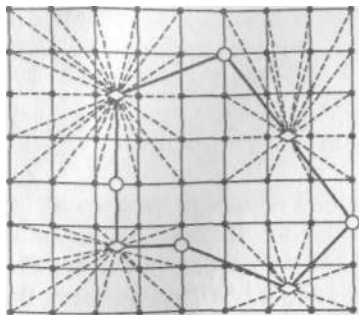


Рис. 7.10. Схема нивелирования по квадратам:

— станции; — точки и направления

Схема нивелирования вершин квадрата зависит от размеров участка, сложности форм рельефа, необходимости дополнительно к отметкам вершин квадратов получить еще точки с отметками.

Нивелирный ход по квадратам прокладывают по программе технического нивелирования или 4-го класса. Все связующие точки хода закрепляют устойчивыми кольями или специальными башмаками. Рейку ставят на торец кола или башмак. Отсчеты по рейкам записывают в журнал нивелирования либо на схему квадратов, причем числовые значения отсчетов подписывают возле

вершин тех квадратов, на которых они получены. Границы работы на станции отделяют пунктирной линией. При обработке результатов измерений сначала вычисляют превышения и отметки связующих точек хода. Отметки вершин квадратов вычисляют через горизонт прибора.

Контрольные вопросы

1. Что называется нивелированием?
2. В чем заключается способ нивелирования из середины и вперед?
3. Что такое горизонт инструмента или прибора?
4. Как вычисляются отметки точек при нивелировании из середины?
5. Как вычисляются отметки точек через горизонт прибора?
6. В чем сущность последовательного нивелирования?
7. Объясните основные поверки нивелира с элевационным винтом.
8. Объясните основные поверки нивелира с самоустанавливающейся линией визирования.
9. Как закрепляются пункты нивелирных ходов на местности?
10. В чем заключается сущность тригонометрического, барометрического и гидростатического нивелирования?
11. Определите горизонт инструмента, если отсчет по рейке, установленной на точке A , равен 1824, а ее отметка $H_A = 170,024$ м.
12. Вычислите превышение, определяемое методом тригонометрического нивелирования, если наклонное дальномерное расстояние $D = 170,05$ м, а угол наклона визирной оси $v = 3^\circ 27'$.
13. Определите точность превышения, полученного методом тригонометрического нивелирования при $d = 150$ м и погрешности измерения угла наклона $\rho_v = 30''$.
14. Как производится нивелирование на станции?
15. Каким образом нивелируют по квадратам?

ГЛАВА 8 СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

8.1. Лазерные геодезические приборы

В лазерных геодезических приборах в качестве излучателя светового потока используют оптические квантовые генераторы (ОКГ).

Оптические квантовые генераторы (лазеры) бывают: твердотельные, газовые, жидкостные и полупроводниковые. В геодезических приборах используют газовые и полупроводниковые лазеры. Газовые лазеры применяют в приборах, задающих положение вертикальной или опорной линии: лазерных нивелирах, указателях направлений, лазерных центрирах и других приборах различного назначения. В практике геодезического обеспечения строительства используют газовые гелий-неоновые лазеры непрерывного излучения, работающие в видимой части светового диапазона и излучающие узконаправленный пурпурно-красный пучок света. Полупроводниковые лазеры применяют в основном в приборах для измерения расстояний — светодальномерах.

Лазерные геодезические приборы конструируют таким образом, чтобы лазер был установлен параллельно визирной оси прибора, на котором он смонтирован, или лазерный пучок направлялся бы через зрительную трубу прибора. Как правило, при измерениях используют визуальную или фотоэлектрическую индикацию лазерного пучка. При визуальной индикации для отсчетов по лучу применяют экран в виде сетки квадратов или концентрических окружностей, а также нивелирную рейку. При более точной фотоэлектрической индикации используют специальные фотоприемные устройства с фотоэлементами.

Лазерные нивелиры предназначены для измерения превышений и передачи высотных отметок. Нивелир излучает видимый пучок света, относительно которого производят измерения превышений. В одних приборах пучок лазерного излучения направляют по оптической оси зрительной трубы, в других зрительная труба соединена параллельно с излучателем ОКГ.

В нивелирах с уровнем ось пучка приводят в горизонтальное положение цилиндрическим уровнем, в нивелирах-автоматах — компенсатором. По условиям геометрического нивелирования оси лазерного пучка и цилиндрического уровня должны быть параллельны.

В настоящее время лазерные нивелиры выпускают в основном с автоматически горизонтирующимся пучком излучения, вращающимся лазерным пучком и другими особенностями.

Примером может служить лазерный нивелир LNA2L фирмы «Вильд» (рис. 8.1, а), задающий вращающуюся световую горизон-

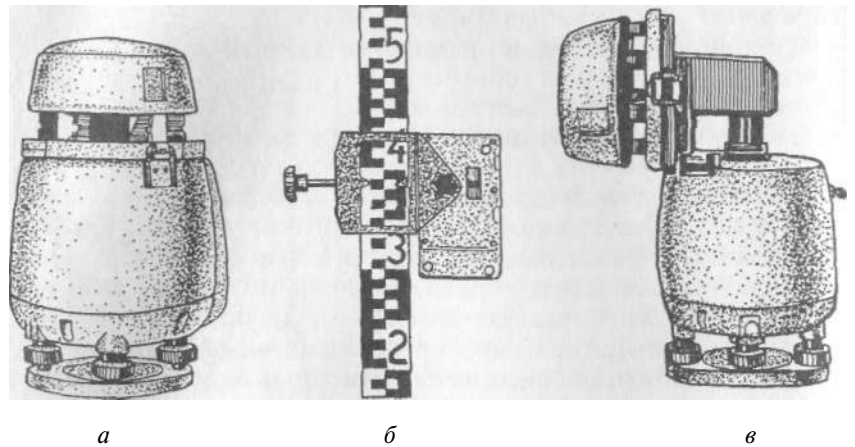


Рис. 8.1. Лазерный нивелир:

а — общий вид; *б* — отсчет по рейке; *в* — положение для развертки вертикальной плоскости

тальную плоскость. Положение этой плоскости фиксируется на специальной рейке или стенах зданий (рис. 8.1, *б*). Нивелир может быть установлен так, чтобы формировалась вертикальная световая плоскость (рис. 8.1, *в*). Он снабжен вычислительным устройством, выполняющим автоматическое вычисление высот. Кроме того, с помощью этого нивелира по рейке можно определять расстояния до 100 м.

8.2. Электронные теодолиты и тахеометры

К современным высокоточным и высокопроизводительным геодезическим средствам измерений относится новое поколение приборов, позволяющих выполнять все измерения в автоматизированном режиме. Применение ЭВМ пятого поколения предполагает интеллектуализацию компьютеров, т.е. возможность работы с ними непрофессионального пользователя на естественном языке, в том числе в речевой форме. Речевой ввод топографо-геодезической информации в полевых условиях обеспечивает улучшение условий труда и уменьшение числа погрешностей наблюдателя.

Для автоматизации полевых измерений при производстве топографической съемки и других видов инженерно-геодезических работ созданы высокоточные электронные тахеометры. Электронный тахеометр содержит угломерную часть, сконструированную на базе кодового теодолита, светодальномер и встроенную ЭВМ-С помощью угломерной части определяются горизонтальные и вер-

тикальные углы, светодальномера — расстояния, а ЭВМ решает различные геодезические задачи, обеспечивает управление прибором, контроль результатов измерений и их хранение.

Примером может служить отечественный электронный тахеометр ТаЗМ (рис. 8.2), с помощью которого можно определить: горизонтальные углы с погрешностью 4", зенитные расстояния с погрешностью 5", наклонные дальности с погрешностью 10 мм, горизонтальные проложения, превышения или высоты точек визирования, приращенные координаты или координаты точек визирования.

Прибор может работать в четырех режимах: разделенном, полуавтоматическом, автоматическом и режиме слежения. Геодезические задачи решаются с учетом поправок: на кривизну Земли, рефракцию атмосферы, температуру и давление, разность высот штативов прибора и отражателя.

Информация об угловых значениях выдается в гонах или градусах. Датчик углов прибора — кодовый, накопительного типа. В комплект тахеометра входят: отражатели, штативы, источники питания, разрядно-зарядное устройство, принадлежности для юстировки прибора и ухода за ним.

Тахеометр ТаЗМ снабжен электрооборудованием для работы ночью. Выдаваемая на цифровое табло оперативная информация может быть выведена в память тахеометра или внешний накопитель.

Выпускаемый отечественной промышленностью электронный тахеометр ЗТа5 решает те же задачи, что и ТаЗМ, но имеет иные технические характеристики: погрешность измерения горизонтального угла 5", погрешность измерения зенитного расстояния 7", погрешность измерения наклонной дальности (5 + 3D км) мм.

Зарубежные фирмы (США, Германия, Швеция, Япония и др.) выпускают электронные тахеометры, различные по точности измерения углов от 0,5 до 20", расстояний от 2 до 10 мм и с внутренней памятью, размещающей результаты наблюдений до 10000 точек.

Существуют роботизированные электронные тахеометры, например «Геодиметр 640» фирмы «Геотроникс» (Швеция), который по заданной программе сам находит положение отражателей, измеряет расстояние до них, горизонтальные и вертикальные углы и вычисляет координаты каждого отражателя. В карьерах с помощью такого прибора определяют деформации бортов карьера.

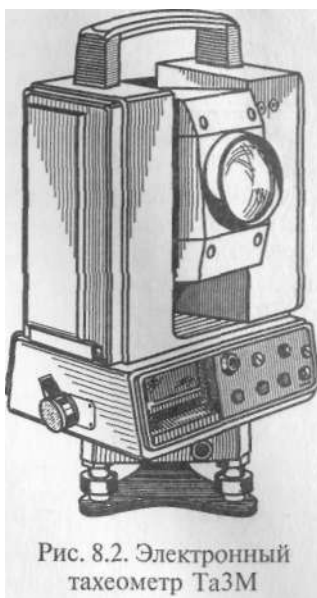


Рис. 8.2. Электронный тахеометр ТаЗМ

8.3. Приборы вертикального проектирования

Задание отвесной линии (вертикальное проектирование) при строительстве, проходке горных выработок и других инженерно-геодезических работах — необходимая и весьма ответственная задача.

Для вертикального проектирования применяют специальные оптические и лазерные зенит-(вверх) и надир-(вниз) приборы.

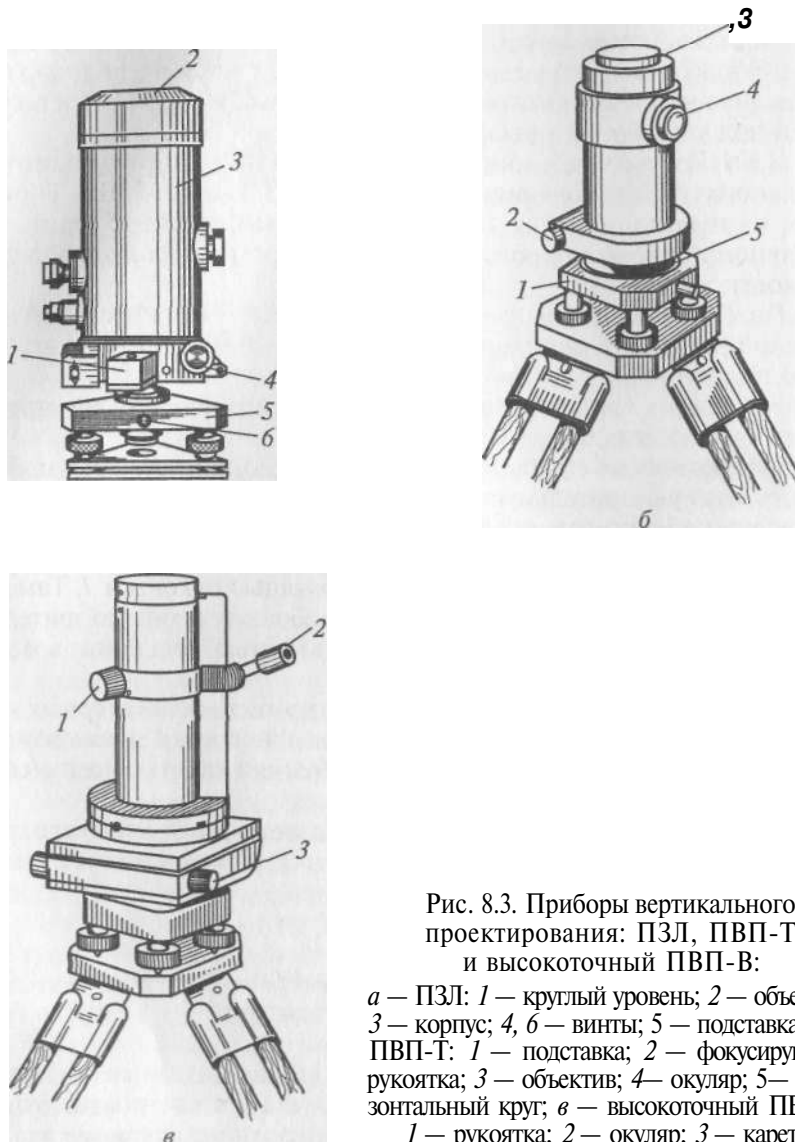


Рис. 8.3. Приборы вертикального проектирования: ПЗЛ, ПВП-Т и высокоточный ПВП-В:

a — ПЗЛ: 1 — круглый уровень; 2 — объектив; 3 — корпус; 4, 6 — винты; 5 — подставка; *б* — ПВП-Т: 1 — подставка; 2 — фокусирующая рукоятка; 3 — объектив; 4 — окуляр; 5 — горизонтальный круг; *в* — высокоточный ПВП-В: 1 — рукоятка; 2 — окуляр; 3 — каретка

Оптические и лазерные приборы вертикального проектирования по способу приведения визирной оси или светового луча в отвесное положение могут быть уровенными или с компенсатором наклона.

В свою очередь, компенсаторные приборы подразделяют на одно- или двухкоординатные.

Однокоординатный зенит-прибор вертикального проектирования ПЗЛ фирмы «Карл Цейс» (рис. 8.3, *а*) — высокоточный прибор с самоустанавливающейся линией визирования. На корпусе 3 прибора закреплен круглый уровень 7, по которому прибор приводят в рабочее положение. Корпус размещается на подставке 5 и закрепляется винтами 4, 6. Окуляр зрительной трубы расположен под углом 90° к объективу 2.

В МИИГАиКе разработаны двухкоординатные приборы вертикального проектирования ПВП-Т и ПВП-В. Прибор ПВП-Т (рис. 8.3, *б*) имеет подставку 1 с горизонтальным кругом 5, зрительную ломаную трубу с объективом 3, окуляром 4 и фокусирующей рукояткой 2.

Прибор снабжен горизонтальным кругом и дополнительной насадкой, позволяющей повернуть визирную линию в горизонтальное положение.

Это делает прибор универсальным для применения на строительной площадке.

Высокоточный прибор ПВП-В (рис. 8.3, *в*) представляет собой вертикальную зрительную трубу, на концах которой навинчены оправы с объективами.

Внутри трубы размещается стакан с компенсатором. Стакан может перемещаться внутри трубы с помощью рукоятки 1. Там же снаружи размещается окуляр 2. Все это образует двойную зрительную трубу, которая крепится с возможностью вращения вокруг вертикальной оси на каретках 3.

Каретки перемещаются в двух взаимно-перпендикулярных направлениях; величина их перемещения фиксируется микрометренными измерительными винтами. Нижняя каретка крепится к трегеру с подъемными винтами.

Точность работы прибора характеризуется средней квадратической погрешностью передачи координат по вертикали 0,5 мм на 100 м длины визирования.

8.4. Использование спутниковых технологий в инженерной геодезии

К новому поколению измерительных систем, применяемых в геодезии вообще и в инженерной геодезии в частности, относятся приборы (измерительные станции), определяющие коор-

динаты x , y и высоту z точки по сигналам со специальных спутников, вращающихся вокруг Земли по строго определенным орбитам.

В настоящее время используются две спутниковые системы определения координат: российская система ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система) и американская система NAVSTAR GPS (навигационная система определения расстояний и времени, глобальная система позиционирования).

Обе системы состоят из 21 действующего спутника и трех запасных.

Орбиты спутников практически круговые и расположены на расстоянии около 20180 км над поверхностью Земли. Такое число спутников и их расположение обеспечивает одновременный прием сигналов как минимум от четырех спутников в любой части Земли.

Каждая из систем включает в себя три главных сегмента: наземного контроля и управления (НКУ), созвездия спутников (космических аппаратов — КА) и аппаратуры пользователей (АП).

Наземный сегмент состоит из сети станций слежения за спутниками, службы точного времени и центра управления (главной станции). Наземные станции собирают информацию об орбитах спутников, обрабатывают ее и передают на спутники прогноз их координат на определенное время (эфемериды), а также другие данные.

Спутники принимают и хранят информацию с наземных станций, а также непрерывно излучают для пользователей измерительные радиосигналы, данные о системном времени, свои координаты и другие сведения. Сегмент пользователя включает в себя совокупность аппаратно-программных средств, реализующих определение местоположения спутниковых приемников на поверхности Земли.

Для спутниковых определений установлены свои геодезические системы координат, представляющие собой пространственную, прямоугольную систему x , y , z с началом в центре масс Земли, ось которой направлена к северному полюсу; оси x и y лежат в плоскости экватора; ось x совпадает с плоскостью Гринвичского меридиана, а ось y ей перпендикулярна. Для NAVSTAR принята система координат WGS-84, для «ГЛОНАСС» — «ПЗ-90».

Определение местоположения на поверхности Земли с помощью спутников основано на измерении расстояний (дальностей) от спутников до приемника по скорости и времени распространения радиоволн.

Если измерить дальности до трех спутников, то, зная их координаты, методом линейной засечки можно определить координаты точки стояния приемника. В силу разных по точности «часов» на спутнике и в приемнике и некоторых других причин

определенное до спутника расстояние будет содержать погрешности. Такое ошибочное расстояние получило название «псевдодальности».

Чтобы правильно вычислить координаты пункта по псевдодальностям, надо их измерять не до трех спутников, а, как минимум,— до четырех.

Методы определения местоположений с помощью GPS можно разделить на абсолютные и относительные. В результате применения абсолютного метода координаты пользователя определяются в общеземной системе координат в лучшем случае с погрешностью 1 м.

Для геодезических работ, включая и топографическую съемку, применяют относительный метод, для которого необходимо иметь не менее двух спутниковых приемников. Один из них устанавливается на пункте с известными координатами (базовая станция) (рис. 8.4), другой (или другие) — на точках, координаты которых определяются.

Наблюдая в течение некоторого времени одновременно с двух станций одни и те же спутники, можно получить приращения координат относительно базовой станции с погрешностью 0,5...2,0 см.

Точность относительных определений зависит в основном от времени наблюдений, поэтому различают три основные методики: статическую, кинематическую и динамическую.

Спутниковые приемники различного класса и назначения выпускает ряд зарубежных фирм: «Аштек», «Тримбл» (США), «Топкон» (Япония), «Карл Цейс» (Германия), «Лейка» (Швейцария), «Геотроникс» (Швеция), «Серсель» (Франция) и др. Один из наи-

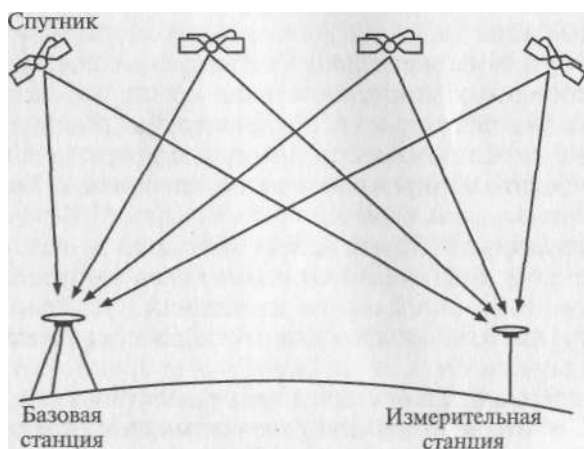


Рис. 8.4. Схема спутниковых измерений

более точных и простых в обращении спутниковых приемников 460 LS фирмы «Тримбл» имеет приемную антенну диаметром 18 см, принимающую сигналы одновременно с нескольких спутников, и встроенную ЭВМ, обеспечивающую автоматическую регистрацию, разделение сигналов со спутников и их первичную обработку. Окончательная обработка результатов измерений производится на персональном компьютере по специальной программе.

Контрольные вопросы

1. С помощью каких приборов измеряют расстояние между точками?
2. Какой физический принцип используют для измерения расстояний светодальномерами?
3. Какие приборы используют для проектирования точек по вертикали?
4. Какие новейшие приборы позволяют автоматизировать полевые геодезические работы?
5. В чем заключается сущность определения местоположения объекта спутниковыми приемниками?

ГЛАВА 9 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

9.1. Общие сведения о геодезических сетях

Для составления карт и планов, решения геодезических задач, в том числе геодезического обеспечения строительства, на поверхности Земли располагают ряд точек, связанных между собой единой системой координат. Эти точки маркируют на поверхности Земли или в зданиях и сооружениях центрами (знаками). Совокупность закрепляемых на местности или зданиях точек (пунктов), положение которых определено в единой системе координат, называют *геодезическими сетями*.

Геодезические сети подразделяют на плановые и высотные: первые служат для определения координат x и y геодезических центров, вторые — для определения их высот H .

Принцип построения плановых геодезических сетей заключается в следующем. На местности выбирают точки, взаимное положение которых представляется в виде геометрических фигур: треугольников, четырехугольников, ломаных линий и т.д. Причем точки выбирают с таким расчетом, чтобы некоторые элементы фигур (стороны, углы) можно было бы непосредственно изме-

рять, а все другие элементы вычислить по данным измерений. Например, в треугольнике достаточно измерить одну сторону и три угла (один для контроля правильности измерений) или две стороны и два угла (один для контроля правильности измерений), а остальные стороны и углы вычислить. Для вычисления плановых координат вершин выбранных точек необходимо кроме элементов геометрических фигур знать еще дирекционный угол стороны одной из фигур и координаты одной из вершин.

Для определения высот пунктов (реперов) строят в основном сети геометрического нивелирования. Используют также метод тригонометрического нивелирования.

Сети строят по принципу перехода от общего к частному, т. е. от сетей с большими расстояниями между пунктами и высокоточными измерениями к сетям с меньшими расстояниями и менее точным.

Геодезические сети подразделяют на четыре вида: государственные, сгущения, съемочные и специальные.

Государственные геодезические сети служат исходными для построения всех других видов сетей.

9.2. Плановые геодезические сети

Началом единого отсчета плановых координат в России служит центр круглого зала Пулковской обсерватории в Санкт-Петербурге.

Государственные плановые геодезические сети подразделяют на четыре класса. Сеть 1-го класса имеет наивысшую точность и охватывает всю территорию страны как единое целое. Сеть каждого последующего класса строится на основе сетей высших классов. Так, сеть 2-го класса строят на основе сетей 1-го класса, 3-го класса — на основе сетей всех предыдущих классов. Типичная схема построения государственных плановых геодезических сетей 1, 2, 3, и 4-го классов методом триангуляции (треугольников) приведена на рис. 9.1.

В настоящее время для построения государственных сетей используют спутниковые методы измерений.

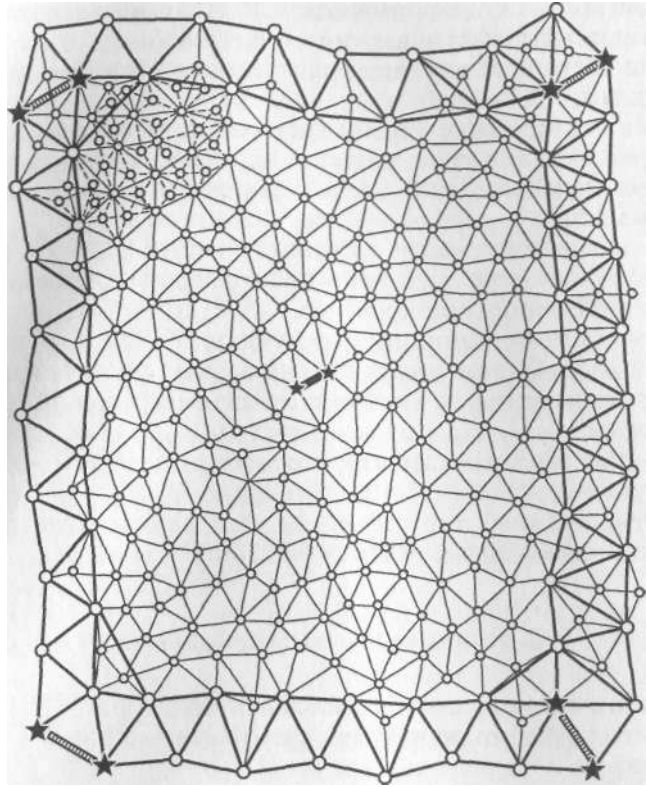
С этой целью принята концепция построения трех уровней государственной геодезической спутниковой сети. Эта концепция предусматривает построение:

фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС);

высокоточной астрономо-геодезической сети (ВАГС);

спутниковой геодезической сети 1-го класса (СГС-1).

Фундаментальная астрономо-геодезическая сеть реализуется в виде системы закрепленных на всей территории России 50...70 пунктов со средними расстояниями между ними 700... 800 км. Часть



• Рис. 9.1. Схема построения государственной плановой геодезической сети

этих пунктов (10... 15) должна стать постоянно действующими астрономическими обсерваториями, оснащенными радиотелескопами для наблюдений удаленных источников радиоизлучения (кварзаров) и спутниковыми приемниками GPS-ГЛОНАСС. Взаимное положение этих пунктов будет определяться с погрешностью в 1...2 см.

Высокоточная астрономо-геодезическая сеть должна заменить звенья триангуляции 1-го класса и представлять собой однородные по точности пространственные построения с расстоянием между смежными пунктами 150...300 км. Общее число пунктов ВАГС должно составлять 500...700, при этом часть пунктов будет совмещена с пунктами ФАГС. Взаимное положение таких пунктов будет определяться спутниковыми методами с относительной погрешностью $5 \cdot 10^{-8}$ или 2...3 см.

Спутниковая геодезическая сеть 1-го класса должна заменить триангуляции 1, 2-го классов со средними расстояниями между

пунктами 30...35 км, общим числом 10... 15 тыс. и средней квадратической погрешностью взаимного положения 2...3 см. Построение такой сети предполагается осуществить в течение десяти ближайших лет.

Сети сгущения строят для дальнейшего увеличения плотности (числа пунктов, приходящихся на единицу площади) государственных сетей. Плановые сети сгущения подразделяют на 1-й и 2-й разряды.

Съемочные сети — это тоже сети сгущения, но с еще большей плотностью. С точек съемочных сетей производят непосредственно съемку предметов местности и рельефа для составления карт и планов различных масштабов.

Специальные геодезические сети создают для геодезического обеспечения строительства сооружений. Плотность пунктов, схема построения и точность этих сетей зависят от специфических особенностей строительства.

9.3. Высотные геодезические сети

Государственные высотные геодезические сети создают для распространения по всей территории страны единой системы высот. За начало высот в России и некоторых других странах принят средний уровень Балтийского моря, определение которого проводилось начиная с 1825 г.

Между пунктами государственных высотных геодезических сетей высокой точности (1-го класса) размещают пункты высотных сетей низших классов (2, 3-го и т.д.).

Если на рисунке, где размещены пункты высотной сети, соединить эти пункты линиями, то получатся фигуры, которые называют *ходами*. Несколько пересекающихся ходов называют *сетями*.

Как правило, сети создают из ходов, прокладываемых между тремя или более точками (рис. 9.2). В целом точки (реперы) высотных сетей, называемых *нивелирными*, достаточно равномерно распределены на территории страны. В незастроенной территории расстояния между реперами

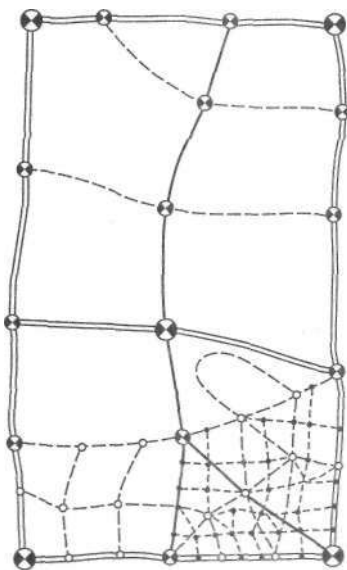


Рис. 9.2. Схема государственной высотной сети:

1-й класс; в — 2-й;
В > — 3-й; . — 4-й

колеблются в пределах 5...7 км, в городах сеть реперов в 10 раз плотнее.

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

Нивелирные сети на строительных площадках и при создании внешних разбивочных сетей создают на базе плановых сетей, т. е. для части плановых сетей определяют высотные отметки.

Как правило, сети образуют полигоны с узловыми точками (общими точками пересечения двух или более ходов одного и того же класса). Каждый нивелирный ход опирается обоими концами на реперы ходов более высокого класса или узловые точки.

9.4. Знаки для закрепления геодезических сетей

Точки геодезических сетей закрепляют на местности знаками. По местоположению знаки бывают: грунтовые и стенные, заложенные в стены зданий и сооружений; металлические, железобетонные, деревянные, в виде откраски и т.д.; по назначению — постоянные, к которым относятся все знаки государственных геодезических сетей, и временные, устанавливаемые на период изысканий, строительства, реконструкции, наблюдений и т.д.

Постоянные знаки. Их закрепляют подземными знаками — центрами. Конструкции центров обеспечивают их сохранность и неизменность положения в течение длительного периода времени. Как правило, подземный центр представляет собой бетонный монолит (рис. 9.3У, закладываемый ниже глубины промерзания грунта и не в насыпной массив. У поверхности земли в монолите устанавливают чугунную марку, на которую наносят центр в виде креста или точки. Положению этого центра соответствуют координаты x и y в о многих случаях отметки H .

Для того чтобы с одного знака был виден другой (смежный), над подземными центрами устанавливают наружный знак в виде металлических или деревянных трех- или четырехгранных пирамид или сигналов.

Пирамиды или сигналы имеют высоту 3...30 м и более. Геодезический сигнал 3 с подземным цен-

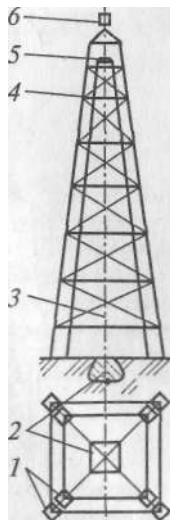


Рис. 9.3. Наружный металлический сигнал над подземным центром плановой сети:

1 — фундаменты; 2 — подземный центр; 3 — геодезический сигнал; 4 — настил; 5 — столик; 6 — визирная цель

тром 2 и столиком 5 предназначен для установки измерительных приборов и настила 4 для работы на нем наблюдателя. Верх сигнала или пирамиды заканчивается визирной целью *б*, на которую при измерении углов направляют зрительную трубу теодолита. На столик устанавливают также отражатель, если расстояние между пунктами измеряют светодальномером. Для спутниковых измерений сигналы и пирамиды строить не надо.

Как правило, пункты разбивочных сетей и сетей сгущения закрепляют подземными центрами, такими же, как и пункты государственных сетей. Так как расстояния между этими пунктами сравнительно небольшие, оформления их наружными знаками не требуется. Иногда над ними устанавливают Г-образные металлические или деревянные вехи. В городах знаки оформляют в виде специальной надстройки на крышах зданий. Знаки могут закладывать в зданиях и сооружениях, в этом случае их называют *стенными*.

Государственные высотные сети всех классов закрепляют на местности грунтовыми реперами. Стенные реперы закрепляют в фундаментах устойчивых сооружений — водонапорных башен, капитальных зданий, каменных устоев мостов и т.д. В стенных реперах высоту определяют для центра отверстия в сферической головке.

Временные знаки. Точки съёмочных, а иногда и разбивочных сетей закрепляют временными знаками — деревянными или бетонными столбами, металлическими штырями, отрезками рельсов и т.д. (рис. 9.4, *а...з*). Их закрепляют в земле на глубину до 2 м. В верхней части такого знака крестом, точкой или риской отмечают местоположение центра или точки с высотной отметкой.

При продолжительности использования (более полугода) временные знаки закладывают на глубину 0,5 м (минимальное расстояние до подземных коммуникаций от поверхности грунта принято 0,7 м). При наличии твердого покрытия и отсутствии интенсивного движения транспорта используют штыри из отрезков арматуры и труб, деревянные столбики (рис. 9.4, *д...и*). В процессе строительства на возведенных конструкциях и близрасположенных зданиях высоты и створы осей фиксируют открасками (рис. 9.4, *к...м*).

Контрольные вопросы

1. Что такое геодезическая сеть?
2. Какими методами создаются плановая и высотная государственные сети?
3. Как закрепляются пункты государственных сетей?
4. Каким образом закрепляются пункты съёмочных и разбивочных сетей?

ГЛАВА 10 ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

10.1. Понятие о топографической съемке

Топографическая съемка — это комплекс геодезических работ, выполняемых на местности для составления топографических карт и планов. Различают съемки для составления топографических планов крупных масштабов (1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000) и мелких (1:10 000, 1:25 000 и мельче). В инженерной геодезии выполняют в основном съемки крупных масштабов.

Съемке и отображению на топографических планах подлежат все элементы ситуации местности, существующей застройки, благоустройства, подземных и наземных коммуникаций, а также рельеф местности.

Точки, определяющие на плане положение контуров ситуации, условно делят на твердые и нетвердые. К твердым относят четко определяемые контуры сооружений, построенных из долговременных материалов (кирпича, бетона), например углы капитальных зданий. Контуры, не имеющие четких границ, например луга, леса, пашни, относят к нетвердым.

На топографические планы наносят пункты плановых и высотных геодезических сетей, а также все точки, с которых производят съемку, если они закреплены постоянными знаками. На специализированных планах допускается отображение не всей ситуации местности, а только тех объектов, которые необходимы: применение нестандартных высот сечений рельефа, снижение или повышение точности изображения контуров и съемки рельефа.

Топографическую съемку выполняют с точек местности, положение которых в принятой системе координат известно. Таковыми точками служат пункты опорных государственных и инженерно-геодезических сетей. Однако их числа, приходящегося на площадь снимаемого участка, большей частью бывает недостаточно, поэтому геодезическая основа сгущается обоснованием, называемым *съемочным*.

Съемочное обоснование развивается от пунктов плановых и высотных опорных сетей. На участках съемки площадью до 1 км² съемочное обоснование может быть создано в виде самостоятельной геодезической опорной сети.

При построении съемочного обоснования одновременно определяют положение точек в плане и по высоте. Плановое положение точек съемочного обоснования определяют: проложением теодолитных и тахеометрических ходов, построением аналитических сетей из треугольников и различного рода засечками. Высоты

точек съемочного обоснования чаще всего определяют геометрическим и тригонометрическим нивелированием.

Для составления топографических планов применяют: аналитический, мензульный, тахеометрический, аэрофототопографический, фототеодолитный методы съемок, съемку нивелированием поверхности и с помощью спутниковых приемников. Применение того или иного метода зависит от условий и масштаба съемки.

10.2. Съемочное плановое обоснование

Самый распространенный вид съемочного планового обоснования — теодолитные ходы, опирающиеся на один или два исходных пункта, или системы ходов, опирающихся не менее чем на два исходных пункта. В системе ходов, в местах их пересечений, образуются узловые точки, в которых могут сходиться несколько ходов. Длины теодолитных ходов, зависящие от масштаба съемки и условий снимаемой местности, приведены в табл. 10.1.

Длины линий в съемочных теодолитных ходах должны быть не более 350 м и не менее 20 м. Относительные линейные невязки в ходах не должны превышать 1:2000, а при неблагоприятных условиях измерений (заросли, болото) — 1:1000.

Углы поворота на точках ходов измеряют теодолитами со средней квадратической погрешностью 0,5' одним приемом. Расхождение значений углов в полуприемах допускают не более 0,8'. Длину линий в ходах измеряют оптическими или светодальномерами, мерными лентами и рулетками. Каждую сторону измеряют дважды — в прямом и обратном направлениях. Расхождение в измеренных значениях допускается в пределах 1:2000 от измеряемой длины линии.

Для передачи координат на точки теодолитных ходов производят привязку их к геодезическим пунктам более высокого класса. Привязка состоит в том, что определяют положение хотя бы одной точки хода относительно точек более высокого класса: измеряют между ними расстояние и примычный угол. Плановую при-

Таблица 10.1

Масштаб съемки	Допустимая длина теодолитного хода между пунктами геодезической основы, км, на территории	
	застроенной	незастроенной
1:500	0,8	1,2
1:1000	1,2	1,8
1:2000	2,0	3,0
1:5000	4,0	6,0

вязку называют передачей координат и дирекционных углов с пунктов привязки на точки ходов.

В зависимости от числа пунктов государственной геодезической сети и удаленности их от точек теодолитного хода привязку производят разными способами. Например, пункты государственной геодезической сети II, III включают в теодолитный ход, измеряют примычные углы β_1 и β_2 и линии D_{II-1} , D_{III-4} (рис. 10.1).

Первичную обработку результатов линейных и угловых измерений (полевой контроль и оценку их пригодности для последующих вычислений) выполняют непосредственно в полевых журналах. При первичной обработке находят среднее значение из множества измерений одной и той же величины, определяют допустимость отклонений, делают повторные вычисления (выполняет другой специалист).

Основную обработку результатов измерений в теодолитном ходе выполняют после полевого контроля и записывают на бланках-ведомостях. Исходные данные для обработки: горизонтальные углы, длины сторон, дирекционный угол примычной стороны и координаты точек государственной геодезической сети, к которым привязывают теодолитный ход.

Последовательность обработки и записи результатов приведена в табл. 10.2.

1. Из журнала в ведомость выписывают средние значения измеренных углов.

2. Подсчитывают сумму измеренных углов (графа 2) и теоретическую сумму углов.

Для замкнутого теодолитного хода сумму углов подсчитывают как сумму углов многоугольника: $\sum \beta_T = 180^\circ (n - 2)$, где n — число углов. Подсчитывают невязку $f_{\text{впр}}$ в сумме углов, равную разности суммы измеренных практически и теоретических углов: $f_{\text{впр}} = \sum \beta_{\text{пр}} - \sum \beta_T$.

Для разомкнутого теодолитного хода, т.е. хода, привязанного к пунктам государственной геодезической сети с двух сторон, невязку вычисляют по формуле

$$f_{\text{впр}} = \alpha_{\text{к.л}} - \alpha_{\text{н.л}} \pm \sum \beta_{\text{изм}},$$

где $\alpha_{\text{к.л}}$, $\alpha_{\text{н.л}}$ — дирекционные углы сторон, к которым привязан теодолитный ход; $\sum \beta_{\text{изм}}$ — сумма измеренных углов на вершинах теодолитного хода.

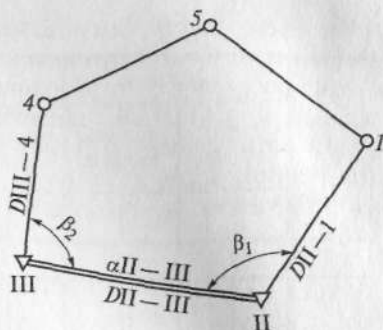


Рис. 10.1. Схема привязки теодолитного хода к твердым пунктам II и III

№ верши- ны поли- гонов	Углы				Азимут (дирек- ционный угол)		Румб			Длина линии (гори- зонталь- ное проло- жение)	вычис-	
	измерен- ные		исправ- ленные				наз- ва- ние	°	'			
	°	'	°	'	°	'					±	Δx
1	2		3		4		5			6	7	
II		+3			260	52,0						
III	76	06,5	76	06,8								-4
		+3			4	45,2	СВ	4	45,2	146,40	+	145,90
4	101	58,5	101	58,8								-3
		+3			82	46,4	СВ	82	46,4	95,96	+	12,08
5	163	52,5	163	52,8								-2
		+3			98	53,6	ЮВ	81	06,4	88,68	-	13,72
1	91	43,5	91	43,8								-3
		+3			187	09,8	ЮЗ	7	09,8	115,90	-	115,04
II	106	17,5	106	17,8								
III					260	52,0						00
$\sum \beta_{np} =$	539	585	540	00,0								

$$\sum \beta_T = 180^\circ(n - 2) = 540^\circ 00,0'$$

Длина хода $\sum D$ 439,94 + 157,98

Угловая невязка: - 128,76

$$f_{\beta_{np}} = \sum \beta_{np} - \sum \beta_T = \sum \Delta x_{np} + 29,22$$

$$= 539^\circ 58,5' - 540^\circ 00,0' = \sum \Delta x_T + 29,10$$

$$= -0^\circ 01,5'$$

Допустимость невязки:

$$f_{\beta_{доп}} = 2t\sqrt{n} = 2 \cdot 0,5\sqrt{5} = 0^\circ 02,2'$$

Невязки приращений $f_x = +0,12$ см

Абсолютная невязка хода $f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0,13$ см

(n — число углов) Допустимость относительной невязки $\frac{f_D}{\sum D} = \frac{1}{\sum D} = \frac{1}{3400} < \frac{1}{2000}$

Таблица 10.2

Приращения						±	x	±	y	№ верши- ны поли- гонов	Приме- чание
ленные		исправленные									
±	Δy	±	Δx	±	Δy						
8	9	10	11	12	13	14					
	+1					+	29,90	-	190,10	II	
+	12,12	+	145,86	+	12,13					III	
	+1					+	175,76	-	173,97	4	
+	95,19	+	12,05	+	95,20						
	+1					+	187,81	-	82,77	5	
+	87,61	-	13,74	+	87,62					1	
	+1					+	174,07	+	4,85		
-	14,44	-	115,07	-	14,43						
	+1					+	59,00	-	9,98	II	

$$\begin{aligned}
 &+ 194,92 \\
 &- 14,44 \\
 \sum \Delta y_{np} &+ 180,48 \\
 \sum \Delta y_{\tau} &180,52
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum \Delta x_{\tau} &= x_k - x_H \\
 \sum \Delta x_{\tau} &= 59,00 - 29,90 \\
 \sum \Delta x_{\tau} &= 29,10 \\
 \sum \Delta y_{\tau} &= y_k - y_H \\
 \sum \Delta y_{\tau} &= -9,58 - (-190,10) \\
 \sum \Delta y_{\tau} &= 180,52
 \end{aligned}$$

$$f_y = -0,04 \text{ см} \quad 0 \quad 0$$

Вычислил
Проверил
«___» _____ 20 г.

3. Определяют допустимость угловой невязки по сравнению с заранее вычисленной: $f_{\beta_{доп}} = 2t\sqrt{n}$, где t — приборная точность измерения углов; n — число измеряемых углов.

4. При $f_{\beta_{факт}} \leq f_{\beta_{доп}}$ невязку распределяют поровну на все углы введением поправок.

Поправки v_i вычисляют по формуле $v_i = f_{\beta_{факт}}/n$ и вводят с обратным знаком в значения измеренных углов, получая исправленные углы (графа 3).

Как правило, поправки вводят с округлением до десятых долей минуты, если углы измерены с точностью до минут. Если измерения более точные, то при округлении удерживают один лишний знак по отношению к измеренным углам. Если невязку нельзя разделить поровну на все углы, то большую поправку вводят в углы, образованные короткими сторонами.

5. По исходному дирекционному углу, который, например, для стороны II...III равен $260^\circ 52,5'$, вычисляют дирекционные углы остальных сторон теодолитного хода. Вычисления ведут по правилу: дирекционный угол последующей стороны равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс 180° и минус горизонтальный угол, лежащий справа по ходу: $\alpha_{II-4} = \alpha_{II-III} + 180^\circ - \beta_{III-4}$. Если при вычислении уменьшаемый угол окажется меньше вычитаемого, то к уменьшаемому углу прибавляют 360° . Если вычисленный дирекционный угол окажется больше 360° , то из него вычитают 360° .

Если измерены левые углы, то дирекционный угол последующей стороны вычисляют по формуле $\alpha_{посл} = \alpha_{пред} + \beta - 180^\circ$.

6. Вычисляют значения румбов r и записывают их в графу 5.

7. Вычисляют горизонтальные проложения длины линий и записывают их значения в графу 6. Горизонтальные проложения линий вычисляют по формуле $d = D - \Delta d_h$, где D — измеренная длина стороны; Δd_h — поправка к измеренной длине за наклон к горизонту.

8. В графе 6 подсчитывают длину теодолитного хода $\sum D$.

9. Используя калькулятор или специальные таблицы приращений координат, вычисляют Δx и Δy по следующим формулам: $\Delta x = D \cos r$; $\Delta y = D \sin r$.

Вычисление приращений координат можно вести с помощью таблиц натуральных значений тригонометрических функций и таблиц логарифмов.

10. Подсчитывают алгебраическую сумму положительных и отрицательных значений приращений координат $\sum \Delta x_{пр}$ и $\sum \Delta y_{пр}$.

11. Из каталогов координат в графы 11 и 12 выписывают координаты x и y исходных пунктов II и III и подсчитывают теоретические суммы приращений координат: $\sum \Delta x_T = x_k - x_n = x_{II} - x_{III}$; $\sum \Delta y_T = y_k - y_n = y_{II} - y_{III}$.

12. С учетом знаков находят абсолютные невязки f_x и f_y хода по осям x и y : $f_x = \sum \Delta x_{\text{пр}} - \sum \Delta x_{\text{т}}$; $f_y = \sum \Delta y_{\text{пр}} - \sum \Delta y_{\text{т}}$.

13. Определяют абсолютную невязку хода $f_D = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ и записывают в ведомость с погрешностью до сотых долей метра.

14. Вычисляют относительную линейную невязку $f_D / \sum D$, где $\sum D$ — сумма длин сторон хода, выражаемая простой дробью с единицей в числителе. Для ее нахождения сумму длин сторон хода делят на абсолютную линейную невязку.

15. Если относительная невязка меньше $1/2000$, то невязки f_x и f_y распределяют, вводя поправки в вычисленные значения приращений координат. Поправки вычисляют по следующим формулам: $\Delta x_i = f_x D_i / \sum D$; $\Delta y_i = f_y D_i / \sum D$, где Δx_i , Δy_i — поправки в вычисленные значения приращений координат, вводимые с обратным невязкам знаком.

Исправленные значения приращений записывают в графах 9 и 10. Алгебраическая сумма координат по каждой оси должна быть равна $\sum \Delta x_{\text{т}}$ и $\sum \Delta y_{\text{т}}$.

16. Координаты вершин теодолитного хода получают последовательным алгебраическим сложением координат предыдущей точки хода с соответственно исправленными приращениями:

$$\begin{array}{ll} x_4 = x_{\text{III}} + \Delta x_{\text{III-4}}, & y_4 = y_{\text{III}} + \Delta y_{\text{III-4}}, \\ x_5 = x_4 + \Delta x_{4-5}, & y_5 = y_4 + \Delta y_{4-5}, \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ x_{\text{II}} = x_1 + \Delta x_{1-\text{II}}; & y_{\text{II}} = y_1 + \Delta y_{1-\text{II}}. \end{array}$$

Последние выражения x_{II} , y_{II} являются контролем правильности координат.

Вычисления координат точек теодолитного хода могут быть выполнены на компьютере.

В настоящее время во всех геодезических пакетах компьютерных программ есть программа для вычислений координат точек теодолитного хода или системы ходов.

10.3. Высотное съёмочное обоснование

При создании высотного съёмочного обоснования, а также при решении многих задач инженерно-строительной практики широкое применение находит нивелирование IV класса, которое выполняют по способу из середины ходами, опирающимися на пункты нивелирования старших классов или образующими замкнутые полигоны. Расстояние от нивелира до реек не должно превышать 150 м, неравенство плеч (расстояний от нивелира до реек) — более 5 м. Применяют нивелиры с увеличением зритель-

Характеристика линий	Длины ходов, км, при сечении рельефа		
	0,25 м	0,5 м	1 м и более
Между двумя исходными пунктами	2,0	8	16
Между исходным пунктом и узловой точкой	1,5	6	12
Между двумя узловыми точками	1,0	4	8

ной трубы не менее 25^{\times} и ценой деления цилиндрического уровня не более $25''$ на 2 мм или равные им по точности нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования. Рейки применяют двусторонние с круглыми уровнями.

Основным методом создания высотного съемочного обоснования является техническое нивелирование. Системы нивелирных ходов должны опираться не менее чем на два исходных репера нивелирной сети I, II, III или IV классов.

Для производства технического нивелирования используют нивелиры с увеличением зрительной трубы не менее 20^{\times} и ценой деления уровня не более $45''$ на 2 мм. Применяют как двусторонние, так и односторонние рейки.

Длины ходов технического нивелирования устанавливаются в зависимости от высоты сечения съемки (табл. 10.3).

Расстояния от инструмента до реек измеряют по дальномерным нитям или шагами. Длина визирного луча — не более 150 м.

При камеральных работах вначале проверяют полевые вычисления в журналах нивелирования и производят в них пограничный контроль по следующей формуле:

$$(\sum a - \sum b)/2 = \sum h_{\text{выч}}/2 = \sum \sum h_{\text{ср}}$$

При этом все вычисления производят с округлением до 1 мм. После обработки журнала заполняют ведомость превышений и вычислений отметок реперов.

В ведомость из журнала нивелирования выписывают соответствующие данные, в том числе и суммы средних превышений по секциям (между реперами). Затем согласно условию, что сумма превышений в замкнутом ходе должна равняться нулю, а в разомкнутом — разности отметок конечной и начальной точек, вычисляют невязки в превышениях по следующим формулам:

для разомкнутого хода

$$f_h = \sum h - (H_k - H_n);$$

для замкнутого хода

$$f_h = \sum h.$$

Допустимую невязку в ходах или полигонах нивелирования IV класса определяют по следующим формулам, мм:

$$f_{h_{\text{доп}}} = 20\sqrt{(\bar{L})} \text{ или}$$

$$f_{h_{\text{доп}}} = 5\sqrt{n},$$

где L — длина хода, км; n — число станций хода;
для технического нивелирования

$$f_{h_{\text{доп}}} = 50\sqrt{(\bar{L})} \text{ или}$$

$$f_{h_{\text{доп}}} = 10\sqrt{n};$$

для тригонометрического нивелирования, см,

$$f_{h_{\text{доп}}} = \frac{0,04S}{\sqrt{n}},$$

где S — длина хода, м; n — число линий в ходе или полигоне.

Если выполняется условие

$$|f_h| \leq f_{h_{\text{доп}}},$$

то превышения уравнивают. Полученную невязку распределяют с обратным знаком на все измеренные превышения прямо пропорционально числу станций хода. Поправка в любое превышение

$$\delta_{h_i} = -f_h n_i / n,$$

где n_i — число станций в секции.

Исправленное превышение равно алгебраической сумме измеренного и поправки:

$$h_{i_{\text{испр}}} = h_i + \delta_{h_i}.$$

Отметки точек вычисляют по формуле (7.2). Контролем правильности введения поправок и вычисления отметок точек служит получение отметки конечной точки при разомкнутом и исходной — при замкнутом нивелирном ходе.

10.4. Аналитический метод съемки

Горизонтальную съемку выполняют в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500. Съемке подлежат фасады зданий и ситуация проездов, а также внутриквартальная (внутризаводская) застройка и ситуация.

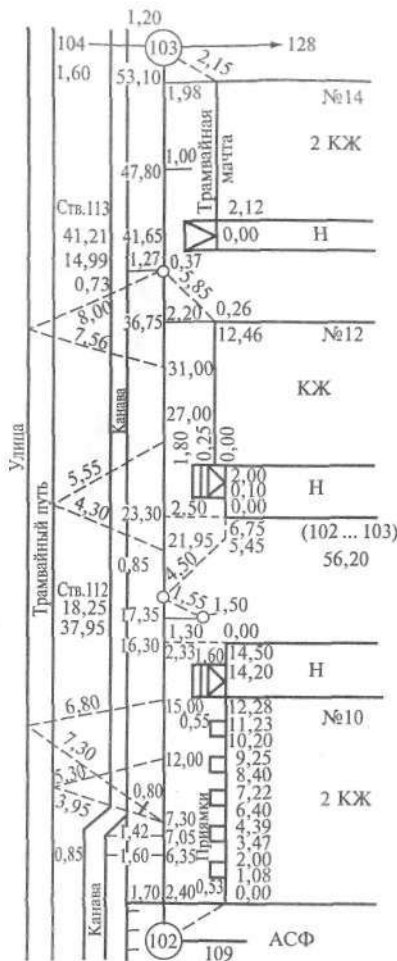


Рис. 10.2. Пример абриса

си располагают перпендикулярно фасадной линии. Нулевой отсчет промеров по фасаду берут от надежно определенной точки, все остальные отсчеты записывают нарастающим итогом от нулевого. Промежуточные отсчеты заключают в скобки.

Съемку выполняют разными способами.

Способ перпендикуляров применяют в основном для съемки проездов, когда съемочный ход проходит от фасадов не далее 8 м при съемке в масштабе 1:2000, не далее 6 м — в масштабе 1:1000 и не далее 4 м при съемке в масштабе 1:500. Если длина перпендикуляра больше указанных размеров, то применяют экер или подкрепляют промер по перпендикуляру засечкой с ленты. При съемке стальную ленту укладывают по точкам, отме-

Съемку производят с линий и точек теодолитных ходов съемочного обоснования.

Результаты съемки отображают на схематическом чертеже — абрисе (рис. 10.2), на котором дается зарисовка всех контуров и предметов местности (например, трамвайный путь, канава, трамвайная мачта, дома № 10, 12, 14 каменные (К), жилые (Ж), нежилые (Н) и соответствующие промеры).

Абрис ведут на плотной бумаге в произвольном масштабе, но придерживаясь условных знаков, принятых для составления плана. Прямые линии вычерчивают по линейке, кривые — от руки. Ситуацию вычерчивают более толстыми линиями, вспомогательные промеры — тонкими. При ведении абриса некоторые детали изображают в укрупненном масштабе. Перпендикуляры и засечки прочерчивают пунктиром или тонкими сплошными линиями, длины их подписывают в середине линий или под ними. Расстояния по линии съемочного хода нарастающим итогом подписывают у подошв перпендикуляров или засечек с противоположной стороны. При обмерах надписи

ченным в створе линии съёмочного теодолитного хода с помощью теодолита.

Способом линейных засечек ленту, так же как и способом перпендикуляров, укладывают в створе съёмочной линии. От двух точек на ленте, соответствующих целым метрам и составляющих основание приблизительно равностороннего треугольника, рулеткой измеряют расстояния до определяемой точки контура. При этом длина засечек не должна превышать длины рулетки. Для контроля делают третий промер.

Способом угловой засечки может быть выполнена съёмка недоступных точек. Засечки наносят не менее чем с трех направлений.

Способ полярных координат (рис. 10.3, *а*) применяют для съёмки точек ситуации, удаленных от съёмочного хода. Наиболее часто этот способ применяют при съёмке внутриквартальной застройки, а также нетвердых контуров (границы угодий, кусты, деревья). Теодолит устанавливают над соответствующей точкой съёмочного хода (например, точка 2). Расстояния от съёмочной точки до точек ситуации (например, до элемента городской коммуникации (ГК), углов зданий) измеряют мерным прибором или дальномером, углы — при одном круге с ориентированием нулевого штриха лимба на смежную точку съёмочного хода. По этому направлению (показано стрелкой) в абрисе делают запись $0^{\circ}0'$. С направления полярного луча может быть произведена съёмка ситуации, как с линии съёмочного обоснования способом перпендикуляров и засечек.

Створный способ (рис. 10.3, *б*), как правило, применяют при съёмке внутриквартальной ситуации, когда съёмка основ-

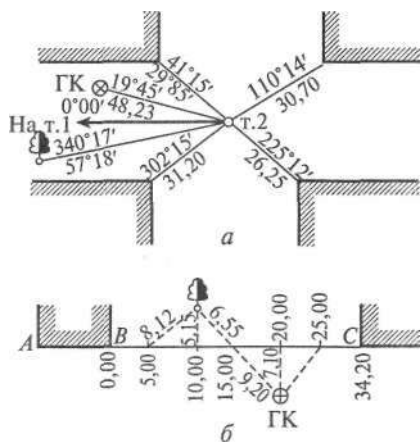


Рис. 10.3. Абрисы съёмок, выполненных способами:

а — полярных координат; *б* — створным

ных контуров проведена. Створ может быть задан: продолжением линии здания; линией, соединяющей два твердых контура. От линии створа (например, расстояние BC) производят съемку ситуации способом перпендикуляров и линейных засечек (съемка де-рева, ГК). Расстояние BC измеряют полностью.

Помимо съемки всех точек ситуации со съемочных линий для уточнения составляемого плана производят обмеры по фасадам, всех строений с архитектурными выступами, уступами, крыльцами, ступеньками, приямками. Обмеры производят также по всем заборам и границам между точками изломов. При наличии зданий со сложной конфигурацией делают дополнительные контрольные промеры между углами. На перекрестках проездов измеряют диагональные расстояния между углами кварталов и ширину проездов. Кроме того, в характерных местах измеряют ширину между противоположными фасадами проезда. Контрольные промеры делают также между снятыми со съемочной линии смотровыми колодцами подземных коммуникаций, мачтами, столбами воздушных линий связи и другими точками ситуации.

Результаты полевых измерений, отображенные в абрисе, используют для составления топографического плана, нанося их на планшет. *Планшет* представляет собой тонкий лист фанеры или алюминия, оклеенный сверху чертежной бумагой. На планшете предварительно разбивают координатную сетку квадратов со стороной 10 см и общим размером 50 x 50 см. По координатам на планшет наносят пункты геодезического и съемочного обоснования. Правильность накладки пунктов контролируют по расстояниям между ними. Расхождения не должны превышать 0,2 мм на плане. У каждого пункта пишут его номер или название, а также наносят отметку пункта с округлением до сантиметров.

Положение контуров ситуации определяют на планшете по промерам, данным в абрисе. При этом с учетом масштаба плана выполняют те же построения, что и при полевых измерениях. Например, если съемка контура велась способами перпендикуляров и линейных засечек, то на планшете с помощью циркуля-измерителя также строят перпендикуляры и линейные засечки; если применялся полярный способ, то на планшете откладывают полярные углы и расстояния.

Как правило, высотную съемку выполняют методом геометрического нивелирования после того, как вся ситуация снята и нанесена на планшет.

Нивелирование начинают с точек высотного съемочного обоснования. На всех характерных точках нивелируемой площади, но не реже чем через 50 м при съемке в масштабе 1:2000 и 20 м — при съемке в масштабе 1:500, определяют высоты съемочных точек (пикетов). Расстояние от нивелира до рейки не должно превы-

шать 150 м. Положение пикетов на плане определяют по ситуации, для чего в поле используют копию плановой съемки.

Улицы (проезды) нивелируют по поперечникам, разбиваемым с помощью рулетки через 20...40 м. Кроме того, поперечники разбивают в местах перегиба рельефа, по осям пересекающихся улиц и в местах их излома. При нивелировании поперечников определяют высоты фасадной линии, бордюрного камня тротуара, оси улицы и других характерных точек рельефа, высоты земли у входов, порогов и полов в зданиях.

10.5. Тахеометрическая съемка

Основные сведения. Тахеометрическая съемка — основной вид съемки для создания планов небольших незастроенных и малозастроенных участков, а также узких полос местности вдоль линий будущих дорог, трубопроводов и других коммуникаций. С появлением тахеометров-автоматов этот способ съемки стал основным и для значительных по площади территорий, особенно когда необходимо получить цифровую модель местности. При тахеометрической съемке ситуацию и рельеф снимают одновременно, а план составляют в камеральных условиях по результатам полевых измерений.

Съемку производят с исходных точек — пунктов любых опорных и съемочных геодезических сетей. Съемочная сеть может быть создана в виде теодолитно-нивелирных ходов, когда отметки точек теодолитного хода определяют геометрическим нивелированием. В большинстве случаев для съемки прокладывают тахеометрические ходы, отличающиеся тем, что все элементы хода (углы, длины линий, превышения) определяют теодолитом или тахеометром-автоматом. При этом одновременно с проложением тахеометрического хода производят съемку. В этом главное отличие тахеометрической съемки от других видов топографических съемок.

Съемка теодолитом. Порядок работ на станции тахеометрического хода при работе теодолитом следующий.

В первую очередь выполняют измерения, относящиеся к проложению съемочного хода. Теодолит устанавливают над точкой и приводят его в рабочее положение. На смежных точках хода устанавливают дальномерные (обычно нивелирные) рейки. Одним полным приемом измеряют горизонтальный угол хода. При двух положениях вертикального круга теодолита измеряют вертикальные углы на смежные точки хода. По дальномеру теодолита определяют расстояния до смежных точек. Измеряют высоту прибора.

Далее приступают к съемке. Для этого в первую очередь при левом круге ориентируют лимб теодолита на предыдущую точку.

С этой целью нуль алидады совмещают с нулем лимба и, закрепив алидаду, вращением лимба наводят зрительную трубу на ориентирную точку. Трубу наводят на съёмочные пикеты только вращением алидады. На съёмочные пикеты устанавливают дальномерные рейки и измеряют на них при одном круге горизонтальные и вертикальные углы, а по дальномеру — расстояния. Если съёмочный пикет является только контурной точкой, то вертикальный угол не измеряют.

Результаты измерений записывают в журнал тахеометрической съёмки.

Положение съёмочных пикетов выбирают таким образом, чтобы по ним можно было изобразить на плане ситуацию и рельеф местности. Их берут на всех характерных точках и линиях рельефа: на вершинах и подошвах холмов, дне и бровках котловин и оврагов, водоразделах и тальвегах, перегибах скатов и седловинах. При съёмке ситуации определяют: границы угодий, гидрографию, дороги, контуры зданий, колодцы, т.е. все то, что подлежит нанесению на план в данном масштабе. Чем крупнее масштаб съёмки, тем больше число съёмочных пикетов и тем меньше расстояние между пикетами и от станции до пикетов. Так, если при съёмке масштаба 1:5000 максимальное расстояние до твердых контуров ситуации ограничено 150 м, а до нетвердых — 200 м, то в масштабе 1:500 — 60 и 80 м соответственно.

В процессе съёмки на каждой станции составляют абрис (рис. 10.4). На нем показывают положение станции хода, направление на предыдущую и последующую точки, расположение всех съёмочных пикетов, рельеф и ситуацию местности. Съёмочные пикеты отмечают теми же номерами 1... 10, что и в полевом журнале, ситуация местности изображается условными знаками, рельеф

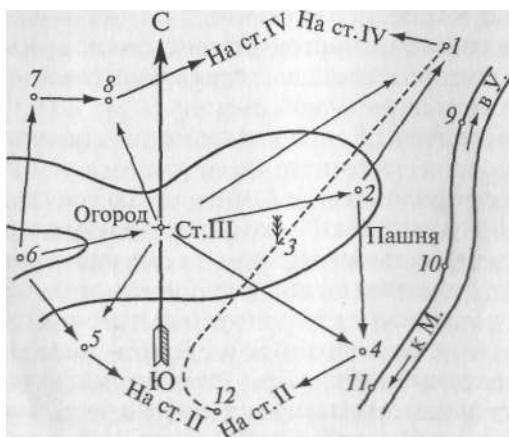


Рис. 10.4. Абрис тахеометрической съёмки

еф — горизонталями. Между точками на абрисе проводят стрелки, указывающие направление понижения местности.

По окончании работы на станции проверяют ориентирование лимба теодолита, для чего снова визируют на предыдущую точку хода. Если повторный отсчет отличается от начального более чем на 5', съемку на данной станции передельывают. Для контроля на каждой станции определяют несколько пикетов, расположенных в полосе съемки со смежных станций.

В простейшем случае составление плана по результатам тахеометрической съемки начинают с построения координатной сетки и нанесения по координатам точек теодолитного хода. Правильность нанесения точек хода контролируют по длинам его сторон: измеряют расстояния между вершинами — выраженные в масштабе, они должны быть равны расстояниям между соответствующими точками на плане или отличаться не более чем на 0,2 мм.

Вслед за этим наносят на план пикетные точки циркулем-измерителем, масштабной линейкой и транспортиром. Данные для нанесения берут из журнала тахеометрической съемки.

Вместо транспортира применяют также линейки-тахеографы. Они представляют собой прозрачный круг с разграфкой от 0 до 359°. По отметкам станций и речных точек на плане проводят горизонталь с принятым сечением рельефа. Следы горизонталей отыскивают графической интерполяцией между точками, которые в абрисе соединены стрелками. Соединение каких-либо двух точек в абрисе говорит о том, что местность между ними имеет один скат, без перегибов.

Все контуры и рельеф, изображаемые на плане, вычерчивают тушью в соответствии с условными знаками. Над северной рамкой делают заглавную надпись, под южной рамкой подписывают числовой масштаб, высоту сечения рельефа, вычерчивают линейный масштаб и график заложений.

Автоматизация тахеометрической съемки. С появлением электронных тахеометров стала возможна частичная или полная автоматизация тахеометрической съемки.

При съемке электронный тахеометр устанавливается на съемочных точках, а на пикетных точках — специальные вешки с отражателями, входящими в комплект тахеометра. При наведении на отражатели в автоматическом режиме определяются горизонтальные и вертикальные углы, а также расстояния до смежных съемочных и пикетных точек. С помощью микроЭВМ тахеометра производят обработку результатов измерений и в итоге получают приращения A_x и A_y координат и превышения h на смежные съемочные и пикетные точки. При этом автоматически учитываются все поправки в измеряемые расстояния и за наклон вертикальной оси прибора в измеряемые углы. Результаты измерений могут быть введены в специальное запоминающее устройство (накопитель

информации) или переписаны на магнитную кассету. В дальнейшем из накопителя или с магнитной кассеты информация поступает в ЭВМ, которая по специальной программе производит окончательную обработку результатов измерений, включающую в себя вычисление координат съемочных и пикетных точек, уравнивание съемочного хода и другие вычисления, необходимые для графического построения топографического плана или цифровой модели местности. Графическое построение топографического плана осуществляется графопостроителем, соединенным с ЭВМ.

10.6. Фототопографическая съемка

Для больших территорий топографические карты и планы всех масштабов, в том числе и крупных, составляют преимущественно аэрофототопографическим методом, сущность которого заключается в следующем. С самолета или другого воздушного носителя, с определенной высоты, зависящей от масштаба съемки, местность фотографируют автоматическим аэрофотоаппаратом (АФА) при почти вертикальной его оптической оси. В результате получают снимок местности, близкий к горизонтальному. Для того чтобы заснять всю необходимую площадь, делают несколько снимков, причем с перекрытием — изображение на последующем снимке перекрывает изображение на предыдущем.

Крупномасштабная аэрофотосъемка выполняется в масштабе, который в 4...6 раз мельче масштаба создаваемого плана, при этом стремятся, чтобы отдельные населенные пункты, городские кварталы, предприятия по возможности располагались в пределах одного аэрофотоснимка. Продольное перекрытие снимков должно составлять около 60 %.

Для съемки применяют аэрофотоаппараты с высокими изобразительными свойствами, минимальными геометрическими искажениями снимаемых объектов, размерами снимков 18x18 и 23 x 23 см.

Лучшее время для выполнения аэрофотосъемки — ранняя весна или поздняя осень, когда нет листьев на деревьях (меньше тени, повышается качество дешифрирования), растительный покров имеет небольшую высоту или отсутствует (увеличивается точность изображения рельефа). На застроенной территории аэрофотосъемка может быть выполнена при сплошной облачности, когда тени меньше закрывают сооружения. Иногда производят две аэрофотосъемки местности: первую — крупного масштаба с небольшой высоты (300...400 м) в период, когда влияние растительного покрова на точность высотных измерений незначительно и может быть обеспечено изображение рельефа с сечением через 0,5 м, и вторую более мелкого масштаба для составления фотопланов.

До производства аэрофотосъемки выполняют *маркирование* пунктов геодезической основы, возможных опознавательных знаков, колодцев и камер подземных коммуникаций, а также других точек сооружений, координаты которых необходимо определить. Маркировочные знаки делают из недорогих, контрастных по отношению к местности материалов и придают им форму квадрата, круга, креста с размерами не менее 0,2 мм на аэрофотоснимке.

Плановые опознавательные знаки обычно располагают по поперечникам (в зоне поперечных перекрытий) через 7...8 базисов. Высотные опознавательные знаки при сечении рельефа через 1 м проектируют через 3... 4 базиса. При высоте сечения рельефа 0,5 м производят сплошную высотную привязку, обеспечивая каждую стереопару шестью опознавательными знаками. Для привязки опознавательных знаков применяют геодезические методы, рекомендуемые для определения координат и высот опознавательных знаков (аналитические засечки, светодальномерная полигонометрия, триангуляционные и трилатерационные построения, теодолитные ходы; геометрическое и тригонометрическое нивелирование; спутниковые определения).

Для уточнения некоторых характеристик ситуации и рельефа, например названий населенных пунктов и рек, этажности и материалов зданий, вида и средних размеров лесных насаждений, производят полевое обследование — дешифрирование. На застроенных территориях корректируют изображения оснований высоких сооружений, а также координируют углы капитальных зданий и сооружений, центры колодцев, стрелочных переводов и др., измеряют габаритные размеры строений. При съемке водоемов определяют высоты уровня воды и глубины по поперечникам. Производится досъемка подземных коммуникаций и других неизобразившихся на снимках объектов.

Топографический план по снимкам создают в основном с помощью цифровых фотограмметрических систем, позволяющих выполнять все процессы преобразования снимков, а также получать цифровые модели местности.

Для составления планов площадок и трасс в горной местности, а также при исполнительных съемках транспортных узлов, карьеров, надземных сооружений и других объектов применяют метод наземной стереофотограмметрии. В этом методе съемку производят фототеодолитом или специальными цифровыми камерами с базисов.

Базисы выбирают на возвышенных местах, чтобы с них можно было заснять всю территорию без закрытых пространств, разрывов, излишних перекрытий и получить на плане изображение наиболее удаленных предметов и контуров местности с требуемой точностью. По возможности базисы ориентируют параллельно общему направлению снимаемого участка, чтобы хорошо просматривались

элементы рельефа и ситуации. Как правило, на каждом базисе предусматривают съемку с двух станций при нормальных и равноотклоненных на угол скоса осях. Смежные стереопары снимают с перекрытием 20...30%.

Для составления по стереопаре топографического плана необходимо знать длину базиса фотографирования и координаты (в плане и по высоте) нескольких опознавательных знаков на местности. Стереопары обрабатывают для получения топографического плана так же, как и аэрофотоснимки — с помощью цифровых фотограмметрических систем.

10.7. Специальные методы съемки

К специальным методам крупномасштабной топографической съемки можно отнести съемку с помощью трехмерных лазерных сканеров наземного и воздушного базирования, а также спутниковых приемников.

Типовая лазерная сканирующая система состоит из портативного работающего в автоматическом режиме импульсного лазера и полевого персонального компьютера со специализированным программным обеспечением. На экран компьютера выводится изображение, позволяющее оператору контролировать поле зрения сканера. Сканирование прибор осуществляет автоматически. Лазерные сканеры обладают способностью производить съемку с точностью от 5 мм до 5 см на расстоянии от нескольких метров до 2500 м за время от нескольких секунд до десятков минут. Угол «поля зрения» может составлять 360° по горизонтали и до 80° — по вертикали.

Камеральная обработка лазерного сканирования осуществляется с помощью программного обеспечения, позволяющего строить трехмерную модель снимаемой местности, визуализировать эту модель, приводить ее к нужной системе координат, проводить измерения между любыми точками или моделируемыми поверхностями.

Сущность топографической съемки спутниковыми приемниками состоит в том, что с их помощью в реальном времени с погрешностью 2... 3 см определяют плановые координаты и высоты точек местности, описывающих ее топографию. Для этого используют, как минимум, два приемника, один из которых, базовый, устанавливается на точке с известными координатами, а другой, подвижный, — на определяемой точке.

Базовая станция снабжена передающим радиомодемом с радиоантенной, транслирующей необходимую информацию на подвижный приемник.

Комплект подвижной станции включает в себя: спутниковый приемник, закрепленный на специальной вехе с круглым уров-

нем; приемный радиомодем и многофункциональный контроллер, предназначенный для управления комплектом, записи и сохранения результатов измерений.

Обработку результатов измерений, как правило, выполняют непосредственно в поле. Собранные данные переносят из контроллера в портативный полевой компьютер, снабженный специальным программным обеспечением для рисовки топографического плана. При полевой рисовке исполнитель может определить недостаточно подробно снятые участки, выявить ошибки и исправить их.

На тех участках съемки, где применение спутниковых приемников затруднено или нецелесообразно, используют электронный тахеометр.

Контрольные вопросы

1. С какой целью производят топографические съемки?
2. Какие построения служат в качестве съемочного обоснования?
3. Какими способами производят горизонтальную съемку застроенных территорий?
4. Каковы особенности аналитической съемки?
5. Каковы особенности тахеометрической съемки?
6. В чем особенности автоматизированной тахеометрической съемки?
7. Какие существуют виды фототопографической съемки?
8. Какие методы съемки понимают под специальными?

ЧАСТЬ 2

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ГЛАВА 11

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

11.1. Виды и задачи инженерных изысканий

Проектирование и строительство инженерного сооружения ведутся на основе комплекса специальных работ, называемых *инженерными изысканиями*. Основные задачи инженерных изысканий — изучение природных и экономических условий района будущего строительства, составление прогнозов взаимодействия объектов строительства с окружающей средой, обоснование их инженерной защиты и безопасных условий жизни населения.

Каждая стадия изысканий должна обеспечивать материалами соответствующую стадию проектирования. В связи с этим различают следующие изыскания:

предварительные на стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) или технико-экономического расчета (ТЭР);

на стадии проекта;

на стадии рабочей документации.

Изыскания делятся на экономические и технические. Экономические изыскания проводят для определения экономической целесообразности строительства сооружения в конкретном месте с учетом обеспеченности его строительными материалами, сырьем, транспортом, водой, энергией, рабочей силой и т.п. Экономические изыскания обычно предшествуют техническим. Технические изыскания ведут для того, чтобы дать исчерпывающие сведения о природных условиях участка для наилучшего учета и использования их при проектировании и строительстве.

Для оценки участка предполагаемого строительства комплексно проводят следующие изыскания: основные — инженерно-геодезические; инженерно-геологические и гидрогеологические; гидрометеорологические, климатологические, метеорологические; почвенно-геоботанические и др. Основные изыскания выполняют в первую очередь на всех типах сооружений.

Инженерно-геодезические изыскания позволяют получить информацию о рельефе и ситуации местности и служат основой не только для проектирования, но и для проведения

других видов изысканий и обследований. В процессе инженерно-геодезических изысканий выполняют работы по созданию геодезического обоснования и топографической съемке в разных масштабах на участке строительства, производят трассирование линейных сооружений, геодезическую привязку геологических выработок, гидрологических створов, точек геофизической разведки и многие другие работы.

Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания дают возможность получить представление о геологическом строении местности, физико-геологических явлениях, прочности грунтов, составе и характере подземных вод и т.п. Эти сведения позволяют сделать правильную оценку условий строительства сооружения.

К инженерным изысканиям для строительства также относятся: геотехнический контроль, оценка опасности и риска от природных и техногенных процессов; обоснование мероприятий по инженерной защите территорий; научные исследования в процессе инженерных изысканий, авторский надзор за использованием изыскательской продукции; кадастровые и другие сопутствующие работы и исследования в процессе строительства, эксплуатации и ликвидации объектов.

Содержание и объемы инженерных изысканий определяются типом, видом и размерами проектируемого сооружения, местными условиями и степенью их изученности, а также стадией проектирования. Различные виды сооружений, технология строительства которых имеет много общего и изыскания для которых проводятся по схожей схеме, могут быть объединены в группы: площадные и линейные сооружения. К площадным сооружениям относятся: населенные пункты, промышленные предприятия, аэропорты и т.п., к линейным — дороги, линии электропередачи, трубопроводы и т.п.

Порядок, методика и точность инженерных изысканий устанавливаются в основном в строительных нормах, например СНиП 11-02-96 и СП 11-04-97.

Гидрометеорологические изыскания дают сведения о водном режиме рек и водоемов, основные характеристики климата района. В процессе гидрометеорологических изысканий определяют характер изменения уровней, уклоны, изучают направление и скорости течений, вычисляют расходы воды, производят промеры глубин, ведут учет наносов и т.д.

11.2. Изыскания площадных сооружений

Состав и объем инженерных изысканий зависят от размеров площадного сооружения. Состав изысканий на небольших пло-

площадках ограничивается основными изысканиями: инженерно-геодезическими, инженерно-геологическими; гидрометеорологическими. Для больших площадных сооружений выполняют все инженерные изыскания: инженерно-геологические, инженерно-геодезические, гидрометеорологические, почвенно-геоботанические и санитарно-гигиенические; для земельно-хозяйственного устройства, озеленения и вертикальной планировки территории; по инженерным сетям, транспорту, строительным материалам и т.п.

Каждая площадка, которая предназначается для строительства сооружения, должна отвечать определенным техническим требованиям, удовлетворяющим условиям нормальной эксплуатации и минимальных затрат на подготовительные работы и освоение. Поэтому одна из важнейших задач изысканий — выбор в данном районе площадки с заданными техническими требованиями.

Площадку выбирают по возможности в малопересеченной, малопригодной для сельского хозяйства местности с благоприятными для строительства геологическими и гидрогеологическими условиями. Размеры площадки и ее конфигурация должны соответствовать размерам проектируемого сооружения и расположению коммуникаций с учетом перспективы его расширения в будущем. Площадка должна располагаться таким образом, чтобы ее можно было соединить с ближайшими железнодорожными и автодорожными магистралями без большого объема земляных работ и возведения больших мостовых переходов, которые не только удорожают строительство, но и удлиняют сроки освоения площадки.

Рельеф площадки должен быть спокойным, с уклоном в одну сторону или от середины к краям, обеспечивающим быстрый сток поверхностных вод. Желательно, чтобы общее направление горизонталей было вдоль длинной стороны площадки, чтобы вертикальная планировка не требовала большого объема земляных работ, т.е. минимальные уклоны местности должны составлять 0,003...0,005, максимальные - 0,06...0,08.

Грунты площадки должны выдерживать такое давление, чтобы при строительстве зданий и сооружений можно было обойтись без устройства дорогостоящих фундаментов. Уровень грунтовых вод должен быть ниже отметок дна подвалов и галерей. Участок не должен затопляться высокими паводковыми водами.

Промышленные предприятия, города и населенные пункты нуждаются в больших количествах воды, поэтому при выборе места для таких сооружений важно предусмотреть наличие водных источников. Кроме того, эти объекты в периоды строительства и эксплуатации должны обеспечиваться хорошими подъездными дорогами, снабжением газом, электроэнергией, топливом, водой в бассейнах для сброса технических вод.

Вблизи отдельно расположенных промышленных объектов, аэропортов, гидроузлов должен быть участок свободной террито-

рии для строительства жилого поселка. Наличие вблизи площадки карьеров строительных материалов значительно удешевляет и ускоряет строительство.

Выбор площадки начинают в камеральных условиях. Путем сравнения вариантов выбирают наиболее выгодную площадку для полевого обследования. На местности в первую очередь уточняют инженерно-геологические и гидрогеологические условия площадки; обследуют возможные подходы подъездных железных и шоссейных дорог, намечаемые выпуски канализационных коллекторов; определяют примерные расходы на подготовительные работы по освоению площадки; согласовывают возможность отвода территории, присоединения трасс и ряд других организационных вопросов.

Для разработки проекта намеченную площадку и часть прилегающей к ней территории снимают в масштабе 1:2000 с сечением рельефа через 1 м. Дополнительно по имеющимся планам и картам, обновленным и дополненным на местности, составляют ситуационный план района строительства в масштабе 1:10000... 1:25 000. На этот план наносят: контуры площадок промышленного предприятия, жилого поселка, водозаборных и очистных сооружений, существующие автомобильные и железные дороги, реки, населенные пункты, лесные массивы, карьеры и места нахождения строительных материалов, подсобные предприятия, а также намечают трассы подъездных дорог, водоводов, выпусков канализации и др.

Одновременно с топографической съемкой производят крупномасштабную инженерно-геологическую съемку площадки. Для составления рабочих чертежей площадку для основных сооружений снимают в масштабе 1:1000... 1:500 с сечением рельефа через 0,5 м и проводят на ней детальную инженерно-геологическую и гидрогеологическую разведку. Съемку площадки производят топографическими или фотограмметрическими методами. На стадии изысканий под проект наиболее целесообразно проводить аэрофотосъемку в масштабе 1:7000... 1:10 000, с тем чтобы можно было использовать ее для составления подробного плана площадки в масштабе 1:2000 и карты района строительства в масштабе 1:10 000.

При изысканиях площадки на стадии рабочей документации основные сооружения и участок жилого поселка снимают в масштабе 1:1000... 1:500.

В таких же масштабах снимают застроенные территории, с густой сетью подземных коммуникаций. Съемка также может быть выполнена как фотограмметрическими, так и геодезическими методами. При слабо выраженном рельефе часто производят нивелирование поверхности по квадратам 20 x 20 или 30 x 30 м. Независимо от метода съемки на площадке должен быть изображен рельеф, закоординированы углы капитальных зданий и сооружений

и узловые точки коммуникаций, занижены полы зданий и складских площадок, бровки дорог, колодцы и т.д.

11.3. Изыскания для линейных сооружений

В ходе изысканий для линейных сооружений в первую очередь решают вопрос о плановом и высотном положении трассы.

Трасса — это линия, определяющая ось проектируемого линейного сооружения, обозначенная на местности, топографическом плане, или нанесенная на карте, или обозначенная системой точек в цифровой модели местности. К основным элементам трассы относятся: план — ее проекция на горизонтальную плоскость и продольный профиль — вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения. В плане трасса должна быть по возможности прямолинейной, так как всякое отклонение от прямолинейности приводит к ее удлинению и увеличению стоимости строительства, а также затрат на эксплуатацию. В продольном профиле трассы должен обеспечиваться определенный допустимый уклон.

В условиях реальной местности одновременно трудно соблюсти требования к плану и профилю, так как приходится искривлять трассу для обхода препятствий, участков с большими уклонами рельефа и неблагоприятных в геологическом и гидрогеологическом отношении. Таким образом, план трассы (рис. 11.1) состоит из прямых участков разного направления, которые сопрягаются между собой кривыми с различными радиусами. Продольный профиль трассы состоит из линий различных уклонов, соединяющихся между собой вертикальными кривыми. На некоторых трассах (электропередачи, канализации) горизонтальные и вертикальные кривые не проектируют, и трасса представляет собой пространственную ломаную линию.

В зависимости от назначения трасса должна удовлетворять определенным требованиям, которые устанавливаются техническими условиями на ее проектирование. Так, основные требования для дорожных трасс — плавность и безопасность движения с расчетными скоростями. Поэтому на дорожных трассах устанавливают минимально допустимые уклоны и максимально возможные радиусы кривых. На самотечных каналах и трубопроводах необхо-

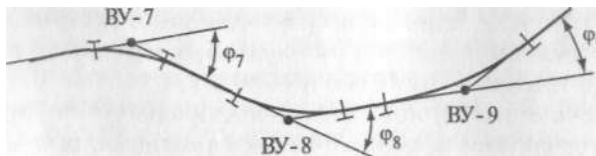


Рис. 11.1. Элементы плана трассы

димо выдержать проектные уклоны при допустимых скоростях течения воды.

Степень искривления трассы определяется значениями углов поворота. *Углом поворота трассы* называют угол с вершиной ϕ (ВУ- ϕ), образованный продолжением направления предыдущей стороны и направлением последующей стороны. На трассах магистральных железных дорог, трубопроводов и линий электропередачи углы поворота не должны превышать 15... 20°. Это приводит к незначительному удлинению линии будущей дороги или трубопровода.

Прямолинейные участки трасс железных и автомобильных дорог, трубопроводов сопрягаются в основном круговыми кривыми, представляющими собой дугу окружности определенного радиуса. На железных дорогах минимально допустимые радиусы 400...200 м, на автомобильных в зависимости от категории дороги — 600...60 м, на каналах — не меньше пятикратной ширины канала (ирригационные каналы) или шестикратной длины судна (судоходные каналы), на трассах трубопроводов — $\frac{d}{100}$, где d — диаметр трубопровода.

На железных и автомобильных дорогах при радиусах кривых, соответственно меньших 3000 и 1500 м, для более плавного и безопасного движения устраивают сложные кривые — круговые с переходными.

Важнейший элемент профиля трассы — ее продольный уклон. Чтобы соблюсти определенный допустимый уклон, особенно в сложной пересеченной местности, приходится не только отступать от прямолинейного следования трассы, но и увеличивать длину трассы (развивать трассу). Необходимость развития трассы чаще всего возникает в горной и предгорной местности.

На трассах магистральных железных дорог I и II категорий уклон не должен превышать 0,012, на дорогах местного значения — 0,020; на горных дорогах, где применяется транспорт с усиленной тягой, уклоны могут достигать 0,030; на автомобильных дорогах уклоны колеблются от 0,04 до 0,090. На трассах ирригационных и водопроводных каналов уклоны, которые назначают из расчета получения так называемых неразмываемых и незаиливаемых скоростей течения воды по каналу, составляют 0,001... 0,002. На трассах напорных трубопроводов уклоны могут быть весьма значительными, а для ЛЭП они практически не имеют значения.

Радиусы вертикальных кривых в зависимости от вида сооружения и направления кривой (выпуклая, вогнутая) колеблются в широких пределах — от 10000 до 200 м.

Комплекс инженерно-изыскательских работ по проложению трассы, отвечающей всем требованиям технических условий и требующей наименьших затрат на ее возведение и эксплуатацию, называется *трассированием*.

Оптимальную трассу находят путем технико-экономического сравнения различных вариантов. Если трассу определяют по топографическим планам или аэрофотоматериалам, то трассирование называют *камеральным*, если ее выбирают непосредственно на местности, то — *полевым*.

При трассировании различают плановые и высотные (профильные) параметры. К плановым параметрам относятся углы поворота, радиусы горизонтальных кривых, длины переходных кривых, прямые вставки, к высотным — продольные уклоны, длины элементов в профиле («шаг проектирования»), радиусы вертикальных кривых. Для одних сооружений (самотечные трубопроводы, каналы) наиболее важно выдержать продольные уклоны, для других (напорные трубопроводы, линии электропередачи и связи) уклоны местности мало влияют на проект трассы и ее стремятся выбрать наиболее краткой, расположенной в благоприятных условиях. При трассировании дорожных трасс необходимо соблюдать как плановые, так и профильные параметры. Независимо от характера линейных сооружений и параметров трассирования все трассы должны вписываться в ландшафт местности, не нарушая природной эстетики. По возможности трассу располагают на землях, которые имеют наименьшую ценность для народного хозяйства.

Технология изысканий линейных объектов определяется стадиями изысканий.

На стадии ТЭО проводят рекогносцировочные работы. Их выполняют главным образом камеральным путем, изучая имеющиеся на район изысканий топографические карты, материалы инженерно-геологических съемок и данные изысканий прошлых лет. По этим данным намечают на карте несколько вариантов трасс и по каждому из них составляют продольный профиль. Путем технико-экономического сравнения выбирают наиболее выгодные варианты для дальнейшего обследования и разрабатывают техническое задание на проектирование.

На стадии изысканий под проект по заданному в техническом задании направлению трассы выполняют детальное камеральное и полевое трассирование, в процессе которого выбирают наилучшую трассу и собирают материалы для разработки технического проекта этого варианта трассы и сооружений на ней.

Для составления рабочего проекта трассы производят предпостроечные полевые изыскания. В процессе полевых изысканий на основании проекта трассы и рекогносцировки местности определяют в натуре положение углов поворота и производят трассировочные работы: вешение линий, измерение углов и сторон хода по трассе, разбивку пикетажа и поперечных профилей, нивелирование, закрепление трассы, а также, при необходимости, дополнительную крупномасштабную съемку переходов, пересечений мест со сложным рельефом.

11.4. Современные методы инженерных изысканий

Прогресс в области измерительной техники, совершенствование методик измерений и результатов их обработки, повсеместное использование ЭВМ для вычислительных и графических операций не могли не сказаться на технологии всех видов инженерных изысканий. Так, например, в инженерной геологии наряду с традиционными способами исследования грунтов (шурфованием или разведочным бурением) используются динамическое и статистическое зондирование, геофизические способы электро- и сейсморазведки.

В гидрометеорологических изысканиях широко используются аэрокосмические методы съемки с различного рода носителей, включая искусственные спутники и космические станции. При русловых съемках и съемках морских акваторий используются радиотехнические средства измерений и различные типы эхолотов.

В практику инженерно-геодезических изысканий успешно внедряются светодальномеры, электронные теодолиты, электронные тахеометры, спутниковые приемники. Обработка результатов измерений в основном ведется на ЭВМ. Графическое изображение местности на основе топографических съемок меняется на математическое представление в виде цифровой модели местности и рельефа. Разработаны программы для автоматизированной системы проектирования (САПР) трасс линейных сооружений, генеральных планов на основе ЦММ и т.п. На основе ЦММ также вычисляются объемы водохранилищ и земляных масс. Цифровая модель местности не исключает получение с помощью разного рода графопостроителей и графического изображения.

Наряду с широким использованием наземных и аэрометодов «8и изучении поверхности и природных ресурсов Земли для изысканий применяется информация, полученная из космоса. С помощью материалов космических съемок могут решаться многие практические задачи. Спектрональные снимки высокого разрешения могут использоваться для проведения мероприятий по защите природного ландшафта и вод от загрязнения. Космические съемки используются при проектировании объектов, занимающих большие площади, а также для нужд картографии, расширяя и углубляя информацию о таких протяженных объектах, как магистральные дороги, трубопроводы, каналы.

Контрольные вопросы

1. Какие бывают виды инженерных изысканий?
2. Каков состав инженерно-геодезических изысканий?
3. Каков состав геодезических работ при изыскании площадных сооружений?

4. Что такое трасса линейного сооружения?
5. Какие работы выполняют при изысканиях трасс линейных сооружений?
6. Что нового в сегодняшней практике инженерно-геодезических изысканий?

ГЛАВА 12 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ОПОРНЫЕ СЕТИ

12.1. Назначение, виды и особенности построения опорных сетей

Для обеспечения практически всех видов инженерно-геодезических работ создаются опорные сети, пункты которых хранят на территории работ плановые и высотные координаты. Эти сети служат основой: для производства топографических съемок при изысканиях; выполнения различных работ на территории городов; выполнения разбивочных работ при строительстве зданий и сооружений; наблюдений за осадками и деформациями оснований сооружений и самих сооружений; при составлении исполнительной документации. Такое широкое использование опорных геодезических сетей определяет различные схемы и методы их построения.

Инженерно-геодезические плановые и высотные опорные сети представляют собой систему геометрических фигур, вершины которых закреплены на местности специальными знаками. Плановые и высотные опорные сети создают в соответствии с заранее разработанным проектом производства геодезических работ (ППГР). При составлении этого проекта собирают сведения, относящиеся к опорным геодезическим сетям во всех организациях, производящих работы на территории города или поселка в районе строительства; в территориальных инспекциях Федеральной службы геодезии и картографии России, управлениях (отделах) по делам строительства и архитектуры; краевых, областных и городских администрациях; изыскательских и проектно-изыскательских организациях. По собранным материалам составляют схему расположения пунктов ранее выполненных опорных геодезических сетей всех классов и разрядов в пределах территории предстоящих работ. В инженерно-геодезической практике достаточно часто встречаются случаи, когда сеть создается заново, даже при наличии близкорасположенных пунктов ранее созданных сетей. Это делается для обеспечения повышенной точности определения взаимного положения пунктов.

Инженерно-геодезические сети обладают следующими особенностями:

сети часто создаются в условной системе координат с привязкой к государственной системе координат;

форма сети определяется обслуживаемой территорией или формой объектов, группы объектов;

имеют ограниченные размеры, часто с незначительным числом фигур или полигонов;

длины сторон, как правило, короткие;

условия наблюдений, как правило, неблагоприятные;

к пунктам сети предъявляются повышенные требования по стабильности положения в сложных условиях их эксплуатации.

Необходимо отметить особенности, связанные с целевым назначением сети. Такие особенности свойственны сетям, создаваемым для гидротехнического строительства, строительства мостов, тоннелей различного назначения, прецизионных сооружений. Например, при строительстве плотин значительной высоты в узких речных долинах возникает необходимость в построении многоярусной сети, позволяющей осуществлять поярусную разбивку строящегося объекта. При построении сети для строительства мостового перехода затруднительно проводить измерения вдоль берегов. При строительстве тоннелей и некоторых видов специальных сооружений повышенные требования предъявляются к точности построенной лишь по одному определенному направлению.

Приведенные требования определяют значительное разнообразие опорных сетей как по конфигурации, так и по точности их создания.

Выбор вида построения зависит от многих причин: типа объекта, его формы и занимаемой площади, назначения сети, физико-географических условий, требуемой точности, наличия измерительных средств у исполнителя работ. Например, триангуляцию применяют в качестве исходного построения на значительных по площади или протяженности объектах в открытой пересеченной местности; полигонометрию — на закрытой местности или застроенной территории (полигонометрия — наиболее маневренный вид построения); линейно-угловые построения — при необходимости создания сетей повышенной точности; трилатерацию — обычно на небольших объектах, где требуется высокая точность; строительные сетки — на промышленных площадках.

В зависимости от площади, занимаемой будущим объектом, и технологии строительства инженерно-геодезические сети могут строиться в несколько последовательных стадий (ступеней). При этом возможно сочетание различных видов построений. Например, для съемочных и разбивочных работ триангуляция или линейно-угловые сети могут служить основой для дальнейшего сгущения полигонометрическими и теодолитными ходами. Развитие

измерительных средств во многом определяет выбор метода построения опорных сетей. Широкое внедрение в производство электронных тахеометров привело к тому, что линейно-угловые сети и полигонометрия используются наиболее часто.

Высотные опорные сети создают, как правило, методом геометрического нивелирования в виде одиночных ходов или систем ходов и полигонов, проложенных между исходными реперами. Использование электронных тахеометров позволяет заменять в отдельных случаях метод геометрического нивелирования методом тригонометрического.

12.2. Триангуляционные сети

Триангуляционные сети в инженерно-геодезических работах используются в качестве основы для топографических съемок и разбивочных работ, а также для наблюдений за деформациями сооружений.

Для съемочных работ триангуляционная сеть позволяет сократить длины развиваемых на ее основе сетей сгущения и способствует уменьшению погрешностей в сетях низших разрядов и съемочных сетях. Выбор класса сети для этой цели определяется в основном площадью съемки. Так, для крупнейших городов применяется триангуляция до 2-го класса включительно. В большинстве случаев исходным обоснованием для съемочных работ служит триангуляция 4-го класса. Триангуляция используется и для построения сетей сгущения 1-го и 2-го разрядов.

Приведем основные характеристики триангуляции для инженерно-геодезических работ широкого назначения (табл. 12.1).

Для разбивочных работ триангуляция может служить непосредственной основой, с пунктов которой производится разбивка сооружений, или опорой для развития сетей низших разрядов, в свою очередь используемых для разбивки. Примером может слу-

Таблица 12.1

Класс (разряд) сети	Длина стороны, км	Средняя квадратическая погрешность измеренного угла, "	Относительная средняя квадратическая погрешность исходной стороны	Относительная средняя квадратическая погрешность слабой стороны
3 кл.	5...8	1,5	1:200 000	1:100000
4 кл.	2...5	2,0	1:2000000	1:70000
1 р.	0,5...5	5,0	1:50000	1:20000
2 р.	0,25...3	10,0	1:20 000	1:10000

Таблица 12.2

Разряд	Длина тоннеля, км	Длина стороны, км	Средняя квадратическая погрешность измеренного угла, "	Относительная средняя квадратическая погрешность исходной стороны	Относительная средняя квадратическая погрешность слабой стороны	Средняя квадратическая погрешность дирекционного угла слабой стороны, "
I	Свыше 8	4... 10	0,7	1:400000	1:200000	1,5
II	5...8	2...7	1,0	1:300000	1:150000	2,0
III	2...5	1,5...5	1,5	1:200000	1:120000	3,0
IV	1...2	1...3	2,0	1:150000	1:70000	4,0

жить триангуляция для строительства гидротехнических сооружений, тоннелей, мостов.

Приведем основные характеристики тоннельной (табл. 12.2) и гидротехнической (табл. 12.3) триангуляции.

Из приведенных таблиц следует, что характеристики специальных триангуляции отличаются от государственных в основном длинами сторон, причем в сторону уменьшения. Это обстоятельство неизбежно приводит к повышению требований к отдельным измерительным операциям, таким как центрирование теодолита и визирных целей при угловых измерениях и т.п.

Особенностью разбивочной триангуляции является необходимость соблюдения точностных требований во взаимном положении смежных пунктов или пунктов, разделенных двумя-тремя сторонами. Это требование обусловлено тем, что с пунктов сети требуется вынести в натуру систему точек, как правило, принадлежащих единому сооружению или единому комплексу сооружений, связанных конструктивно или технологически.

Таблица 12.3

Разряд	Длина стороны, км	Средняя квадратическая погрешность измеренного угла,	Относительная средняя квадратическая погрешность исходной стороны	Относительная средняя квадратическая погрешность слабой стороны
I	Устанавливаются специальными ргучетами			
II	0,5...1,5	1,0	1:400000	1:200000
III	0,3...1,0	1,5	1:300000	1:150000
IV	0,2...0,8	2,0	1:150 000	1:70000

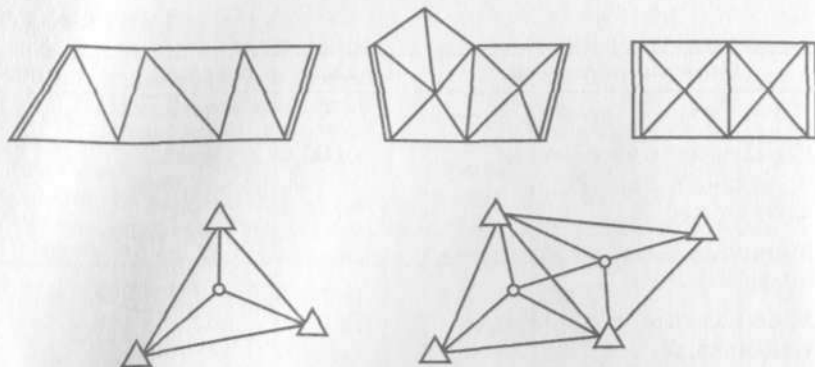


Рис. 12.1. Инженерно-геодезические сети триангуляции

Триангуляционные сети, предназначенные для наблюдений за плановыми смещениями сооружений, чаще всего применяются на крупных гидротехнических объектах. В основном они используются для измерения смещений недоступных точек и контроля устойчивости исходных опорных пунктов других построений. Характерной особенностью триангуляционных сетей для этого вида работ являются высокие требования к точности определения координат пунктов (2...5 мм) при небольших длинах сторон.

При развитии инженерно-геодезических сетей методом триангуляции наиболее типичными построениями являются (рис. 12.1): цепи треугольников (для линейно протяженных объектов), центральные системы (для городских и промышленных территорий), геодезические четырехугольники (для мостовых и гидротехнических сооружений), вставки пунктов в треугольники и небольшие сети из этих фигур. Возможны и комбинированные построения.

В сетях триангуляции треугольники стараются проектировать близкими к равносторонним; в особых случаях острые углы допускают до 20° , а тупые — до 140° . В свободных сетях для контроля масштаба сети необходимо иметь не менее двух непосредственно измеренных базисных сторон.

Уравнивание результатов измерений выполняют строгими способами.

При разработке проектов триангуляционных сетей расчет ожидаемой точности производят, как правило, на ЭВМ, используя различные программы.

12.3. Трилатерационные сети

Метод трилатерации применяют для построения инженерно-геодезических сетей 3-го и 4-го классов, а также сетей сгущения

Таблица 12.4

Основные показатели	4-й класс	1-й разряд	2-й разряд
Длина стороны, км	1...5	0,5...6	0,25...3
Предельная относительная погрешность определения длин сторон	1:50 000	1:20 000	1:10 000
Минимальный угол в треугольнике, °	20	20	20
Минимальный угол в четырехугольнике, °	25	25	25
Число треугольников между исходными пунктами	6	8	10

1-го и 2-го разрядов различного назначения. Приведем наиболее распространенные требования к сетям (табл. 12.4).

Сети трилатерации, создаваемые для решения инженерно-геодезических задач, часто строят в виде свободных сетей, состоящих из отдельных типовых фигур: геодезических четырехугольников, центральных систем или их комбинаций с треугольниками.

Типовой фигурой трилатерации является треугольник с измененными сторонами a , b и c (рис. 12.2).

Углы в треугольнике трилатерации вычисляют по одной из следующих формул:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{bc}}; \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{p(p-a)}{bc}};$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad p = \frac{a+b+c}{2}.$$

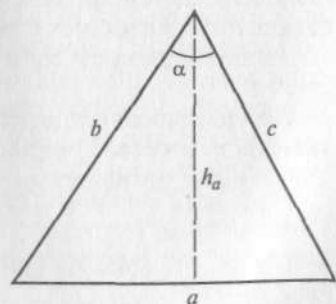
Средняя квадратическая погрешность вычисленного угла может быть определена по формуле

$$m_{\alpha}^2 = \rho^2(Am_a^2 + B^2m_b^2 + C^2m_c^2),$$

где m_a , m_b , m_c — средние квадратические погрешности измерения сторон;

$$A = \frac{1}{h_a}; \quad B = A \sqrt{1 - \left(\frac{h_a}{b}\right)^2};$$

$$C = A \sqrt{1 - \left(\frac{h_a}{c}\right)^2},$$



где h_a — высота треугольника, опущенная из вершины на сторону a . Рис. 12.2. Схема треугольника трилатерации

Одним из недостатков трилатерационных сетей из треугольников является отсутствие полевого контроля качества измерений для каждой фигуры, так как сумма вычисленных углов треугольника всегда равна 180° при любых погрешностях измерений длин сторон, даже при грубых промахах. В связи с этим на практике часто используют сети из геодезических четырехугольников.

В каждом геодезическом четырехугольнике измеряют шесть сторон, причем одна из них (любая) является избыточной и может быть вычислена при использовании результатов измерений других сторон. Это может служить полевым контролем качества измерений длин линий. Кроме того, геодезический четырехугольник является более жесткой фигурой и ряд, составленный из таких фигур, обладает более высокой точностью.

Широкое распространение в практике инженерно-геодезических работ сети трилатерации получили при строительстве высокоэтажных зданий, дымовых труб, градирен, атомных электростанций, а также при монтаже сложного технологического оборудования. В таких сетях высокую точность измерения длин сторон (до десятых долей миллиметра) обеспечивают, используя высокоточные светодальномеры, инварные проволоки, а в некоторых случаях и жезлы специальной конструкции. Сети трилатерации с короткими сторонами принято называть *сетями микротрилатерации*. Иногда сети микротрилатерации являются единственно возможным методом создания геодезического обоснования для производства разбивочных работ.

12.4. Линейно-угловые сети

Широкое внедрение в практику геодезических работ светодальномерной техники привело к распространению линейно-угловых построений. В линейно-угловых сетях измеряются все или часть углов и сторон. По сравнению с триангуляцией и трилатерацией сеть, в которой удачно сочетаются угловые и линейные измерения, в меньшей степени зависит от геометрии фигуры, существенно уменьшается зависимость между продольным и поперечным сдвигами, обеспечивается жесткий контроль угловых и линейных измерений. Линейно-угловая сеть позволяет вычислить координаты пунктов точнее, чем в сетях триангуляции и трилатерации, примерно в 1,5 раза.

При уравнивании линейно-угловых сетей возникает вопрос о соотношении погрешностей угловых и линейных измерений. Это соотношение считается приемлемым при выполнении следующего условия:

$$\frac{m_{\beta}}{\rho} = \frac{m_S}{S}.$$

На практике стремятся это соотношение выдержать в следующих пределах:

$$\frac{1}{3} > \frac{m_b}{\rho} \frac{S}{m_s} < 3,$$

так как при $\frac{m_b}{\rho} \frac{S}{m_s} \leq \frac{1}{3}$ линейные измерения практически не повышают точность элементов сети; при $\frac{m_b}{\rho} \frac{S}{m_s} \geq 3$ влияние угловых измерений на повышение точности элементов сети незначительно.

Оригинальным линейно-угловым построением, применяемым лишь в инженерно-геодезическое практике, является четырехугольник без диагоналей (рис. 12.3), в котором измерены две смежные стороны, например a и b , и все углы. В бездиагональном четырехугольнике стороны c и d вычисляются по следующим формулам:

$$c = \frac{a \sin A + b \sin(C + D)}{\sin D};$$

$$d = \frac{b \sin C + a \sin(A + D)}{\sin D}.$$

Если измерены две несмежные стороны, например b и d , то в этом случае стороны a и c могут быть вычислены по следующим формулам:

$$a = \frac{d \sin D - b \sin C}{\sin(A + D)};$$

$$c = \frac{d \sin A - b \sin B}{\sin(A + D)}.$$

В сложных сетях, составленных из бездиагональных четырехугольников, нет необходимости измерять две стороны в каждом четырехугольнике. Они могут быть получены из решения предыдущих фигур.

При равноточных угловых измерениях средние квадратические погрешности вычисления длины стороны для прямоугольного четырехугольника определяют по следующим формулам:

$$m_c^2 = m_a^2 + 2 \frac{m_b^2}{\rho^2} b^2;$$

$$m_d^2 = m_b^2 + 2 \frac{m_a^2}{\rho^2} a^2.$$

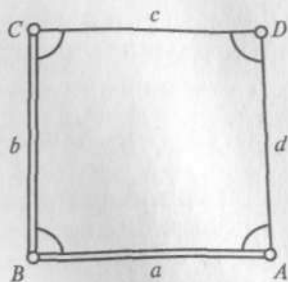


Рис. 12.3. Схема четырехугольника без диагоналей

Бездиагональные четырехугольники применяются в основном для создания строительных сеток.

12.5. Полигонометрические сети

Полигонометрия является наиболее распространенным видом инженерно-геодезических опорных сетей. Применяется она для всех видов инженерно-геодезических работ, включая наблюдения за плановыми смещениями сооружений.

В зависимости от площади объекта, его формы, обеспеченности исходными пунктами полигонометрию проектируют в виде одиночных ходов, опирающихся на исходные пункты высшего класса (разряда), систем ходов с узловыми точками или систем замкнутых полигонов.

Наиболее широко применяемые в практике инженерно-геодезических работ полигонометрические сети состоят из ходов 4-го класса, 1-го и 2-го разрядов. При этом полигонометрия 4-го класса существенно отличается от той же полигонометрии, создаваемой для построения государственной геодезической сети, допустимыми длинами ходов и погрешностями измерения углов. Приведем основные характеристики полигонометрии (табл. 12.5).

В настоящее время разрешены некоторые отклонения от требований, приведенных в табл. 12.5. При измерении сторон светодальномерами в отдельных случаях разрешается увеличивать длины привязочных сторон до 30 %. В порядке исключения допускается абсолютная невязка 10 см в коротких ходах полигонометрии 1-го разряда длиной до 1 км и 2-го разряда — до 0,5 км. Если в ходах полигонометрии 1-го и 2-го разрядов не реже чем через 15 сторон или 3 км хода дополнительно определены дирекционные углы сторон с погрешностью менее 7", то длины этих ходов могут быть увеличены до 30 %.

При проектировании полигонометрии стремятся не допускать близкого расположения пунктов, принадлежащих разным ходам, так как в этом случае погрешность их взаимного положения может значительно превосходить погрешности соединяющего их хода, что затруднит их использование в качестве исходных данных для сетей более низкого класса точности. Лишь при построении городской полигонометрии возможно параллельное прокладывание ходов одного класса или разряда на расстоянии 2,5 км друг от друга для 4-го класса и 1,5 км для 1-го разряда.

При создании полигонометрии наиболее трудоемким считается процесс линейных измерений. Различают два основных метода: непосредственных и косвенных измерений. В *методе непосредственных измерений* длины сторон измеряют светодальномерами или подвесными мерными приборами, а в *методе косвенных определений*

Таблица 12.5

Основные показатели	4-й класс	1-й разряд	2-й разряд
Предельная длина хода, км:			
отдельного	15	5	3
между исходной и узловой точками	10	3	2
между узловыми точками	7	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	30	15	9
Длина стороны хода, км:			
наибольшая	2,0	0,8	0,35
наименьшая	0,25	0,12	0,08
средняя расчетная	0,5	0,3	0,2
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Относительная погрешность хода, не более	1:25000	1:10000	1:5000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах), ", не более	3	5	10
Угловая невязка хода или полигона (л — число углов в ходе), ", не более	5л''	10л''	20 ^

длины сторон вычисляют по измеренным вспомогательным величинам. В связи с этим по методу линейных измерений полигонометрию подразделяют: на светодальномерную, короткобазисную, створно-короткобазисную, параллактическую и траверсную (линии измеряются подвесными мерными приборами). В современных условиях наибольшее распространение получила светодальномерная полигонометрия.

Поскольку значительную долю инженерно-геодезических работ приходится выполнять на застроенной территории, то при производстве угловых измерений в ходах полигонометрии возникают особенности организационного и точностного порядка, связанные с влиянием внешних условий. Из-за застройки приходится проектировать ходы со сравнительно короткими длинами сторон, что приводит к необходимости более тщательного центрирования теодолита и визирных целей. Сочетание каменной застройки, асфальтированных поверхностей с зелеными насаждениями создает на застроенных территориях устойчивые температурные поля; в результате измеряемые углы искажаются под влиянием боковой рефракции. Кроме того, на нагретом асфальте штативы становятся неустойчивыми. Все это приводит к необходимости

выбирать наиболее благоприятное время для измерений, например утренние и вечерние часы, пасмурную погоду и т.п. Интенсивное движение на городских улицах создает организационные трудности при производстве геодезических работ вообще и для полигонометрии в частности.

Оценка проектов полигонометрических сетей заключается в определении ожидаемых погрешностей координат узловых пунктов, относительных погрешностей ходов и сравнении их с допустимыми. Выполняется она строгими и приближенными способами.

Строгая оценка, как правило, выполняется на ЭВМ по специальным программам, а приближенная — по соответствующим формулам.

12.6. Геодезическая строительная сетка

Строительная сетка создается главным образом на промышленных площадках и служит основой для разбивочных работ, монтажа технологического оборудования и производства исполнительных съемок.

Характерной особенностью строительной сетки как инженерно-геодезической сети является расположение пунктов, образующих сетку квадратов или реже прямоугольников, стороны которых параллельны осям проектируемых сооружений или осям расположения технологического оборудования. Таким образом, строительная сетка представляет собой закрепленную на местности систему прямоугольных координат, облегчающую привязку осей сооружений и производство разбивочных работ.

В отличие от других видов опорных сетей точную конфигурацию и расположение пунктов строительной сетки проектируют заранее. Проектирование выполняют на генеральном плане будущего сооружения. При этом места расположения пунктов строительной сетки намечают таким образом, чтобы обеспечить сохранность наибольшего их числа в процессе производства строительных работ на площадке.

В зависимости от назначения строительной сетки и типа строящегося объекта длину стороны квадрата сетки принимают от 100 до 400 м. Наибольшее распространение получила сетка со стороной 200 м. В цеховых условиях для расстановки технологического оборудования сетку проектируют со стороной 10...20 м.

При создании строительной сетки используют частную прямоугольную систему координат. Начало этой системы выбирают таким образом, чтобы все пункты строительной сетки имели положительные значения абсцисс и ординат. Координатные оси в большинстве случаев обозначают буквами *A* и *B*. Для обозначения номера пункта к буквам добавляют индекс, указывающий число

сотен метров по оси абсцисс или ординат. Так, например, номер пункта, обозначенный $A3/B5$, будет указывать, что этот пункт имеет следующие координаты: $A = 300$ м, $B = 500$ м. Для точек, координаты которых не кратны 100 м, запись их обозначений производят подобно пикетажным. Например, запись $A14 + 25,65/58 + 30,50$ будет означать, что точка имеет координаты $A = 1425,65$ м, $B = 830,50$ м.

Требования к точности построения строительной сетки определяют исходя из ее назначения. Опыт строительства крупных промышленных комплексов показывает, что в большинстве случаев для выполнения основных разбивочных работ и исполнительных топографических съемок в масштабе 1:500 погрешности во взаимном положении смежных пунктов строительной сетки в среднем должны составлять 1:10000 или 2 см для расстояний между ними в 200 м. Прямые углы сетки должны быть построены со средней квадратической погрешностью 20".

Вынос в натуру строительной сетки с соблюдением (в пределах заданной точности) намеченных мест расположения ее вершин производят в несколько этапов.

Первоначально выносят в натуру исходные направления. На одном из них выбирают две точки A и B (рис. 12.4), координаты которых определяют графически и, используя координаты пунктов плановой основы, как правило имеющихся в районе строительства, решают обратные геодезические задачи и вычисляют полярные координаты S_1 и S_2 , B и B_2 . Для исключения грубых ошибок целесообразно вынести в натуру третью точку C по элементам S_3 , B_3 . После закрепления точек A , B и C на местности измеряют угол BAC , по отклонению которого от 90° можно судить о точности выполненных работ.

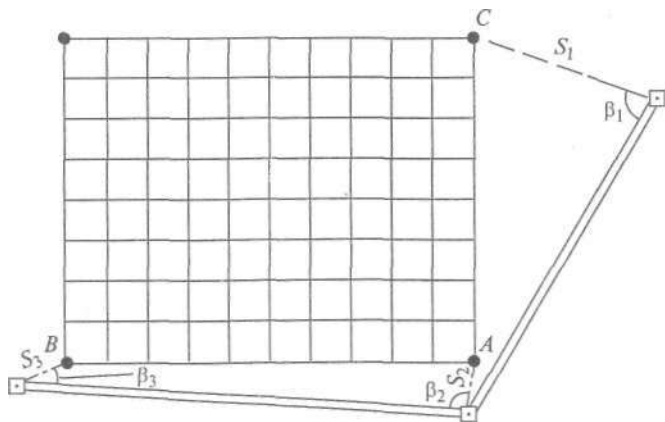


Рис. 12.4. Схема выноса в натуру исходных направлений строительной сетки

Так как координаты точек *A*, *B*, *C* определялись по генеральному плану графически, то точность их выноса в натуру составит около 0,2...0,3 мм на плане. Но это не играет существенной роли, так как на эту величину сместится весь комплекс проектируемых сооружений.

Однако таким способом нельзя выносить в натуру строительную сетку при реконструкции или расширении строящегося предприятия. В этом случае новую строительную сетку следует развивать как продолжение существующей. Если знаки построенной (старой) сетки не сохранились, следует восстановить на местности основные оси существующих цехов или установок, с которыми технологически связаны вновь создаваемые сооружения, и уже от них (как от исходных направлений) разбивать новую строительную сетку.

От вынесенного и закрепленного в натуре исходного направления выполняют детальную разбивку строительной сетки осевым способом и способом редуцирования.

По пунктам строительной сетки прокладывают ходы нивелирования III и IV классов. В этом случае строительная сетка служит высотной основой.

12.7. Высотные опорные сети

В качестве высотной основы для создания топографических планов, производства разбивочных работ и наблюдений за осадками инженерных сооружений используют систему знаков, абсолютные высоты которых определяют положением нивелирных ходов II, III и IV классов (табл. 12.6). Высотные опорные сети, как правило, опираются не менее чем на два репера государственного нивелирования более высокого класса. Однако бывают случаи, особенно при наблюдениях за деформациями инженерных сооружений, когда высотная опорная сеть является свободной и лишь для привязки опирается на один репер государственной сети.

На территориях крупных городов площадью, превышающей 500 км², высотной основой служит нивелирование I класса. Наибольшие требования к точности основных разбивочных работ по высоте возникают при строительстве метрополитенов и крупных самотечных канализационных коллекторов.

Все работы на строительных площадках производятся в единой системе высот, принятой в период изысканий для проектирования сооружений. Для достижения особо высокой точности при строительстве уникальных объектов или наблюдений за осадками сооружений, используют особую методику измерений при существенном уменьшении длин визирных лучей, расстояний между реперами и узловыми пунктами.

Основные показатели	Классы нивелирования		
	II	III	IV
Средняя квадратическая погрешность нивелирования на 1 км хода, мм	2	5	10
Систематическая погрешность на 1 км хода, мм	0,4	—	—
Допустимые невязки и расхождения сумм превышений прямого и обратного ходов, мм	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
Максимальная длина хода, км:			
замкнутого	40	25	10
между пунктами высшего класса между узловыми точками	—	15	5
между узловыми точками	10	5	3
Расстояние между рабочими реперами на строительной площадке, км	0,5	0,5	0,5
Наибольшее расстояние от нивелира до рейки, м	75	75	100
Наименьшая высота визирного луча, м	0,5	0,3	0,2

Высотная опорная сеть на строительной площадке должна обеспечивать выполнение разбивочных работ со средней квадратической погрешностью 10 мм и возможность наблюдений за величинами осадок возводимых сооружений со средней квадратической погрешностью 5 мм.

Проектирование высотной опорной сети состоит из следующих этапов:

- разработка схемы размещения марок на территории строительства;

- расчет точности определения отметок реперов, обеспечивающий требуемые допуски;

- детальное ознакомление с территорией строительства для уточнения типов и местоположения марок;

- составление сметы стоимости работ.

Проект высотной основы должен содержать: схему сети, чертежи закладываемых знаков и описание имеющихся, пояснительную записку с расчетом необходимой точности и стоимости производства работ.

В зависимости от размеров территории объекта и вида возводимого сооружения нивелирные сети обычно развивают в две или три степени.

1. Для чего предназначены опорные инженерно-геодезические сети?
2. Каковы особенности построения опорных сетей?
3. Какие виды плановых сетей используются в инженерно-геодезических работах?
4. Каковы основные параметры высотных инженерно-геодезических сетей?

ГЛАВА 13 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

13.1. Назначение и организация разбивочных работ

Разбивочные работы являются одним из основных видов инженерно-геодезической деятельности. Выполняют их для определения на местности планового и высотного положения характерных точек и плоскостей строящегося сооружения в соответствии с рабочими чертежами проекта.

Проект сооружения составляют на топографических планах крупных масштабов. Определяют расположение проектируемого сооружения относительно окружающих предметов и сторон света. Кроме того, топографический план определяет общегеодезическую систему координат, задающую положение характерных точек проектируемого сооружения относительно этой системы.

Разбивочные работы диаметрально противоположны съёмочным. При съёмке на основании натуральных измерений определяют координаты точек относительно пунктов опорной сети. Точность этих измерений зависит от масштаба съёмки. При разбивке, наоборот, по координатам, указанным в проекте, находят на местности положение точек сооружения с заранее заданной точностью. При разбивочных работах углы, расстояния и превышения не измеряют, а откладывают на местности. В этом состоит основная особенность разбивочных работ.

Компоновка сооружения определяется его геометрией, которая, в свою очередь, задается осями. Относительно осей сооружения в рабочих чертежах указывают местоположение всех элементов сооружения.

В нормативных документах существует понятие разбивочной оси. На практике различают главные, основные, промежуточные, или детальные, оси.

Главными осями линейных сооружений (дорог, каналов, плотин, мостов и т. п.) служат продольные оси этих сооружений.

В промышленном и гражданском строительстве в качестве главных осей принимают оси симметрии зданий (рис. 13.1).

Основные оси определяют форму и габаритные размеры зданий и сооружений.

Промежуточные, или детальные, оси — это оси отдельных элементов зданий, сооружений.

На строительных чертежах оси проводят штрихпунктирными линиями и обозначают цифрами или буквами в кружках. Для обозначения продольных осей служат арабские цифры, а для поперечных осей — прописные буквы русского алфавита, за исключением букв: З, И, О, Х, Ы, Ъ, Ь. Оси обозначают слева направо и снизу вверх.

Указанные в проекте сооружения координаты, углы, расстояния и превышения называют *проектными*.

Высоты плоскостей и отдельных точек проекта задают от условной поверхности. В зданиях за условную поверхность (нулевую отметку) принимают уровень «чистого пола» первого этажа. Высоты относительно нулевой отметки обозначают следующим образом: вверх — со знаком плюс, вниз — минус.

Для каждого сооружения условная поверхность соответствует определенной абсолютной отметке, которая указывается в проекте.

При проектировании зданий, сооружений и их элементов, строительных конструкций пользуются модульной системой координации размеров в строительстве (МКРС). Эта система предусматривает в основном применение прямоугольной модульной пространственной системы. *Модуль* — условная единица измерения, применяемая для координации размеров зданий и сооружений, строительных конструкций и т.п. Основной модуль, равный 10 мм, обозначается буквой М. Более крупные модули (мультимодули), обозначаемые 60М, 30М, 15М, ..., 3М, соответственно равны 6000, 3000, 1500, ..., 300 мм, а более мелкие — дробные модули (субмодули) равны 50, 20, ..., 1 мм.

Процесс разбивки сооружения определяется общим геодезическим правилом перехода от общего к частному. Разбивка главных и основных осей задает положение всего сооружения на местности, т. е. его размеры и ориентирование относительно сторон света и существующих контуров местности. Детальная разбивка определяет взаимное положение отдельных элементов и конструкций сооружения.

Разбивочные работы — это комплексный взаимосвязанный процесс, являющийся неотъемлемой частью строительного-монтажного



Рис. 13.1. Главные оси здания

производства, поэтому организация и технология разбивочных работ целиком зависит от этапов строительства.

В подготовительный период на местности строят плановую и высотную геодезическую разбивочную основу соответствующей точности, определяют координаты и отметки пунктов этой основы. Затем производится геодезическая подготовка проекта для перенесения его в натуру.

Непосредственную разбивку сооружений выполняют в три этапа. На первом этапе производят основные разбивочные работы. По данным привязки от пунктов геодезической основы находят на местности положение главных или основных разбивочных осей и закрепляют их.

На втором этапе, начиная с возведения фундаментов, проводят детальную строительную разбивку сооружений. От закрепленных точек главных и основных осей разбивают продольные и поперечные оси отдельных строительных элементов и частей сооружения, одновременно определяя уровень проектных высот.

Детальная разбивка производится значительно точнее, чем разбивка главных осей, поскольку она определяет взаимное расположение элементов сооружения, а разбивка главных осей — лишь общее положение сооружения и его ориентирование.

Если главные оси могут быть определены на местности со средней квадратической погрешностью 3...5 см, а иногда и грубее, то детальные оси разбивают со средней квадратической погрешностью 2...3 мм и точнее.

Третий этап заключается в разбивке технологических осей оборудования. На этом этапе требуется наибольшая точность (в отдельных случаях — доли миллиметра).

13.2. Нормы и принципы расчета точности разбивочных работ

Требования к точности разбивочных работ зависят от многих факторов: вида, назначения, местоположения сооружения; размеров сооружения и взаимного расположения его частей; материала, из которого возводится сооружение; порядка и способа производства строительных работ; технологических особенностей эксплуатации и т. п.

Нормы точности на разбивочные работы задаются в проекте или нормативных документах: строительных нормах и правилах (СНиП), Государственном общесоюзном стандарте (ГОСТ), ведомственных инструкциях. Они могут быть указаны в явном виде, как это сделано в ГОСТ 21779—82 «Технологические допуски», или по видам измерений (угловые, линейные, высотные) — в СНиП 3.01.03—84 «Геодезические работы в строительстве».

Во многих случаях указывают нормы на установку строительных конструкций относительно теоретического (проектного) положения, откуда характеристики точности разбивочных работ могут быть получены лишь расчетным путем.

Точность геометрических параметров в нормативных документах и чертежах указывают в виде симметричных допусков Δ , которые определяют допустимую разность между наибольшим и наименьшим значениями каждого параметра. Для расчетов пользуются разностью δ между наибольшим или наименьшим значением параметра и его проектным значением, называемой *допустимым (предельным) отклонением*, а также средним квадратическим отклонением (погрешностью) σ . Переход от допуска к предельному и среднему квадратическому отклонению выполняют по следующим формулам:

$$\delta = \frac{\Delta}{2}; \quad \sigma = \frac{\delta}{3} = \frac{\Delta}{6}. \quad (13.1)$$

Таким образом, если пользоваться допусками, указанными в нормативных документах непосредственно на разбивочные работы, то можно по формулам (13.1) получить исходные показатели точности для выбора способов и средств геодезических измерений.

Если указываются допуски на положение строительных конструкций, то из полученных по формулам (13.1) нормативных величин необходимо определить долю, приходящуюся на геодезические измерения. Для этого с учетом конкретной технологии возведения строительной конструкции решается вопрос о соотношении погрешностей каждой технологической операции. Так, например, точность установки колонны здания на свое проектное место будет зависеть от погрешностей геодезических измерений, изготовления колонны, монтажных работ и влияния деформаций, которые по разным причинам могут происходить после монтажа.

Если принять принцип равных влияний всех n источников погрешностей, то на каждый из них, в том числе на геодезические измерения, придется доля от общей погрешности установки

$$\delta_i = \delta_j = \frac{\delta_{\text{общ}}}{\sqrt{n}}.$$

Когда точностные возможности строительно-монтажного производства ограничены, применяют принцип ничтожно малого влияния погрешностей геодезических измерений на общую погрешность, т.е.

$$\delta_i = k\delta_{\text{общ}},$$

где k — коэффициент, определяющий степень влияния погрешностей геодезических измерений на общую погрешность.

Обычно коэффициент k принимают равным 0,2...0,4. Для примера примем $\delta_{\text{общ}} = 5$ мм, $n = 4$, $k = 0,3$. Тогда по принципу равных влияний получим $\delta_r = 2,5$ мм, а по принципу ничтожно малого влияния — $\delta_r = 1,5$ мм.

Таблица 13.1

Класс точности	Характеристика зданий, сооружений и конструкций	Величины средних квадратических погрешностей результатов измерений при разбивочных работах			
		Линейные измерения	Угловые измерения, "	Определение превышения на станции, мм	Передача отметок с исходного на монтажный горизонт, мм
1-р	Металлические конструкции с фрезерованными поверхностями, сборные железобетонные конструкции, монтируемые методом самофиксации в узлах, сооружения высотой от 100 до 120 м с пролетами от 24 до 36 м	1:15 000	5	1	5
2-р	Здания от 16 до 25 этажей, сооружения высотой от 60 до 100 м с пролетами от 18 до 24 м	1:10000	10	2	4
3-р	Здания от 5 до 16 этажей, сооружения высотой от 16 до 60 м с пролетами от 6 до 18 м	1:5000	20	2,5	3
4-р	Здания до 5 этажей, сооружения высотой до 15 м с пролетами от 6 м	1:3000	30	3	3
5-р	Деревянные конструкции, инженерные сети, дороги, подземные пути	1:2000	30	5	10
6-р	Земляные и временные [сооружения	1:1000	45	10	20

Приведенный принцип расчета в основном относится к разбивкам детальных осей. Точность разбивки главных или основных осей зависит от способа определения положения точек проектируемого здания. В большинстве случаев размещение зданий, сооружений и их взаимную компоновку проектируют на крупномасштабных топографических планах. Точность размещения объектов строительства определяется точностью плана. Следовательно, чтобы обеспечить подобие в положении объекта на проектной чертеже и на местности, необходимо выдержать точность плана. Известно, что точность плана характеризуется средней квадратической погрешностью определения положения точки, равной 0,2 мм на плане. С учетом того, что рабочие чертежи разрабатываются в основном на планах масштаба 1:500, эта погрешность на местности составит 10 см. Этой точности в основном и придерживаются при выносе в натуру точек, определяющих положение главных или основных осей.

При выполнении разбивочных работ на территории с плотной застройкой, насыщенной подземными коммуникациями, или при реконструкции комплекса зданий и сооружений основные оси выносят в натуру с точностью, определяемой не графическими построениями, а аналитическими расчетами. В этом случае погрешность выноса основных осей по отношению к существующей застройке составляет 2...3 см.

Расчетный путь определения точности разбивочных работ требует от исполнителя определенной инженерной подготовки. Для более простого решения этой задачи в СНиП 3.01.03—84 приводятся величины средних квадратических погрешностей, с которыми необходимо выносить на местность разбивочные элементы (расстояния, углы, высоты). Величины погрешностей разбивочных элементов (табл. 13.1) даны по шести классам точности (1-р, 2-р, ..., 6-р) в зависимости от этажности, конструктивных особенностей, способов выполнения соединений, сопряжений и узлов сооружений. Наличие одной из характеристик, указанных в табл. 13.1, служит основанием для назначения соответствующих требований к точности. В этом же СНиПе указываются приборы, применение которых может обеспечить требуемую нормативную точность разбивочных работ.

13.3. Вынос в натуру проектных углов и длин линий

Разбивочные работы по существу сводятся к фиксации на местности точек, определяющих проектную геометрию сооружения. Плановое положение этих точек может быть определено с помощью построения на местности проектного угла от исходной стороны и отложения проектного расстояния от исходного пункта.

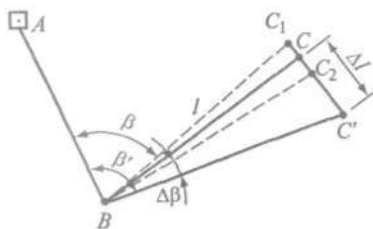


Рис. 13.2. Схема построения в натуре проектного угла

При построении проектного угла одна точка (вершина угла) и исходное направление обычно бывают заданы. Необходимо на местности отыскать второе направление, которое образовывало бы с исходным проектный угол β (рис. 13.2). В нашем случае BA — исходное направление, B — вершина проектируемого угла.

Работы ведут в следующем порядке. Устанавливают теодолит в точку B . Наводят зрительную трубу на точку A и берут отсчет по лимбу. Далее прибавляют к этому отсчету проектный угол β и, открепив алидаду, устанавливают вычисленный отсчет. Теперь визирная ось зрительной трубы теодолита указывает второе искомое направление. Это направление на соответствующем проекту расстоянии фиксируют на местности в точке C_1 . Аналогичные действия выполняют при другом круге теодолита и отмечают на местности вторую точку C_2 . Из положения двух точек берут среднее (точку C), принимая угол ABC за проектный.

Стандартные геодезические приборы, изготовленные серийно, по точности предназначены для выполнения измерений, а не построений. В результате точность отложения разбивочных элементов этими приборами оказывается ниже, чем точность измерений с использованием этих приборов. Поэтому, если необходимо построить проектный угол с повышенной точностью, поступают следующим образом.

Построенный в натуре угол измеряют несколькими приемами и определяют его более точное значение β' . Число приемов n измерения угла можно определить по приближенной формуле

$$n = \frac{(m'_\beta)^2}{m_\beta^2},$$

где m'_β — номинальная для данного теодолита средняя квадратическая погрешность измеренного угла; m_β — требуемая средняя квадратическая погрешность отложения угла.

Например, для того чтобы отложить угол со средней квадратической погрешностью $2''$ теодолитом 3Т5, надо его измерить числом приемов

$$n = \frac{5^2}{2^2} = 6.$$

Измерив построенный в натуре угол, вычисляют поправку

$$\Delta\beta = \beta' - \beta,$$

которую необходимо ввести для уточнения построенного угла. Зная проектное расстояние $BC = l$, вычисляют линейную поправку $CC' = \Delta l$. Из геометрии построений (см. рис. 13.2) следует, что

$$\Delta l = l \frac{\Delta\beta}{\rho},$$

где β и ρ выражены в секундах.

Далее откладывают от точки C перпендикулярно к линии BC величину вычисленной поправки Δl и фиксируют точку C' . Угол ABC' и будет равен проектному углу с заданной точностью. Для контроля угол ABC' измеряют. Если полученное значение отличается от проектного на допустимую величину, то работу заканчивают. В ином случае требуется дальнейшее уточнение.

Точность построения на местности проектного угла зависит от инструментальных погрешностей, погрешностей собственно измерения (визирования и отсчета по лимбу), а также погрешностей из-за влияния внешних условий. Погрешности центрирования, редукции и исходных данных (погрешности в положении пунктов A и B) на точность отложения проектного угла влияния не оказывают, что позволяет учитывать их отдельно. В этом заключается еще одна особенность разбивочных работ. Однако эти погрешности вызывают смещение на местности направления BC и выносимой точки C .

Необходимая точность отложения линейной поправки (редукции) Δl может быть подсчитана по формуле

$$m_{\Delta l} = l \frac{m\Delta\beta}{\rho}.$$

Если $l = 200$ м, $m_{\Delta\beta} = 2''$, то получим $m_{\Delta l} = 2$ мм. Очевидно, что с такой точностью линейную редукцию можно легко отложить при помощи рулетки или линейки с миллиметровыми делениями.

Для построения проектной длины линии необходимо от исходной точки отложить в заданном направлении расстояние, горизонтальное проложение которого равно проектному значению. Надо помнить, что в проекте задается именно горизонтальное проложение. Поправки в линию за компарирование, температуру и наклон местности необходимо вводить непосредственно в процессе ее построения. Но это затрудняет работу, особенно при необходимости вынесения линии с высокой точностью. Поэтому часто поступают таким же образом, как и при построении углов, т. е. используют способ редукции. На местности от исходной точки A (рис. 13.3) сначала откладывают и закрепляют приближенное зна-

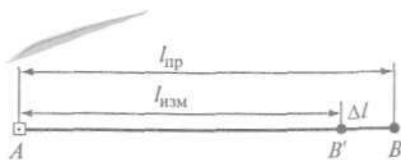


Рис. 13.3. Схема отложения проектной длины линии

Поправки	При измерении линий	При отложении проектных расстояний
За компарирование	$\pm \Delta l_k$	$\mp \Delta l_k$
За температуру	$\{\alpha l_0 (t - t_0) + \beta l_0 (t^2 - t_0^2)\}$	$-\{\alpha l_0 (t - t_0) + \beta l_0 (t^2 - t_0^2)\}$
За наклон местности	$-\frac{h^2}{2l} - \frac{h^4}{8l^3}$	$+\frac{h^2}{2l} + \frac{h^4}{8l^3}$

чение проектного расстояния (точка B'). Это расстояние с необходимой точностью измеряют компарированными мерными приборами или точными дальномерами, учитывая все поправки. Вычислив длину закрепленного отрезка $l_{\text{изм}}$, сравнивают его с проектным значением $l_{\text{пр}}$, находят линейную поправку

$$\Delta l = l_{\text{пр}} - l_{\text{изм}}$$

и откладывают ее с соответствующим знаком от конечной точки B' отрезка. Затем, для контроля, построенную линию AB измеряют.

Точность построения проектного расстояния $l_{\text{пр}}$ в способе редуки в основном зависит от точности линейных измерений расстояния AB' . Исходя из требуемой точности определения проектного расстояния, выбирают приборы для измерений.

Если проектное расстояние откладывают непосредственно в натуре, то поправки за компарирование, температуру и наклон местности вводят со знаками, обратными тем, которые учитывают при измерении линий (табл. 13.2).

13.4. Вынос в натуру проектных отметок, линий и плоскостей проектного уклона

Все отметки, указанные в проекте сооружения, даются от какого-либо условного уровня, поэтому предварительно их необходимо перевычислить в систему, в которой даны высоты исходных реперов.

Для выноса в натуру точки с проектной отметкой $H_{\text{пр}}$, устанавливают нивелир примерно посередине между репером с известной отметкой $H_{\text{р}}$ и выносимой точкой (рис. 13.4). На исходном репере и выносимой точке устанавливают рейки, взяв отсчет a по рейке на исходном репере, определяют горизонт прибора

$$H_{\text{г.п}} = H_{\text{р}} + a.$$

Для контроля желательно аналогичным образом проверить значение $H_{\text{г.п}}$ по другому исходному реперу.

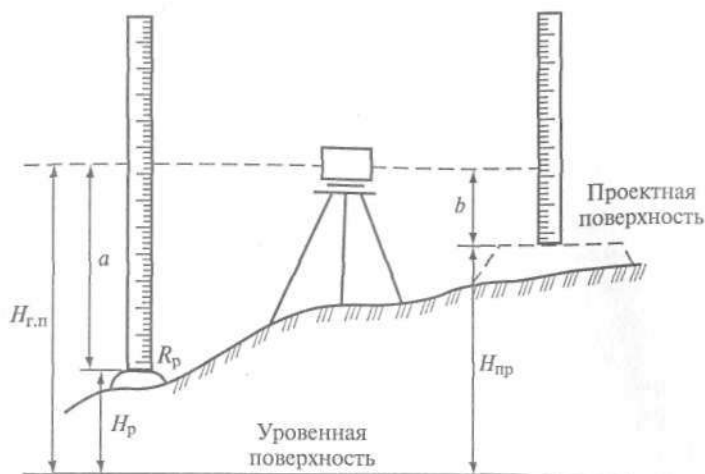


Рис. 13.4. Схема выноса в натуре проектной отметки

Чтобы установить точку на проектную отметку $H_{г.п}$, необходимо знать величину отсчета b по рейке на определяемой точке. Можно записать, что

$$b = H_{г.п} - H_{пр} = H_p + a - H_{пр}.$$

Вычислив отсчет b , рейку в точке на проектной поверхности поднимают или опускают до тех пор, пока отсчет по среднему штриху зрительной трубы нивелира не будет равен вычисленному. В этот момент пятка рейки будет соответствовать проектной высоте. Ее фиксируют в натуре, забивая кольшечек, ввинчивая болт или проводя черту на строительной конструкции.

Для контроля, нивелируя обычным способом, определяют фактическую отметку вынесенной точки и сравнивают ее с проектной. В случае недопустимых расхождений работу выполняют заново.

Если необходимо передать проектные отметки точек, лежащих в одной вертикальной плоскости (на стенах, колоннах и т.п.), то поступают следующим образом. На вертикальной плоскости отмечают проекцию среднего штриха сетки, т.е. фиксируют горизонт прибора. Затем, отмеряя вверх или вниз от этой линии соответствующее превышение, отмечают проектную отметку точки.

Проектная отметка точки может быть установлена в натуре путем, аналогичным редуцированию. Для этого выносимую точку приблизительно устанавливают на проектную высоту. Нивелированием определяют превышение h между приблизительно установленной точкой и исходным репером. Полученную величину сравнивают с проектной $h_{пр}$, вычисленной как $h_{пр} = H_{пр} - H_p$. С учетом знака разности $h_{пр} - h$ изменяют высоту точки, добиваясь,



Рис. 13.5. Схема построения в натуре линий проектных уклонов

Для построения в натуре линий проектных уклонов используют нивелиры, теодолиты, а также лазерные приборы. Сначала конечные точки линии AB (рис. 13.5) устанавливают на проектные отметки. Если дана отметка H_A только одной точки A и проектный уклон i , то отметку другой точки B можно вычислить по формуле

$$m_{\text{пр}}^2 = m_p^2 + 2m_a^2 + m_\phi^2.$$

где m_p — погрешность определения проектной отметки исходного репера, m_a — погрешность отсчета a по рейке на исходном репере, m_b — погрешность установки рейки на проектный отсчет b и погрешность m_ϕ фиксирования проектной отметки в натуре. При закреплении точки кольцом $m_\phi = 3 \dots 5$ мм, при использовании болтов или шурупов $m_\phi = 1$ мм и меньше. При тщательной работе можно считать, что $m_a = m_b$, следовательно, средняя квадратическая погрешность вынесения проектной отметки в натуре

$$H_B = H_A + l_{AB}i,$$

где l_{AB} — проектное расстояние AB .

На точках A и B устанавливают нивелирные рейки. Затем, наклоняя нивелир двумя подъемными винтами (или элевационным винтом), методом приближений добиваются, чтобы отсчеты по рейкам стали одинаковыми. В этом случае визирная линия зрительной трубы нивелира будет иметь проектный уклон. Далее устанавливают рейку в створе линии AB (например, через 5 м), добиваясь, чтобы отсчет по ней был равен отсчету на конечные

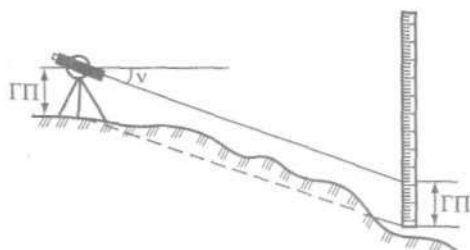


Рис. 13.6. Схема выноса в натуре теодолитом линии проектного уклона

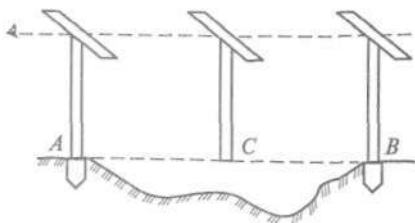


Рис. 13.7. Схема построения линии проектного уклона при помощи визирок

точки. Пятка рейки будет определять точку линии проектного уклона. Эти точки фиксируют колышками соответствующей высоты.

При использовании теодолита его устанавливают в начальной точке с проектной отметкой и измеряют высоту прибора (рис. 13.6).

На вертикальном круге с учетом места нуля устанавливают отсчет в градусной мере, равный проектному уклону. Линия визирования зрительной трубы, теодолита будет фиксировать угол наклона ν , соответствующий проектному уклону. Затем, отметив на рейке или вехе высоту прибора, выполняют те же операции, что и при использовании нивелира.

С меньшей точностью линию проектного уклона (например, точки A, B, C) можно вынести при помощи трех визирок одинаковой длины (рис. 13.7).

Две визирки задают опорную линию заданного уклона. В эту линию глазомерно вводят третью визирку, основание которой будет фиксировать точку линии проектного уклона.

Для вынесения в натуру проектной плоскости устанавливают на проектные отметки точки A, B, C, D (см. рис. 13.5). Действуя подъемными винтами нивелира, добиваются методом приближений, чтобы отсчеты на всех четырех точках были равны между собой, т.е. чтобы линия визирования была параллельна заданной проектной плоскости. При установке на тот же отсчет рейки в любой точке внутри фигуры $ABCD$ пятка ее будет лежать в проектной плоскости.

13.5. Способы разбивочных работ

Способ полярных координат широко применяют при разбивке осей зданий, сооружений и конструкций с пунктов теодолитных или полигонометрических ходов, когда эти пункты расположены сравнительно недалеко от выносимых в натуру точек.

В этом способе положение определяемой точки C (рис. 13.8) находят на местности путем отложения от направления AB проект-

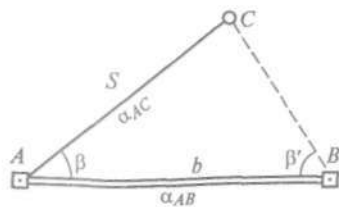


Рис. 13.8. Схема разбивки способом полярных координат

ного угла β и расстояния S . Проектный угол β находится как разность дирекционных углов α_{AB} и α_{AC} , вычисленных, как и расстояние S , из решения обратных задач по координатам точек A , B и C . Для контроля положение зафиксированной точки C можно проверить, измерив на пункте B угол β' и сравнив его со значением, полученным как разность дирекционных углов α_{BA} и α_{BC} .

Средняя квадратическая погрешность выноса в натуру точки C определяется следующей формулой:

$$m_C^2 = m_S^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 S^2 + 2m_{AB}^2 + 2e^2 + m_\phi^2, \quad (13.2)$$

где m_S — средняя квадратическая погрешность отложения проектного расстояния; m_β — средняя квадратическая погрешность отложения проектного угла; m_{AB} — средняя квадратическая погрешность в положении исходного пункта; e — линейный элемент центрирования приборов над точками A и B ; m_ϕ — погрешность фиксации положения точки C .

Для примера оценим точность разбивки проектного положения точки с пунктов ходов полигонометрии, для которой $m_{AB} = 10$ мм.

Примем $S = 100$ м, $\frac{m_S}{S} = \frac{1}{5000}$, $\beta = 45^\circ$, $m_\beta = 10''$, $e = 1$ мм и $m_\phi = 1$ мм.

Погрешность отложения проектной линии составит, мм,

$$m_S = \frac{100}{5000} = 20,$$

а линейная величина погрешности построения проектного угла, мм,

$$\frac{m_\beta}{\rho} S = \frac{10 \cdot 100\,000}{206\,000} = 5;$$

величины m_β и ρ выражены в секундах.

Из соотношения полученных величин видно, что погрешностями центрирования и фиксации можно пренебречь. Таким образом, средняя квадратическая погрешность выноса в натуру точки C составит, мм,

$$m_C = \sqrt{20^2 + 5^2 + 2 \cdot 10^2} = 25.$$

Расчет показывает, что для данных условий уменьшение погрешности в положении выносимой в натуру точки возможно лишь

при существенном уменьшении погрешности отложения проектного расстояния хотя бы в два раза.

Способ угловой засечки применяют для разбивки недоступных точек, находящихся на значительном расстоянии от исходных пунктов.

Различают прямую и обратную угловые засечки.

В способе прямой угловой засечки положение на местности проектной точки C (рис. 13.9) находят отложением на исходных пунктах A и B проектных углов β_1 и β_2 . Базисом засечки служит или специально измеренная сторона, или сторона разбивочной сети. Проектные углы β_1 и β_2 вычисляют как разность дирекционных углов сторон. Дирекционные углы находят из решения обратной геодезической задачи по проектным координатам определяемой точки и известным координатам исходных пунктов.

На точность разбивки способом прямой угловой засечки оказывают влияние погрешности: собственно прямой засечки $m_{с.з.}$, исходных данных, центрирования теодолита и визирных целей $m_{ц.}$, фиксации разбивочной точки.

При разбивочных работах центрирование теодолита и визирных целей с помощью оптических отвесов, фиксация выносимой точки могут быть выполнены сравнительно точно. Поэтому основными погрешностями, определяющими точность способа прямой угловой засечки, являются погрешности собственно засечки и исходных данных. Суммарная величина этих погрешностей составит

$$m_C^2 = \left(\frac{m_{\beta}^2 b^2}{\rho^2 \sin^2 \gamma} + m_{AB}^2 \right) \frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \gamma}$$

или

$$m_C^2 = \left(\frac{m_{\beta}^2}{\rho^2 \sin^2 \gamma} + \frac{m_{AB}^2}{b^2} \right) (S_1^2 + S_2^2).$$

При $S_1 = S_2 = S$, $\gamma = 90^\circ$ погрешность в положении выносимой в натуре точки выразится приближенной формулой

$$m_C = \sqrt{\left(\frac{m_{\beta}}{\rho} \right)^2 b^2 + m_{AB}^2}. \quad (13.3)$$

Часто при проектировании разбивочных работ решают вопрос о необходимой точности отложения разбивочных элементов, если

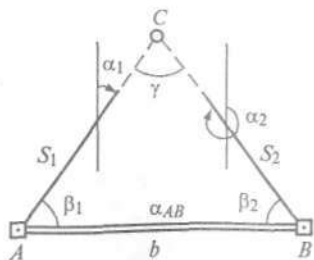


Рис. 13.9. Схема разбивки способами прямой угловой и линейной засечек

задана точность определения проектного положения выносимой в натуру точки. Для прямой угловой засечки определяют погрешность отложения проектных углов.

Так, например, для $b = 500$ м, $m_C = 20$ мм, $m_{AB} = 8$ мм, используя формулу (13.3), будем иметь, "

$$m_B = \sqrt{\frac{(m_C^2 - m_{AB}^2)\rho^2}{b^2}} = \sqrt{\frac{(20^2 - 8^2)(2 \cdot 10^5)^2}{(5 \cdot 10^5)^2}} \approx 2,3.$$

Отложить с такой точностью угол довольно сложно. Требуемая точность разбивки в этом случае может быть достигнута следующим образом. Отложив с возможной точностью углы β_1 и β_2 , определяют в натуре положение точки C . Затем на опорных пунктах соответствующим числом приемов измеряют точное значение отложенных углов. Для приведенного примера при использовании теодолита 3Т2 надо выполнить не менее четырех приемов. Измеряют также угол γ на точке C . Распределив невязку в треугольнике поровну на все три угла, определяют координаты точки C . Сравнивая их с проектными значениями, находят поправки (редукции), по которым в натуре смещают (редуцируют) приближенно вынесенную точку C . Такой способ называют *способом замкнутого треугольника*.

На принципе редуцирования основано и применение для разбивки *способа обратной угловой засечки*. На местности находят приближенно положение O' разбиваемой проектной точки O (рис. 13.10). В этой точке устанавливают теодолит и с требуемой точностью измеряют углы не менее чем на три исходных пункта с известными координатами. По формулам обратной засечки вычисляют координаты приближенно определенной точки и сравнивают их с проектными значениями. По разности координат вычисляют величины редукции (угловой и линейный элементы) и смещают точку в проектное положение. Для контроля на этой точке измеряют углы, вновь вычисляют ее координаты и сравнивают их с проектными. В случае недопустимых расхождений все действия повторяют.

Для вычисления координат точки O' можно использовать формулы Д'Аламбера и Гаусса. Применительно к рис. 13.10 они будут иметь следующий вид:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AO'} = \frac{(Y_C - Y_A) \operatorname{ctg} \beta_1 + (Y_B - Y_A) \operatorname{ctg} \beta_2 - (X_B - X_C)}{(X_C - X_A) \operatorname{ctg} \beta_1 + (X_B - X_A) \operatorname{ctg} \beta_2 - (Y_B - Y_C)},$$

$$X_{O'} = \frac{X_B \operatorname{tg} \alpha_{BO'} - X_A \operatorname{tg} \alpha_{AO'} + (Y_A - Y_B)}{\operatorname{tg} \alpha_{BO'} - \operatorname{tg} \alpha_{AO'}},$$

$$Y_{O'} = Y_B + (X_{O'} - X_B) \operatorname{tg} \alpha_{BO'};$$

$$Y_{O'} = Y_C + (X_{O'} - X_C) \operatorname{tg} \alpha_{CO'};$$

$$\alpha_{BO'} = \alpha_{O'A} + \beta_2 \pm 180^\circ;$$

$$\alpha_{CO'} = \alpha_{O'A} - \beta_1 \pm 180^\circ.$$

На точность разбивки способом обратной угловой засечки оказывают влияние погрешности: собственно засечки, исходных данных, центрирования теодолита и визирных целей, фиксации разбивочной точки и редуцирования. Очевидно, что при сравнительно больших расстояниях от определяемого до опорных пунктов влияние первых двух источников будет наиболее существенным; остальными погрешностями можно пренебречь.

Погрешность собственно обратной засечки может быть подсчитана по приближенной формуле

$$m_{с.з} = \frac{\sqrt{2} m_{\beta} S_{ср}}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{BAC})} \frac{S_{ср}}{b_{ср}}, \quad (13.4)$$

где ω_{BAC} — угол между исходными сторонами; $S_{ср}$ — среднее расстояние от исходных до определяемого пункта; $b_{ср}$ — среднее расстояние между исходными пунктами.

Погрешности исходных данных учитывают по формуле

$$m_{и} = \frac{m_{ABC}}{\sin \tau} \sqrt{\frac{S_A^2 + S_B^2}{b_{AB}^2} + \frac{S_A^2 + S_C^2}{b_{AC}^2} + \frac{S_B^2 S_C^2}{b_{AB} b_{AC}}} \cos \tau,$$

где $m_A = m_B = m_C = m_{ABC}$ — погрешность в положении исходного пункта; $\tau = \beta_1 + \beta_2 + \omega_{BAC} - 180^\circ$.

Для приближенных расчетов

$$m_{и} = \frac{m_{ABC}}{\sin \tau} \frac{S_{ср}}{b_{ср}} \sqrt{4 + \cos \tau}. \quad (13.5)$$

В качестве примера соответственно по формулам (13.4) и (13.5) рассчитаем точность определения положения точки O' при $S_{ср} \approx 1350$ м, $b_{ср} \approx 2200$ м, $\omega_{BAC} \approx 80^\circ$, $m_{\beta} = 2''$, $m_{ABC} = 5$ мм.

Получим $m_{с.з} = 11,5$ мм, $m_{и} = 6,2$ мм, а общая погрешность, мм,

$$m_{O'} = \sqrt{m_{с.з}^2 + m_{и}^2} = 13,1.$$

В способе линейной засечки положение выносимой в натуру точки C (см. рис. 13.9) определяют в пересечении проектных расстояний S_1 и S_2 , отложенных от исходных точек A и B . Этот способ обычно применяют для разбивки осей строительных

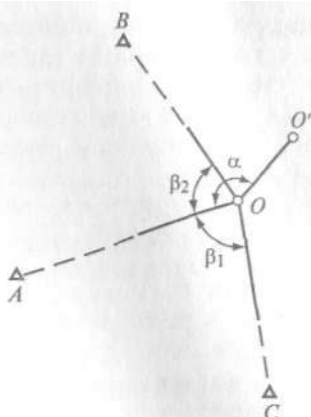


Рис. 13.10. Схема способа обратной угловой засечки

конструкций в случае, когда проектные расстояния не превышают длины мерного прибора.

Наиболее удобно разбивку производить при помощи двух рулеток. От точки A по рулетке откладывают расстояние S_1 , а от точки B по второй рулетке — S_2 . Перемещая обе рулетки при совмещенных нулях с центрами пунктов A и B , на пересечении концов отрезков S_1 и S_2 находят положение определяемой точки C .

Средняя квадратическая погрешность в положении определяемой точки в общем виде можно выразить формулой

$$m_C^2 = \frac{1}{\sin \gamma} (2m_S^2 + m_{AB}^2).$$

Для приближенных расчетов, приняв $\gamma = 90^\circ$, будем иметь

$$m_C = \sqrt{2m_S^2 + m_{AB}^2}. \quad (13.6)$$

Определить необходимую точность отложения разбивочных расстояний можно, если задана точность определения проектного положения выносимой в натуру точки и известна погрешность в положении исходных пунктов. Так, например, при $m_C = 10$ мм и $m_{AB} = 5$ мм из формулы (13.6) можно получить, мм,

$$m_S = \sqrt{\frac{m_C^2 - m_{AB}^2}{2}} = \sqrt{\frac{100 - 25}{2}} \approx 6.$$

В случае если для линейной засечки применяются дальномерные комплекты, которые центрируются при помощи штативов, то влияние погрешностей центрирования можно определить по формуле

$$m_{\text{ц}} = \frac{e}{\sin \gamma}.$$

Способы створной и створно-линейной засечек широко применяют для выноса в натуру разбивочных осей зданий и сооружений, а также монтажных осей конструкций и технологического оборудования.

Положение проектной точки C в способе створной засечки определяют на пересечении двух створов, задаваемых между исходными точками $1-1'$ и $2-2'$ (рис. 13.11). Створ задают обычно теодолитом, который центрируют над исходным пунктом (например, 1), а зрительную трубу ориентируют по визирной цели, отцентрированной на другом исходном пункте (в данном случае — $1'$). Положение точки C фиксируют в заданном створе.

Средняя квадратическая погрешность створной засечки зависит от погрешностей построения первого $m_{\text{ст}_1}$ и второго $m_{\text{ст}_2}$ створов, а также погрешности фиксации:

$$m_C^2 = m_{\text{ст}_1}^2 + m_{\text{ст}_2}^2 + m_{\text{ф}}^2.$$

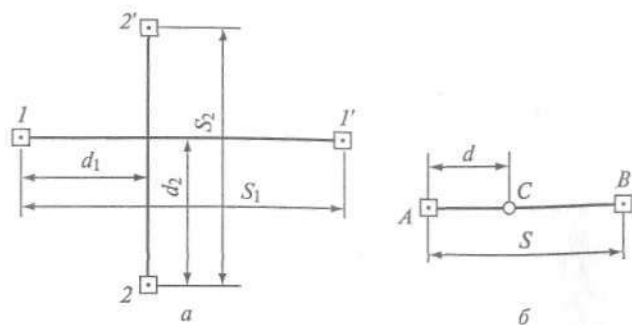


Рис. 13.11. Схема разбивки способами:
a — створной засечки; *б* — створно-линейной засечки

Основными погрешностями при построении каждого из створов являются погрешности положения исходных точек, погрешности центрирования теодолита и визирных целей, погрешность визирования и перемены фокусировки зрительной трубы при наведении на визирную цель и на определяемую точку, т. е.

$$m_{\text{ст}}^2 = m_{\text{исх}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{фок}}^2. \quad (13.7)$$

Погрешности положения исходных точек для задания створа имеют значения только в направлении, перпендикулярном створу, т. е. для каждого створа по одной из координат x или y . Их влияние определяется формулой

$$m_{\text{исх}}^2 = m_{x,y}^2 \left[\left(1 - \frac{d}{S}\right)^2 + \left(\frac{d}{S}\right)^2 \right], \quad (13.8)$$

где d — расстояние от точки установки теодолита до определяемой точки; S — расстояние между исходными точками (длина створа).

Совместное влияние погрешностей центрирования теодолита и визирной цели определяется формулой

$$m_{\text{ц}}^2 = \frac{e^2}{2} \left[\left(1 - \frac{d}{S}\right)^2 + \left(\frac{d}{S}\right)^2 \right]. \quad (13.9)$$

Совместное влияние погрешностей визирования и фокусирования при створных построениях может быть выражено формулой

$$m_{\text{виз, фок}} = \frac{20'' \sqrt{3} \cdot d}{\Gamma^\times \rho''}. \quad (13.10)$$

Для примера оценим точность разбивки проектного положения точки способом створной засечки, если точка находится посередине обоих створов. Примем $d = 100$ м, $\Gamma^\times = 25$, $m_{x,y} = 5$ мм, $e = 1$ мм, $m_{\text{ф}} = 1$ мм.

Так как в каждом створе определяемая точка находится в одинаковых условиях, то достаточно сделать расчет для одного створа. Используя формулу (13.8) для погрешностей исходных данных, будем иметь, мм,

$$m_{исх} = \sqrt{5^2 \left[\left(1 - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right]} = 3,5.$$

По формуле (13.9) для погрешности центрирования получим, мм,

$$m_{ц} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \left[\left(1 - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right]} = 0,5.$$

На основании формулы (13.10) для погрешностей визирования и фокусирования запишем, мм,

$$m_{виз, фок} = \frac{20\sqrt{3 \cdot 100\,000}}{25 \cdot 206\,000} = 0,7.$$

Общая погрешность разбивки с учетом погрешностей двух створов составляет, мм,

$$m_c = \sqrt{2 \left[(3,5)^2 + (0,5)^2 + (0,7)^2 \right] + (1,0)^2} = 5,3.$$

В приведенном расчете наиболее существенной оказалась погрешность исходных данных.

Створно-линейный способ позволяет определить проектное положение выносимой в натуру точки *C* (см. рис. 13.11, б) путем отложения проектного расстояния *d* по створу *AB*.

Средняя квадратическая погрешность положения точки *C* в этом способе может быть подсчитана по формулам створной засечки (13.7... 13.10) с учетом в выражении (13.7) погрешности m_d отложения проектного расстояния *d*.

Способ прямоугольных координат применяют в основном при наличии на площадке или в цехе промышленного предприятия строительной сетки, в системе координат которой задано положение всех главных точек и осей проекта.

Разбивку проектной точки *C* (рис. 13.12) производят по вычисленным значениям приращений ее координат Δx и Δy от ближайшего пункта сетки. Бóльшее приращение (на рисунке — Δy) откладывают по створу пунктов сетки *AB*. В полученной точке *D* устанавливают теодолит и строят от стороны сетки прямой угол. По

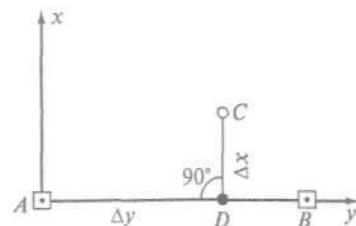


Рис. 13.12. Схема разбивки способом прямоугольных координат

перпендикуляру откладывают меньшее приращение и закрепляют полученную точку C . Для контроля положение точки C можно определить от другого пункта строительной сетки.

Схема способа прямоугольных координат по существу сочетает в себе схему створно-линейного и полярного способов.

Средняя квадратическая погрешность в положении точки C , определенной способом прямоугольных координат, может быть выражена формулой

$$m_C^2 = m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 + \left(\frac{m_p}{\rho}\right)^2 \Delta x^2 + m_{\text{исх}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{ф}}^2, \quad (13.11)$$

где $m_{\Delta x}$ и $m_{\Delta y}$ — погрешности отложения приращения координат.

Если по перпендикуляру откладывается ордината, то в формуле (13.11) величина Δx заменяется на Δy .

Из формулы (13.11) следует, что большее приращение необходимо откладывать по створу стороны сетки, а меньшее — по перпендикуляру. В этом случае влияние погрешности построения прямого угла будет меньшим.

Влияние погрешностей в положении исходных пунктов при условии $m_A = m_B = m_{AB}$ определяется формулой

$$m_{\text{исх}}^2 = m_{AB}^2 \left[1 + \left(\frac{\Delta x}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{b}\right)^2 - \frac{\Delta y}{b} \right], \quad (13.12)$$

а погрешностей центрирования

$$m_{\text{ц}} = e^2 \left[1 + \left(\frac{\Delta x}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{b}\right)^2 - \frac{\Delta y}{b} \right], \quad (13.13)$$

где b — длина стороны строительной сетки.

При разбивке точки C по перпендикуляру от стороны абсцисс в формулах (13.12) и (13.13) в последнем члене вместо Δy следует принимать Δx .

Рассчитаем для примера точность выноса в натуру проектной точки C , расположенной в середине квадрата строительной сетки со стороной 200 м. Примем относительную погрешность отложения расстояния равной 1:10 000, $m_p = 10''$, $m_{AB} = 10$ мм, $e = 1$ мм, $m_{\text{ф}} = 1$ мм.

Поскольку точка C расположена в середине квадрата строительной сетки, то $\Delta x = \Delta y = 100$ м. Для этого случая погрешности будут составлять, мм:

$$m_{\Delta x} = m_{\Delta y} = \frac{100\,000}{10\,000} = 10; \quad m_{\text{исх}} = m_{AB} = 10;$$

$$m_{\text{ц}} = e = 1; \quad \frac{m_p \Delta x}{\rho} = \frac{10 \cdot 10\,000}{206\,000} = 5.$$

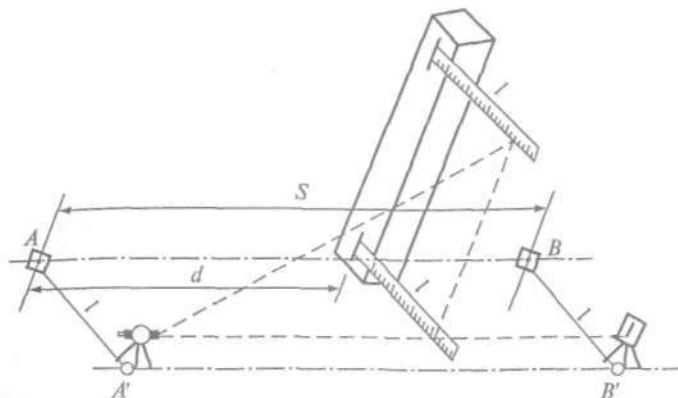


Рис. 13.13. Схема разбивки способом бокового нивелирования

Таким образом, получим, мм,

$$m_c = \sqrt{10^2 + 10^2 + 5^2 + 10^2} = 18.$$

Погрешности центрирования и фиксации можно не учитывать, так как они малы по сравнению с величинами других погрешностей.

Способ бокового нивелирования широко применяют для выноса осей при детальной разбивке и для установки строительных конструкций в проектное положение.

Сущность способа состоит в том, что по линии, параллельной основной оси AB (рис. 13.13), оптическим визированием, например теодолитом, задается створ $A'B'$. Точки A' и B' находят путем отложения некоторого расстояния l от точек A и B перпендикулярно линии AB . Расстояние l выбирают в пределах 1...2 м, исходя из удобства производства разбивочных работ. Положение оси конструкции определяют при помощи горизонтально устанавливаемой нивелирной рейки. При отсчете по рейке l , равному расстоянию параллельного створа $A'B'$ от оси AB , пятка рейки определяет положение этой оси в данном месте.

Основными погрешностями бокового нивелирования являются:

погрешность разбивки параллельного створа $m_{\text{ств}}$;

погрешность центрирования оптического прибора и визирной цели при задании параллельного створа $m_{\text{ц}}$;

погрешность установки рейки $m_{\text{р}}$;

погрешность отсчета по рейке $m_{\text{о}}$.

Общая погрешность способа может быть подсчитана по формуле

$$m^2 = m_{\text{ств}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{р}}^2 + m_{\text{о}}^2.$$

Погрешность разбивки параллельного створа складывается из погрешностей построения прямого угла и отложения расстояния l . Расчет их аналогичен полярному способу, для чего используется формула (13.2).

Влияние погрешности центрирования можно подсчитать, как и в способе створной засечки, по формуле (13.9).

Погрешность установки рейки будет в основном зависеть от неперпендикулярности рейки к створу визирования. Эту погрешность можно вычислить следующим образом:

$$m_y = \frac{lv^2}{2\rho^2}, \quad (13.14)$$

где v — угол отклонения рейки от ее перпендикулярного положения к визирному лучу.

Погрешность отсчета по рейке подсчитывают по формуле

$$m_0 = 0,03t + 0,2 \frac{d}{\Gamma^{\times}}, \quad (13.15)$$

где t — цена деления рейки; d — расстояние от прибора до рейки, м; Γ^{\times} — увеличение зрительной трубы прибора.

Для примера определим погрешность способа бокового нивелирования при следующих данных: $S = 100$ м; $d = 50$ м; $l = 2$ м; $v = 2^\circ$; $e = 1$ мм; $t = 10$ мм; $m_1 = 1$ мм; $m_p = 30''$; $\Gamma^{\times} = 25$.

В данном случае полярный способ применяется для двух точек. Тогда, используя частично формулу (13.2), будем иметь, мм,

$$m_{\text{ств}} = \sqrt{2 \left[1^2 + \left(\frac{30 \cdot 2000}{206000} \right)^2 \right]} = 1,5.$$

При $d = \frac{S}{2}$ из формулы (13.9) получим, мм,

$$m_{\text{ц}} = e = 1.$$

По формуле (13.14) найдем, мм,

$$m_y = \frac{2000 \cdot 2^2}{2(57 \cdot 3)^2} = 1,2.$$

По формуле (13.15) вычислим, мм,

$$m_0 = 0,03 \cdot 10 + 0,2 \frac{100}{25} = 1,1.$$

Общую погрешность выразим следующим образом, мм:

$$m = \sqrt{(1,5)^2 + (1,0)^2 + (1,2)^2 + (1,1)^2} = 2,4.$$

1. Что такое разбивочные работы?
2. Какие оси называют главными, основными и промежуточными?
3. Как нормируется точность разбивочных работ?
4. Каким образом выносят в натуру проектные углы и линии?
5. Какие поправки вводят в откладываемую в натуре длину линии?
6. Какова технология выноса в натуру проектных отметок?
7. Как строятся в натуре линии проектного уклона?
8. Перечислите способы разбивочных работ и определите область их применения.

ГЛАВА 14

ОБЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

14.1. Геодезическая подготовка проекта

Перед выносом в натуру проекта инженерного сооружения необходимо выполнить специальную геодезическую подготовку, которая предусматривает его аналитический расчет, геодезическую привязку проекта, составление разбивочных чертежей и разработку проекта производства геодезических работ.

Для выноса сооружения в натуру необходимо иметь на местности геодезические пункты с известными координатами. В этой же системе должны быть получены координаты основных точек сооружения, определяющих его геометрию. Координаты пунктов геодезической разбивочной основы определяют по результатам измерений, проводимых при ее создании. Координаты точек, принадлежащих сооружению, определяют графически или вычисляют аналитически. При этом используют основные чертежи проекта: генеральный план, определяющий состав и местоположение сооружения; рабочие чертежи, на которых в крупных масштабах показаны планы, разрезы, профили всех частей сооружения с размерами и высотами деталей; план организации рельефа; планы и профили дорог, подземных коммуникаций.

Весь комплекс геодезической подготовки проекта состоит из аналитического расчета элементов проекта. По значениям проектных размеров и углов находят в принятой системе проектные координаты основных точек сооружений, элементов планирования и благоустройства (осей проездов, коммуникаций, дорог и т.п.). Одновременно контролируют правильность нанесения размеров на чертежах.

Различают три способа геодезической подготовки проекта: аналитический, графоаналитический и графический.

При аналитическом способе все данные для разбивки находят путем математических вычислений, причем координаты существующих зданий и сооружений определяют непосредственно геодезическими измерениями в натуре, а размеры элементов проекта задают исходя из технологических расчетов. Этот способ применяют в основном при реконструкции и расширении предприятий, в стесненных условиях застройки.

Чаще применяют графоаналитический способ, когда положение исходных точек определяют графически с топографического плана, а остальных точек, жестко связанных с исходными, — аналитически. Например, для определения положения здания на местности по топографическому плану находят координаты одного из углов здания и дирекционное направление на другой угол. Далее по проектным размерам вычисляют координаты всех остальных углов здания.

Если проект сооружения не связан с существующими строениями, то иногда применяют графический способ проектирования, при котором все планировочные элементы определяются графически по топографическому плану. Расчет проекта производят по графическим координатам всех его главных точек. Чтобы уменьшить, по возможности, влияние деформации планов, до определения графических координат измеряют действительные размеры квадратов координатной сетки. Для крупномасштабных планов они должны быть равны 100 мм.

Для выноса проекта в натуре независимо от способа проектирования все его геометрические элементы должны быть строго математически увязаны между собой и с имеющимися на площадке капитальными зданиями и сооружениями. Это необходимо для устранения влияния на точность разбивочных работ погрешностей в принятых для проектирования исходных данных (координатах, высотах, длинах линий), особенно взятых графически с плана.

При аналитическом расчете проекта решается ряд типовых геодезических задач. Наиболее распространенными являются прямая и обратная геодезические задачи.

Если точка / сооружения расположена на известных расстояниях S_i по направлению дирекционного угла α_i , от исходной точки A с координатами x_A и y_A , то координаты точки / определяют следующим образом:

$$x_i = x_A + S_i \cos \alpha_i; \quad y_i = y_A + S_i \sin \alpha_i.$$

Для заданного прямолинейного отрезка с координатами концевых точек x_A, y_A и x_B, y_B дирекционный угол α_{AB} и длину S вычисляют по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A};$$

$$S = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha} = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}.$$

При геодезической подготовке проекта выполняют его привязку.

Привязкой проекта называют расчеты геодезических данных (разбивочных элементов), по которым выносят его в натуру от пунктов разбивочной геодезической основы или опорных капитальных строений. Разбивочными элементами служат расстояния, углы и превышения, выбор и расчет которых зависят от принятого способа разбивки.

Результаты геодезической подготовки проекта отображают на разбивочных чертежах. Разбивочный чертеж является основным документом, по которому в натуре выполняются разбивочные работы.

Его составляют в масштабах 1:500... 1:2000, а иногда и крупнее в зависимости от сложности сооружения или его элементов, которые выносят в натуру. На разбивочном чертеже показывают: контуры выносимых зданий и сооружений; их размеры и расположение осей; пункты разбивочной основы, от которых производится разбивка; разбивочные элементы, значения которых подписывают прямо на чертеже. Иногда на разбивочном чертеже указывают значения координат исходных пунктов в принятой системе, длины и дирекционные углы исходных сторон, отметки исходных реперов и другие данные, использовавшиеся для геодезической подготовки проекта. Эти данные могут служить и для контроля в процессе разбивки и после ее завершения.

Для обеспечения точности и своевременности выполнения геодезических работ на строительной площадке составляют специальный проект. В проекте производства геодезических работ, который является составной частью общестроительного проекта, рассматриваются: построение исходной разбивочной основы; организация и выполнение разбивочных работ, исполнительных съемок; применение соответствующих приборов для обеспечения требуемой точности измерений и другие вопросы, зависящие от конкретного объекта и условий его строительства.

14.2. Основные разбивочные работы

Основными чаще всего называют разбивочные работы по выносу в натуру главных и основных осей, так как именно они определяют положение зданий и сооружений на местности. Кроме того, это понятие может включать в себя разбивку точек пересечения промежуточных осей с главными и основными осями.

Независимо от вида сооружения и условий производства работ существуют некоторые общие принципы разбивки главных и основных осей. Прежде всего на местности необходимо иметь исход-

ную разбивочную систему. Это, например, пункты разбивочной основы, закрепленные линии регулирования застройки (оси проездов, границы кварталов и т. п.), углы капитальных зданий и сооружений, а в отдельных случаях и четко определяемые контуры местности. В проекте или на чертежах аналитической подготовки проекта должны быть указаны привязки выносимых в натуру осей к точкам исходной разбивочной основы. Для вычисления значений разбивочных элементов фактические координаты исходных точек и проектные координаты точек, выносимых в натуру, должны быть определены в одной системе. Если они различаются, то производят перевычисление координат из одной системы в другую по следующим формулам:

$$\begin{aligned}x'_i &= (x_i - x_0) \cos \alpha - (y_i - y_0) \sin \alpha; \\y'_i &= (x_i - x_0) \sin \alpha - (y_i - y_0) \cos \alpha,\end{aligned}$$

где X/ix' , — координаты точки / в различных плоских прямоугольных системах; x_0 и y_0 — координаты начала новой системы с осями x' , y' в системе, существующей с осями x , y ; α — угол поворота одной системы относительно другой.

При различных поверхностях относимости, например для государственной и условной строительных систем, приведенные формулы несколько усложняются за счет разных масштабов этих систем.

Выбор способов разбивки зависит в основном от вида сооружения и условий его возведения, схемы построения разбивочной основы, наличия приборов у исполнителя и требуемой точности выполнения разбивочных работ.

При наличии на площадке строительной сетки для сравнительно несложных по геометрии цеховых зданий обычно выносят габаритные (основные) оси способом прямоугольных координат.

Для разбивки основных осей гражданских зданий с точек полигонометрических или теодолитных ходов чаще всего применяют способы полярных координат, угловых и линейных засечек, а также створно-линейный способ. Точка пересечения осей 4/1 выносится от точки V теодолитного хода путем отложения полярного угла и полярного расстояния (рис. 14.1). Аналогично с точки VI теодолитного хода выносят точки Л/10 и 5/10. Можно было бы ограничиться выносом лишь двух точек длинной оси А здания, а две остальные точки найти путем построений прямых углов и соответствующих расстояний. Однако третью точку пересечения осей определяют для исключения разворота здания. Часто выносят и четвертую точку, контролируя выполненную разбивку путем измерения прямых углов и длин сторон по зданию. Также для контроля положения вынесенных точек выполняют независимые (отличные от основной разбивки) измерения. В приведенном примере на створе теодолитного хода намечают вспомогательную точку

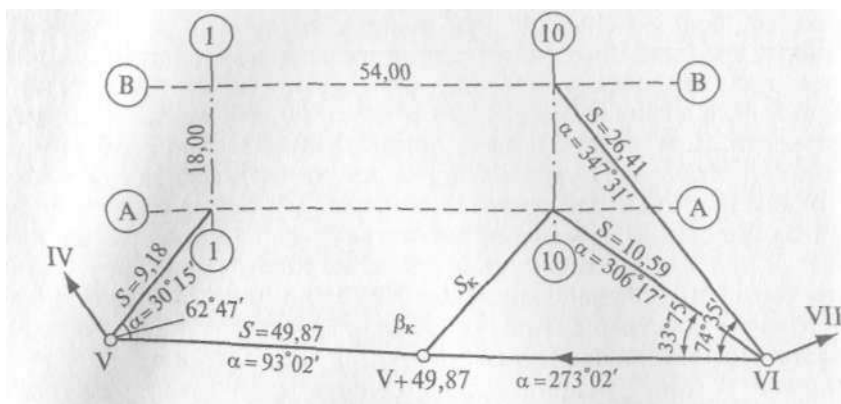


Рис. 14.1. Схема разбивки основных осей здания с точек полигонометрических или теодолитных ходов

$V + 49,87$, измеряют на ней контрольный полярный угол ρ_k и контрольное полярное расстояние S_k . По полученным значениям вычисляют координаты точки $A/10$ и сравнивают их с проектными. Такие определения производят не менее чем для трех точек пересечения осей здания.

Если на местности закреплены пункты, определяющие положение линий регулирования застройки, то разбивка с них выполняется так же, как с точек теодолитных или полигонометрических ходов, имея в виду, что координаты этих пунктов известны.

Размещение новых зданий и сооружений среди существующей застройки иногда производят графически по топографическому плану крупного масштаба (1:500... 1:1000), а их разбивку — от существующих зданий по данным, полученным также графически. Например, чтобы разместить здание А (рис. 14.2) по линии застройки между зданиями Б и В, находят по плану расстояния между соответствующими углами этих зданий и выносимыми в натуру углами здания А. Так как в этом случае все размеры берутся с плана, то при разбивке в натуре расстояние между углами а и г существующих зданий окажется не равным проектному, т.е. появится невязка. Поскольку размер выносимого в натуру здания А должен в точности соответствовать проектному, то полученную

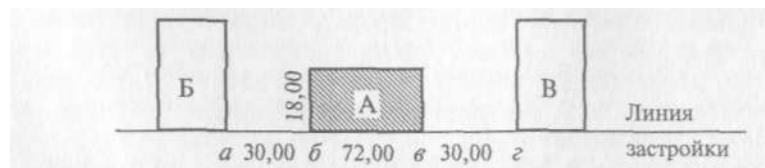


Рис. 14.2. Графический способ определения размещения здания для разбивки

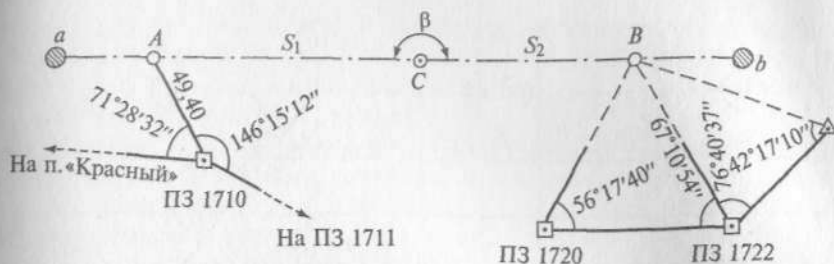


Рис. 14.3. Схема выноса в натуру оси линейного сооружения

невязку поровну распределяют на промежутки $a...b$ и $v...z$ между зданиями. В этом случае несколько изменятся проектные размеры планировочных элементов (внутренних проездов, газонов и т. п.) между зданиями, но это вполне допустимо.

Вынос в натуру сравнительно протяженной линии — часто встречающийся случай в практике разбивочных работ. Это и главная ось линейного сооружения (плотины, мосты, взлетно-посадочной полосы аэропорта и др.), и исходное направление для построения строительной сетки, и базис для последующих разбивочных работ. Для этого случая разбивки чаще всего применяют полярный способ, а также способы прямой угловой и линейной засечек. Приведем пример выноса в натуру оси $A-B$ линейного сооружения (рис. 14.3). Точка A выносится от ближайших пунктов геодезического обоснования полярным способом, а точка B — прямой угловой засечкой. Если между точками A и B нет прямой видимости, то дополнительно выносят промежуточные точки, например точку C . При наличии вблизи промежуточной точки пунктов геодезического обоснования она выносится аналогично основным точкам с проверкой ее положения по створу. Положение промежуточной точки C на створе $A-B$ может быть найдено и другим способом. Первоначально ее положение на створе определяют приближенно. Затем на этой точке при помощи теодолита измеряют угол β . Величину нестворности q , на которую необходимо переместить точку C , чтобы она находилась на створе $A-B$, можно вычислить по следующей формуле:

$$q = \frac{S_1 S_2 (180^\circ - \beta)}{(S_1 + S_2) \rho},$$

где S_1 и S_2 — расстояния от точки C до пунктов A и B соответственно. Расстояния S_1 и S_2 определяют приближенно, например по генеральному плану.

Для контроля вновь измеряют угол β . В случае недопустимого отклонения этого угла от 180° вновь вычисляют нестворность и повторно редуцируют.

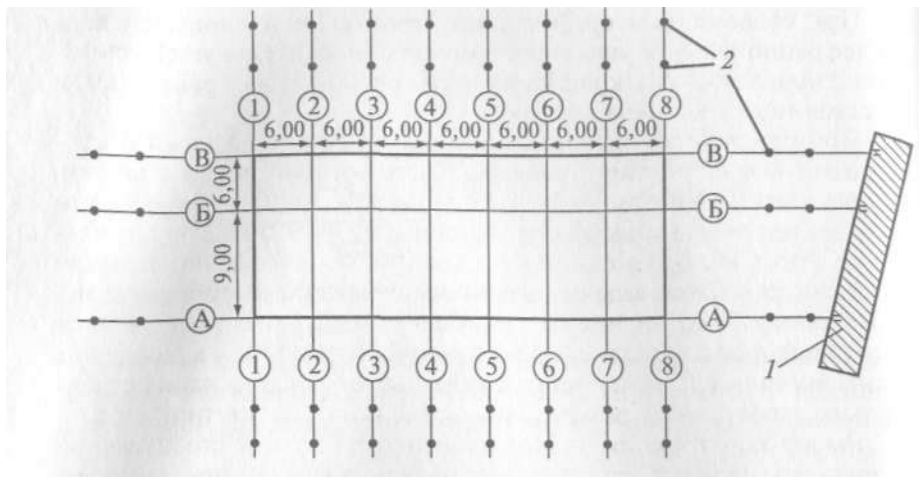


Рис. 14.4. Схема детальной разбивки осей:

1 — цветные откраски на зданиях; 2 — створные знаки

Главные и основные оси сооружений служат исходными для последующей детальной разбивки. Схема детальной разбивки зависит от вида сооружения и его компоновки, условий выполнения разбивочных работ и принятого способа разбивки. При всем многообразии детальных разбивочных схем можно выделить типовую схему, характерную для строительства гражданских и промышленных зданий и сооружений. Это определение положения точки пересечения промежуточных осей с главными или основными. Разбивку выполняют, как правило, створно-линейным способом.

Предположим, что в натуру вынесены и закреплены основные оси А—А, В—В, 1—1 и 8—8 (рис. 14.4). Для определения положения точек пересечения осей 2, ..., 7 с осями А—А и В—В теодолитом задают створы А—А и В—В. От точек А/1 и В/1 вдоль соответствующих створов откладывают проектные расстояния 6,00, 12,00 м и т.д. Таким образом получают искомые точки.

Аналогично находят положение точек Б/1 по створу оси 1—1 и Б/8 по створу 8—8. Створы промежуточных осей выносят за зону будущих земляных работ и закрепляют.

На выполненную работу по разбивке осей составляется специальный акт, к которому прилагается исполнительный чертеж.

14.3. Закрепление осей сооружений

Для закрепления и удобства использования в процессе строительства оси выносят на обноску. *Обноска* представляет собой доску, закрепленную горизонтально на столбах на высоте 400...600 мм от земли.

При современной организации строительной площадки наиболее рациональной является створная обноска. Она устанавливается лишь в местах закрепления осей (рис. 14.5) на произвольном расстоянии от контура здания.

Помимо обноски вынесенные в натуру оси закрепляют постоянными и временными знаками. Постоянными знаками обычно закрепляют главные и основные оси. Места закрепления осей постоянными знаками выбирают на строительном генеральном плане с учетом долговременной их сохранности, а также обеспечения беспрепятственного ведения строительно-монтажных работ. Эти места должны быть удобными для установки над знаком геодезических приборов и выполнения измерений. Знаки устанавливают вне зоны земляных работ в местах, свободных от складирования строительных материалов, размещения временных сооружений и т. п.

Выбор конструкции знаков зависит от условий строительной площадки, наличия строительных материалов и применяемых методов разбивочных работ.

Конструкции постоянных знаков могут быть различными. Наиболее часто для закрепления осей применяют грунтовые постоянные знаки, в качестве которых используют обрезки металлических труб или рельсов. К их нижней части приваривают металлические якоря для закрепления в бетонном монолите. К верхней части знака приваривают квадратную металлическую пластину, на которой с помощью керна отмечают положение точки закрепления оси. Реперные трубы или рельсы устанавливают в скважине, пробуренной на глубину не менее 0,5 м ниже глубины промерзания грунта. После установки знака скважину бетонируют. Грунтовые знаки закрепления осей ограждают деревянной или металлической обноской. Обноска делается квадратной или

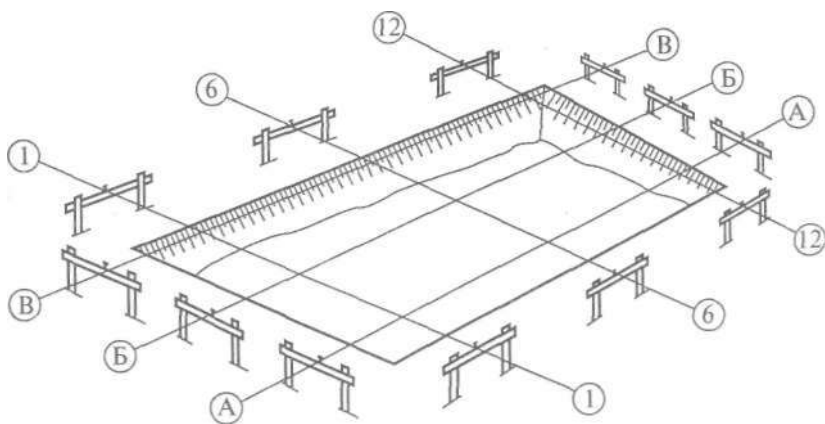


Рис. 14.5. Створная обноска для закрепления осей здания

треугольной со стороной 1,5...2,0 м. В качестве постоянных знаков используют также забетонированные деревянные столбы.

Для временных знаков используют деревянные колья, костыли, металлические штыри и трубки.

В сочетании с грунтовыми знаками для закрепления створов осей широко применяют цветные откраски 1 (см. рис. 14.4) на постоянных и временных зданиях или сооружениях. Откраски представляют собой цветные риски, наносимые яркой несмываемой краской. Для быстрого восстановления осей на продолжении их створов 2 закрепляют по два знака с каждой стороны здания. Один из знаков обычно располагают под обноской.

Высотную разбивочную основу на строительной площадке также закрепляют постоянными и временными знаками. Условия закрепления реперов и требования, предъявляемые к их сохранности, удобству использования, те же, что и к знакам закрепления осей.

Постоянные реперы могут быть как грунтовыми, закладываемыми ниже глубины промерзания, так и стенными, закрепляемыми в капитальных стенах и цокольных частях близлежащих зданий.

В условиях массовой застройки, где опорные реперы необходимы только в период строительства, широко применяют временные реперы различных конструкций. Используют также откраски на возводимых строительных элементах и временных сооружениях. Часто строительные реперы совмещают за знаками закрепления основных разбивочных осей. Отметки реперов определяют от реперов государственной или городской нивелирной сети.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы геодезической подготовки проекта?
2. Что называется привязкой проекта?
3. Что входит в состав ППГР?
4. В чем суть основных разбивочных работ?
5. Как найти промежуточную точку створа?
6. Каким образом закрепляются оси сооружений?

ГЛАВА 15 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПЛАНИРОВКЕ И ЗАСТРОЙКЕ ГОРОДОВ

15.1. Планировка и проектирование городской территории

Городская территория формируется из функциональных зон, определяющих ее планировочную структуру и архитектурный облик. Выделяют следующие городские зоны:

селитебная — для размещения жилых районов, общественных центров (административных, научных, учебных, медицинских, спортивных и др.), зеленых насаждений общего пользования (скверов, парков и т.п.);

промышленная — для размещения промышленных предприятий и связанных с ними объектов;

коммунально-складская — для размещения баз и складов, гаражей, трамвайных депо, троллейбусных и автобусных парков и т. п.;

внешнего транспорта — для размещения транспортных устройств и сооружений пассажирских и грузовых станций, портов, пристаней и др.

На территориях сельских населенных пунктов выделяют селитебную и производственную зоны.

На территориях, прилегающих к городам, предусматривают организацию пригородных зон, предназначенных в качестве резервов последующего развития города и для размещения объектов хозяйственного обслуживания, а также зеленых зон для отдыха населения и улучшения микроклимата города.

Основным планировочным элементом селитебной зоны является микрорайон, ограниченный красными линиями магистральных и жилых улиц. *Красными линиями* называют границы между всеми видами улиц (проездов) и основными градообразующими элементами: зонами жилой застройки и водных бассейнов, промышленной, зеленой, технической зонами. Здания вдоль улиц размещают по линии застройки, которая отступает от красной линии вглубь территории микрорайона не менее чем на 6 м на магистральных улицах и на 3 м — на жилых зонах.

Планировка и застройка города осуществляется на основе специальных проектных документов, в составлении которых и реализации их решения геодезисты принимают непосредственное участие.

Основным градостроительным документом является *генеральный план города*, в котором на основе установок народнохозяйственных планов, социального и научно-технического прогресса определяются перспективы развития города: комплексное решение всех его функциональных элементов, жилой и промышленной застройки, сетей общественного обслуживания, благоустройства и городского транспорта.

Генеральный план города включает в себя:

основной чертеж генерального плана;

план существующего города (так называемый опорный план по состоянию на год выпуска генерального плана);

материалы, характеризующие идею архитектурно-пространственной композиции;

схемы, определяющие природные условия, инженерное оборудование и подготовку территории;

схемы городского и внешнего транспорта;
схемы размещения учреждений и предприятий культурно-бытового обслуживания;
проект размещения первоочередного строительства;
пояснительную записку.

Генеральный план города с численностью населения более 500 тыс. чел. выполняется на топографическом плане в масштабе 1:10 000, для остальных городов — в масштабах 1:5000... 1:2000.

Генеральный план города является основой для разработки: проекта детальной планировки и эскизов застройки; проектов планировки городских промышленных районов, инженерного оборудования, городского транспорта, благоустройства, озеленения и др.

Проекты детальной планировки и эскизы застройки разрабатываются на отдельной части селитебной территории: жилые районы и микрорайоны, общегородские центры, общественные комплексы, подлежащие застройке, реконструкции или благоустройству в ближайшие 3... 5 лет в соответствии с проектами первоочередного строительства.

Проект детальной планировки выполняется в составе:
схемы размещения проектируемого района в системе города;
плана красных линий и эскиза застройки;
разбивочного чертежа красных линий;
схемы инженерной подготовки территории и организации рельефа по осям городских проездов в точках пересечения и наиболее характерных переломах рельефа местности;
схемы размещения общегородских инженерных сетей;
схемы организации движения транспорта и пешеходов;
поперечных профилей улиц.

План красных линий и эскиз застройки выполняются на топографическом плане в масштабах 1:500... 1:2000, на котором показываются:

существующая застройка всех видов;
проектируемая сеть улиц, проездов, пешеходных аллей и зеленых насаждений;
размещение проектируемых жилых и общественных зданий и сооружений;
красные линии и проектные элементы поперечного профиля улиц и проездов.

Разбивочный чертеж с привязками красных линий к опорным зданиям, сооружениям и геодезическим пунктам, закрепленным на местности координатами характерных точек красных линий, выполняется на копии плана красных линий и эскиза застройки.

Схема инженерной подготовки территории и организации рельефа выполняется на копии плана красных линий. На схеме показы-

ваются: проектные и фактические отметки по осям проездов в углах микрорайонов, в местах излома красных линий и рельефа местности, решения по инженерной подготовке (схема водоотвода, участки подсыпки или срезки грунта, защитные сооружения, дренажи).

Поперечные профили улиц выполняются в масштабах 1:100... 1:200 с показом существующих профилей: проектных решений с выделением проезжей части, тротуаров, полосы зеленых насаждений, трамвайных путей, наземных и подземных инженерных сетей.

Проекты застройки разрабатываются, как правило, на основе проекта детальной планировки и эскиза застройки на жилой микрорайон, квартал или группу жилых домов, а также на застройку общественного комплекса.

Проект застройки разрабатывается в две стадии: проект и рабочая документация — или в одну стадию: рабочий проект, т.е. проект, совмещенный с рабочими чертежами.

Проект содержит: ситуационный план размещения строительства; генеральный план застройки; макет застройки; чертеж организации рельефа, инженерных сетей, озеленения территории; паспорта типовых и чертежи индивидуальных проектов зданий; проект организации строительства; сводный сметно-финансовый расчет. Все материалы проекта выполняются в масштабах 1:500... 1:1000, ситуационный план — в масштабах 1:2000 ...1:5000.

Рабочая документация разрабатывается на основе утвержденного проекта в составе:

генерального плана участка застройки в масштабах 1:500... 1:1000; разбивочного чертежа в масштабах 1:500... 1:1000 с показом привязок размещения зданий и сооружений;

чертежей принятых к строительству зданий и сооружений;

чертежей по организации рельефа территории в масштабах 1:500... 1:1000 с показом проектных горизонталей, отметок и уклонов, а также картограммы земляных работ;

чертежей по водоснабжению, канализации, теплофикации, электроснабжению, газоснабжению, слаботочным устройствам в масштабе 1:500;

посадочно-дендрологического чертежа в масштабе 1:500;

смет на строительство.

Проект планировки городского промышленного района разрабатывается на основе генерального плана города с учетом развития существующих и строительства новых предприятий.

Проект планировки городского промышленного района выполняется в составе:

основного чертежа планировки промышленного района в масштабе 1:2000;

схемы размещения района в плане города в масштабе 1:5000 или 1:10000;

схемы размещения инженерных сетей, организации рельефа и инженерной подготовки территории в масштабе 1:2000;
поперечных профилей магистралей, улиц и местных проездов в масштабах 1:100... 1:200;
пояснительной записки.

Для городов численностью населения 250 тыс. чел. и более, а также городов-курортов разрабатывается *проект планировки пригородной зоны*. Для городов численностью населения менее 250 тыс. чел. и поселков городского типа в составе генерального плана выполняется *схема планировки прилегающего к городу района*.

Архитектурно-проектные решения для строительства жилищно-гражданских зданий принимаются на основе материалов строительного паспорта.

Строительный паспорт (паспорт земельного участка) является комплексным документом, обеспечивающим удобство пользования материалами инженерно-строительных изысканий при согласовании, проектировании и строительстве. Паспорт содержит: общую часть, акт об отводе границ участка строительства, архитектурно-планировочное задание, инженерно-геологическую характеристику участка, условия присоединения проектируемых зданий и сооружений к городским инженерным сетям, описание строений и зеленых насаждений, находящихся на участке. Основу большинства документов строительного паспорта составляет топографический план, обычно масштаба 1:500.

15.2. Составление и расчеты проекта красных линий

Красные линии состоят из прямых линий и сопряженных круговых кривых.

Проект красных линий составляют на топографическом плане в масштабах 1:500... 1:2000. К элементам, определяющим техническое содержание проекта, относят: длину красных линий между углами кварталов или границами микрорайонов, ширину проездов, величину углов между красными линиями, радиусы закругления и элементы кривых по красным линиям, размеры, определяющие формы площадей и скверов, и т. п.

Размеры геометрических элементов проекта должны быть согласованы на всей территории города и увязаны с существующей ситуацией и рельефом. Это достигается в результате графического отображения на топографическом плане и последующего аналитического расчета проекта красных линий.

Соответствующая архитектурно-планировочная служба при главном архитекторе города разрабатывает акт установления или изменения красных линий. Для его проработки используют топографические планы масштаба 1:5000 и мельче. Составляют чер-

теж на топографическом плане масштаба 1:2000, а отдельные узлы — на плане 1:500. На чертеже приводится расположение красных линий, указываются опорные здания, размеры геометрических элементов и другие данные, необходимые для аналитической подготовки и составления плана красных линий.

Аналитическая подготовка заключается в вычислении: координат углов кварталов и границ микрорайонов по красным линиям, точек излома красных линий и створных точек на длинных линиях, точек пересечения осей проездов, а также элементов и координат основных точек круговых кривых по красным линиям в единой городской системе координат.

Исходными для аналитической подготовки служат координаты углов опорных зданий и сооружений, определяемые в натуре от пунктов городского геодезического обоснования, или координаты точек ранее утвержденных красных линий.

В качестве обоснования используют теодолитные ходы, опирающиеся на пункты полигонометрии. Положение углов опорных зданий для вычисления их координат определяют с точек или линий этих ходов в основном полярным способом или способом засечек.

В незастроенных частях городских территорий используют координаты характерных точек ситуации и рельефа, взятые с оригинала плана графически. При этом для увеличения точности определения графических координат и уменьшения погрешности деформации бумаги расстояние от координатной сетки до определяемой точки измеряют по плану от двух сторон квадрата, внутри которого расположена точка. Из двух измерений берут среднее значение.

Координаты точек красных линий вычисляют путем решения задач аналитической геометрии, используя значения углов между осями проездов и линейные размеры, указанные в чертеже красных линий. В результате получают координаты точек пересечения проездов, затем координаты характерных точек красных линий и других элементов, необходимых для построения плана и перенесения проекта красных линий в натуре.

По вычисленным координатам красные линии наносят на план масштаба 1:2000. План красных линий в масштабе 1:2000 является основным исходным документом, на который выписывают: номера поворотных и створных точек красных линий, значения их координат; дирекционные углы и меры линий; элементы кривых, ширину и номера проектируемых проездов; название проектируемых зон и других градостроительных элементов; номера дел аналитических расчетов, по которым произведена прокладка красных линий. Потребителю выдается план красных линий в масштабе, необходимом для проектирования (обычно 1:500...1:2000).

15.3. Вынесение в натуру и закрепление красных линий, осей проездов, зданий и сооружений

Красные линии и оси проездов переносят в натуру от пунктов существующего или специального создаваемого для этой цели геодезического обоснования города.

Погрешности выноса отдельных точек красных линий и осей проездов по отношению к точкам геодезического обоснования не должны превышать:

5 см — в районах многоэтажной застройки;

8 см — в районах малоэтажной застройки;

10 см — на незастроенных территориях.

Переносу проекта красных линий на местность предшествуют подготовительные работы.

В первую очередь проверяют и уточняют соответствие красных линий утвержденному плану планировки.

Проверяют и уточняют (путем обследования) пункты геодезического обоснования, от которых предполагается вынос красных линий. Если в районе предстоящих работ геодезическое обоснование отсутствует или имеющиеся пункты не обеспечивают вынос красных линий, то составляют и реализуют проект сгущения существующей геодезической основы в виде полигонометрических и теодолитных ходов или других соответствующих им по точности построений.

Составляют геодезический проект детальной разбивки красных линий и осей проездов в натуре. На этом этапе в зависимости от условий местности и расположения точек геодезического обоснования определяют способ разбивки. В основном применяют полярный способ и способы засечек. Наиболее распространен полярный способ.

Для выбранного способа вычисляют разбивочные элементы: длины полярных направлений и линейных засечек, дирекционные углы и углы между направлениями, используя в основном формулы обратной геодезической задачи.

По результатам вычислений составляют в произвольном масштабе рабочий разбивочный чертеж (рис. 15.1), на котором изображают схему разбивки и подписывают необходимые значения разбивочных элементов и контрольные размеры.

Полевые измерения проводят с помощью теодолита и стальной компарированной рулетки. Углы откладывают при двух положениях вертикального круга. При отложении длины линии учитывают поправки за компарирование, температуру и наклон местности.

Для упрощения работ по перенесению в натуру проекта красных линий иногда первоначально выносят оси проектируемых И

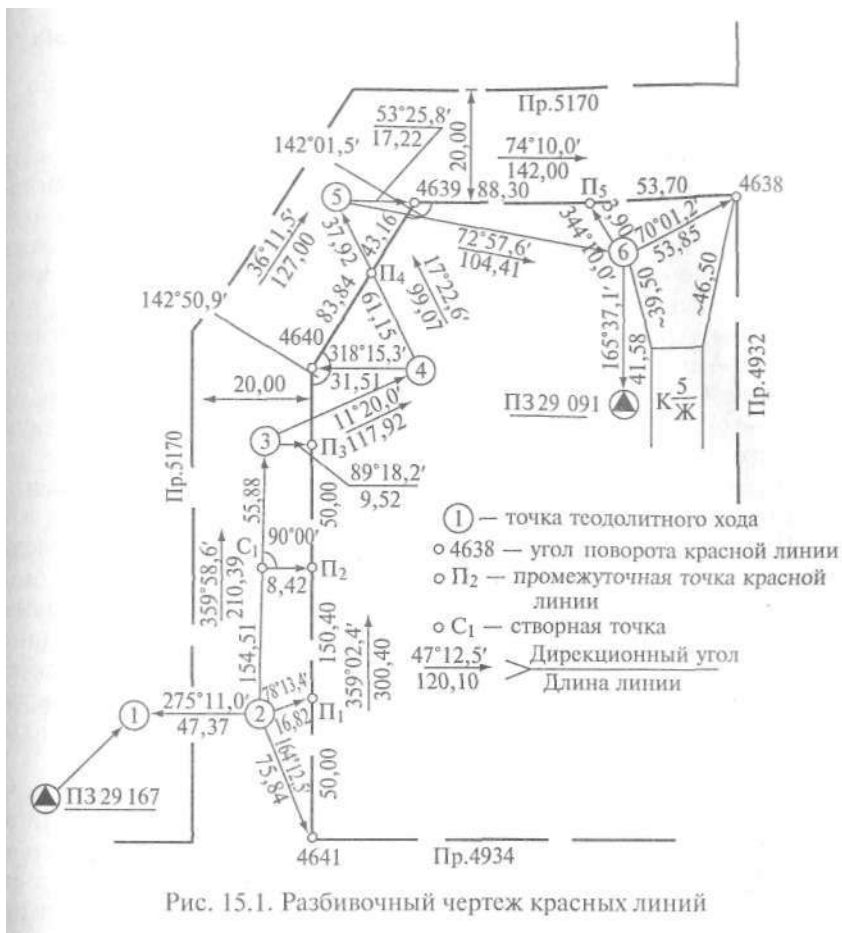


Рис. 15.1. Разбивочный чертеж красных линий

существующих проездов, а уже от них — красные линии. Часто с учетом будущих работ по застройке и подземным коммуникациям выносят параллельные смещенные оси.

Вынос в натуру красной линии по круговой кривой осуществляют способом прямоугольных координат от линии тангенсов или от хорд, полярным способом и способом последовательных или продолженных хорд. Частота точек, определяющих кривую, зависит от характеристики местности, величины радиуса, требований строительных работ и в большинстве случаев составляет Юм.

Точки красной линии и оси проезда закрепляют в натуре временными знаками: деревянными кольями, костылями, металлическими штырями и трубками. Установку штырей и трубок в землю производят на бетоне. На застроенной территории, помимо закрепления знаками, производят откраску красной линии или оси проезда на строениях и других предметах местности, с кото-

рыми линии пересекаются. Откраску выносят по теодолиту. На незастроенной территории знаки закрепления окапывают.

Для отыскания знаков закрепления красных линий и осей проездов производят их линейную привязку к постоянным местным предметам. Схема привязки указывается в абрисе.

Для контроля по точкам вынесенных в натуру красных линий и осей проездов прокладывают исполнительные ходы. Если исполнительный ход может быть проложен лишь вблизи вынесенных точек, то их положение определяют полярным способом с точек, с которых не производилась разбивка. Сравнение проектных и полученных из исполнительных ходов координат характеризует точность выноса. Грубые промахи могут быть обнаружены при оценивании положения вынесенных точек относительно ситуации на плане и в натуре.

После контрольных измерений составляют исполнительный чертеж перенесения в натуру красных линий, на котором показывают: пункты исходного обоснования, положение вынесенных точек красных линий, размеры между ними, привязки их к местным предметам.

Исходными документами для перенесения в натуру осей зданий и сооружений являются:

утвержденный к производству работ генеральный план строительного участка с привязкой осей проектируемого сооружения к красным линиям;

разбивочный план осей;

план первого этажа.

Проверка взаимного соответствия указанных документов является обязательным условием подготовки геодезических разбивочных работ по выносу в натуру осей зданий и сооружений.

Как уже отмечалось, вынос в натуру осей зданий осуществляется для посадки его на местность и производства строительно-монтажных работ. В первом случае решается задача определения положения здания относительно близлежащих контуров и сторон света, во втором — определяется взаимное положение строительных конструкций. Исходя из этого и принятой поэтапной технологии строительства, разбивка осей здания производится в два этапа: вначале выносят на местность основные оси, определяющие контур (габаритные размеры) здания, затем от них производят детальную разбивку. Если здание имеет сложную конфигурацию, то выносят в натуру оси симметрии (главные оси) здания или отдельных его частей. В этом случае последующую детальную разбивку осуществляют от вынесенных главных осей.

Разбивки основных (главных) и детальных осей различаются по точности. Если погрешности положения контура здания по отношению к окружающей ситуации в основном определяются графической точностью проектирования и характеризуются средней квад-

ратической величиной 10...20 см, то погрешности детальной разбивки определяются строительными допусками и в зависимости от *класса* точности характеризуются относительными средними квадратическими величинами 1:5000... 1:20 000. Требования к точности детальной разбивки осей приводятся в СНиПах и ГОСТах.

Основные или главные оси выносят в натуру от пунктов городского геодезического обоснования. В качестве исходного обоснования используют пункты городской триангуляции и полигонометрии, от которых в районе предстоящих работ создают разбивочную основу.

При разбивке небольших зданий или сооружений массовой застройки разбивочной основой служат закрепленные в натуре красные линии или специально прокладываемые теодолитные ходы. При возведении крупноразмерных или сложных по конфигурации зданий развивают локальные разбивочные сети в виде строительной сетки, микротриангуляции, полигонометрии и т.п.

Проектное положение пунктов этих построений заранее определяется в зависимости от удобства последующих разбивок.

Положение здания на местности может быть определено двумя взаимно-перпендикулярными осями, которых вполне достаточно для того, чтобы на всех этапах строительства выполнять детальную разбивку. Однако для производства земляных и свайных работ при выносе габаритных размеров здания выполняется разбивка всех его основных осей.

Для общего случая массовой застройки технология разбивки основных осей показана в подразд. 14.2.

Вынесенные в натуру оси закрепляют постоянными и временными знаками.

Постоянными знаками закрепляют в основном две взаимно-перпендикулярные пересекающиеся базовые оси, от которых в процессе строительства всегда могут быть восстановлены все основные оси. В качестве постоянных знаков применяют обрезки металлических труб или рельсов, а также деревянные столбы. Постоянные знаки устанавливают в грунт ниже глубины промерзания и бетонируют.

Для временных знаков используют деревянные колья, костыли, металлические штыри и трубки.

Знаки закрепления располагают на продолжениях осей вне зоны земляных работ в местах, свободных от складирования строительных материалов, размещения временных сооружений и др.

В сочетании с закреплением осей грунтовыми знаками применяют цветные откраски на постоянных и временных зданиях или сооружениях, располагающиеся в створе осей.

Вынесенные в натуру оси сдают по акту застройщику и строительной организации. К акту прилагается исполнительный чертеж разбивки и закрепления осей.

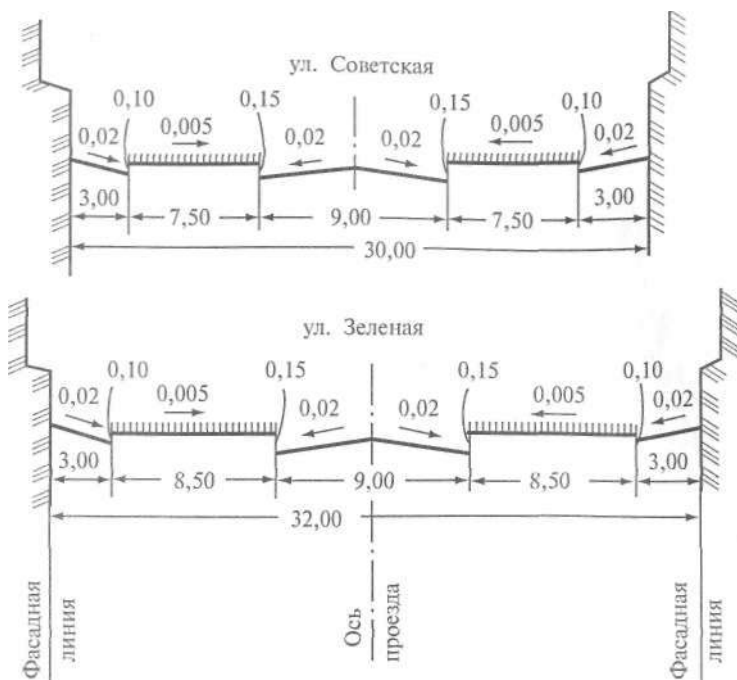


Рис. 15.3. Поперечные профили улиц

Проектные решения по организации рельефа приводятся на схеме в основном по осям проектируемых проездов в виде проектных отметок точек пересечения осей и перегибов продольного профиля. На схеме показывают также расстояние между точками пересечения осей и перегибов профиля, уклоны в промилле и направления стока воды. К схеме прилагают проекты поперечных профилей улиц (рис. 15.3) в масштабах 1:100... 1:200.

Утвержденная схема организации рельефа является обязательной для всех ведомств и учреждений, выполняющих застройку и освоение городской территории.

Рабочий план организации рельефа составляют на топографическом плане в масштабах 1:500... 1:1000. Исходными служат проектные отметки схемы организации рельефа.

Проектный рельеф, образуемый отдельными оформляющими плоскостями, может быть задан в виде профилей либо проектными горизонталями в сочетании с проектными отметками.

В методе профилей на топографический план наносят сетку, по линиям которой составляют продольные профили в масштабе плана проекта. Расстояния между профилями при планировке кварталов принимают равными 20... 50 м, а при планировке

больших территорий — 100...200 м. Метод профилей трудоемкий и поэтому применяется редко.

Метод проектных горизонталей заключается в том, что на плане проводят проектные горизонтали рельефа, образуемого после изменения естественного рельефа путем срезов и подсыпок. Проектные горизонтали между линиями перегибов скатов изображаются прямыми равно отстоящими друг от друга параллельными линиями. Сечение h для проектных горизонталей в пределах 0,1...0,5 м выбирают в зависимости от характера есте-

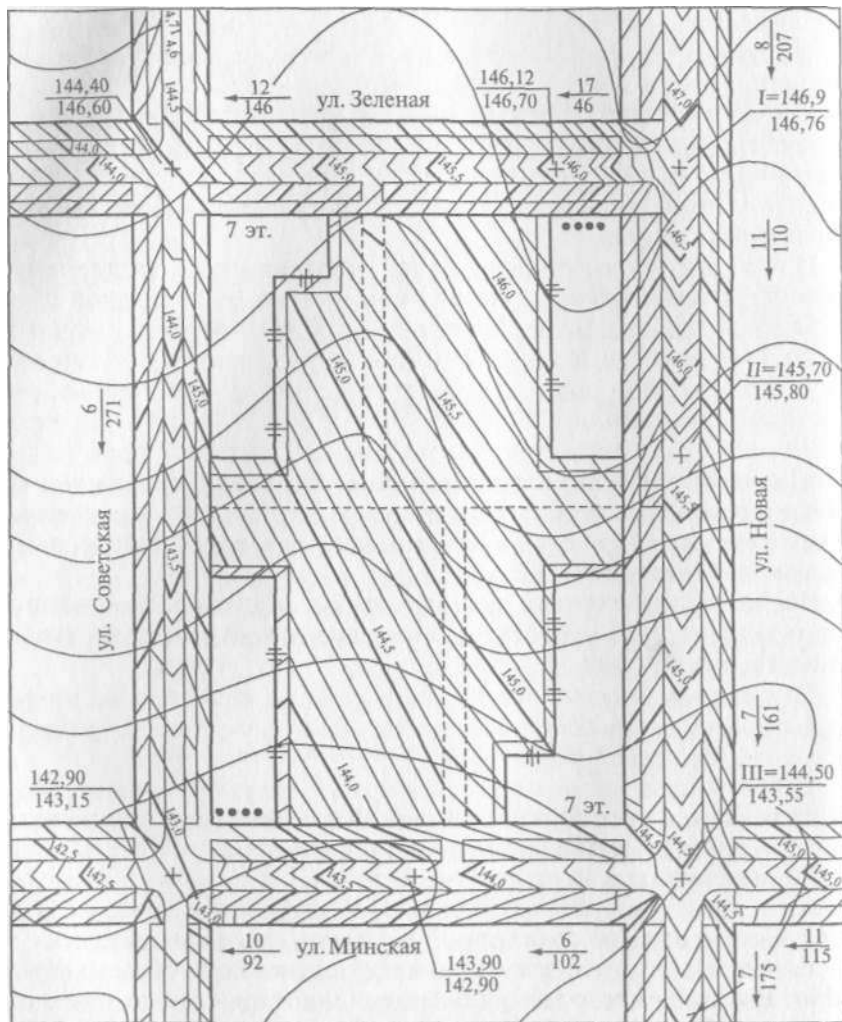


Рис. 15.4. Фрагмент плана организации рельефа

ственного рельефа. Для планов масштаба 1:500 при сравнительно спокойном рельефе чаще всего применяют сечение, равное 0,1 м.

Положение проектных горизонталей на плане определяют по проектным отметкам точек пересечения осей проездов и точек перегиба проектного рельефа. Расстояние d (заложение) между смежными проектными горизонталями на плане подсчитывают по формуле

$$d = \frac{h}{iM},$$

где i — продольный проектный уклон; M — знаменатель численного масштаба плана.

На границе двух оформляющих плоскостей проектные горизонталы имеют излом.

Составление плана организации рельефа начинают с улиц. Первоначально проектируют горизонталы по проезду, а затем развивают их до фасадной линии застройки. При этом учитывают поперечные уклоны проездов, газонов и тротуаров, а также высоты бордюрных камней.

При проектировании рельефа на внутриквартальных территориях исходными являются проектные отметки вертикальной планировки по улицам. Вертикальная планировка внутриквартальных проездов и пешеходных дорожек должна обеспечивать сбор и отвод поверхностной воды с территории квартала на прилегающие уличные проезды или в специальную водосточную сеть. Проектные горизонталы на внутриквартальной территории проводят с учетом характера естественного рельефа, предусматривая наименьший объем земляных работ. Крутые склоны или возвышенные места оформляют озелененными откосами, подпорными стенками, пандусами, лестницами.

На плане организации рельефа указывают отметки «чистого пола» первого этажа, проектные и существующие отметки углов зданий и сооружений (рис. 15.4).

15.5. Составление плана земляных масс

Разрабатывая план организации рельефа, составляют план земляных масс — проектный документ, определяющий объемы земляных масс, подлежащих перемещению.

План земляных масс представляет собой чертеж (рис. 15.5) в виде сетки квадратов со стороной 5, 10 или 20 м в зависимости от Масштаба плана и требуемой точности подсчета объема земляных работ. В углах каждого квадрата подписывают проектные отметки, отметки естественного рельефа с соответствующим знаком их разности, называемые *рабочими отметками*. По рабочим отметкам и

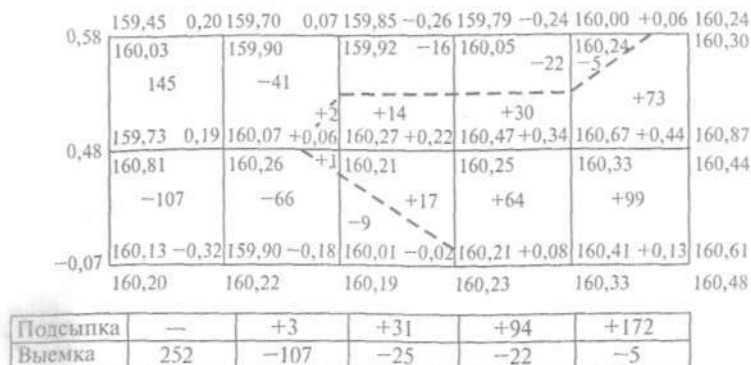


Рис. 15.5. План земляных работ с таблицей баланса

площадям квадратов (с учетом выемок и насыпей) подсчитывают объемы земляных работ.

Между углами квадратов с рабочими отметками разных знаков, как правило, интерполированием «на глаз» отыскивают точки нулевых работ. Соединяя точки нулевых работ, строят линию нулевых работ. В некоторых случаях план земляных масс иллюстрируют проведенными по всей ее площади линиями равных отметок насыпей и выемок.

В зависимости от места линии нулевых работ различают следующие типы квадратов:

однородные — для всех углов квадратов знаки рабочих отметок совпадают (точек нулевых работ на сторонах квадрата нет), а по всему квадрату должна быть выполнена либо насыпь, либо выемка;

неоднородные — знаки рабочих отметок у различных вершин не совпадают, и квадрат делится линией нулевых работ на участки выемки и насыпи.

Для отдельного однородного квадрата объем земляных масс V_0 можно определить как объем призмы, имеющую площадь основания P , равную площади квадрата, и высоту, равную среднему арифметическому из рабочих отметок h всех четырех углов:

$$V_0 = P \frac{h_1 + h_2 + h_3 + h_4}{4}.$$

Объемы земляных масс в неоднородных квадратах определяют после разделения их линией нулевых работ и вспомогательными линиями на отдельные фигуры — прямоугольные треугольники, прямоугольники, трапеции и т. п. Такой же порядок принимают и

для неполных квадратов. Объем работ V_p в отдельных фигурах вычисляют по формуле

$$V_p = P_p h_{cp},$$

где P_p — площадь отдельной фигуры; h_{cp} — средняя рабочая отметка этой фигуры.

Вычисленные объемы в кубических метрах по каждому квадрату выписывают с соответствующим знаком в таблицу земляных масс. Суммарный объем подписывают внизу чертежа (см. рис. 15.5).

При резко пересеченной местности для подсчета объема земляных масс применяют способ вертикальных профилей. Используют для этой же цели и план земляных работ.

Определив общие объемы выемок и насыпей, сводят баланс земляных масс, т. е. определяют, компенсируют ли друг друга выемки и насыпи. На практике предпочитают, чтобы объем выемок несколько превышал объем насыпей, так как вывезти лишний грунт легче, чем отыскать резервный грунт для насыпи.

15.6. Вынесение в натуру проекта организации рельефа

Перенос проекта организации рельефа в натуру выполняют в следующей последовательности:

отыскивают на местности реперы и марки высотной сети и в случае недостаточного их числа производят необходимое сгущение;

вносят на местность проект организации рельефа проезда; переносят на местность проектные отметки точек красных линий;

вносят на местность проект организации рельефа квартала (вначале внутриквартальные проезды, затем дорожки, тротуары, углы зданий и проектный рельеф незастроенной части).

Перенос проекта организации рельефа проезда в натуру начинают с его оси. Для этого по оси проезда отмечают все пикеты и точки перегиба проектного профиля и закрепляют их деревянными кольями или столбами.

Колья забивают таким образом, чтобы отметки верхних срезов были на проектных отметках данных точек профиля. Установку кольев на проектную отметку производят с помощью нивелира от ближайших реперов городской нивелирной сети. Отсчет по рейке b , соответствующий проектной высоте верхнего среза кола, определяют по формуле

$$b = (H_{исх} + a) - H_{пр}, \quad (15.1)$$

где $H_{исх}$ — отметка исходного репера; a — отсчет по рейке на исходном репере; $H_{пр}$ — проектная отметка определяемой точки.

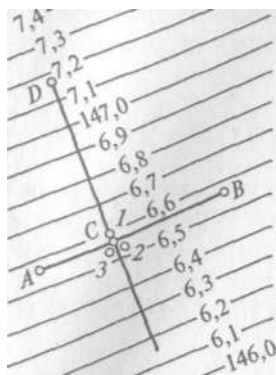


Рис. 15.6. Схема переноса в натуру плоскости проектного рельефа:

1, 2, 3 — подъемные винты

Точки проектного профиля по оси проезда выносят через каждые 10... 20 м. Затем в этих точках разбивают поперечники, закрепляют на них по обе стороны от оси точки, расположенные на оси лотка, на бордюрном камне тротуара и около фасадной линии.

В случае если из-за выемки или высокой насыпи установить кол на проектную отметку невозможно, то поступают следующим образом. Забивают кол до прочного положения в грунте и нивелируют его. Вычисленную отметку сравнивают с проектной и разность с соответствующим знаком выписывают на боковую поверхность кола. При планировке отмеряют эту разность от верхнего среза кола до рабочей поверхности грунта.

Разбивку на местности проектной линии, заключенной между двумя точками перегиба профиля, производят с помощью наклонного луча нивелира, теодолита, а также лазерных приборов.

Проект организации рельефа на внутриквартальной территории и площадях переносят в натуру путем разбивки сетки квадратов со сторонами 10 или 20 м. В вершинах квадратов закрепляют колья и устанавливают их на проектную отметку рассмотренным ранее способом.

Если запроектированный рельеф участка представляет собой наклонную плоскость одного уклона, то проект организации рельефа переносят, например наклонным лучом нивелира. Для этого по проекту определяют направление линии *AB* (рис. 15.6) с нулевым уклоном и переносят это направление на местность. Затем в произвольной, но удобно выбранной точке *C* на этой линии восстанавливают перпендикуляр *CD*. Если в точке *C* установить нивелир и расположить его перпендикулярно *CD*, то ось вращения нивелира займет положение, перпендикулярное разбиваемой в натуре наклонной плоскости. В этом случае отсчет *b* по рейке, установленной на кол, забитый на высоту проектной отметки во всех точках запроектированной плоскости, должен быть одинаковым и равным значению, вычисленному по формуле (15.1) с использованием проектной отметки точки *C*, на которой установлен нивелир.

Иногда проектную плоскость разбивают на отдельные профили и каждый профиль переносят в натуру наклонным лучом нивелира, теодолита или лазерного прибора.

Перенос на местность проектов организации рельефа производят в основном приборами и методами, обеспечивающими точность технического нивелирования.

Контрольные вопросы

1. Из каких функциональных зон формируется городская территория?
2. На основе каких градостроительных документов происходит развитие города?
3. Что представляет собой проект красных линий?
4. Какова технология вынесения в натуру основных линий регулирования и застройки?
5. Как изображается проектный рельеф?
6. Как составляется план земляных масс?
7. Каким образом переносится в натуру проект организации рельефа?

ГЛАВА 16

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГРАЖДАНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

16.1. Гражданские здания и состав геодезических работ при их возведении

К гражданским зданиям относятся производственные, жилые и общественные здания. В группу производственных зданий входит и часть сооружений: здравоохранения (бальнео- и грязелечебницы и т.п.), физкультурно-оздоровительные и спортивные (открытые и крытые стадионы, оздоровительные площадки и т.п.).

Жилые здания включают в себя: квартирные дома различной этажности, протяженности и конфигурации, дома для престарелых, инвалидов, общежития и т.д. В жилых зданиях могут быть предусмотрены нежилые (нетиповые) этажи, хозяйственные постройки и помещения. Инженерное оборудование жилых домов включает в себя: лифты (в зданиях с планировочной отметкой пола верхнего этажа от земли свыше 14м); хозяйственно-питьевое, противопожарное и горячее водоснабжение; канализацию, водостоки, отопление; вентиляцию; электротехнические устройства (электроосвещение, силовое электрооборудование, телефонизацию, радиофикацию, телевизионные антенны, домофоны и пр.).

Общественные здания включают в себя следующие группы зданий: для образования, воспитания и подготовки кадров; научно-исследовательские, проектные, управленческие и

общественные организации; здравоохранения и отдыха; физкультурно-оздоровительные; культурно-просветительские и зрелищные; торговли, общественного питания и бытового обслуживания; для транспорта; предназначенные для непосредственного обслуживания населения, коммунального хозяйства и др. В перечисленных группах зданий существует ряд более мелких делений на типы зданий. Они отличаются главным образом конфигурацией и этажностью. Инженерное оборудование общественных зданий в основном то же, что и жилых.

По конструктивным признакам здания бывают:

каменно-кирпичные;

монолитные, возводимые из монолитного железобетона в скользящей, секционно-переставной и щитовой опалубках;

крупноблочные, возводимые из блоков, изготовляемых индустриальным методом;

крупнопанельные, когда стеновые и внутренние панели, а также панели перекрытий являются несущими элементами конструкции;

каркасные, когда основными несущими элементами служат колонны, ригели и плиты перекрытий;

объемно-блочные, когда конструкция здания формируется из объемных элементов полной заводской готовности (комнаты, санузлы и т.п.).

По конфигурации здания возводятся: односекционные (один подъезд), удлиненные (свыше двух секций) и сложной конфигурации, включая круглые здания, здания с разворотом и смещениями секций.

Геодезические работы в гражданском строительстве можно рассматривать как комплекс измерений, вычислений и построений на чертежах и в натуре, обеспечивающих, во-первых, правильное и точное размещение зданий и сооружений и, во-вторых, возведение их конструктивных элементов в соответствии с геометрическими параметрами проекта и требованиями нормативных документов. Решение этих задач осуществляется поэтапно в зависимости от этапов строительно-монтажного производства. Можно выделить следующие этапы производства геодезических работ.

1. *Выбор площадки под строительство:*

сбор, анализ и обобщение материалов.

2. *Строительное проектирование:*

топографо-геодезические изыскания;

геодезическое обеспечение других видов изысканий;

обеспечение строительного проектирования дополнительными исходными данными.

3. *Изготовление строительных конструкций:*

контроль за соблюдением геометрических параметров элементов, в которых формируются строительные конструкции;

статистический контроль геометрических параметров изготовленных строительных конструкций.

4. Подготовительный период строительства:

создание геодезической разбивочной основы;

инженерная подготовка территории, включающая в себя планировочные работы, прокладку подземных коммуникаций и подъездных дорог;

вынос в натуру главных и основных осей.

5. Основной период строительства:

вынос в натуру осей конструктивных элементов;

геометрическое обеспечение строительно-монтажного производства при возведении подземных и надземных частей зданий;

исполнительная съемка законченных строительством элементов и составление исполнительной документации;

подготовка комплекта исполнительной геодезической документации к сдаче.

6. Окончание строительства:

составление и сдача технического отчета о результатах выполненных в процессе строительства геодезических работ;

составление исполнительного генерального плана, специальных исполнительных инженерных планов, профилей, разрезов.

16.2. Геодезические работы при возведении подземной части зданий

В соответствии с терминологией, принятой в проектно-сметной документации, строительный объем здания определяется как сумма строительных объемов: выше отметки $+0,00$ — *надземная* часть здания, ниже этой отметки — *подземная* часть здания и *цокольный этаж* — если верх его перекрытия находится ниже средней планировочной отметки земли не менее чем на 2 м.

К строительным работам по возведению подземной части зданий относятся земляные работы по отрытию котлованов, их обустройству и укреплению искусственными конструкциями (подпорные стенки, шпунтовые ограждения, сваи и т.п.).

Земляные работы. Исходными данными при отрытии котлованов, траншей и других перемещениях грунта служат топографические планы с нанесенными на них проектами сооружений.

Разбивку контуров сооружений выполняют по существующей к началу работ поверхности с запасом на устройство откосов котлована.

По окончании работы механизированной землеройной техникой определяют геометрические размеры и отметки котлованов. По этим данным перед возведением фундаментов дно котлована подчищают вручную до проектной отметки. Для этого в дно забивают

в шахматном порядке (примерно через 2 м) колья, на которые переносят отметки и подписывают величину добора (например, -2,5 см) или подсыпки (например, +20 см).

Для приемки выполненных земляных работ составляют акты и исполнительные схемы.

Свайные основания. Места забивки свай определяют от точек пересечения осей. Оси, закрепленные вне контура котлована, переносят сначала на верхнюю бровку, а затем на его дно. Последовательность разбивки мест погружения свай зависит от типа свайных полей, принятых схем погружения свай, направлений движения копровых установок (установка для забивки или погружения свай).

При *однорядном* расположении свай (рис. 16.1, а) на дно котлована переносят все основные (габаритные) оси (А, Б, В, 1 и т.д.). Промежуточные оси разбивают между габаритными на дне котлована и выбирают таким образом, чтобы расстояние между ними было не более длины применяемой рулетки. Габаритные и

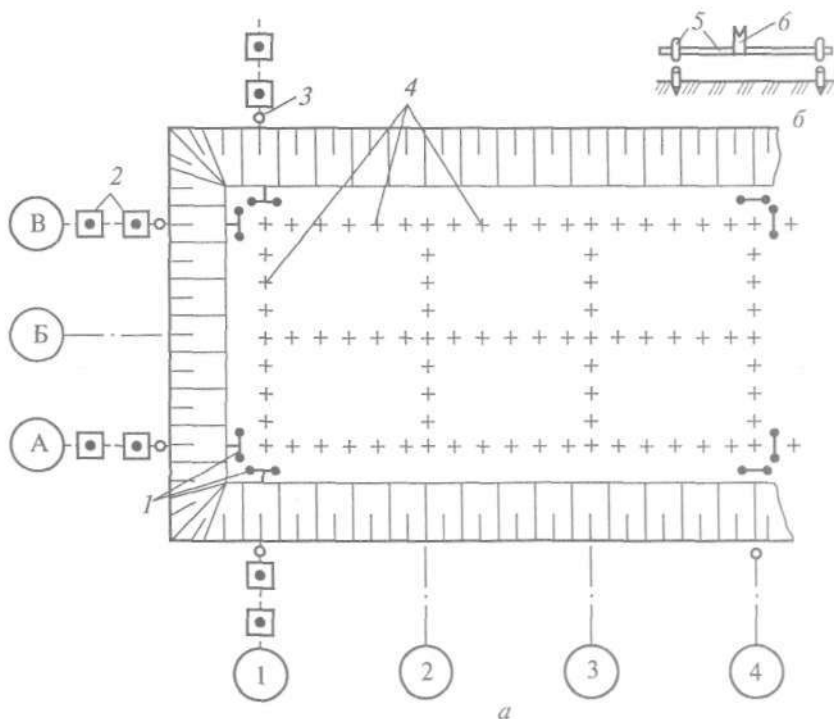


Рис. 16.1. Разбивка мест погружения свай при однорядном расположении:
 а — общая схема; б — строительная скамейка; 1 — точка закрепления оси на бровке котлована; 2 — строительные скамейки; 3 — знаки закрепления створов осей; 4 — места погружения свай; 5 — вертикальная и горизонтальная штанги; б — подвижная марка

промежуточные оси закрепляют на строительных скамейках 2. Между подвижными марками б скамеек (рис. 16.1, б), установленными в створах одноименных осей, натягивают шнур-причалку (леску) и на дно котлована переносят точки пересечения продольных и поперечных осей здания. Точки пересечения маркируют на верхнем торце кола, забиваемого в уровень с землей. В створе одной из осей натягивают рулетку и при расположении свай на оси по проектным расстояниям между сваями забивают колья, фиксирующие места 4 их погружения.

При расположении свай вне створов осей на расстоянии не более 4 м места погружения свай разбивают, откладывая от натянутой по створу оси рулетки проектные расстояния между сваями. В полученных точках «на глаз» восставляют перпендикуляры и второй рулеткой определяют места погружения свай.

При *кустовом* расположении свай последовательность разбивки несколько изменяется. На дне котлована после закрепления основных осей на строительных скамейках определяют центры кустов. Расстояние отмеряют двумя рулетками от створа, образованного леской. Длинномерную рулетку натягивают по одной оси между подвижными марками строительных скамеек. По маркам другой оси натягивают леску. На пересечении рулетки и лески определяют центр куста. Сохраняя направление створов осей, с помощью второй рулетки или метра определяют местоположение каждой сваи в кусте.

На оголовки установленных свай выносят проектную отметку их срубки (срезки). После срезки оголовков выполняют исполнительную съемку положения свай в плане. Съемку производят от створов линий, параллельно смещенных от осей. Эти створы получают перемещением подвижной марки по перекладине строительной скамейки на величину, равную диаметру сваи плюс 100 мм. При расположении свай вне створов осей съемку производят непосредственно от створов осей.

Для контроля за глубиной погружения на каждой свае от острия к оголовку наносят деления через 1 м. Метровые отрезки маркируют яркими рисками с оцифровкой метров, а проектную глубину погружения — буквами ПГ.

Вертикальность погружения сваи обеспечивается установкой направляющей стрелы копровой установки в отвесное положение.

Исполнительную съемку свайных полей начинают с перенесения осей на сваи (рис. 16.2). Теодолит устанавливают над створом 7оси и приводят в рабочее положение. Ориентируют трубу вдоль оси 1. При расположении свай на створах осей трубу наводят последовательно на сваи, расположенные не реже чем через 3 м, и на оголовках карандашом отмечают створ оси. При расположении свай вне створов осей на расстоянии не более 4 м к оголовкам свай, расположенных также не реже чем через 3 м вдоль

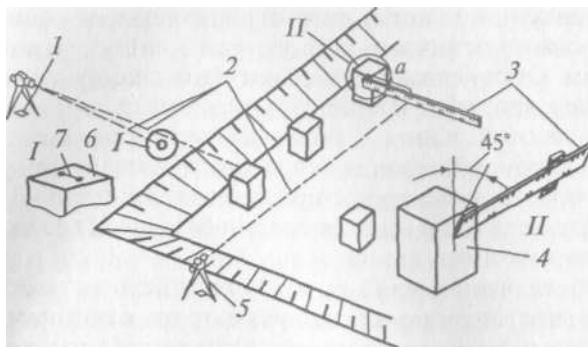


Рис. 16.2. Перенесение осей на сваи:

1 — знак закрепления створа оси; 2 — визирные лучи; 3 — рейка; 4 — грань сваи; 5 — теодолит; 6 — деревянный кол; 7 — створ оси

створов, горизонтально прикладывают нивелирную рейку 3. Перпендикулярность рейки к створу оси и ее горизонтальность определяют «на глаз». Пятку рейки с отсчетом 0 прислоняют к грани сваи, перпендикулярной створу. Горизонтальным перемещением рейки в биссектор сетки нитей трубы теодолита вводят отсчет a . Величина отсчета a по рейке равна проектной привязке сваи к оси.

Горизонтальность установки рейки и ее перпендикулярность к створу наблюдатель проверяет по сетке нитей зрительной трубы. При этом рейку прикладывают к оголовку (см. узел II) под углом 45° к отвесной плоскости, проходящей через грань сваи 4. На сваи переносят все оси, проходящие по габариту здания, а также продольные и поперечные оси, которые расположены на расстоянии, равном длине применяемой рулетки или меньшем.

При устройстве монолитных фундаментов с использованием свайного основания разбивка состоит в разметке на оголовках свай продольных и поперечных осей зданий.

Оси переносят грань на сваи 4 последовательно со знаков 1 закрепления их створов на бровку котлована (см. узел I). Створы осей на бровке котлована закрепляют на верхнем торце деревянных колец диаметром 10 см, длиной 25 см. Кольца забивают не ближе 1 м от верхней бровки котлована. Створ 7 оси маркируют (карандашом или другими маркировочными средствами). Затем теодолит устанавливают последовательно над перенесенными точками и ориентируют его трубу вдоль створов одноименных осей.

По описанной методике на сваи переносят все габаритные оси, а также продольные и поперечные оси, расположенные на расстоянии, равном длине применяемой рулетки или меньшем.

Далее на оголовках свай размечают все продольные и поперечные оси. При расположении свай на расстоянии более 4 м от ство-

ра осей в натуре переносят линии, параллельные осям, со смещением от осей на величину, равную расстоянию сваи от оси плюс 200... 50 мм. Оси на сваях размечают карандашными черточками.

Арматуру каркасов и опалубку размечают в плане от осей 4 (рис. 16.3), вынесенных на оголовках свай. Для этого геометрическим нивелированием переносят отметки по высоте на оголовки свай. Для последующего бетонирования на внутреннюю грань опалубки после ее установки и закрепления выносят риски 3 отметок верха бетонирования и контрольные отметки, отстоящие от отметок бетонирования на 100 мм. Их подписывают +0,1 м.

Правильность установки опалубки проверяют, измеряя расстояние от осевых рисок на оголовках свай до внутренней грани опалубки метром (линейкой) 2 и определяя толщину защитного слоя бетона 5. Вертикальность опалубки контролируют отвесами по внешним граням, а величину защитного слоя бетона в нижнем сечении проверяют «на глаз».

При устройстве фундаментов в скользящей опалубке кроме ранее описанных разбивочных работ выполняют выверку опалубки. Для этого стенки опалубки устанавливают с наклоном, обеспечивающим увеличение расстояния между ними к низу (конусность в пределах 10... 14 мм, если другая конусность не установлена проектом). Наклон стенок проверяют по отвесу. Дополнительно находят расстояние между внутренними поверхностями обшивки стенок, которое определяют посередине их высоты (это расстояние равно проектной толщине стены).

За установленной опалубкой в процессе бетонирования ведут непрерывные наблюдения. Если опалубка деформируется или сме-

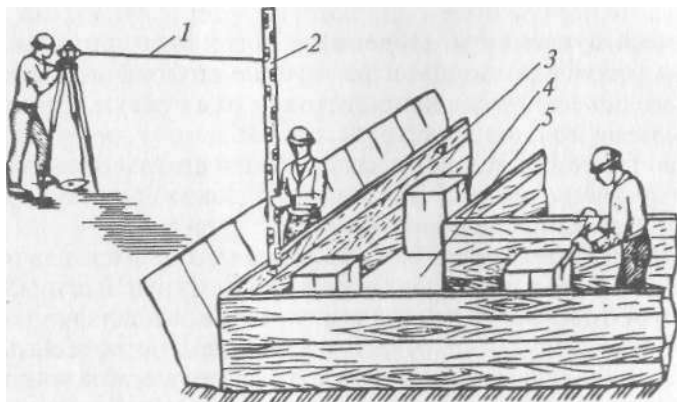


Рис. 16.3. Разбивка осей и отметок для установки арматуры и выверки опалубки (арматура условно не показана):
1 — горизонт нивелира; 2 — метр (линейка); 3 — риска отметки верха бетонирования; 4 — оси на оголовках свай; 5 — защитный слой бетона

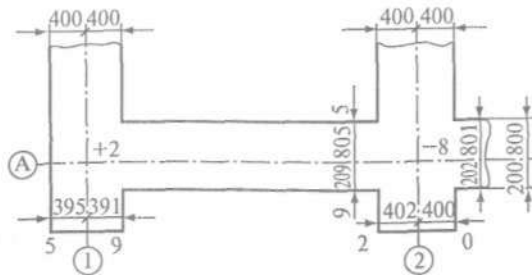


Рис. 16.4. Исполнительная съемка фундаментов

шается, бетонирование приостанавливают и элементы опалубки возвращают в проектное положение. При этом измерения выполняют так же, как и при установке опалубки.

По окончании бетонирования проводят исполнительную съемку фундаментов в плане и по высоте. Для съемки в плане на верхние и боковые грани фундаментов вновь переносят оси. От перенесенных осей делают измерения и по разности между измеренными и проектными расстояниями определяют их отклонения.

Пример записи результатов исполнительной съемки монолитных фундаментов приведен на рис. 16.4. Цифры со знаком плюс или минус показывают величину отклонения отметок верха или низа фундаментов от проектных отметок (плюс — превышение в сравнении с проектной, минус — занижение). Цифры без знаков обозначают величину расширения или сужения фундаментов; если цифра написана с внутренней стороны контура фундамента, то он сужен, если с внешней стороны контура, то фундамент расширен.

Сборные фундаменты. Основания под фундаменты проверяют по высоте нивелированием. При глубине котлована до 3 м отметки на его дно переносят непосредственно с бровки. При глубине котлована более 3 м отметки переносят на его дно в несколько приемов. Нивелирный ход прокладывают по трассе выезда автомашин со дна котлована (по пандусу), а при его отсутствии для установки рейки используют откос.

Отметки на дне котлована фиксируют на временных реперах, закладываемых не менее двух на захватку строительства. Отметки оснований фундаментов определяют для каждого фундамента в нескольких местах. Отдельные сборные фундаменты разбивают следующим образом (рис. 16.5). На дно котлована выносят оси под установку угловых и маячных фундаментных блоков или подушек. Створы осей здания последовательно переносят на верхнюю бровку (строительную скамейку 3), а затем и на дно котлована. На дно котлована с помощью теодолита 1 переносят все габаритные продольные и поперечные оси, а также оси, проходящие по за-

ваткам монтажа или очередям строительных работ. Правильность еренесения осей контролируют, измеряя длину диагоналей.

Угловые и маячные фундаментные блоки можно устанавливать, не перенося оси на дно котлована и используя створ осей на верхней бровке или строительные скамейки. В этом случае укладываемые фундаменты ориентируют двумя теодолитами, а промежуточные фундаментные блоки — откладывая между ними проектные расстояния рулеткой 2. Если на фундаменты устанавливают башмаки под колонны или фундаменты монтируют в несколько рядов по высоте, то оси разбивают, используя как основание первый ряд уложенных фундаментов. При этом все разметки створов осей и линий их пересечений маркируют.

Если угловые и промежуточные блоки установлены по теодолиту и нивелиру, то отпадает необходимость в разбивке осей на строительных скамейках. В этом случае используют шнур-причалку 5, которую натягивают по строительным скамейкам 3, угловым и маячным фундаментам на расстоянии 20...30 мм (до грани монтируемого фундамента).

До монтажа фундаментов на их гранях размечают с помощью метра установочные риски. При симметричной привязке фундаментов к осям установочную риску наносят на середине фундамента, при несимметричной привязке установочные риски наносят, отмеряя величины привязок от одних и тех же ребер на всех фундаментах.

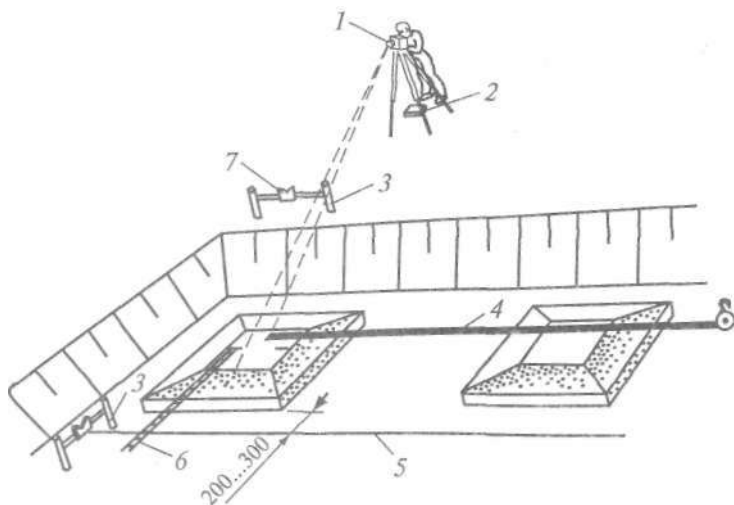


Рис. 16.5. Перенесение осей на фундаментные блоки:

1 — теодолит; 2 — рулетка; 3 — строительные скамейки; 4, 6 — рулетки; 5 — шнур-причалка; 7 — подвижная марка

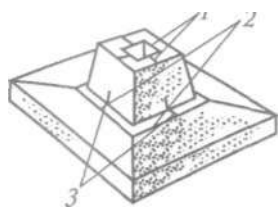


Рис. 16.6. Совмещение рисок при монтаже фундамента под колонну: 1, 3 — ориентирные риски; 2 — установочные риски

При монтаже башмаков под колонны (рис. 16.6) ориентирные риски / наносят исходя из размеров отверстий стаканов. Отверстие размечают в соответствии с привязкой к нему или осям колонны. С помощью линейки, лески и отвеса эту разметку переносят на наружные грани в месте контакта установленного фундамента и монтируемого башмака. Ориентирные риски 3 на фундаментах и установочные 2 на башмаках совмещают «на глаз».

Высотные отметки при монтаже колонн в стаканы фундаментов проверяют геометрическим нивелированием и выравнивают, подкладывая калиброванные прокладки и устанавливая закладные фиксирующие устройства. Прокладки калибруют по толщине и данным высотной исполнительной съемки.

Ленточные сборные фундаменты разбивают так же, как и отдельные. Для фиксации положения осей можно использовать монтажную проволоку 1 (рис. 16.7), натянутую между строительными скамейками 2. В этом случае перенос осей в котлован осуществляется с помощью отвесов 3. Таким образом устанавливают угловые и маячные фундаменты. Промежуточные фундаменты устраивают между угловыми и маячными с помощью шнура-причалки. Если фундаменты монтируют в несколько рядов по высоте, то последующую разбивку осей и вынос отметок производят, используя как основание первый ряд уложенных фундаментов.

По окончании возведения сборных фундаментов выполняют исполнительную съемку. Для этого на все элементы фундаментов

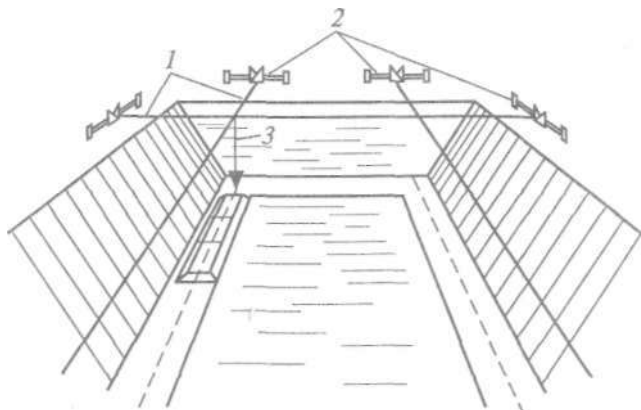


Рис. 16.7. Схема разбивки ленточных сборных фундаментов: 1 — монтажная проволока; 2 — строительные скамейки; 3 — отвес

вновь переносят оси. При исполнительной съемке башмаков под колонны высоту отметки определяют по дну стаканов.

16.3. Построение базисных осевых систем и разбивка осей на исходном горизонте

Базисными осевыми системами называют плановую разбивочную основу на исходном горизонте. *Исходным горизонтом* принято называть горизонт монтажной площадки по завершении строительства подземной части здания.

Базисные фигуры осевой системы строятся на исходном горизонте и по своей форме повторяют конфигурацию здания. Они состоят в основном из типовых правильных геометрических фигур, стороны которых располагаются параллельно осям здания так, чтобы последующая разбивка осей выполнялась непосредственно линейными промерами вдоль сторон базисной фигуры и методом бокового нивелирования — в перпендикулярном направлении.

Точность построения плановой сети на исходном горизонте определяется необходимой точностью детальной разбивки осей с учетом построения пространственной сети на монтажных горизонтах и для сборных зданий характеризуется средней квадратической погрешностью 1... 2 мм. Число точек в сети зависит от размеров и конфигурации здания, технологии выполнения строительно-монтажных работ и других факторов.

Существенное значение имеет правильный выбор мест расположения точек базисной фигуры и способа их закрепления, так как эти точки должны быть сохранены до окончания возведения здания.

Положение точек плановой сети на исходном горизонте определяется от осей здания. Оси здания на исходный горизонт переносятся от осей, закрепленных вне контура здания, методом наклонного проектирования с помощью теодолита. При этом фиксируют положение двух взаимно-перпендикулярных продольной и поперечной осей.

Взаимное положение точек базисных фигур определяется в результате выполнения точных измерений. Длины сторон измеряют компарированной рулеткой с миллиметровыми делениями с натяжением и измерением температуры воздуха. Угловые измерения выполняются точными теодолитами.

По результатам измерений производятся уравнивание и вычисление координат точек базисной сети. Для упрощения вычислений применяется условная система координат, принимая координаты одной из точек сети и направление одной из осей за начальные. Вычисленные координаты сравниваются с проектными, и по результатам сравнения выполняется редуцирование. По

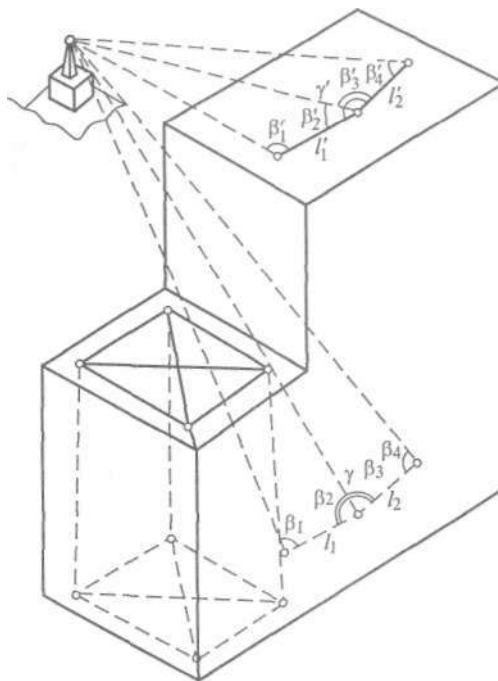


Рис. 16.8. Схема переноса базисных фигур с исходного на монтажный горизонт

отредактированным точкам производят контрольные измерения и при необходимости — повторное редуцирование.

В практике строительства гражданских зданий базисные фигуры строятся в основном в виде прямоугольников с диагоналями и центральными системами (рис. 16.8). Наиболее предпочтительным методом построения является метод трилатерации. Иногда для узких, но протяженных зданий базисной фигурой могут служить прямые или ломаные линии. В этом случае для контроля производят угловую привязку этих линий к постоянным местным предметам, видимым как с исходного, так и со всех лежащих выше горизонтов. Для этого измеряют углы ρ и γ , длины сторон l и h на исходном горизонте и углы ρ' , γ' , длины сторон l' , h' на монтажном.

16.4. Перенос осей и отметок на монтажные горизонты

Под *монтажным горизонтом* понимается условная плоскость, проходящая через опорные площадки возведенных несущих конструкций строящегося этажа или яруса надземной части здания.

Для детальной разбивки осей на монтажном горизонте точки базисной сети, определяющие положение осей, переносятся с исходного на монтажный горизонт. Эта работа может выполняться наклонным проектированием с помощью теодолита или вертикальным проектированием с помощью специальных высокоточных приборов вертикального проектирования (ПОВП, PZL и т.п.).

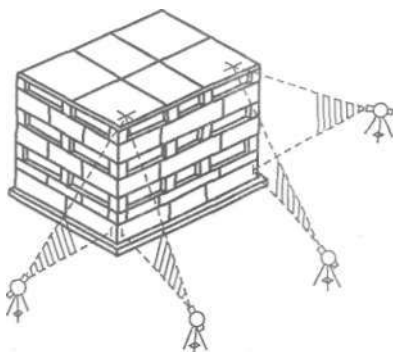


Рис. 16.9. Схема переноса осей с исходного на монтажный горизонт наклонным проектированием

Способ наклонного проектирования целесообразно применять при возведении зданий малой и средней этажности и при условии больших свободных территорий в границах строительной площадки. При этом способе теодолит устанавливается на некотором расстоянии от здания точно в створе переносимой оси (рис. 16.9). Труба теодолита ориентируется по точке на исходном горизонте, затем, поднимая ее в вертикальной плоскости, по вертикальному штриху фиксируют направление оси на перекрытии монтажного горизонта. Аналогичные действия выполняют при другом круге теодолита и из двух положений оси отмечают среднее. Точно так же определяют положение оси в перпендикулярном направлении; в пересечении получают точку на монтажном горизонте как проекцию соответствующей точки исходного горизонта.

В случае применения способа вертикального проектирования возможны два варианта: сквозной — когда с исходного горизонта точки проектируются последовательно на все монтажные горизонты; шаговый — когда проектирование ведется с исходного на первый монтажный горизонт, с первого на второй и т.д. В обоих случаях методика проектирования одинакова. Зенит-прибор (рис. 16.10) центрируют над Исходной точкой, визирный пучок приводят в вертикальное положение при помощи оптического компенсатора или точных уровней.

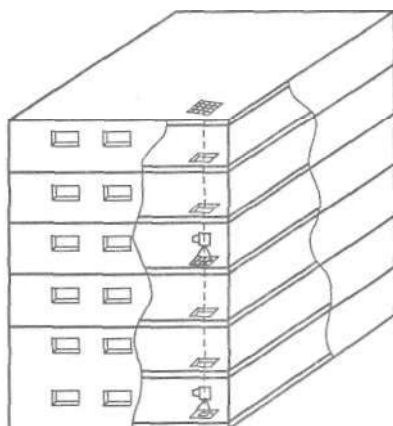


Рис. 16.10. Схема переноса точек закрепления осей с исходного на монтажный горизонт вертикальным проектированием

На горизонте строительных работ укрепляют прозрачную палетку с квадратной сеткой, по которой берут отсчеты, определяющие положение проекции вертикальной оптической оси зенит-прибора.

После переноса базовой фигуры на монтажном горизонте выполняют контрольные измерения всех расстояний и углов между точками. Величины измеренных на монтажном горизонте элементов сравнивают с аналогичными на исходном. В случае недопустимых расхождений перенос повторяют.

Точность проектирования точки наклонным лучом теодолита зависит от следующих погрешностей:

- за наклон вертикальной оси вращения теодолита m_{τ} ;
- визирования $m_{\text{виз}}$;
- из-за нестворности установки теодолита $m_{\Delta l}$;
- фиксации положения проектируемой точки m_{ϕ} .

Погрешность за наклон вертикальной оси вращения теодолита является наиболее существенной. Она может быть подсчитана по формуле

$$m_{\tau} = \frac{0,5\tau'' H}{\rho''}, \quad (16.1)$$

где τ — цена деления цилиндрического уровня на горизонтальном круге теодолита; H — высота проектирования.

При заданной погрешности m_{τ} по формуле (16.1) можно подсчитать необходимую цену деления уровня на теодолите. Например, при $m_{\tau} = 1$ мм и $H = 30$ м $\tau = 14''$, т.е. нужно применять теодолит типа 3Т2.

Влияние погрешности визирования в линейной мере может быть подсчитано по формуле

$$m_{\text{виз}} = \frac{20'' \sqrt{2} S}{\Gamma^{\times} \rho''},$$

где S — расстояние от теодолита до проектируемой точки; Γ^{\times} — увеличение зрительной трубы теодолита. При заданной погрешности $m_{\text{виз}}$ можно определить необходимое увеличение зрительной трубы.

Например, при $m_{\text{виз}} = 0,5$ мм и $S = 50$ м $\Gamma = 14^{\times}$, т.е. для обеспечения заданной погрешности визирования пригоден любой теодолит.

Вопрос об установке теодолита в створе исходной и проектируемой точек возникает лишь тогда, когда эти точки не находятся на одной вертикали. В этом случае нестворность Δl установки теодолита вычисляется по формуле

$$\Delta l = \frac{m_{\Delta l} S}{r},$$

где r — расстояние между проекциями на горизонтальную плоскость исходной и проектируемой точек. Если, например, при заданной погрешности $m_{\Delta l} = 0,5$ мм, $S = 50$ м и $r = 5$ м, то $\Delta l = 5$ м, т. е. теодолит в створе может быть установлен «на глаз».

Величина погрешности фиксации обычно не превышает 0,5... 1,0 мм.

Точность вертикального проектирования зависит от погрешностей зенит-прибора и принятого способа проектирования.

Средняя квадратическая погрешность m_H приборов типа ПОВП и PZL определяется следующей приближенной формулой, мм:

$$m_H = 0,01H + 0,3,$$

где H — высота проектирования, м. При $H = 100$ м $m_H = 1,3$ мм.

Высотным разбивочным обоснованием на каждом монтажном горизонте служат рабочие реперы, отметки которых получены от исходных реперов высотной разбивочной основы. На монтажный горизонт переносят не менее двух реперов в зависимости от числа секций. Рабочими реперами могут служить закладные детали в конструкциях данного этажа или откраски на строительных конструкциях.

Отметки на монтажный горизонт могут передаваться методом геометрического нивелирования с применением двух нивелиров и стальной компарированной рулетки. На исходном и монтажном горизонтах устанавливают нивелиры (рис. 16.11) (можно переносить один нивелир). На реперах, между которыми передаются отметки, устанавливают рейки. Берут отсчеты a и b по рейкам и отсчеты l_1 и l_2 по подвешенной рулетке. Разность отсчетов $l = l_2 - l_1$ необходимо исправить поправками за компарирование и температуру. Искомую отметку монтажного горизонта $H_{\text{мон}}$ вычисляют по формуле

$$H_{\text{мон}} = H_{\text{исх}} + (a - b) + l,$$

где $H_{\text{исх}}$ — отметка репера на исходном горизонте.

Точность передачи отметки этим способом будет зависеть в основном от погрешностей отсчетов по рейкам и рулетке, компарирования реек и рулетки, учета температуры рулетки. В случае применения нивелиров типа Н-3, шашечных нивелирных реек и стальных компарированных рулеток с ценой деления 1 мм средняя

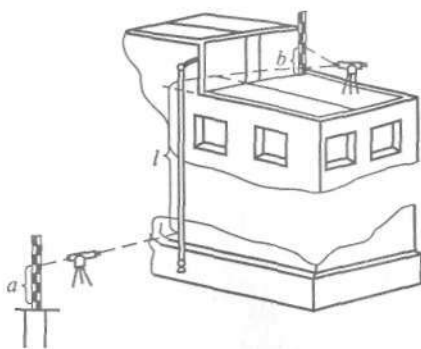


Рис. 16.11. Схема передачи отметки с исходного на монтажный горизонт

квадратическая погрешность передачи может быть выражена следующей формулой, мм:

$$m_H = 1,5 + 0,25n,$$

где n — порядковый номер этажа или яруса, на который передается отметка от исходного репера.

Передача отметки на монтажный горизонт может быть также выполнена путем фиксации отметки на строительных конструкциях исходного горизонта и вертикального линейного промера по строительным конструкциям до соответствующей откраски на монтажном горизонте.

Для удобства стараются на монтажном горизонте зафиксировать отметку, кратную целым метрам или полуметрам, например +24,000 или +24,500.

16.5. Геодезические работы при возведении надземной части зданий различной конструкции

Технология геодезического обеспечения строительства зданий различных конструкций неодинакова. Рассмотрим ее для зданий массового строительства.

Возведение крупнопанельных зданий. Основными элементами крупнопанельных зданий являются наружные и внутренние стеновые панели, стенки жесткости, панели перекрытий и лестнично-лифтовые узлы. Все эти элементы собирают в конструкцию здания по детальной геодезической разбивке таким образом, чтобы на каждом этаже их оси совпадали с разбивочными осями здания, стеновые панели были бы вертикальны, а их верх имел бы одинаковый уровень по всему зданию.

Монтаж строительных элементов затруднительно вести от разбивочных осей зданий, поэтому пользуются их параллелями, смещенными на величины, определяемые размерами конструкций, а также установочных шаблонов и измерительных приспособлений, применяемых при монтаже. Кроме того, размечать (прочерчивать) на конструкциях длину той или иной оси нецелесообразно. Достаточно разметить положение оси в виде коротких ориентирных рисок, по числу и местоположению определяющих установку конструкции в проектное положение. Так, например, для установки стеновой панели размечают по три ориентирные риски: две в продольном и одну в поперечном направлениях.

Разметку ориентирных рисок для стен технического или так называемого цокольного этажа производят на верхних поверхностях фундаментов; для стен первого и последующего этажей — на плоскостях смонтированных перекрытий. Разметку производят еди-

нообразно на всех этажах по захваткам или очередям строительных работ.

Ориентирные риски под установку панелей размечают для поперечных наружных торцовых стен, всех продольных стен, стенок жесткости лестнично-лифтовых узлов. Ориентирные риски для наружных стен намечают с внутренней стороны здания, для панелей поперечных стен — в зависимости от конструктивных решений и применяемого оснащения.

Разметку ориентирных рисок производят створно-линейным способом. Створы осей задаются от точек разбивной основы с помощью теодолита, а также стальной проволоки или лески. Линейные промеры выполняют рулеткой нарастающим итогом от начала разбивки с обязательным контрольным промером всех расстояний.

До установки панелей стен по высотным отметкам, полученным в результате нивелирования, выполняют выравнивание монтажного горизонта. Для этого нивелируют все опорные плоскости, на которые будут устанавливаться панели стен. Отметки определяют не менее чем в двух точках под каждую панель. Нивелирную рейку устанавливают таким образом, чтобы определялась наивысшая точка опорной плоскости (обычно стыки смежных перекрытий или перекрытий и наружных стен). Отметку наивысшей точки монтажного горизонта увеличивают на минимальную толщину растворной постели и по найденной отметке раствором выравнивают

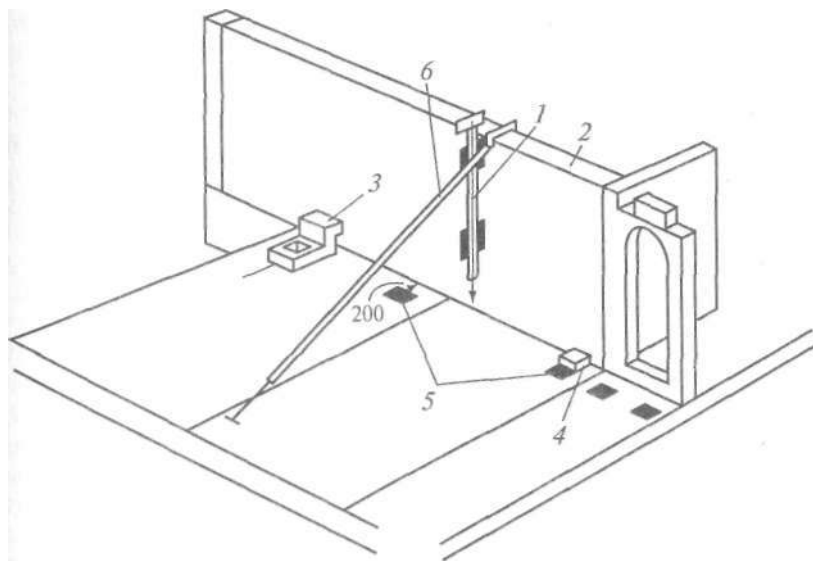


Рис. 16.12. Схема установки панели в проектное положение:
1 — рейка-отвес; 2 — панель; 3 — щечка; 4 — маяк; 5 — ориентирная риска; 6 — телескопический подкос; 7 — Т-образный упор

монтажный горизонт. Сначала делают растворные маяки (рис. 16.12), которые служат уровнем для расстилаемого раствора. Положение панелей в нижнем сечении относительно осей выверяют, совмещая торцовую грань с поперечной ориентирной рисккой. С продольными ориентирными рисками совмещают монтажные уголки или Т-образные упоры; при этом грань панели должна совпадать с щечками уголков и упоров. Установку в отвесное положение панелей, их временное закрепление и выверку производят с помощью специального монтажного оснащения. Так, например, с помощью телескопического подкоса удерживают и наклоняют панель, а с помощью рейки-отвеса фиксируют ее вертикальность.

После монтажа каждого этажа здания производят исполнительную съемку, в результате которой определяют возможные плановые и высотные отклонения в положении конструкций относительно проектных.

Возведение каркасных зданий. Основными элементами каркасных зданий являются колонны, ригели и плиты перекрытий. Геодезическую разбивку и выверку производят в основном для монтажа колонн, все остальные конструкции монтируются практически без участия геодезиста.

До начала возведения каркасных зданий производят разметку колонн путем нанесения на них установочных рисков, соответствующих положению геометрических осей колонн. Риски, как правило, наносят цветным карандашом.

При разметке железобетонных колонн каркаса установочные риски наносят на колонну с отступлением от нижнего и верхнего ее торцов на 100 мм. На колоннах первого яруса при установке их в стаканы размечают установочные риски с учетом глубины стакана. Разметку производят шаблоном или рулеткой. При этом базой отсчета для разметки боковых граней служат ребра, находившиеся на дне формооснастки при изготовлении колонн. Ребра образуют плоскость, противоположную той, на которой имеются монтажные петли. Верхнюю и нижние грани размечают симметрично, если другая привязка колонн к осям не предусмотрена проектом.

На железобетонных колоннах с металлическим сердечником за основу разметки принимают металлические пластины; размеченные на них риски переносят на бетонную плоскость колонн.

Разметку установочных рисков Н- и Т-образных рамных конструкций из колонн производят аналогично разметке одиночных колонн. Установочные риски на восьмигранных колоннах и колоннах, имеющих в сечении другие правильные фигуры, размечают на четырех противоположных плоскостях.

Разметку колонн круглого сечения производят с помощью шаблонов. Для нанесения установочных штрихов колонны в нижнем сечении обмеряют по окружности. Полученную длину окружно-

ти делят на четыре части. Через начальную точку проводят первый установочный штрих, последующие три наносят через равные промежутки. Для разметки верхнего сечения колонны на горизонтальную площадку укладывают шаблон из недеформированного швеллера. Колонну укладывают в швеллер, совмещая одну из полок с установочной риской, которую принимают за начало отсчета. Для разметки может быть использован металлический уголок, который накладывают на колонну.

Развитие разбивочных осей на монтажном горизонте производят от точек разбивочной основы, перенесенных с исходного на данный горизонт, например точки $ABCD$ (рис. 16.13). Оси размечают со всех четырех сторон оголовков колонн. Разметка продольного и поперечного базовых рядов колонн может быть выполнена способом бокового нивелирования с помощью теодолита. Например, теодолит устанавливается над точкой A и ориентируется по стороне AB разбивочной основы. К каждой колонне прикладывается горизонтально нивелирная рейка и перемещается до тех пор, пока отсчет по ней не будет равен расстоянию от стороны разби-

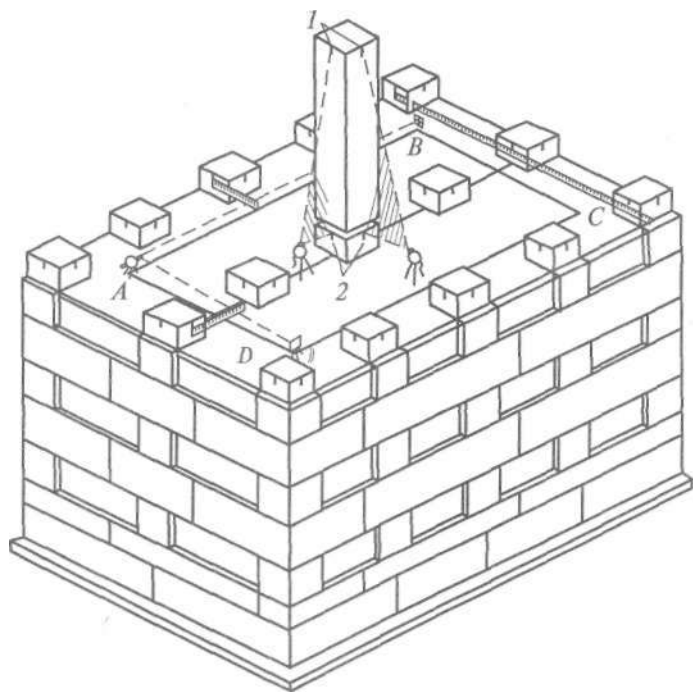


Рис. 16.13. Схема детальной разбивки осей и установки колонн каркасно-панельного здания:

$/$ — установочные штрихи; 2 — ориентирные штрихи

вочной основы до параллельной разбивочной оси. В этот момент пятка рейки будет определять на колонне положение разбивочной оси. Разметка делается на всех колоннах этого ряда. Затем теодолит поворачивается на 90° и ориентируется по точке *D*. Тем же способом производится разметка колонн поперечного базового ряда. От базовых рядов с помощью рулетки путем отложения нарастающим итогом проектных расстояний между колоннами размечаются разбивочные оси на всех колоннах остальных продольных и поперечных рядов. Контролем разметки может служить боковое нивелирование относительно сторон *CD* и *CB* разбивочной основы.

По высоте с помощью нивелира определяют отметки всех оголовков колонн и выравнивают монтажный горизонт по наименьшей отметке путем калиброванных металлических прокладок.

Процесс разметки разбивочных осей одновременно является и исполнительной съемкой положения верха колонн лежащего ниже горизонта. Об отклонениях судят по расхождению между положением установочных и разбивочных рисок.

При монтаже низ колонны (см. рис. 16.13) приводят в проектное положение путем совмещения установочного штриха) монтируемой колонны с ориентирным (осевым) штрихом 2, размеченной на лежащем ниже оголовке. Правильность совмещения проверяют отвесом. Выверку по вертикали осуществляют двумя проверенными теодолитами по двум взаимно-перпендикулярным плоскостям, используя верхние установочные штрихи монтируемой колонны.

Возведение блочных зданий. Геодезические работы для монтажа блочных зданий начинают с переноса на фундаменты осей, проходящих по габаритным размерам здания. Затем разбивают все оси, проходящие по несущим стенам. От этих осей размечают установочные штрихи для монтажа стеновых блоков по граням стен. Проводят также линии, отнесенные от граней на определенное, заранее обусловленное расстояние (обычно 200 мм). Как правило, в натуре выносят установочные риски только в начале и конце стены. Между ними натягивают тонкую металлическую проволоку или леску-причалку, по которой ориентируют все промежуточные блоки при их установке.

Для промежуточных осей проектные расстояния откладывают от основных осей. За начальные точки принимают пересечения продольных и поперечных осей, вынесенные на монтажный горизонт. Промежуточные оси разбивают от этих точек. На пересечении осей по контуру устанавливают маячные блоки, которые помещают в местах перевязки или пересечения осей стен здания, не реже чем через 20... 30 м. Между маячными устанавливают рядовые блоки. Для рядовых блоков наружных стен, расположенных ниже уровня грунта, причалку натягивают между угловыми или маячными блоками на расстоянии 20... 30 мм от внутренней плос-

кости стен. Для блоков, которые монтируют выше уровня грунта, дрочалку натягивают по наружной плоскости стен. Внутренние стены подземной и надземной частей здания выравнивают одинаково на всех этажах. Оси первого и последующего этажей разбивают непосредственно от знаков, закрепляющих их створы.

В продольном направлении монтируемые блоки выверяют контактным способом по калибрам или шаблонам, в качестве которых используют прокладки — деревянные бруски. Толщина прокладок соответствует проектной толщине швов. Перед заделкой шва прокладку удаляют.

Положение блоков стен по высоте определяют по результатам нивелирования. Отметки опорных поверхностей стен выравнивают по маякам. Высоты маяков вычисляют по разности между отметкой наивысшей точки монтажного горизонта, увеличенной на толщину растворной постели, и отметкой опорной плоскости монтируемого блока.

Возведение кирпичных зданий. При строительстве зданий и сооружений из кирпича, искусственных и природных камней правильной геометрической формы, природных неотесанных камней геодезические работы состоят в разбивке осей стен, привязок их габаритных размеров к осям, определении отметок. Эти работы выполняют рассмотренными ранее методами и приборами.

В процессе кладки проводят измерительные операции, которые выполняют с помощью простейших приспособлений. Лицевую поверхность кладки, выходящую наружу здания, проверяют правилом — деревянным бруском сечением 50 x 50 мм и длиной 1200... 1500 мм; горизонтальность кладки определяют уровнем. Длина опорной плоскости уровня может быть до 500 мм. С помощью правила, уложенного на кладку, и уровня, установленного на нем, определяют отклонения кладки от горизонтали. Вертикальность кладки контролируют в пределах этажа по отвесу массой от 0,2 до 0,4 кг. Горизонтальность и вертикальность кладки проверяют не реже двух раз на каждый метр высоты кладки.

Для проверки прямолинейности рядов кладки используют шнур-причалку, который закрепляют на скобах или гвоздях в кладке со смещением от осей на величину привязки стен к осям вровень с их плоскостями. Правильность закладки проверяют деревянными Угольниками.

Исполнительную съемку в плане и по высоте в кирпичных зданиях выполняют для всех углов и мест перевязок стен на уровне открытых. Измерения ведут от осей или ориентирных рисок.

Возведение зданий из монолитного железобетона. В основу этого метода положено применение специальной передвижной или пеставной опалубки.

Стенная опалубка благодаря модульному принципу позволяет
3 Щитов, устанавливаемых вертикально и горизонтально, форми-

ровать конструкции различной, заранее заданной толщины. В у^ танавливаемых конструкциях элементы могут смещаться друг относительно друга вверх и вниз. Промежуточное пространство выравнивают за счет переставляемых выравнивающих листов.

Круговая опалубка, как правило, состоит из стандартных элементов стеной опалубки и особых вкладышей. Разметку ориентиров производят в начале и конце круговой опалубки.

Опалубка для колонн состоит из целиковой опалубки или щитовых элементов, соединяемых специальными конструкциями, называемыми «наружный угол».

Опалубка перекрытий составляется из стандартных, как правило, крупных щитов или не снимаемого в дальнейшем профилированного настила. Так как вертикальные и горизонтальные щиты примыкают друг к другу весьма плотно, выверка опалубки перекрытий заключается главным образом в нивелировании мест примыканий и исправлении негоризонтальности, которое производят путем подъема (опускания) опор поддерживающих штанг.

Опалубка для фундаментов устанавливается горизонтально на землю или другое основание и закрепляется при помощи специальных анкерных держателей.

Геодезические работы при возведении зданий из монолитного железобетона состоят из разметки на горизонтальных плоскостях перекрытий ориентирных рисок для установки арматуры и опалубки. При этом разбивочные работы по выносу осей и отметок проводят аналогично ранее рассмотренным. Кроме того, выполняют работы по плановой и высотной выверкам опалубки.

До установки щиты опалубки проверяют, при этом определяют прогибы элементов и их габаритные размеры. Не допускаются к монтажу элементы, изготовленные с прогибами более 2 мм, а по габаритным размерам — отличающиеся от запроектированных на величину более 10... 15 см.

16.6. Геодезические работы при строительстве промышленных сооружений

Промышленные предприятия представляют собой комплекс сооружений, обеспечивающих производство и выпуск определенной продукции. Входящие в его состав сооружения производственного назначения называют *промышленными*. К ним относятся: специализированные здания, в которых осуществляется определенный технологический процесс; связанные с ними здания энергетических, силовых и других установок; складские помещения, в тМ числе и механизированные; подземные и надземные коммуникации и т. д. По своему объемно-планировочному и конструктивному решению промышленные здания отличаются большим разно'

образом, зависящим от назначения, последовательности операций технологических процессов, расположения и габаритных размеров оборудования и т.д.

Промышленные здания проектируют одноэтажными и многоэтажными, однопролетными и многопролетными. По конструкции они чаще всего каркасные, с несущими элементами покрытий в виде крупноразмерных балок или ферм. Как правило, промышленные здания оборудуются грузоподъемными механизмами — мостовыми или козловыми кранами. Приведем основные конструктивные элементы одноэтажного каркасного здания (рис. 16.14). Колонны размещаются в соответствии с сеткой продольных и поперечных разбивочных осей здания. Причем расстоя-

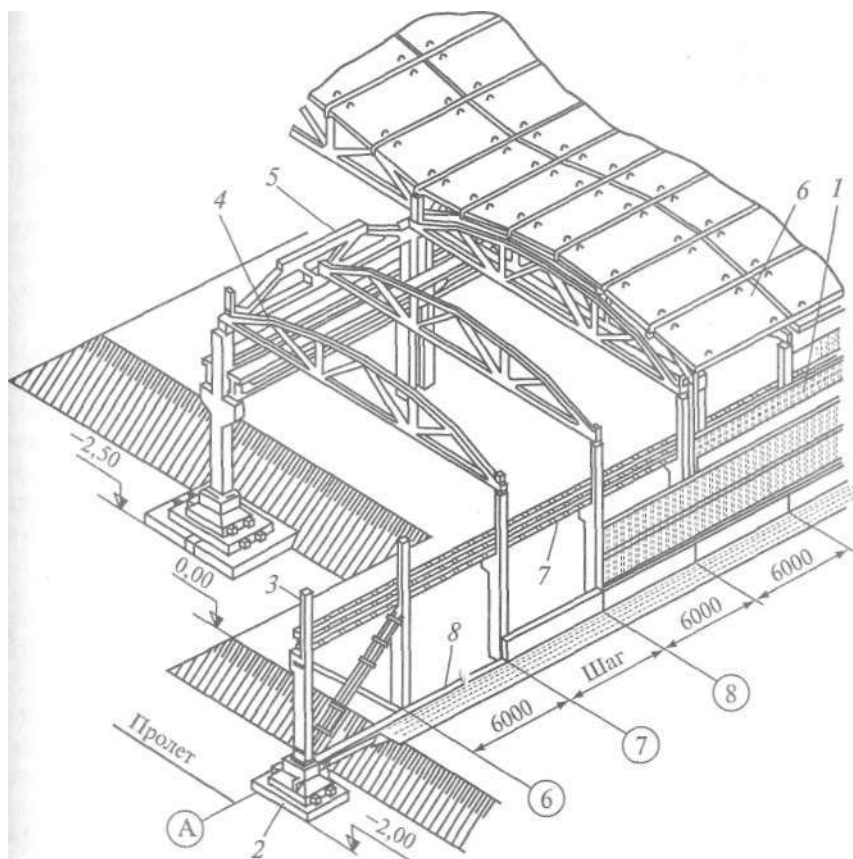


Рис. 16.14. Конструктивные элементы одноэтажного промышленного здания:

1, 6 — панели; 2 — фундамент; 3 — колонна; 4 — подстропильная ферма; 5 — стропильная ферма; 7 — подкрановая балка; 8 — фундаментная балка

ние между продольными осями называют *пролетом*, а между поперечными — *шагом колонн*. Колонны устанавливают на фундаменты. Продольная связь колонн осуществляется с помощью подстропильных ферм и фундаментных балок, поперечная связь — стропильными фермами. Перекрытия и стены возводят из панелей. Опорой для оборудования мостового крана служат подкрановые балки.

При возведении сооружений промышленного предприятия выполняют большой объем геодезических работ. Для выноса проекта в натуру строят разбивочную сеть. От пунктов разбивочной сети выносят главные и основные оси зданий, сооружений, инженерных коммуникаций. При детальной разбивке определяют положение отдельных элементов конструкций от вынесенных и закрепленных основных осей. Кроме того, выполняют разбивки фундаментов, закладных и опорных частей для монтажа технологического оборудования. Особое место в процессе строительства промышленного предприятия занимают геодезические работы при монтаже технологического оборудования, обеспечивающего производственный процесс. Методика и точность этих работ зависят от многих факторов, основными из которых являются: форма, размеры и конструктивные особенности оборудования, а также требования к взаимному положению их элементов.

Разбивочная основа, как правило, создается в виде геодезической строительной сетки с длиной стороны квадратов 100...200 м. Координатные оси сетки строго параллельны основным осям сооружений. Строительная сетка проектируется на генеральном плане промышленного предприятия таким образом, чтобы с учетом расположения всего комплекса зданий и сооружений ее пункты в минимальной степени попадали в зону производства строительных работ и не утрачивались в процессе строительства.

Практика показывает, что даже при самом тщательном планировании расположения пунктов строительной сетки значительная часть их в процессе строительства утрачивается и для всех последующих видов работ их надо восстанавливать либо создавать новое обоснование. Кроме того, технология построения строительной сетки достаточно сложна и трудоемка.

Поскольку проектировщик зданий, сооружений дает привязку, как правило, в прямоугольной системе координат строительной сетки, то можно ее проектировать, но только на генеральном плане. Геодезист же всегда может пересчитать координаты и соответственно проектные привязки из строительной (данной проектировщиком) системы в геодезическую: государственную или местную, применяемую в данном районе строительства. Для этого на местности должны быть вынесены и привязаны к геодезической системе координаты не менее двух пунктов, местоположение которых соответствует каким-либо пунктам сетки на генеральном

плане. Это должно быть сделано с точностью, необходимой для определения местоположения на местности всей строительной площадки, т. е. традиционно. Что касается геодезического обоснования на местности, то оно может строиться с той же плотностью, что и строительная сетка, но с таким расположением пунктов, которое обеспечило бы их длительную сохранность и удобство выполнения всех видов геодезических работ.

Рассмотрим несколько возможных технологических схем построения геодезического обоснования на промышленных площадках.

В первой из них на площадке строительства развивается геодезическая сеть в традиционном виде путем последовательного ее сгущения до необходимой плотности положения пунктов для выполнения разбивочных работ. Например, на территории всей площадки и подходов к ней развивается сеть триангуляции или полигонометрии, которая затем сгущается системой ходов полигонометрии последующих разрядов. При этом пункты полигонометрии располагаются в местах, удобных для разбивки, и вне зоны строительных работ. Такая технология оправдана и сегодня при наличии у исполнителя только традиционных геодезических приборов: теодолитов, мерных приборов и т.п., а также традиционных навыков выполнения работ. Не исключено также, что для определенных условий такая технология может оказаться дешевле других.

Во втором варианте на территории всей площадки и подходов к ней развивается каркасная сеть любого вида. Пункты этой сети располагаются по возможности таким образом, чтобы на группу пунктов была видимость со многих мест площадки. В дальнейшем разбивочное обоснование развивается по известному принципу «свободной станции», т.е. когда в необходимом месте положение пункта определяется обратной угловой засечкой. При применении спутниковых технологий схема решения аналогична схеме свободной станции с теми же вариантами расположения точек разбивочного обоснования. Для разбивочных работ могут применяться любые спутниковые приемники и методы измерений, обеспечивающие точность определения местоположения со средней квадратической погрешностью до 2 см. Исполнителю необходимо иметь, как минимум, два приемника, один из которых на все время наблюдений устанавливается на пункте с известными координатами в местной или государственной системе, другой — перемещается в положение заранее откреплённых и закреплённых свободных станций.

Такая схема наблюдений возможна, если известны не только координаты одного из пунктов в местной или государственной системах, но и дирекционный угол какого-либо направления для последующего ориентирования разбивочной сети при преобразовании координат из системы WGS-84 в местную.

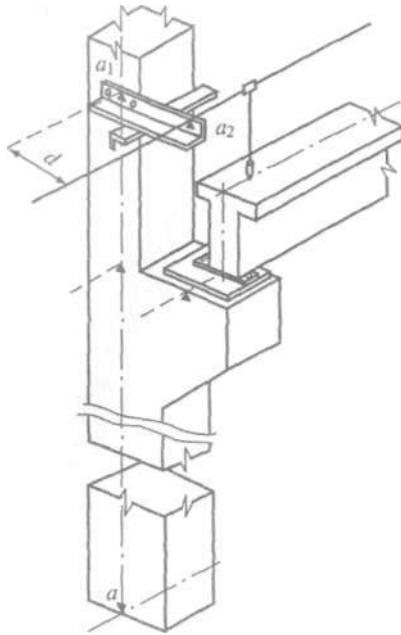


Рис. 16.15. Схема установки в проектное положение подкрановых балок

конструкций, но и от грузоподъемных механизмов.

Установку ферм перекрытий, подкрановых балок или ригелей (при отсутствии в здании мостовых кранов) выполняют совмещением осевых меток с обозначенными на конструкциях колонн разбивочными осями. Перед их установкой определяют фактические отметки опорных поверхностей колонн, чтобы при необходимости найти толщину прокладок для выравнивания конструкций по высоте.

Для установки подкрановых балок вдоль ряда колонн наклонным лучом теодолита переносят осевую метку a_x (рис. 16.15) на специальный кронштейн, прикрепленный к колонне выше балки. От полученной точки a_x откладывают проектное расстояние d между осями колонны и подкрановой балки и отмечают на кронштейне положение точки a_2 монтажной оси. Между точками на кронштейнах крайних колонн натягивают струну, на которую у каждой колонны подвешивают отвес. Совмещая продольную ось балки с отвесом, определяют ее проектное положение.

Проектное положение технологического оборудования задается относительно монтажных и технологических осей. Вынос этих осей в натуру производят от разбивочных осей строительных конструкций или их параллелей, перенесенных вовнутрь строящегося

Высотная основа на крупных промышленных площадках разбивается в виде полигонов нивелирования III класса, сгущаемых ходами нивелирования IV класса. При наличии строительной сетки нивелирные ходы прокладывают по ее пунктам.

Геодезическую разбивку и закрепление основных осей промышленных зданий, детальную разбивку фундаментов и установку строительных конструкций выполняют такими же способами, в той же последовательности и с теми же точностными требованиями, как и для гражданских зданий.

Особое внимание уделяют установке в проектное положение колонн, являющихся основными несущими конструкциями промышленного здания и испытывающих большие нагрузки не только от других строительных

сооружения. Иногда внутри крупных сооружений цехового типа с разнообразным расположением оборудования создают специальную плано-высотную геодезическую сеть. Это чаще всего строительная сетка с небольшими размерами (10 ...20 м) сторон квадратов или прямоугольников. Положение пунктов сетки привязывают к осям строительных конструкций. Закрепляют их, как правило, металлическими пластинами, забетонированными в полу сооружения, а высотную сеть — в виде реперов на колоннах и фундаментах, а также в виде открасок на строительных конструкциях.

Перед монтажом на фундаменты под установку технологического оборудования выносят его проектные оси, опорные плоскости доводят до проектных отметок, анкерные болты и другие закладные детали устраивают со строгим соблюдением проектных размеров и высот. Чаще всего для монтажных работ размечают и закрепляют не разбивочные оси, а линии, им параллельные.

При геодезическом обеспечении монтажных работ применяют различные методы и приборы. Для задания створов применяют струнный и оптический способы, используя теодолиты, специальные приборы для выверки прямолинейности, лазерные и автоколлимационные системы. Если установка оборудования производится от створов, параллельных осям, то применяют различные шаблоны, жезлы и другие длиномеры, позволяющие переносить базовую прямую в места установки оборудования. При площадной расстановке оборудования применяют способы: прямоугольных координат, полярный, угловых и линейных засечек, створно-линейный и др. Для монтажа на разных горизонтах перенос исходных точек осуществляют при помощи приборов вертикального проектирования. При высотной установке оборудования используют геометрическое нивелирование, микронивелирование и гидросистемы.

Отличительной особенностью геодезических работ при монтаже технологического оборудования является применение нестандартных приборов, разрабатываемых специально для решения конкретной задачи и обеспечения высоких требований к точности монтажа технологического оборудования (от 0,1 до 0,05 мм).

16.7. Разбивка и выверка подкрановых путей

Мостовые краны являются основными средствами механизации подъемно-транспортных операций на различных промышленных предприятиях. С их помощью поднимают, транспортируют и Устанавливают тяжелые машины и детали.

Мостовой кран состоит из металлического моста на ходовых Колесах, перемещающегося по подкрановым путям в виде желез-

нодорожных или специальных рельсов. Подъем груза и перемещение его вдоль моста осуществляется грузовой тележкой. Крепление рельсов к подкрановым балкам делается, как правило, подвижным, что позволяет легко и быстро смещать рельсы при их укладке и в процессе эксплуатационных выверок.

Нормальная эксплуатация мостовых кранов в значительной мере зависит от соблюдения технических требований, предъявляемых к геометрии подкрановых путей. Перечислим основные из них. Каждая из ниток рельсов должна быть прямолинейной и горизонтальной. Обе нитки рельсов должны быть параллельны, лежать в одной горизонтальной плоскости и находиться на расстоянии друг от друга, соответствующем длине пролета мостового крана.

При укладке рельсовых путей мостового крана и их эксплуатации должны соблюдаться следующие основные требования:

отклонение рельса от прямой линии не должно превышать 15 мм при укладке и 20 мм при эксплуатации;

разность отметок головок рельсов в одном поперечном сечении на опорах не должна превышать 15 мм при укладке и 20 мм при эксплуатации;

разность отметок головок рельсов на соседних колоннах не должна превышать 10 мм при укладке и 15 мм при эксплуатации;

отклонение расстояния между рельсами не должно превышать 10 мм при укладке и 15 мм при эксплуатации.

Геодезическое обслуживание мостовых кранов не ограничивается только работами, связанными с монтажом подкрановых путей в процессе строительства. При эксплуатации кранов осуществляется систематический контроль за положением подкрановых путей. Это необходимо делать в связи с изменением геометрических параметров подкрановых путей вследствие воздействия силовых нагрузок крана, осадок фундаментов и несущих колонн, деформации подкрановых балок, износа рельса, деталей его крепления и др.

Расположение подкрановых путей сравнительно высоко над полом определяет особенности выполнения геодезических работ при их монтаже и выверке.

При монтаже оси рельсов разбивают от основных осей сооружения, например от оси колонн или оси пролета (продольной оси симметрии подкрановых путей), и выносят на специальные кронштейны над балками (см. рис. 16.14) или на боковую поверхность колонн.

В зависимости от ширины колеи подкрановых путей и условий производства работ возможны различные варианты разбивки осей рельсов и переноса их на горизонт монтажа рельсов.

Если ширина колеи не превышает длину мерного прибора, то ось одной из ниток рельсов разбивают внизу путем отложения от оси пролета (рис. 16.16) по перпендикуляру к ней проектного рас-

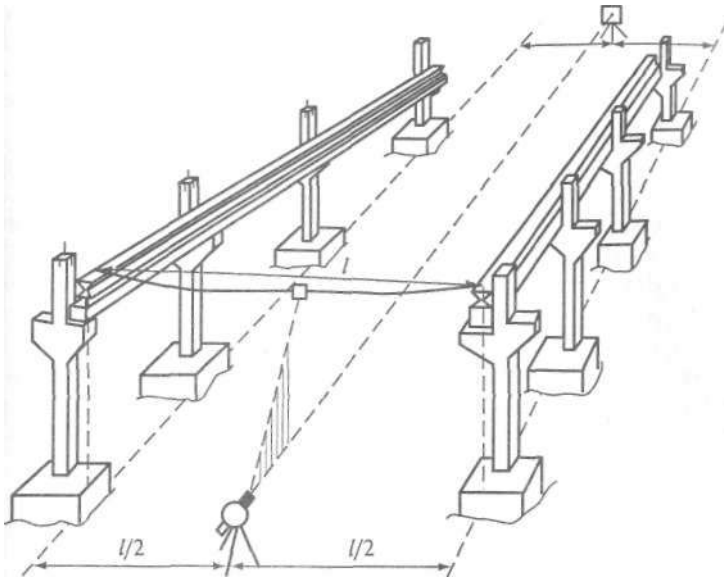


Рис. 16.16. Схема разбивки осей рельсов подкранового пути

стояния $l/2$ между осью рельса и осью пролета. Разбивку точек оси производят в начале и конце подкранового пути, а также равномерно вдоль него не реже чем через 50 ...60 м. Осевые точки надежно закрепляют. Полученную таким образом ось (как и ось балки) выносят на монтажный горизонт и закрепляют точками на специальных кронштейнах над балкой или на колоннах. Если позволяет длина мерного прибора, то ось второй нитки рельсов разбивают, откладывая расстояние, соответствующее ширине колеи подкрановых путей, и закрепляют на втором ряду колонн.

В вынужденных случаях (когда балка закрывает видимость) внизу разбивают и закрепляют линию, параллельную оси рельса и смещенную на 10 ... 15 см. Проектное положение оси рельса наверху находят с учетом принятой величины смещения.

Вынесение оси рельса с закрепленных внизу осевых точек наверх осуществляется отвесами, теодолитами, приборами оптического вертикального проектирования.

Иногда возможно проводить разбивку оси одной нитки рельсов прямо наверху, откладывая проектные размеры от осевых рисок колонн до оси рельса.

При ширине колеи, меньшей длины мерного прибора, положение разбивочных осей обеих ниток рельсов может быть определено непосредственно относительно оси пролета, обычно закрепляемой осевыми знаками при разбивке основных осей сооружения. Разбивку производят при помощи теодолита и рулетки.

Теодолит устанавливают на одной из осевых точек, ориентируют вдоль оси и наводят на визирную марку, установленную на другой осевой точке (см. рис. 16.16).

Между двумя колоннами в пролете натягивают рулетку, на которой соответствующими отсчетами с учетом поправок за провес, компарирование и температуру фиксируют положение оси пролета и обеих осей рельсов. Кроме того, положение оси пролета обозначается маркой на рулетке. Натянутую рулетку передвигают до совмещения марки с коллимационной плоскостью теодолита. В момент совмещения по соответствующим отсчетам на концах рулетки отмечают точки осей рельсов на колоннах или кронштейнах. Разбивку выполняют при двух положениях вертикального круга теодолита и находят среднее положение оси. Для соблюдения условия прямолинейности рельсовых осей все поправки в ширину колеи откладывают с одной стороны пролета.

Если ширина колеи подкрановых путей превышает длину мерного прибора, то внизу разбивают оси обеих ниток рельсов и каждую переносят наверх рассмотренными ранее способами.

Положение рельсов по высоте конструктивно определяется установкой на проектную отметку подкрановой балки. Как было отмечено ранее (см. подразд. 16.6), перед установкой подкрановых балок с обеих сторон нивелируют опорные поверхности консолей колонн, определяют наивысшую отметку, принимают ее за исходную и рассчитывают толщины подкладок, выравнивающих положение балок в одной горизонтальной плоскости. После монтажа балок выполняют контрольное нивелирование.

После укладки рельсов их предварительно закрепляют и выверяют, определяя фактическую ширину колеи, смещение оси рельса относительно оси балки, расстояние от оси рельса до внутренней грани колонн, а также продольный и поперечный уклоны. После многократной обкатки путей мостовым краном повторно производят их плано-высотную съемку и составляют исполнительные чертежи.

При эксплуатации мостовых кранов ведут постоянный геодезический контроль за сохранением планового и высотного положений подкрановых путей. В состав геодезических работ по определению фактического положения путей входят: измерение расстояния между рельсами, определение непрямолинейности и нивелирование подкрановых путей.

В зависимости от конструкции подкрановых путей и условий производства геодезических работ расстояние между рельсами определяют непосредственным измерением или косвенным способом.

Непосредственное измерение при помощи рулетки или другого мерного прибора выполняют в том случае, когда ширина колеи не превышает длины мерного прибора.

Мерный прибор натягивают между точками, фиксирующими ось симметрии головок рельсов. При необходимости учитывают поправки за компарирование, температуру и провес мерного прибора.

Так как ширина колеи на всем протяжении изменяется в не-больших пределах, то в любом месте пути она может быть получена как сумма длины некоторого произвольно выбранного базиса и двух малых отрезков, измеренных от рельсов до концов базиса. Базис обозначают на раме мостового крана, на специальной облегченной балке, перемещающейся по рельсам или натянутой ленте, проволоке. Для измерения малых отрезков применяют различные приборы и приспособления. Простейшими из них являются приборы для контактного измерения длин: штангенциркули, индикаторы часового типа и т. п. Существуют приборы и для автоматического измерения малых отрезков.

Ширину колеи можно также определить способом бокового нивелирования относительно закрепленных на полу цеха параллельных осей, близких по положению к осям рельсов. В данном случае все измерения, включая базовое расстояние между осями, выполняются внизу. Наверху требуется лишь горизонтально приставлять к рельсу рейку.

В методе косвенного измерения ширину колеи определяют из линейно-угловых геодезических построений, вид которых зависит от условий производства измерений. Если позволяют условия, то в пролете на уровне пола вдоль цеха разбивают базис и с его концов определяют положение рельсов прямой угловой засечкой. При большой протяженности подкрановых путей создают опорную геодезическую сеть (полигонометрическую, триангуляционную), стороны которой служат базисами засечки. По полученным координатам осевых точек рельсов вычисляют ширину колеи, а также отклонение рельсов от прямолинейности.

Для определения непрямолинейности путей применяют различные способы створных измерений. За исходные створы, относительно которых определяют отклонения, принимают прямые линии, закрепленные вблизи рельсов. Наиболее удобно эти линии располагать так, чтобы они проходили через осевые точки рельсов в начале и конце пролета. При использовании струны расстояние между струной и рельсом измеряют линейкой с миллиметровыми делениями. В оптическом способе створ задают теодолитом, устанавливаемым на уровне рельсов или на полу (для бокового нивелирования).

Для проверки прямолинейности путей применяют различные лазерные приборы. Лазерным лучом задают створ, отклонения от которого измеряют визуально, фоторегистрирующим устройством или с использованием промышленной телевизионной установки. Для визуальной регистрации отклонений на головку рельса уста-

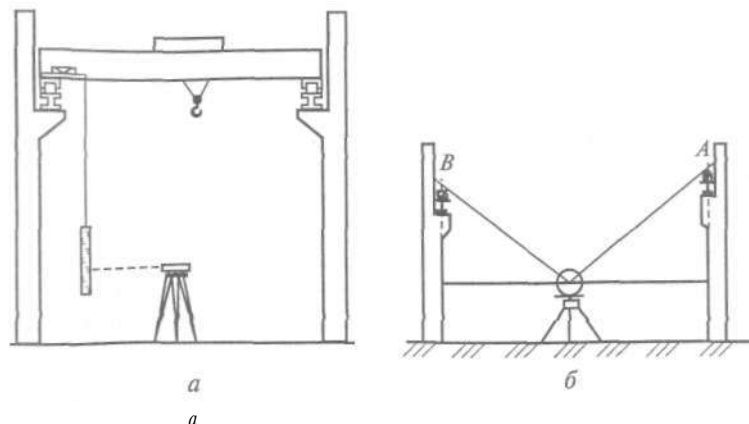


Рис. 16.17. Схемы определения высотного положения рельсов подкранового пути:

a — геометрическое нивелирование; *б* — тригонометрическое нивелирования

навливают экран с координатной сеткой, по которой фиксируют положение центра лазерного пятна относительно оси рельса. Применение телевизионной установки позволяет выполнять визуальные измерения дистанционно по телевизионному изображению.

Разработаны различные автоматические системы для съемки подкрановых путей. Основу этих систем составляют лазерные приборы и фотоэлектрические регистрирующие устройства. Как правило, автоматические системы устанавливают на мостовом кране и результаты измерений фиксируют при движении крана.

Для определения высотного положения рельсов применяют геометрическое, тригонометрическое и гидростатическое нивелирование. При геометрическом нивелировании нивелир устанавливают на кране (на специальных кронштейнах колонн или подкрановой балке, если позволяет ее ширина). Для безопасного ведения работ нивелир можно располагать на полу. В этом случае измерения выполняются по подвешенной к мостовому крану рейке (рис. 16.17, *a*). Рейка связана с верхней гранью рельса при помощи горизонтально устанавливаемого по уровню бруска. Вместо рейки используют также рулетку с грузом на конце. В процессе нивелирования кран перемещают от одной определяемой точки к другой.

Метод тригонометрического нивелирования применяют в тех случаях, когда установить нивелир и рейки на путях затруднительно и когда плановое положение рельсов определяют прямой угловой засечкой. На станции (рис. 16.17, *б*) одновременно измеряют горизонтальные и вертикальные углы.

При гидростатическом нивелировании применяют гидронивелиры различного вида. Для их установки на рельсовых путях используют мостовой кран.

Результаты съемки подкрановых путей отображают на специальных исполнительных чертежах.

Контрольные вопросы

1. Каков состав геодезических работ при строительстве гражданских зданий?
2. Какие геодезические работы выполняют при строительстве подземной части зданий?
3. Как определяют местоположение свай?
4. Каким образом производят разбивку монолитных и сборных фундаментов зданий?
5. Какова технология переноса осей и отметок с исходного на монтажные горизонты при возведении надземной части зданий?
6. Чем различаются геодезические работы при строительстве зданий различных конструкций?
7. Каковы конструктивные особенности промышленных зданий?
8. Какие виды плано-высотного геодезического обоснования используют при строительстве промышленных комплексов?
9. Как определяется проектное положение промышленного технологического оборудования?
10. Какие геодезические работы выполняют при монтаже и съемке подкрановых путей?

ГЛАВА 17

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

17.1. Общие сведения о подземных коммуникациях

На застроенных территориях и промышленных площадках проходит много подземных коммуникаций и специальных сооружений для них.

К подземным коммуникациям относятся такие прокладки в грунте, как трубопроводы, кабельные сети, коллекторы.

Трубопроводы — это сети водопровода, канализации, газоснабжения, теплофикации, водостока, дренажа, нефте- и газопроводы и другие прокладки, предназначенные для транспортирования различного содержимого по трубам.

Кабельные сети передают электроэнергию. Они различаются по напряжению и назначению: сети высокого напряжения, электрифицированного транспорта, уличного освещения; сети слабого тока (телефонные, радио и телевизионные). Сети состоят из кабелей,

прокладываемых на глубине до 1 м, распределительных шкафов, трансформаторов.

Коллекторы представляют собой подземные сооружения круглого или прямоугольного сечения сравнительно большого размера (от 1,8 до 3,0 м²). В них прокладывают одновременно трубопроводы и кабели различного назначения.

Водопровод обеспечивает питьевые, хозяйственные и пожарные нужды и состоит из водопроводных станций и водоразводящих сетей. Водоразводящая сеть делится на магистральную и распределительную. Магистральная сеть (диаметры труб 400 ...900 мм) обеспечивает водой целые районы, а отходящая от нее распределительная сеть подает воду к домам и промышленным предприятиям. Трубы этой сети имеют диаметр 200 ... 400 мм, вводы в дома — 50 мм. Для регулирования работы водопроводных сетей на них устанавливают арматуру — задвижки, выпуски, краны и др. Для доступа к арматуре устраивают колодцы.

Канализация обеспечивает удаление сточных и загрязненных вод на очистные сооружения и далее в ближайшие водоемы. Канализационная сеть состоит из чугунных и железобетонных труб, смотровых и перепадных колодцев, станций перекачки для пониженных частей застройки и других сооружений. Диаметры труб колеблются от 150 до 400 мм.

Водостоками отводят дождевые и талые воды, а также условно чистые воды (от мытья и поливки улиц). Водосточная сеть состоит из труб, дождеприемных и перепадных колодцев, выпусков в водоемы и овраги. К водосточным колодцам присоединяют водосточные трубы зданий. Для водосточной сети применяют асбоцементные и железобетонные трубы диаметром до 3,5 м.

Дренажи применяют для сбора грунтовых вод. Состоят они из перфорированных бетонных, керамических, асбоцементных труб диаметром до 200 мм.

Газопроводы служат для транспортирования газа. Они подразделяются на магистральные (диаметр стальных труб до 1600 мм) и распределительные. Газопроводы идут от станций и хранилищ в районах застройки по проездам. От них отходят вводы в здания и сооружения. Глубина заложения от поверхности этих сетей 0,8 ... 1,2 м. На газопроводах устанавливают запорные краны, конденсатосборники, нюхательные трубки, регуляторы давления и др.

Сети теплоснабжения обеспечивают теплом и горячей водой жилые, общественные и промышленные здания. Теплоснабжение бывает местным (от отдельных котельных) и централизованным (от теплоэлектроцентралей), водяным и паровым. Тепло по трубам прямой подачи (температура 120... 150 °С), возвращают к источнику по трубам обратного отвода (температура 40... 70 °С). Сети теплоснабжения состоят: из металлических изолированных труб; задвижек, размещаемых в камерах; воздушных и спускных

кранов, конденсационных устройств, компенсаторов. Диаметр труб достигает 400 мм. Под землей их прокладывают в железобетонных коробах, а при массовой застройке трубы проводят прямо через подвалы зданий.

17.2. Разбивка подземных коммуникаций и геодезические работы при их укладке

Наиболее распространенным способом прокладки подземных сетей является открытый способ, при котором коммуникации укладывают в траншеях.

Разбивочные работы по устройству траншей начинают с выноса на местность оси трассы и характерных ее точек — центров колодцев, углов поворота, промежуточных створных точек и др. Исходной документацией служат проектный план и профиль трассы, на основании которых составляется разбивочный чертеж. На этом чертеже указывают: положение разбиваемого участка коммуникации; пункты геодезического обоснования и точки ситуации, которые могут быть использованы для разбивки; расстояния между характерными точками трассы, а также все данные по их линейным и угловым привязкам.

Используя данные разбивочного чертежа, с помощью простейших геодезических построений (полярных координат, перпендикуляров, линейных засечек и др.) положение характерных точек трассы выносят на местность. Если вдоль трассы отсутствуют пункты геодезического обоснования и опорные точки ситуации или их очень мало, то трассу разбивают от точек теодолитного хода. Такой ход специально прокладывают вблизи трассы с расчетом удобства выполнения разбивочных работ. От пунктов геодезического обоснования в основном разбивают только углы поворота трассы; все другие точки находят путем отложения в створе соответствующих проектных расстояний. Створ между углами поворота задается теодолитом, расстояния откладываются мерным прибором или дальномером.

При разбивке коммуникаций, идущих рядом в несколько параллельных ниток (например, кабелей), выносят на местность оси двух крайних.

Для производства земляных работ трассу коммуникации закрепляют кольями через 5...20 м. Одновременно с этим обозначают грани траншеи.

В ходе земляных работ при рытье траншей все знаки закрепления оси трассы будут уничтожены. Поэтому для последующего восстановления их закрепляют вне зоны земляных работ путем линейной привязки к местным предметам или створными линиями. При строительстве самотечных подземных прокладок для

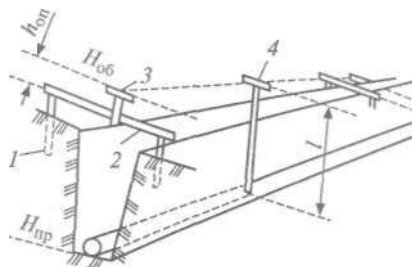


Рис. 17.1. Обноска для применения способа визирок при рытье траншеи:

1 — деревянный столб; 2 — горизонтальная доска; 3 — опорная визирка; 4 — ходовая визирка

пишут два диаметра в виде дроби: в числителе — меньший, а в знаменателе — больший.

При рытье траншеи возникает необходимость зачистки ее дна до проектной отметки. Эту работу во многих случаях выполняют способом визирок, сущность которого заключается в следующем. На обносках закрепляют опорные визирки 3 таким образом, чтобы плоскость, проведенная через их верхние грани, была параллельна дну запроектированной траншеи с соблюдением проектного уклона. Глубину траншеи определяют с помощью ходовой визирки 4, верхняя грань которой должна располагаться в одной плоскости с верхними гранями двух смежных опорных визирок «на глаз», а пятка — на проектной отметке дна траншеи. Выбрав удобную для работы длину / ходовой визирки (обычно 2,5; 3,0; 4,0 м), рассчитывают высоты установки опорных визирок $H_{об}$ относительно верхней грани доски обносок. Отметку доски обносок $Я_{об}$ определяют путем проложения вдоль трассы нивелирного хода. Если из выбранной длины ходовой визирки вычесть разность $Я_{об}$ и проектной отметки дна траншеи $Я_{пр}$, то получится высота опорной визирки на каждой обноске, т. е.

$$K \quad I \quad (H_{об} - Я_{пр}).$$

Перемещая ходовую визирку вдоль дна траншеи через 3...5 м, определяют проектные отметки, по которым окончательно зачищают дно траншеи. Аналогичным образом используют способ визирок и при укладке труб, с той лишь разницей, что при установке на верх трубы длину ходовой визирки уменьшают на величину внешнего диаметра трубы.

Способом визирок проектные отметки могут быть определены с погрешностью 2... 3 см. Однако этот способ не может обеспечить

восстановления знаков служит обноска, которую устраивают на концах и поворотах трассы. Обноска (рис. 17.1) состоит из двух деревянных столбов 1, закрепленных на бровке траншеи, и прибитой к ним на высоте около 0,5 м от земли горизонтальной доски 2. На доску выносят ось траншеи, а при необходимости — от нее оси бровок и котлована колодца. На доске обноски краской подписывают номер колодца, пикетаж, диаметр прокладываемых труб. Если на данном колодце меняется диаметр труб, то пи-

требуемую точность установки проектных отметок на уклонах, меньших 0,003. В этом случае все работы по укладке труб и колодцев производят с помощью нивелира. Нивелиром проверяют укладку каждой трубы, а у колодцев — отметку лотка и верха с учетом расположения крышки колодца на планировочной отметке.

Плановое положение труб определяют по нитяному отвесу, который перемещается по проволоке, соединяющей центры двух соседних обносков.

При строительстве трубопроводов используют также лазерные приборы (визеры, теодолиты, нивелиры). Эти приборы позволяют устанавливать лазерным пучком линию заданного уклона, по которой определяют ось траншеи и ее глубину, а также производят укладку труб. При рытье траншей используют специальные лазерные системы, управляющие рабочими органами землеройных машин. При укладке труб применяют лазерные комплекты, в которые входят лазерные визеры, штативы, позволяющие изменять высоту пучка лазера от 30 до 200 см, а также контрольные марки, самоцентрирующиеся по оси трубопровода. Применение лазерных приборов особенно эффективно при строительстве самотечных трубопроводов большого диаметра (800... 1500 мм).

Вводы подземных коммуникаций в здание разбивают от его осей. Место ввода обозначают с внешней стороны здания и от ближайшего колодца разбивают трассу ввода. В самотечных коммуникациях увязывают отметку лотка колодца с отметкой низа отверстия, чтобы получить проектный уклон.

На промышленных площадках внутрицеховые коммуникации строятся, как правило, после окончания строительства фундаментов. Это позволяет производить разбивку этих коммуникаций не только от осей сооружений, но и от граней и закладных частей фундамента, что значительно облегчает процесс работ.

17.3. Съёмка подземных коммуникаций

Съёмка подземных коммуникаций производится для составления специализированных планов, отображающих состояние подземного хозяйства данной территории. Эти планы необходимы для технической инвентаризации коммуникаций при их эксплуатации, а также для решения проектных задач при строительстве и Реконструкции сооружений.

Съёмка подземных коммуникаций в зависимости от назначения создаваемых планов, характера снимаемой территории и Плотности размещения сетей может выполняться в масштабах 1:5000... 1:500, а в отдельных случаях, для сложных мест промышленных площадок, — 1:200. На промышленных и городских территориях подземные сети снимают, как правило, в масштабе

1:500. Планы более мелких масштабов являются документами учетно-справочного характера.

Требования к точности плановой съемки всех видов коммуникаций примерно одинаковы. На застроенных территориях средняя квадратическая погрешность в положении отдельных линий между собой и по отношению к контуру сооружений составляет 0,10...0,15 м. На незастроенных территориях с редкой сетью коммуникаций эта погрешность может достигать до 0,5 м. Точность высотной съемки коммуникаций зависит от требований к соблюдению проектных отметок и уклонов. Для самотечных трубопроводов погрешность в отметках лотков соседних колодцев допускают не более 5... 10 мм, а отклонение от проектных уклонов — до 10...20% от величины самого уклона.

Процесс съемки подземных коммуникаций можно условно разделить на два этапа: подготовительный и непосредственно съемочный. В подготовительный период производят рекогносцировку сетей на местности, собирают данные о числе прокладок, колодцев, о размерах диаметров и материале труб, давлении в газовых и напряжении в кабельных сетях и другие инженерные сведения, которые должны быть отображены на плане подземных коммуникаций. В этот же период на участке съемки создают планово-высотное геодезическое обоснование, если оно отсутствует или недостаточно по частоте расположения имеющихся пунктов.

Непосредственно съемку подземной коммуникации производят после отыскания (определения местоположения) всех ее элементов на местности. Самый простой случай — когда производится исполнительная съемка уложенной подземной коммуникации в незасыпанной траншее, т.е. сразу же после окончания ее строительства. Для уже эксплуатируемых сетей при отсутствии исполнительной документации применяют метод шурфования, т.е. роют глубокие поперечные траншеи (шурфы) на таком расстоянии одна от другой, чтобы можно было с достаточной достоверностью выявить и определить положение всех необходимых коммуникаций. В последнее время для выявления местоположения подземных коммуникаций применяют специальные индуктивные приборы — трубокabelleискатели.

При съемке на застроенной территории плановое положение всех видов подземных сетей и относящихся к ним сооружений определяют от пунктов геодезических сетей и от постоянных точек капитальной застройки, на незастроенной территории — от пунктов геодезических сетей. Горизонтальную съемку от пунктов геодезических сетей выполняют всеми известными способами: линейных, угловых и створных засечек, полярным, перпендикуляров и др.; от точек капитальной застройки — линейными засечками, способами перпендикуляров и створов.

Линейные засечки выполняют не менее чем от трех точек, длина их не должна превышать длины мерного прибора, углы засечек при определяемой точке должны быть не менее 30 и не более 120°.

Длина перпендикуляров не должна быть более 4 м, при применении экера — 20 м.

При полярном способе углы измеряются теодолитом при одном положении вертикального круга, длина полярного направления не должна превышать 30 м.

При всех способах съемки точек подземной коммуникации обязательно производят контрольные измерения расстояний между ними.

Точки подземной коммуникации, расположенной в траншее, при съемке выносят на поверхность земли отвесом.

При съемке колодцев и камер производят обмер внутренних и внешних габаритных размеров, отдельных конструктивных элементов, расположения труб с привязкой к отвесной линии, проходящей через центр крышки колодца.

Высотное положение подземных сетей и сооружений определяют в основном техническим нивелированием. Нивелируют люки всех колодцев, лотки канализационных, водосточных и дренажных каналов, верх труб и пол каналов теплофикации, телефонной и электрокабельной сетей; в бесколодезных прокладках — углы поворота трассы и точки излома профиля.

После обработки полевых материалов результаты съемки подземных коммуникаций с подробной их инженерной характеристикой отображаются на топографическом плане соответствующего масштаба. Дополнительно составляют продольные профили отдельных видов подземных коммуникаций.

Основой для составления исполнительных чертежей построенных коммуникаций служат копии согласованного проекта в масштабе 1:500 или план этого же масштаба, составленный по результатам съемки полосы трассы, составляющей не менее 20 м в обе стороны от ее оси.

17.4. Поиск подземных коммуникаций

Поиск подземных коммуникаций предусматривает выявление их местоположения в период эксплуатации, т. е. когда коммуникации скрыты и на поверхности земли существуют лишь смотровые и регулировочные сооружения. Как уже было сказано ранее, для этой цели широко применяют специализированные электронные приборы — трубокабелеискатели (трассоискатели, кабелеискатели, искатели трубопроводов).

Принцип действия приборов поиска подземных коммуникаций основан на законе электромагнитной индукции и заключается в обнаружении переменного магнитного поля, существующего

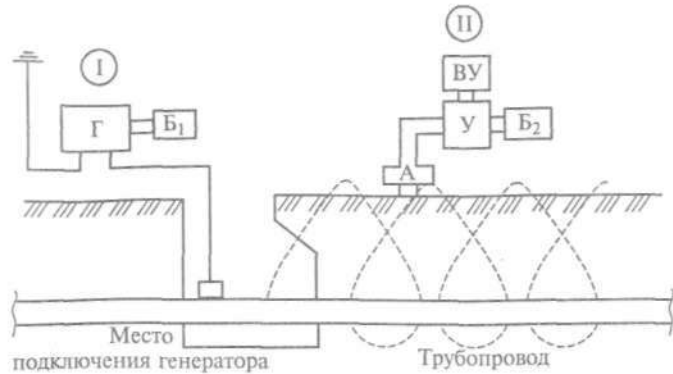


Рис. 17.2. Принципиальная схема устройства прибора поиска подземных коммуникаций

вокруг токонесящих кабелей, или искусственно создаваемого вокруг отыскиваемых металлических трубопроводов.

Все применяемые приборы поиска построены по одному и тому же принципу и различаются лишь схемами и техническими характеристиками. Они состоят из двух отдельных блоков: передающего I и приемного II (рис. 17.2). Передающий блок состоит из генератора звуковой частоты Г и источника электропитания Б¹. Приемный блок включает усилитель У с электропитанием Б₂, ферритовую антенну А и воспроизводящее устройство ВУ (головные телефоны, микроамперметр или и то, и другое).

Трубокабелеискатели по своим электротехническим характеристикам разделяют на три класса: к I относятся приборы с мощностью генератора более 20 Вт (например, ТПК-1), ко II — от 2 до 20 Вт (ИПК-2М, ИТ-4, ИТ-5) и к III - менее 2 Вт (ИП-7-ГКИ, ИПКТ-69).

Определение положения подземной коммуникации при помощи приборов поиска может быть выполнено контактными и бесконтактными способами.

Контактный способ является наиболее точным. В этом способе генератор в удобном месте подключается непосредственно к искомой коммуникации. На расстоянии 8... 10 м по направлению, перпендикулярному коммуникации, генератор заземляют. После соответствующей настройки генератора и включения приемного устройства начинают поиск. Для определения направления трассы антенну разворачивают в горизонтальной плоскости до получения минимального сигнала (наименьшей громкости звучания), тогда направление оси антенны укажет на направление трассы.

Местоположение коммуникации определяют на двух режимах: по «максимуму» и «минимуму» сигнала. В режиме «максимум» ось антенны располагают перпендикулярно к предполагаемой оси ком-

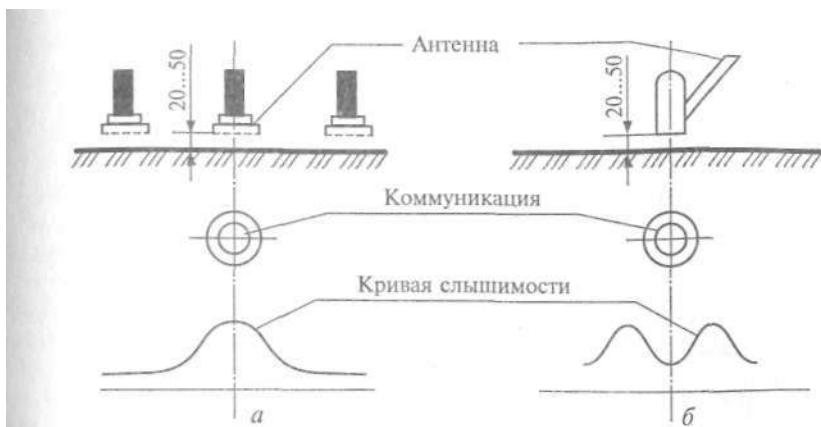


Рис. 17.3. Схемы определения планового местоположения подземных коммуникаций при помощи прибора поиска:
 а — подключение генератора; б — приемная часть

муникации (рис. 17.3, а) и плавно перемещают ее вправо и влево в поперечном к трассе направлении до наибольшей громкости звучания сигнала. Это и будет проекция оси коммуникации на дневную поверхность. Ширина зоны звучания сигнала может быть до 1 м и более. Положение проекции коммуникации уточняют в режиме «минимум». Для этого, расположив антенну вертикально (рис. 17.3, б), перемещают ее, как и ранее, добиваясь наименьшего звучания сигнала.

Глубину заложения коммуникации определяют, зафиксировав на местности уточненное положение ее оси. Для определения глубины заложения ось антенны располагают под углом 45° к поверхности земли (рис. 17.4) и перемещают ее перпендикулярно к направлению коммуникации до минимальной слышимости сигнала. Расстояние от этой точки до оси и будет равно глубине залегания коммуникации. Определение повторяют в противоположную от оси сторону и берут среднее из двух значений полученных расстояний.

Бесконтактный способ применяют, когда подключение генератора к трубопроводам и кабелям невозможно или нежелательно. В этом способе работающий генератор заземляется в двух или более точках, создавая тем самым вокруг коммуникации



Рис. 17.4. Схема определения высотного местоположения подземной коммуникации при помощи прибора поиска

электромагнитное поле. Для поиска коммуникации используется «отраженная величина» этого поля. Методика поиска аналогична контактному способу.

Точность индуктивного метода поиска подземных коммуникаций зависит от разрешающей способности применяемого прибора, установки антенны приемного устройства в заданное положение, влияния внешних помех. Установлено, что в зоне уверенного прослушивания сигналов средние квадратические погрешности определения положения подземной коммуникации, см, характеризуются величинами: в плане — $m^{\wedge} = 7,5/g$, по высоте — $m_u = 13/g$, где h — глубина залегания коммуникации, м.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют виды коммуникаций?
2. Каковы особенности разбивочных работ при строительстве подземных коммуникаций?
3. В чем сущность способа визиров?
4. Для чего и какими способами производится съемка подземных коммуникаций?
5. Как определяется положение подземной коммуникации?
6. Как работают приборы поиска подземной коммуникации?

ГЛАВА 18 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЪЕМКИ

18.1. Назначение и методы исполнительных съемок

Основное назначение исполнительных съемок — установить точность вынесения проекта сооружения в натуру и выявить все отклонения от проекта, допущенные в процессе строительства. Это достигается путем определения фактических координат характерных точек построенных сооружений, размеров их отдельных элементов и частей, расстояния между ними и других данных. Исполнительные съемки ведутся в процессе строительства по мере окончания его отдельных этапов и завершаются окончательной съемкой готового сооружения. В первом случае выполняют текущие исполнительные съемки, во втором — съемки для составления исполнительного генерального плана.

Текущие исполнительные съемки отображают результаты последовательного процесса возведения отдельного здания или сооружения, начиная от котлована и заканчивая этажами гражданских и технологическим оборудованием промышленных зданий. Результаты этих съемок содержат данные для кор-

ректирования выполненных на каждом этапе работ и обеспечения качественного монтажа сборных конструкций. При этом особое внимание обращается на элементы сооружения, которые после завершения строительства будут недоступны для измерений (забетонированы, засыпаны грунтом и т.п.).

Окончательная исполнительная съемка выполняется для всего объекта в целом и используется для решения задач, связанных с его эксплуатацией, реконструкцией и расширением. При окончательной съемке используются материалы текущих съемок, а также съемок подземных и надземных коммуникаций, транспортных сетей, элементов благоустройства и вертикальной планировки.

Исходной геодезической основой для текущей исполнительной съемки служат пункты разбивочной сети, знаки и створы закрепления осей или их параллелей, а также установочные риски на конструкциях. Высотной основой служат реперы строительной площадки и отметки, фиксированные на строительных конструкциях. Геодезическим обоснованием съемки для составления исполнительного генерального плана служат пункты и реперы государственных и разбивочных сетей.

Методы измерений при исполнительной съемке, как правило, те же, что и при выполнении разбивочных и съемочных работ. Так, для съемки положения строительных конструкций в плане применяют способы прямоугольных координат, линейных и створных засечек, линейные промеры от створов и т.п., по высоте — геометрическое нивелирование. Отклонение конструкций от вертикали проверяют с помощью отвесов, теодолитов, приборов вертикального проектирования. Применяют также фототеодолитную съемку. Методы съемки для исполнительного генерального плана зависят от масштаба его составления и вида снимаемого объекта. В большинстве случаев применяют аналитический и тахеометрический методы съемок, иногда — мензульный. Текущие съемки выполняют с точностью, обеспечивающей надежное определение положения строительных конструкций и технологического оборудования. Для этого средняя квадратическая погрешность m контрольных измерений должна быть не более 0,2 величины отклонений 5 , допустимых нормативными документами или проектом, т.е. $m < 0,25$. Методы съемки исполнительного генерального плана должны обеспечивать графическую точность соответствующего масштаба.

18.2. Исполнительные съемки в строительстве

Для строительства зданий и сооружений исполнительные съемки имеют особое значение, так как помимо выявления отклонений от проекта они позволяют регулировать технологический процесс

строительства, корректируя его по ходу выполнения строительного-монтажных работ.

Исполнительные съемки входят в состав технологического процесса строительства, поэтому очередность и способ их выполнения технические средства и требуемая точность измерений зависят от этапов строительного-монтажного производства. Исполнительной съемке подлежат части зданий и конструктивные элементы, от точности положения которых зависит точность выполнения работ на последующих этапах, а также прочность и устойчивость здания в целом. Эти требования по существу и определяют поэтапный выбор параметров исполнительной съемки.

На этапе нулевого цикла исполнительную съемку выполняют после устройства котлована, свайного поля, сооружения фундамента, стен и перекрытий технического подполья. При устройстве котлована съемку производят после зачистки дна и откосов. При этом определяют относительно осей внутренний контур, а нивелированием по квадратам — отметки дна. Для свайного поля путем перенесения осей на оголовки определяют положение свай в плане и нивелированием оголовков — по высоте.

При монтаже монолитных фундаментов исполнительную съемку производят после окончания бетонирования и затвердевания бетона. Для съемки в плане на фундаменты вновь переносят разбивочные оси, от которых измеряют положения фундаментов. По высоте нивелируют поверхность фундаментов в точках пересечения осей и между ними примерно через 5 м. Аналогично производят съемку сборных фундаментов стаканного типа, определяя отметки дна стаканов и переносят оси на все их элементы.

При возведении надземной части здания производят поэтажную исполнительную съемку смонтированных конструкций.

В крупнопанельных зданиях положение стеновых панелей в плане определяют, измеряя расстояния от боковых граней на уровне перекрытий и трети этажа до параллелей разбивочных осей; по высоте измеряют толщину выравнивающего слоя раствора в горизонтальном стыке; определяют также отклонение панели от вертикальности.

В каркасных зданиях определяют смещения колонн от вертикали и разность отметок оголовков колонн предыдущего этажа. При необходимости находят величины площадок опирания ригелей на консоли колонн. Положение стенок жесткости определяют аналогично стеновым панелям.

При возведении блочных, кирпичных и монолитных зданий главным образом проверяют положение стен относительно параллелей осей, толщину и вертикальность стен и их горизонтальность через определенный интервал по высоте.

В процессе строительства лифтовых шахт определяют в основном их внутренние размеры и вертикальность стен.

При строительстве промышленных зданий и сооружений, кроме съемки строительных конструкций, выполняют съемку положения различного рода опорных и анкерных устройств, закладных деталей под установку технологического оборудования. Положение этих элементов в плане определяют относительно монтажных (технологических) осей, по высоте — относительно строительных реперов площадки или цеха. Особое место занимает исполнительная съемка подкрановых путей грузоподъемных механизмов. Эту съемку выполняют как в процессе строительства, так и периодически в эксплуатационный период. Съемка подкрановых путей включает в себя определение расстояний между осями рельсов и прямолинейности рельсов, а также разности отметок между головками двух рельсов и одного рельса.

Исполнительную съемку технологического оборудования производят после его установки. Ее выполняют геодезическими методами со знаков, закрепляющих основные или смещенные технологические оси. Контроль положения оборудования относительно технологических осей проводят по маркировкам или специальным знакам на оборудовании, определяющим его геометрические оси.

Результаты контрольных измерений отображают на схемах специальной исполнительной геодезической документации.

Исполнительная геодезическая документация. Перечень исполнительной геодезической документации (ИГД) на строительном объекте устанавливается в соответствии с требованиями стандартов и другой нормативно-технической документации. В особых случаях, по требованиям государственного архитектурно-строительного, технического, авторского надзоров, может уточняться перечень ИГД, что происходит в основном за счет ее увеличения или детализации.

Исполнительная геодезическая документация создается главным образом в виде исполнительных схем (чертежей) с нанесением на них геометрических параметров направлений и величин отклонений от проектных положений установленных (смонтированных) строительных конструкций. Пояснительные записки или другая информация (диаметр арматуры труб, марки электродов, фамилии или клейма сварщиков, согласовывающие подписи и т.п.) указываются только по дополнительным требованиям.

Основой ИГД являются рабочие чертежи проектной документации. Проектные размеры (габаритные) сопровождаются буквой И, действительные (измененные в натуре) — буквой Щ] (буквы помещаются в прямоугольные рамки). Если необходимо указать оба Размера, то в числителе пишется проектный, а в знаменателе — Действительный размеры.

Действительные отклонения от проектных отметок для грунтовых поверхностей показываются численным значением с точно-

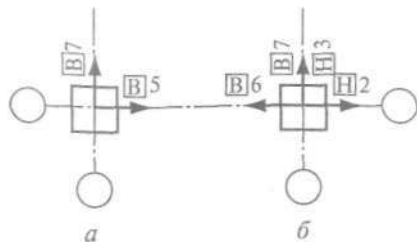


Рис. 18.1. Примеры указания действительных отклонений осей элементов от разбивочных осей на плане:

a — сваи; *б* — колонны

зается действительными отклонениями осей или граней элементов от разбивочных. Действительные отклонения осей или граней от разбивочных осей показываются стрелками, направленными в сторону отклонения, и расположенными рядом числами — значениями отклонений в миллиметрах.

При этом перед действительными численными значениями отклонений помещается в прямоугольной рамке буква *Ш* для верхнего сечения или буква *Щ* для нижнего сечения (рис. 18.1). Действительные (измеренные) расстояния граней элементов до разбивочных осей изображают, как показано на рис. 18.2.

Действительные отклонения поверхностей элементов от вертикали показывают стрелками, направленными в сторону отклонений, расположенными рядом условными обозначениями не-вертикальности и численными значениями отклонений (рис. 18.3).

На исполнительных схемах могут помещаться различные примечания, согласования допущенных (измеренных) отклонений с авторским надзором, а при необходимости также разъяснения к условным знакам. Эти схемы подписываются геодезистом, от-

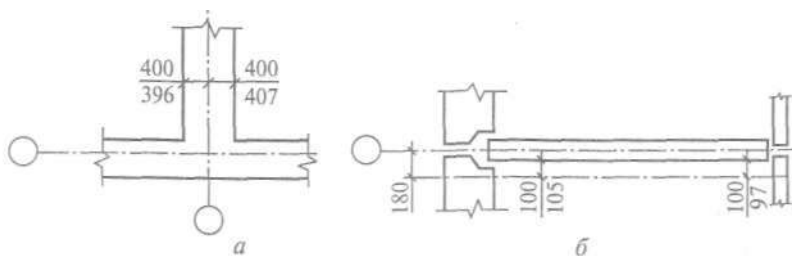


Рис. 18.2. Примеры указания действительных расстояний на плане: *a* — от граней монолитного ростверка до разбивочной оси; *б* — от грани стеновой панели до параллели оси

ветственным производителем работ по объекту и руководителем строительной (монтажной) организации.

Исполнительные схемы геодезической основы фиксируют действительные значения привязок и отметок знаков закрепления пунктов основы. Документация содержит следующую информацию:

схему вынесенных в натуру точек, осей и установленных знаков закрепления с необходимыми привязками (числовые значения);

сведения о способе закрепления точек и конструкций знаков.

Исполнительные чертежи коммуникаций (сетей) внутри зданий составляются только в случае необходимости по требованию технадзора заказчика, авторского надзора проектной организации, территориальных инженерных служб и эксплуатирующих организаций.

При этом требования к составу и содержанию исполнительных чертежей не выходят за пределы, установленные стандартами для соответствующих инженерных сетей. Как правило, геодезисты перерчерчивают изображение коммуникаций с проектных чертежей и наносят фактические размеры или отклонения от проектных размеров.

Исполнительные чертежи включают в себя планы, схемы, разрезы и сечения.

При соответствии действительных размеров, отметок, уклонов, сечений (диаметров), привязок и других геометрических параметров проектным значениям (в пределах допустимых отклонений) на исполнительных чертежах делается надпись «Отклонений от проекта по геометрическим параметрам нет».

Допускается совмещение исполнительных чертежей различных сетей, если информация об одной сети не может быть отнесена к другой.

При большой протяженности и (или) сложном расположении сетей допускается их изображение с разрывом, обозначаемом параллельными штриховыми линиями.

В случае когда масштабы исполнительных чертежей не позволяют с достаточной степенью детальности показать все размеры, от соблюдения которых зависят эксплуатационные характеристики сетей, применяют буквенные обозначения: В — водопровод, К — канализация и т. п.

В состав документации по подземным инженерным сетям включаются: исполнительные чертежи, продольные профили по оси сети (если они входят в состав проекта), схемы сварных стыков трубопроводов, каталоги координат выходов, углов поворота и

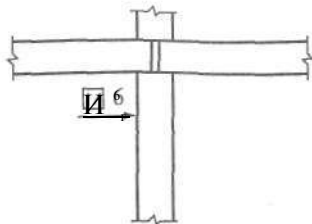


рис 18.3. Пример указания неvertикальности

створных точек сети (при ее аналитической привязке), полевые геодезические материалы исполнительной съемки.

В случае когда определение местоположения сети по плану, использованному для разработки проекта, невозможно или затруднено, в состав документации включают ситуационный план масштаба 1:2000 или 1:5000 с нанесенной на нем сетью.

Исполнительные чертежи составляются на топографических планах, использованных для разработки проектов.

В исполнительных чертежах, продольных профилях и каталогах координат применяются условные знаки Федеральной службы геодезии и картографии России или согласованные ею.

18.3. Составление исполнительных генеральных планов

Исполнительный генеральный план составляют по результатам исполнительных съемок законченных зданий и сооружений комплексного объекта (жилой массив, промышленное предприятие и т.п.).

Различают следующие генеральные планы: оперативные, дежурные и окончательные.

Строительство крупных комплексов, как правило, продолжается несколько лет, в течение которых постоянно уточняется, дополняется и изменяется проектная документация. В этих условиях возникает необходимость в систематическом обновлении исполнительной документации, позволяющей оперативно снабжать геодезическими данными производителей строительных работ. Для этой цели ведется оперативный исполнительный генеральный план. Кроме того, возникает необходимость дополнительно иметь информацию об объемах выполненных на определенную дату строительных работ по всем отдельным объектам строительства. С этой целью составляют дежурный генеральный план. В отличие от оперативного, на этот план наносят все возводимые здания и сооружения и условными знаками показывают стадию строительных работ.

Окончательный исполнительный генеральный план составляют после завершения строительства. На этот план наносят все построенные по проекту здания и сооружения, которые сдают в эксплуатацию. План составляется на основании материалов исполнительных съемок, выполняемых по мере возведения объектов.

Комплект окончательного исполнительного генерального плана состоит: из сводного генерального плана в масштабах 1:1000... 1:2000, а для особо крупных объектов — 1:5000; генеральных планов отдельных объектов в масштабах 1:2000... 1:500; специализированных исполнительных планов коммуникаций, дорог, линий

электропередачи, связи и т.п.; вспомогательной пояснительной документации.

Исполнительный генеральный план составляют на планшетах стандартного размера или подрамниках, объединяющих несколько планшетов, в цветных условных знаках по общепринятым съемочным инструкциям.

Отдельные виды исполнительных съемок для составления исполнительного генерального плана имеют свои особенности.

Исполнительную съемку выполненной в натуре вертикальной планировки ведут методами нивелирования поверхности и проложением ходов по характерным точкам. Отметки определяют по отмоткам зданий, в местах пересечений и переломов профиля дорог, тротуаров, проездов, у решеток дождеприемников и в других характерных местах.

На открытых площадках нивелирование производится по квадратам или поперечникам.

Исполнительная съемка подземных коммуникаций проводится по мере их возведения, но, как правило, до засыпки траншей. Снимаются углы поворота, точки на прямолинейных участках не реже чем через 50 м, точки начала, середины и конца кривых, места пересечения трасс, места присоединений и ответвлений, люки, колодцы, камеры, компенсаторы и т.п. Собирают данные о числе прокладок, диаметрах труб, давлении в газовых и напряжении в кабельных сетях, материалах труб. Производят обмеры колодцев и камер с привязкой расположения труб и фасонных частей к отвесной линии, проходящей через центр крышки люка.

При съемке дорог проверяют элементы кривых, определяют координаты вершин углов поворота, точек пересечений и примыканий, центров стрелочных переводов. Определяют отметки головок рельсов и дорожного полотна, а также габарит приближения строений.

Главной особенностью съемок для составления исполнительного генерального плана, отличающей их от съемок при изысканиях, является координирование большого числа точек, определяющих фактическое положение на местности основных элементов зданий и сооружений.

Контрольные вопросы

1. Зачем нужны исполнительные съемки?
2. Какие исполнительные съемки выполняются при строительстве зданий?
3. Каковы особенности исполнительных съемок подземных коммуникаций?
4. Каково назначение исполнительного генерального плана?

ГЛАВА 19

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

19.1. Виды деформаций и причины их возникновения

Вследствие конструктивных особенностей, природных условий и деятельности человека сооружения в целом и их отдельные элементы испытывают различного вида деформации.

В общем случае под термином «деформация» понимают изменение формы объекта наблюдений. В геодезической практике принято рассматривать *деформацию* как изменение положения объекта относительно первоначального.

Под постоянным давлением от массы сооружения грунты в основании его фундамента постепенно уплотняются (сжимаются) и происходит смещение в вертикальной плоскости или *осадка* сооружения. Кроме давления от собственной массы, осадка сооружения может быть вызвана и другими причинами: карстовыми и оползневыми явлениями, изменением уровня грунтовых вод, работой тяжелых механизмов, движением транспорта, сейсмическими явлениями и т. п. При коренном изменении структуры пористых и рыхлых грунтов происходит быстро протекающая во времени деформация, называемая *просадкой*.

В случае когда грунты под фундаментом сооружения сжимаются неодинаково или нагрузка на грунт различная, осадка имеет неравномерный характер. Это приводит к другим видам деформаций сооружений: горизонтальным смещениям, сдвигам, перекосам, прогибам, которые внешне могут проявляться в виде трещин и даже разломов.

Смещение сооружений в горизонтальной плоскости может быть вызвано боковым давлением грунта, воды, ветра и т. п.

Высокие сооружения башенного типа (дымовые трубы, телевизионные башни и т.п.) испытывают *кручение* и *изгиб*, вызываемые неравномерным солнечным нагревом или давлением ветра.

Для изучения деформаций в характерных местах сооружения фиксируют точки и определяют изменение их пространственного положения за выбранный промежуток времени. При этом определенное положение и время принимают за начальное.

Для определения *абсолютных*, или *полных*, осадок S фиксированных на сооружении точек периодически определяют их отметки $Я$ относительно исходного репера, расположенного в стороне от сооружения и принимаемого за неподвижный. Очевидно, чтобы определить осадку точки на текущий момент времени относительно начала наблюдений, необходимо вычислить разность отметок, полученных на эти моменты, т.е. $S = Я_{тек} - Я_{нач}$, где $Я_{тек}$ и

$H_{\text{нач}}$ — отметки на текущий и начальный моменты соответственно. Аналогично можно вычислить осадку за время между предыдущим и последующим периодами (циклами) наблюдений.

Средняя осадка $S_{\text{ср}}$ всего сооружения или отдельных его частей вычисляется как среднее арифметическое из суммы осадок всех n

его точек, т. е. $S_{\text{ср}} = \sum_1^n S/n$. Одновременно со средней осадкой для

полноты общей характеристики указывают максимальную S_{max} и минимальную S_{min} осадки точек сооружений.

Неравномерность осадки может быть определена по разности осадок ΔS каких-либо двух точек 1 и 2, т. е. $\Delta S_{1,2} = S_2 - S_1$.

Крен, или *наклон*, сооружения определяют как разность осадок двух точек, расположенных на противоположных краях сооружения, или его частей вдоль выбранной оси. Наклон в направлении продольной оси называют *завалом*, а в направлении поперечной оси — *перекосом*. Величина крена, отнесенная к расстоянию l между двумя точками 1 и 2, называется *относительным креном* K . Вычисляется он по следующей формуле: $K = (S_2 - S_1)/l$.

Горизонтальное смещение q отдельной точки сооружения характеризуется разностью ее координат $x_{\text{тек}}$, $y_{\text{тек}}$ и $x_{\text{нач}}$, $y_{\text{нач}}$, полученных в текущем и начальном циклах наблюдений. Положение осей координат, как правило, совпадает с главными осями сооружения. Вычисляют смещения в общем случае по следующим формулам: $q_x = x_{\text{тек}} - x_{\text{нач}}$; $q_y = y_{\text{тек}} - y_{\text{нач}}$. Аналогично можно вычислить смещения между предыдущим и последующим циклами наблюдений. Горизонтальные смещения определяют и по одной из осей координат.

Кручение относительно вертикальной оси характерно в основном для сооружений башенного типа. Оно определяется как изменение углового положения радиуса фиксированной точки, проведенного из центра исследуемого горизонтального сечения.

Изменение величины деформации за выбранный интервал времени характеризуется *средней скоростью* деформации $v_{\text{ср}}$. Так, например, средняя скорость осадки исследуемой точки за промежуток времени t между двумя циклами i и j измерений $v_{\text{ср}} = (S_j - S_i)/t$. Различают среднемесячную скорость, когда t — число месяцев, и среднегодовую, когда t — число лет, и т. д.

19.2. Задачи и организация наблюдений

Основной целью наблюдений является определение величин деформации для оценки устойчивости сооружения и принятия своевременных профилактических мер, обеспечивающих его нормальную работу.

Кроме того, по результатам наблюдений проверяется правильность проектных расчетов и выявляются закономерности, позволяющие прогнозировать процесс деформации.

Наблюдения за деформациями сооружений представляют собой комплекс измерительных и описательных мероприятий по выявлению величин деформаций и причин их возникновения.

Для сложных и ответственных сооружений наблюдения начинаются одновременно с проектированием. На площадке будущего строительства изучают влияние природных факторов и в этот же период создают систему опорных знаков с тем, чтобы заранее определить степень их устойчивости.

Наблюдения непосредственно за сооружением начинают с момента начала его возведения и продолжают в течение всего строительного периода. Для большинства крупных сооружений наблюдения проводятся и в период их эксплуатации. В зависимости от характера сооружения, природных условий наблюдения могут быть закончены при прекращении деформаций, а могут продолжаться и весь период эксплуатации.

На каждом этапе возведения или эксплуатации сооружения наблюдения за его деформациями производят через определенные промежутки времени. Такие наблюдения, проводимые по календарному плану, называются *систематическими*.

В случае появления фактора, приводящего к резкому изменению обычного хода деформации (изменение нагрузки на основание, температуры окружающей среды и самого сооружения, уровня грунтовых вод, землетрясение и др.), выполняют срочные наблюдения.

Параллельно с измерением деформаций для выявления причин их возникновения организуют *специальные* наблюдения за изменением состояния и температуры грунтов и подземных вод, температурой тела сооружения, метеорологических условий и т.п. Ведется учет изменения строительной нагрузки и нагрузки от установленного оборудования.

Для производства наблюдений составляют специальный проект, который в общем случае включает в себя:

- техническое задание на производство работ;
- общие сведения о сооружении, природных условиях и режиме его работы;
- схему размещения опорных и деформационных знаков;
- принципиальную схему наблюдений;
- расчет необходимой точности измерений;
- методы и средства измерений;
- рекомендации по методике обработки результатов измерений и оценке состояния сооружения;
- календарный план (график) наблюдений;
- состав исполнителей, объемы работ и смету.

19.3. Точность и периодичность наблюдений

От правильного выбора точности и периодичности наблюдений зависят:

- методы и средства измерений;
- затраты на их производство;
- достоверность получаемых результатов.

Точность и периодичность измерений указываются в техническом задании на производство работ или в нормативных документах.

В особых случаях эти требования могут быть получены путем специальных расчетов.

В нормативных документах требования к точности определения осадок или горизонтальных смещений характеризуются средней квадратической погрешностью:

1 мм — для зданий и сооружений, возводимых на скальных или 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 сооружений.

На оползневых участках осадки измеряются со средней квадратической погрешностью 30 мм, а горизонтальные смещения — 10 мм.

Крены дымовых труб, мачт, высоких башен измеряются с точностью, зависящей от высоты H сооружения и характеризуемой величиной $0,0005\#$.

Установить необходимую точность измерения деформаций расчетным путем довольно сложно.

Однако для многих практических задач можно пользоваться следующей формулой:

$$m_{\Phi} \leq 0,2\Delta\Phi,$$

где m_{Φ} — средняя квадратическая погрешность измерения деформации; $\Delta\Phi$ — величина деформации за промежуток времени между циклами измерений.

Выбор времени между циклами измерений зависит от вида сооружения, периода его работы, скорости изменения деформации и других факторов.

В среднем в строительный период систематические наблюдения выполняют один-два раза в квартал, в период эксплуатации — один-два раза в год. При срочных наблюдениях их выполняют до и После появления фактора, резко изменяющего обычный ход деформации.

19.4. Основные типы геодезических знаков и их размещение

Существенная роль в организации наблюдений за деформациями сооружений отводится геодезическим знакам. От правильного выбора конструкций и мест их размещения в значительной мере зависит качество результатов наблюдений.

Применяемые для наблюдений геодезические знаки различают по назначению. Это опорные, вспомогательные и деформационные знаки. Знаки также делятся на плановые и высотные.

Опорные знаки служат исходной основой, относительно которой определяются смещения деформационных знаков. Закрепляются они с расчетом на устойчивость и длительную сохранность.

Вспомогательные знаки являются связующими в схеме измерений и используются для передачи координат от опорных знаков к деформационным.

Деформационные знаки закрепляются непосредственно на исследуемом сооружении и, перемещаясь вместе с ним, характеризуют изменение его положения в пространстве.

Для *плановых* опорных знаков широко применяют трубчатые конструкции. Основной деталью знака является стальная труба диаметром от 100 до 300 мм, заглубляемая и бетонируемая в грунте не менее чем на 1 м ниже верхней границы твердых коренных пород. Верхний конец трубы заканчивается фланцем, к которому крепится головка знака. Вокруг основной трубы сооружается защитная труба. Пространство между основной и защитной трубами в нижней части заполняется битумом, а в верхней — легким теплоизоляционным материалом. Знак закрывается крышкой. Конструкция головки знака может быть разной и зависит от применяемых для наблюдений приборов.

Для опорных *высотных* реперов также характерно применение трубчатых конструкций. В то же время для учета изменения температуры используют две трубы из разного материала, например стальную и дюралюминиевую.

Репер подобной конструкции называется *биметаллическим* (рис. 19.1).

Репер в основном состоит из дюралюминиевой трубы 5, помещенной в основную стальную трубу 6. Обе трубы помещаются в защитную трубу 8, крепятся к общему башмаку 7 и бетонируются в твердых породах. Дюралюминиевая труба оборудуется базовой поверхностью, а стальная — кронштейном для отсчетного приспособления 1 (обычно часового индикатора). На стальную трубу навинчивается головка 3 для установки рейки. Защитная труба бетонируется в смотровом колодце 4 с крышкой 2.

Для изучения деформаций промышленных и гражданских зданий в качестве опорных применяют свайные знаки и реперы с поперечным сечением 180...250 мм.

Деформационные знаки, применяемые для наблюдений за горизонтальными смещениями, — это в основном визирные цели, закрепляемые или непосредственно на конструкциях, или на кронштейнах, в полу сооружений — это металлические пластины с перекрестием.

Для большинства осадочных реперов характерно наличие сферической головки, на которую подвешивается или устанавливается нивелирная рейка (рис. 19.2). На сооружении могут закрепляться постоянные нивелирные шкалы. В этом случае отпадает необходимость в использовании реек.

От правильности размещения и числа знаков во многом зависят качество, полнота и достоверность выявленных деформаций.

Опорные знаки необходимо размещать вне зоны возможных деформаций, но поближе к сооружению. Их число должно быть не менее трех, чтобы обеспечить взаимный контроль за устойчивостью.

Расположение деформационных знаков на сооружении зависит от многих факторов: от цели проведения работ, вида деформации, конструкции сооружения в целом и его отдельных элементов, инженерно-геологических условий и др.

Деформационные знаки для определения горизонтальных смещений гражданских и промышленных зданий размещаются по периметру, но не реже, чем через 15... 20 м по углам и по обе стороны осадочных швов. На плотинах гидроузлов знаки устанавливают в галереях и по гребню (верх плотины) не менее двух марок на секцию. На подпорных стенках, причальных сооружениях размещают не менее двух марок на каждые 30 м.

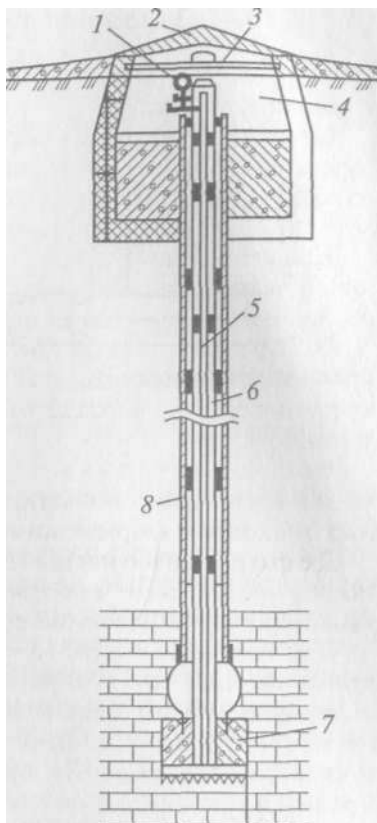


Рис. 19.1. Биметаллический репер:

1 — кронштейн; 2 — крышка; 3 — головка; 4 — смотровой колодец; 5 — дюралюминиевая труба; 6 — стальная труба; 7 — башмак; 8 — защитная труба

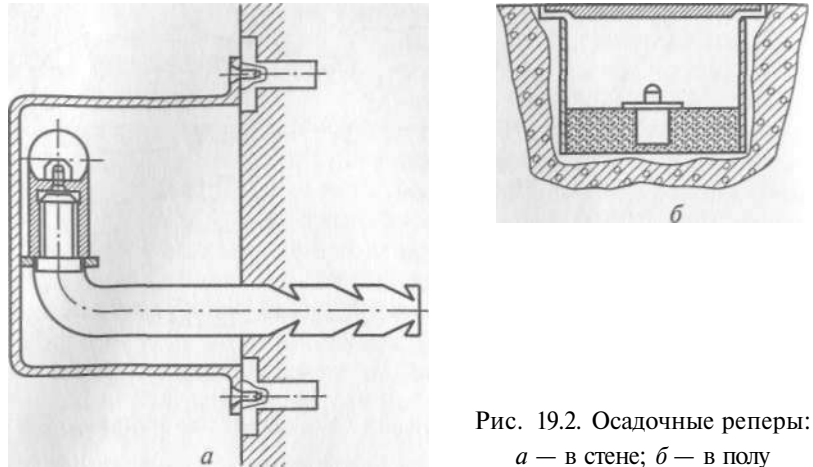


Рис. 19.2. Осадочные реперы:
a — в стене; *б* — в полу

Высотные реперы на гражданских и промышленных зданиях располагают по углам, по периметру через 10... 15 м по обе стороны деформационных швов, на колоннах, в местах примыкания продольных и поперечных стен. На причальных и подпорных стенках реперы располагают через 15...20 м.

На дымовых трубах, доменных печах, различных башнях устанавливают несколько ярусов деформационных знаков.

19.5. Наблюдения за осадками сооружений

Наблюдения за осадками сооружений выполняют способами геометрического и тригонометрического нивелирования, гидро-нивелирования, микро-нивелирования, а также фото- и стерео-фотограмметрическими способами.

Наиболее широко распространен способ геометрического нивелирования. Он обладает множеством достоинств, делающих его практически универсальным. Это высокая точность и быстрота измерений, простое и недорогое стандартное оборудование, возможность выполнять измерения в сложных и стесненных условиях.

Способом геометрического нивелирования можно определять разности высот точек, расположенных на расстоянии 5... 10 м, с погрешностью 0,05...0,1 мм, а на несколько сотен метров — с погрешностью до 0,5 мм.

В зависимости от требуемой точности определения осадок применяются различные классы нивелирования. Так, например, при определении осадок бетонных плотин гидроузлов применяют I и

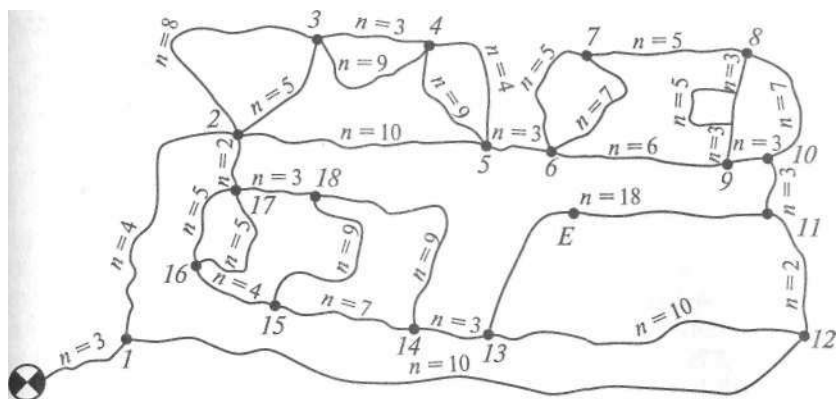


Рис. 19.3. Схема нивелирных ходов для наблюдений за осадками ТЭЦ

II классы, которые характеризуются средней квадратической погрешностью измерения превышения на одной станции соответственно 0,3 и 0,4 мм. При определении осадок промышленных и гражданских зданий чаще всего применяют II и III классы, для которых средняя квадратическая погрешность измерения превышения на станции равна 0,9 мм.

Отметки деформационных точек в цикле измерений определяют относительно исходного опорного репера. Отметку исходного репера чаще всего принимают условно, например 100 м, но она постоянна на весь период наблюдений. Для передачи отметки от исходного на все деформационные реперы разрабатывают специальную схему (рис. 19.3).

При выполнении измерений в зависимости от класса нивелирования применяют специальную методику и соответствующие приборы. Так, при измерениях высокой точности используют тщательно выверенные высокоточные нивелиры типа Н-05, штриховые инварные или специальные малогабаритные рейки. Нивелир устанавливают строго посередине между наблюдаемыми точками, отсчеты берут по основной и дополнительной шкалам реек.

Нивелирование выполняют при двух горизонтах прибора, в прямом и обратном направлениях. Длина визирного луча допускается до 25 м, его высота над поверхностью земли или пола — не менее 0,5 м. Нивелирование производится только при вполне благоприятных условиях видимости и достаточно отчетливых, спокойных изображениях штрихов реек. Соблюдают и другие меры предосторожности, обеспечивающие высокую точность работ.

Полученные результаты тщательно обрабатывают: оценивают фактическую точность и сравнивают ее с заданной, уравнивают,

вычисляют отметки, а по разности их в циклах — осадки, строят графики осадков и т.д.

Способ тригонометрического нивелирования позволяет определять осадки точек, расположенных на существенно разных высотах, в труднодоступных местах. Такие случаи возникают при наблюдениях за высокими зданиями, башнями, плотинами, при производстве измерений через препятствия.

Наиболее высокая точность порядка 0,1 мм обеспечивается при коротких (до 100 м) лучах визирования с применением высокоточных теодолитов типа ЗТ2 и специальной методики измерений, позволяющей измерять зенитные расстояния с погрешностью порядка 5". Кроме того, методика предусматривает однообразную во всех циклах установку теодолита и его тщательное исследование, строгую вертикальность реек, выбор времени и условий наблюдений для уменьшения влияния вертикальной рефракции и ряд других мероприятий, направленных на ослабление действий различных источников погрешностей. Расстояния до определяемых точек должны измеряться с погрешностью 3...5 мм.

Гидронивелирование обеспечивает такую же точность, как и геометрическое нивелирование, но применительно к наблюдениям за осадками позволяет создавать стационарные автоматизированные системы с дистанционным съемом информации.

При использовании гидростатического нивелирования применяют различные системы, конструкция которых зависит от условий проведения работ, требуемой точности и от способа измерения положения уровня жидкости относительно отсчетных индексов измерительных сосудов.

Существуют автоматизированные системы гидростатического нивелирования, в которых изменение положения уровня жидкости в сосудах определяется автоматически с помощью электрических или оптико-электронных датчиков.

Применение гидродинамического нивелирования позволяет расширить диапазон измерений и значительно упростить процесс автоматизации наблюдений за осадками.

Способ микронивелирования применяют при наблюдениях за взаимным высотным положением близко расположенных на расстоянии 1,0... 1,5 м точек. Такие задачи возникают при изучении осадков и наклонов отдельных конструкций: фундаментов, балок, ферм, технологического оборудования. Измерения выполняют с помощью микронивелира.

Фото- и стереофотограмметрический способы предусматривают применение фототеодолита для фотосъемки исследуемого объекта. Определение деформаций вообще, и в частности осадков, этими способами заключается в измерении разности координат точек сооружения, найденных по фотоснимкам на-

чального (или предыдущего) цикла и фотоснимках деформационного (или последующего) цикла.

Тщательно выполненные измерения и соответствующий учет элементов ориентирования позволяют определять деформации сооружений фотограмметрическими способами со средней квадратической погрешностью менее 1,0 мм.

При наблюдениях за осадками крупных инженерных сооружений, отличающихся повышенными требованиями к точности производства этих работ, разрабатывается, как правило, специальная методика геодезических измерений. Исходными данными для разработки методики измерений служат величины погрешностей m_s , определения осадок наблюдаемых точек, измеренных относительно исходного репера, и погрешностей $m_{\Delta S}$ разности осадок двух точек, расположенных на определенном расстоянии друг от друга.

19.6. Наблюдения за горизонтальными смещениями сооружений

Горизонтальные смещения сооружений или их отдельных элементов измеряют различными способами, основными из которых являются: линейно-угловой, створный и стереофотограмметрический. Применяют также прямые и обратные отвесы.

Линейно-угловые построения применяют в случае, когда величины смещений необходимо знать по двум координатам. Эти построения могут развиваться в виде специальных сетей триангуляции и трилатерации, комбинированных сетей, угловых и линейных засечек, ходов полигонометрии, сетей из вытянутых треугольников с измеренными сторонами и высотами. Применение того или иного вида построения зависит от характера сооружения и его геометрической формы, требуемой точности и условий измерений, организационных и других факторов. Так, например, угловую и линейную засечки применяют для определения смещений недоступных точек сооружения, а триангуляцию, полигонометрию, сети из вытянутых треугольников с измеренными сторонами и высотами — для протяженных сооружений криволинейной формы. Во многих случаях применяют комбинированные схемы, когда, например, триангуляция или трилатерация используются для определения устойчивости исходных пунктов, с которых способами засечек или полигонометрии определяются смещения точек на сооружении.

Применительно к измерениям деформаций каждый из видов линейно-угловых построений обладает своими особенностями. Однако для всех видов характерным является постоянство схемы измерений и необходимость получения в конечном итоге не самих

координат деформационных точек, а их изменений во времени, т. е. разностей координат в двух циклах.

Для специальной триангуляции характерна высокая точность измерения углов ($0,5 \dots 2,0''$) при коротких сторонах, большое число связей, обеспечивающих минимальную величину обратного веса определения функции координат точек сети.

Полигонометрия применяется в основном в виде одиночных ходов, опирающихся на исходные пункты. Часто из-за невозможности азимутальной привязки используют лишь привязку координатную.

Уравнивание линейно-угловых построений производят строгими способами. Координаты пунктов вычисляют в условной системе.

Створные наблюдения широко применяют для исследования деформаций сооружений прямолинейной формы, когда смещения достаточно знать по одному направлению. При этом координатную систему выбирают так, чтобы с направлением смещений совпадала ось ординат, а с направлением створа — ось абсцисс.

Величины смещений находят по разности значений ординат (нестворностей), измеренных в двух циклах.

Нестворность определяют различными методами, из которых наиболее распространены методы подвижной марки и малых углов. Для задания створной линии применяют струнные и оптические способы, а также способы, основанные на принципах физической оптики. *Струнный способ* предусматривает использование натянутой стальной струны различного диаметра, *оптический* — зрительных труб большого увеличения (теодолиты, нивелиры, автоколлимационные системы, специальные алиниометры).

В методе подвижной марки величина нестворности определяется непосредственно. Для этого в точке A (рис. 19.4, a) устанавливается оптический прибор, коллимационная плоскость которого ориентируется по марке в точке B и задает створную линию. Подвижная марка, установленная в точке C , вводится в створ. Положение подвижной марки, когда мишень ее находится в створе, фиксируется по отсчетному устройству марки. Если известен отсчет, когда ось мишени совпадает с точкой C , то нестворность

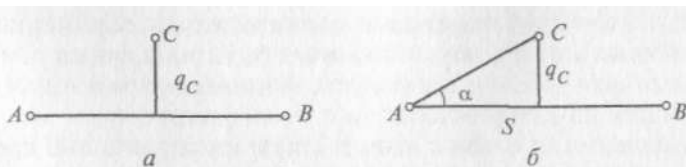


Рис. 19.4. Определение величины нестворности методами:
 a — подвижной марки; b — малых углов

q_c может быть вычислена как разность отсчетов при положении марки в точке С и в створе $/IB$. При возможности поворота марки на 180° нестворность может быть получена как полуразность отсчетов для двух положений марки при введении ее в створ.

В методе малых углов нестворность d_c определяется путем измерения малого угла a (рис. 19.4, б) между линией створа и направлением на точку С и расстояния S . Величина нестворности вычисляется по формуле $q_c = \frac{sa}{P}$.

Для створов значительной протяженности с большим числом определяемых точек на створе в зависимости от условий измерений применяют различные схемы (программы) наблюдений. Простейшая из них — схема общего створа (рис. 19.5, а), когда нестворности всех точек определяются относительно общего створа между концевыми (опорными) точками створа. В схемах частных (пересекающихся) (рис. 19.5, б) и последовательных (рис. 19.5, в) створов нестворности измеряются между определяемыми точками относительно этих створов.

Так, схема последовательных створов предусматривает определение нестворностей A_1 точки 1 от створа $/...II$, A_2 точки 2 от створа $7...II$, A_3 точки 3 от створа $2...II$ и т.д. В схеме частных створов нестворность A_x точки 1 определяется от створа $1...2$, A_2 точки 2 от створа $1...3$, A_3 точки 3 от створа $2...4$ и т.д. В обеих схемах нестворности q относительно общего створа могут быть получены лишь путем соответствующих вычислений, зная расстояния S между всеми точками.

19.7. Наблюдения за кренами, трещинами и оползнями

Крен — это вид деформации, свойственный сооружениям башенного типа. Появление крена может быть вызвано как неравномерностью осадки сооружения, так и изгибом и наклоном верхней его части из-за одностороннего температурного нагрева и ветрового давления. В связи с этим полную информацию о кренах и Изгибах можно получить лишь по результатам совместных наблюдений за положением фундамента и корпуса башенного сооружения. В зависимости от вида и высоты сооружения, технических

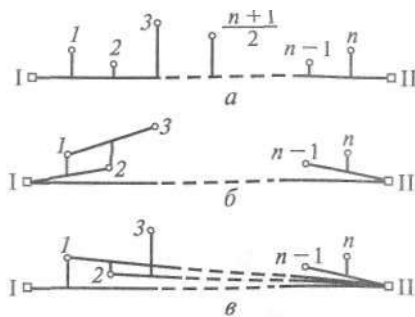


Рис. 19.5. Схемы створных измерений:

a — общего створа; b — частных створов; $в$ — последовательных створов

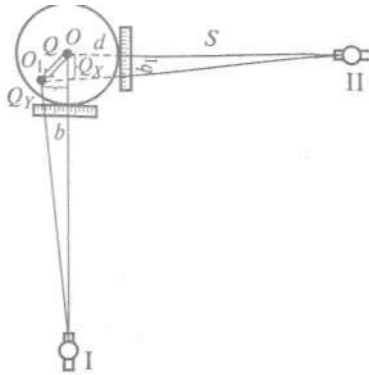


Рис. 19.6. Схема наблюдений за креном башенного сооружения способом вертикального проектирования

требований и условий наблюдений для определения крена применяют различные способы.

Наиболее просто крен определяется с помощью отвеса или прибора вертикального проектирования (оптического или лазерного). Этот способ применяется в основном при возведении башенных сооружений, когда можно встать над его центром.

В сложных условиях, особенно для сооружений большой высоты, для определения крена применяют способы вертикального проектирования, координат, горизонтальных углов и др.

Так, в способе вертикального проектирования с двух точек I и II (рис. 19.6), расположенных на взаимно-перпендикулярных осях сооружения и на удалении от него в полторы-две высоты, с помощью теодолита проектируют определяемую верхнюю точку на некоторую плоскость в основании сооружения (цоколь, рейку, палетку и т.п.). Зная расстояние S от теодолита до сооружения и затем d до его центра O , из наблюдений в нескольких циклах, используя отсчеты B и B_u можно вычислить составляющие крена Q_x и Q_y по выбранным осям и полную величину крена Q .

В способе координат вокруг сооружения на расстоянии, равном полутора-двум его высотам, прокладывают замкнутый полигонометрический ход и вычисляют в условной системе координаты его пунктов. С этих пунктов через определенные промежутки времени прямой засечкой определяют координаты точек на сооружении. По разностям координат в двух циклах наблюдений находят составляющие крена по осям координат, полную величину крена и его направление.

Способ горизонтальных углов применяют, если основание сооружения закрыто для наблюдений. При этом способе с опорных пунктов, расположенных на взаимно-перпендикулярных осях, периодически измеряют углы между направлением на определяемую верхнюю точку и опорным направлением. По величине изменения наблюдаемых углов и горизонтальному проложению до наблюдаемой точки находят составляющие крена по осям и полную величину крена.

Для определения величины крена по результатам нивелирования осадочных марок должно быть не менее трех на фундаменте или цокольной части сооружения. С этой же целью применяют

различного вида клинометры, представляющие собой накладные высокоточные уровни с ценой деления до 5".

Наблюдения за трещинами обычно проводят в плоскости конструкций, на которых они появляются.

Для выявления трещин применяют специальные маяки, которые представляют собой плитки из гипса, алебаstra и т.п. Маяк крепится к конструкции поперек трещины в наиболее широком ее месте. Если через некоторое время трещина появляется на маяке, то это указывает на активное развитие деформации.

В простейшем случае ширину трещины измеряют линейкой. Применяют также специальные приборы: деформометры, щелемеры, измерительные скобы.

Наблюдения за оползнями выполняют различными геодезическими методами. В зависимости от вида и активности оползня, направления и скорости его перемещения эти методы подразделяют на четыре группы:

осевые (одномерные) — смещения фиксированных на оползне точек определяют по отношению к заданной линии или оси;

плановые (двумерные) — смещения оползневых точек наблюдают по двум координатам в горизонтальной плоскости;

высотные — для определения только вертикальных смещений;

пространственные (трехмерные) — находят полное смещение точек в пространстве по трем координатам.

Осевые методы применяют в тех случаях, когда направление движения оползня известно. К числу осевых относят:

метод расстояний (рис. 19.7, *a*), заключающийся в измерении расстояний по прямой линии между знаками, установленными вдоль движения оползня;

метод створов (рис. 19.7, *б*), оборудованных в направлении, перпендикулярном движению оползня;

лучевой метод (рис. 19.7, *в*), заключающийся в определении смещения оползневой точки по изменению направления визирного луча с исходного знака на оползневой.

К плановым относятся методы прямых, обратных, линейных засечек, полигонометрии, комбинированный метод, сочетающий измерение направлений, углов, расстояний и отклонений от створов.

Высотные смещения оползневых точек находят в основном методами геометрического и тригонометрического нивелирования.

Для определения пространственного смещения оползневых точек применяют фототеодолитную съемку.

Смещения оползневых точек вычисляют по отношению к опорным знакам, располагаемым вне оползневого участка. Число знаков, в том числе и оползневых, определяется из соображений обеспечения качественной схемы измерений и выявления всех характеристик происходящего процесса.

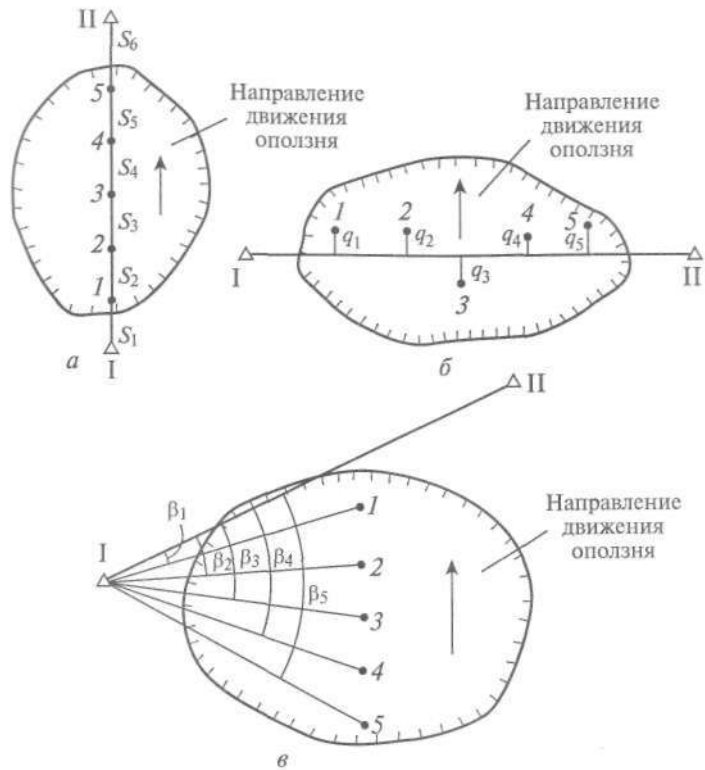


Рис. 19.7. Схемы наблюдений за оползнями:
a — методом расстояний; *б* — методом створов; *в* — лучевым методом

Наблюдения за оползнями проводятся не реже одного раза в год. Периодичность корректируется в зависимости от колебания скорости движения оползня: она должна увеличиваться в периоды активизации и уменьшаться в период угасания.

19.8. Обработка и анализ результатов наблюдений

Основные вопросы обработки и анализа результатов наблюдений за деформациями рассмотрим на наиболее распространенном виде работ — наблюдениях за осадками.

По окончании очередного цикла измерений необходимо выполнить оценку точности полученных результатов. Поскольку в основу всех точностных расчетов этого вида работ закладывают величину средней квадратической погрешности превышения на станции m_p , удовлетворяющую для данной схемы исходным тре-

бованиям по точности определения осадок, то для сравнения ее и необходимо получить из результатов измерений.

С этой целью используют следующие формулы:

$$m_h = \sqrt{\frac{[d^2]_1^n}{2n}},$$

где d — разность значений превышений в ходах прямо и обратно или при двух горизонтах прибора; n — число разностей; по невязкам замкнутых полигонов

$$m_h = \sqrt{\frac{[\omega_i^2]_1^K}{Kn}},$$

где ω_i — невязка замкнутого полигона; K — число полигонов; n — общее число превышений по всем полигонам; из уравнивания

$$m_h = \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}},$$

где $[pv^2]$ — величина, получаемая из уравнения; r — число избыточных измерений.

При уравнивании на ЭВМ любая программа автоматически предусматривает оценку точности.

По результатам уравнивания составляют ведомость уравненных превышений и отметок деформационных реперов, а по разностям их отметок — ведомость осадок. При этом осадки можно вычислять по отношению к начальному циклу, выявляя их накопление за весь период наблюдений, и к предыдущему циклу для оценки текущих изменений.

В случае когда точность полученных результатов удовлетворяет требуемой (заданной), приступают к анализу результатов наблюдений.

В соответствии с решаемой задачей анализу подлежат осадки всех деформационных точек.

Поскольку на объекте наблюдений их бывает достаточно много, то только прочтение ведомостей осадок не дает общего впечатления о происходящих процессах, поэтому стремятся представить результаты наблюдений в графическом виде.

Традиционно графики представляют в виде, показанном на рис. 19.8. Однако эти графики не

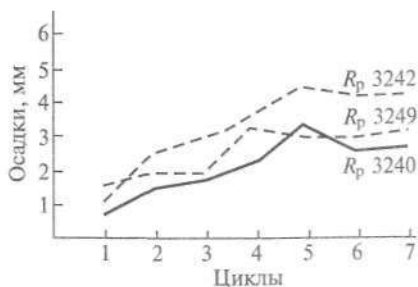


Рис. 19.8. График осадок

обладают достаточной наглядностью, поскольку для изображения всего происходящего процесса по всем реперам таких графиков необходимо строить достаточно много.

Для большей наглядности составляют два графика в виде изолиний равных осадок: один — пространственно-временной по профилям, другой — пространственный в топографической системе координат на плане масштаба 1:500 или 1:1000.

Первый вид графиков строится следующим образом. В выбранном горизонтальном масштабе по горизонтали откладывают расстояния между реперами профиля (рис. 19.9). В соответствующем масштабе по вертикали откладывают время между циклами наблюдений. В узлах полученной сетки прямоугольников подписывают значения величин осадок соответствующего репера на соответствующую дату проведения цикла измерений. Линейным интерполированием между точками осадок проводят изолинии в выбранной величине сечения, обычно — через 1 мм. Изолинии, кратные 5, утолщают. Для удобства чтения графика следует помнить, что изолинии, параллельные вертикали, свидетельству-

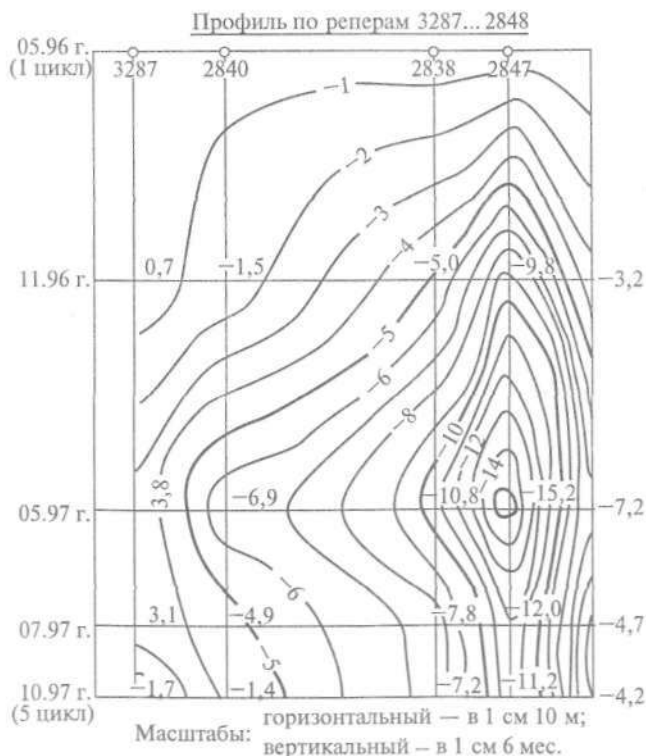


Рис. 19.9. Пространственно-временной график осадок

ЮТ об общем наклоне площадки в ту или иную сторону, т.е. о неравномерной осадке; изолинии, параллельные горизонтали, — о равномерной осадке.

Пространственно-временной график отображает деформационный процесс по всем циклам наблюдений.

Пространственный график на топографической основе строится так же, как рисуется рельеф в горизонталях, только исходными служат не отметки, а осадки реперов в каких-либо двух циклах.

Получаемая информация является исходной для анализа происходящего процесса деформаций. Для анализа используют также материалы по геологии, гидрогеологии, климатологии, состоянию строительных работ и т. п.

При анализе осадок отдельных зданий и сооружений отслеживают их неравномерный характер и вычисляют разности осадок характерных точек в направлении продольных и поперечных осей здания.

Особое внимание уделяют зданиям, у которых обнаруживаются значительные осадки, особенно неравномерные. Сведения об этом немедленно передаются всем заинтересованным организациям для своевременного принятия необходимых мер.

По результатам наблюдений каждого цикла составляют краткую пояснительную записку, в которой приводят сведения об измерениях и их предварительном анализе.

Эти сведения, как правило, содержат: фактическую схему и краткое описание технологии измерений, результаты уравнивания, оценку точности полученных результатов, ведомости отметок и осадок реперов, графический иллюстративный материал, краткий анализ результатов наблюдений.

По окончании работ составляют технический отчет, являющийся основным техническим документом по результатам наблюдений. Он содержит те же сведения, что и пояснительная записка, но в обобщенной по всем циклам форме с более подробным анализом и обобщающими выводами.

Контрольные вопросы

1. Какие причины возникновения различных видов деформаций вы знаете?
2. Каковы задачи наблюдений за деформациями?
3. Какие требования предъявляются к точности наблюдений за деформациями?
4. Какие знаки применяют для наблюдений за деформациями?
5. Какими методами определяют осадки?
6. Какие методы используются для наблюдений за горизонтальными смещениями, кренами, трещинами и оползнями?

ГЛАВА 20

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОГ И МОСТОВ

20.1. Камеральное трассирование

Камеральное трассирование выполняют в основном на стадии проекта. При этом используют топографические карты масштаба 1:25 000 или 1:50 000, фотосхемы, а также цифровую модель местности.

Трассирование по топографической карте в зависимости от условий местности выполняют или способом попыток или построением линии допустимого уклона.

Способ попыток, применяемый в равнинной местности, состоит в следующем. Между заданными точками намечают на карте кратчайшую трассу, по которой составляют продольный профиль с проектом линии будущей дороги. На основании анализа продольного профиля выявляют места, в которых трассу целесообразно сдвинуть вправо или влево, чтобы отметки местности совпали с проектными. Эти места вновь трассируют и составляют улучшенный проект трассы.

В условиях местности со сложным рельефом самый распространенный прием камерального трассирования — построение на топографической карте в заданном направлении линии предельно допустимого уклона для данной категории трассы. Для этого по карте данного масштаба $1: M$ и по высоте сечения рельефа h определяют величину заложения d для предельно допустимого уклона $i_{пр}$. Например, для карты масштаба 1:25 000 при $h = 5$ м и $i_{пр} = 0,020^{\circ} = 5000: (0,020 \cdot 25\ 000) = 10$ мм.

По найденному заложению на карте выделяют участки, отличающиеся по характеру трассирования, так называемые участки вольного и напряженного ходов. Участки местности, для которых средний уклон местности i_m больше предельно допустимого уклона $i_{пр}$, называют *напряженным ходом*. Участки, где i_m меньше $i_{пр}$, называют участками *вольного хода*.

На участке вольного хода трассу намечают по кратчайшему направлению, обходя лишь контурные препятствия. При этом, чтобы удлинение трассы было минимальным, углы поворота трассы должны быть не более 15...25°.

На участках напряженного хода для соблюдения предельного уклона предварительно намечают линию нулевых работ, для которой заданный проектный уклон выдерживается без устройства насыпей и выемок (земляных работ).

Например, необходимо на карте из точки A (рис. 20.1) провести трассу до точки K с заданным предельно допустимым укло-

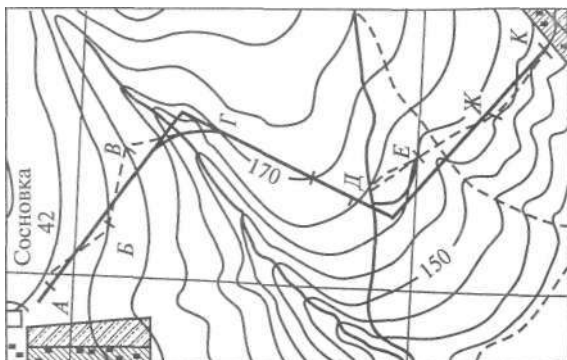


Рис. 20.1. Трассирование заданным уклоном

ном. Для этого, придерживаясь основного направления трассы, из точки *A* раствором циркуля, равным заложению d , засекают соседнюю горизонталь. Из полученной точки *B* вновь засекают этим же раствором циркуля точку *B* следующей горизонтали и т. д. При пересечении оврагов (участок *ВГ*) к тальвегу не спускаются, а переходят на другую сторону, засекая одноименную горизонталь. Так же поступают при пересечении рек, стремясь, чтобы трасса была примерно перпендикулярна направлению течения реки. В местах, где расстояние между горизонталями больше величины заложения (участок *ГД*), т. е. $\frac{1}{m}$ меньше $\frac{1}{n_p}$, точки выбирают по принципу вольного хода.

Таким образом получают на карте точки *A*, *B*, ..., *K*, образующие линию нулевых работ. Однако линия нулевых работ еще не может быть осью будущей дороги, так как она состоит из большого числа коротких звеньев, сопряжение которых кривыми невозможно из-за ограничений минимальных радиусов, поэтому линию нулевых работ заменяют участками более длинных прямых (спрямляют). Спрявление вызывает необходимость земляных работ. После спрямления линии нулевых работ транспортиром измеряют углы поворота трассы и, соблюдая нормативные требования, назначают радиусы круговых кривых.

Затем по трассе намечают положение пикетов и характерных точек рельефа. *Пикет* — это точка оси трассы, предназначенная для закрепления заданного интервала. Характерные перегибы рельефа или контурные точки, которые определяют пересекаемые трассой сооружения, водотоки, границы угодий, линии связи и т. д., называют *плюсовыми точками*. *Пикетаж трассы* — это система обозначения и закрепления ее точек. Для того чтобы не загружать чертеж, разбивку пикетажа по карте производят сокращенно: через два или пять пикетов. Закрепление пикетов начинают с нулевого. Плюсовые точки обозначают по номеру

предыдущего пикета и расстоянию до него в метрах, например ПК2 + 35,7.

Отметки пикетов и плюсовых точек находят интерполированием по горизонталям. По отметкам и пикетажу строят продольный профиль местности по трассе, а затем, руководствуясь техническими нормативами, проектируют профиль будущей дороги.

Трассирование может быть выполнено в нескольких вариантах, из которых после составления продольного профиля и проектирования проектной линии может быть выбран наилучший (оптимальный).

В настоящее время имеются автоматизированные системы проектирования трасс. Эти системы основаны на представлении всей информации о местности в виде цифровой модели, применении ЭВМ большой мощности для расчетов и проектирования вариантов и графопостроителя для автоматического составления проектной документации.

20.2. Полевое трассирование

Полевое трассирование ведут на стадии рабочего проектирования для поиска местных улучшений трассы, ее окончательного перенесения и закрепления на местности.

Основой для полевого трассирования служат материалы камерального трассирования. Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносят в натуру (на местность) по данным привязок углов поворота к пунктам геодезической основы или ближайшим контурам местности. Предпочтение отдают выносу точек трассы от пунктов геодезической основы как более надежному и точному.

В поле начинают с нахождения необходимых геодезических или контурных точек, от которых производят соответствующие угловые и линейные построения для определения положения исходных точек трассы, в том числе и начальной. На точках трассы, найденных на местности, устанавливают вехи и обследуют намеченные направления, в частности переходы через водотоки и овраги, пересечения существующих магистралей и другие сложные места. Иногда приходится несколько сместить провешенную линию и передвигать вершины углов поворота, чтобы удобнее разместить элементы плана и профиля трассы и обеспечить минимальный объем строительных работ.

Окончательно выбранное положение вершин углов поворота закрепляют на местности деревянными или железобетонными столбами и составляют абрис привязки этих точек к местным предметам.

Между закрепленными вершинами углов ВУ (рис. 20.2) поворота трассы прокладывают теодолитный ход, измеряя правые по ходу

углы β_1, β_2 и длины сторон L_1, L_2 и т.д. Углы поворота φ трассы определяют как дополнение правого угла до 180° . При повороте линии вправо $\varphi_{\text{п}} = 180^\circ - \beta$; при повороте влево $\varphi_{\text{л}} = \beta - 180^\circ$. Углы измеряют одним приемом с средней квадратической погрешностью $0,5'$.

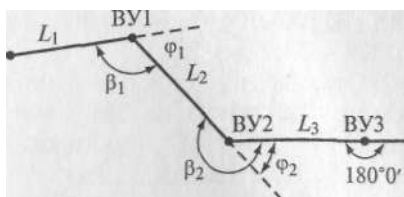


Рис. 20.2. Определение углов поворота по трассе

Для контроля угловых измерений одновременно по буссоли измеряют прямые и обратные магнитные азимуты сторон трассы.

На длинных прямых участках в пределах непосредственной видимости через $500 \dots 800$ м устанавливают створные точки (дополнительные углы), которые задают отложением угла 180° при двух кругах теодолита. Угол хода на створной точке также измеряют одним приемом. Он не должен отличаться от 180° более чем на $1'$. В противном случае створную точку перемещают на местности.

Расстояния между вершинами углов поворота и створными точками измеряют мерной лентой, рулеткой или дальномерами с предельной относительной погрешностью $1/1000 \dots 1/2000$. На участках трассы с наклоном более 2° в непосредственно измеренные длины вводят поправки за наклон со знаком плюс. По результатам измерений углов и линий и данным плановой привязки трассы к пунктам геодезической основы вычисляют координаты вершин углов поворота.

При полевом трассировании разбивают пикетаж трассы. Начальная точка трассы служит нулевым пикетом. Ее фиксируют, как все пикеты и плюсовые точки, с помощью кола диаметром 30 мм, длиной 150 мм, который забивают почти вровень с землей. Рядом с колом на расстоянии 200 мм по направлению хода забивают сторожок — кол длиной $300 \dots 500$ мм. На сторожке пишут номер пикета так, чтобы надпись была обращена назад по ходу к точке пикета. Пикет окапывают канавкой.

Для разбивки пикетажа каждую линию трассы провешивают с помощью теодолита.

Разбивку пикетажа ведут с применением стальной ленты или рулетки. Пикеты разбивают через 100 м. Для более детального отображения профиля местности дополнительно фиксируют плюсовые точки.

Для того чтобы избежать измерения углов наклона и введения поправок за наклон, на наклонных участках ведут разбивку пикетажа, укладывая ленту горизонтально и проектируя отвесом на землю приподнятый конец мерного прибора.

На углах поворота трасс вставляют круговые и переходные кривые. В качестве круговых кривых применяют дуги окружностей

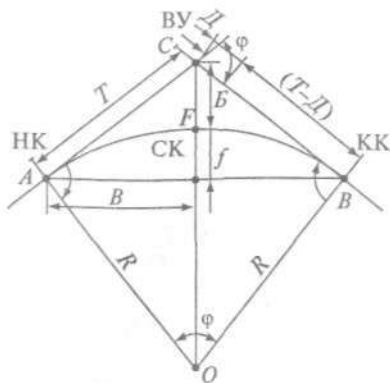


Рис. 20.3. Основные элементы круговой кривой

называемая тангенсом и вычисляемая по формуле $T = R \operatorname{tg}(\varphi/2)$; $AFB = K$ — длина круговой кривой, определяемая по формуле $K = R(\pi\varphi/180)$; $CF = B$ — длина биссектрисы, которую вычисляют по формуле $B = R(\sec \varphi/2 - 1)$; $D = 2T - K$ — домер; $D = R(2\operatorname{tg} \varphi/2 - \pi\varphi/180)$.

В практике элементы круговых трасс находят по таблицам, составленным по аргументам R и φ . Точки начала НК, середины СК и конца КК круговой кривой называют *главными*.

На круговой кривой пикетаж разбивают по линиям тангенсов. Сначала по измеренному значению угла поворота φ и принятому радиусу R из таблиц круговых кривых выбирают элементы кривой: тангенс T , длину кривой K , биссектрису B и домер D . Затем по уже определенному пикетажному значению вершины угла ВУ (ПК ВУ... 14 + 25,00) рассчитывают пикетажные наименования главных точек кривой (рис. 20.4, а) и, найдя их на местности, закрепляют. При этом начало кривой НК находят промером от уже закрепленного ближайшего пикета, а середину кривой СК — отложением расстояния B по биссектрисе угла поворота.

Разбивку пикетов от вершины угла по другому тангенсу начинают с отложения от вершины угла ВУ домера D , считая, что его конец имеет то же пикетажное значение, что и вершина угла. От конца домера откладывают расстояние, недостающее до ближайшего целого пикета (на рис. 20.4, а это расстояние равно 75,00 м до пикета ПК15). Далее обычным путем разбивают пикеты до следующего угла поворота. Зная пикетажное значение конца кривой КК, по ходу разбивки находят его на линии тангенса и закрепляют.

Разбитые таким образом пикеты расположены на касательных, которые должны находиться на оси трассы, т. е. на кривой. Пикеты переносятся с касательных на кривую методом прямоугольных

больших радиусов. В качестве переходных используют кривые переменного радиуса, который может изменяться от бесконечности до радиуса данной круговой кривой. С помощью переходных кривых более плавно сопрягают прямолинейные участки дорожной трассы с круговой кривой.

Основные элементы круговой кривой трассы (рис. 20.3): φ — угол поворота, измеряемый в натуре; R — радиус кривой, назначаемый в зависимости от условий местности и категории дороги; $AC = CB = T$ — длина касательных,

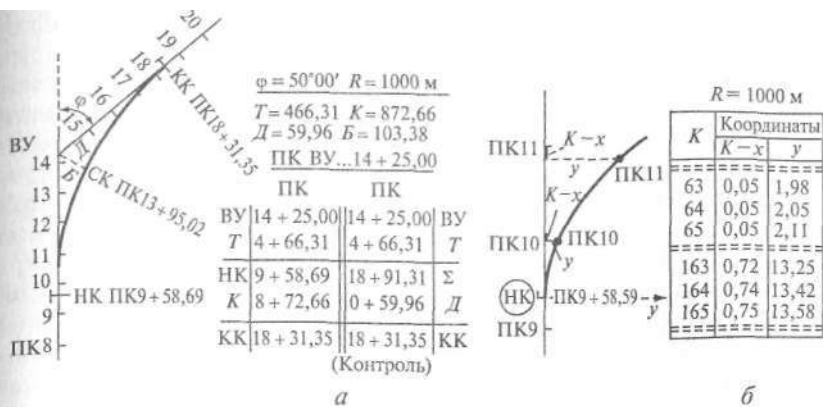


Рис. 20.4. Расчет пикетажа:

a — на кривой; *б* — перенесение пикетов с тангенса на кривую

координат. Данные получают из специальных таблиц (рис. 20.4, б). По принятому радиусу кривой $R = 1000$ м и длине K участка кривой от начала (или симметрично от конца) ее до выносимого пикета по таблице выбирают значения $(K - x)$ — кривой без абсциссы и y — ординаты. Так, для пикета $10K = 64$ $(K - x) = 0,05$ м и $y = 2,05$ м; для пикета $11K = 164$ $(K - x) = 0,74$ м и $y = 13,42$ м. Кривую без абсциссы $(K - x)$ откладывают рулеткой от соответствующего пикета, временно закрепленного на касательной, в сторону, противоположную вершине угла, т.е. к началу (или концу) кривой, а ординату y откладывают из найденной точки по перпендикуляру к касательной. Перпендикуляр к касательной при $y < 5$ м намечают «на глаз», а при $y > 5$ м направление перпендикуляра задают с помощью экера или теодолита.

Для характеристики поперечного уклона местности разбивают поперечные профили (рис. 20.5) в обе стороны от трассы на 15... 30 м и более в зависимости от характера склона и типа дороги. Поперечные профили назначают на таком расстоянии один от другого, чтобы местность между ними имела однообразный уклон.

В процессе разбивки пикетажа ведут журнал, в котором показывают все основные элементы трассы, пункты геодезической основы, ситуацию, отдельные элементы рельефа в полосе шириной по 50... 100 м с каждой стороны от оси будущей дороги. Все данные в последующем помещают в соответствующих графах продольного профиля.

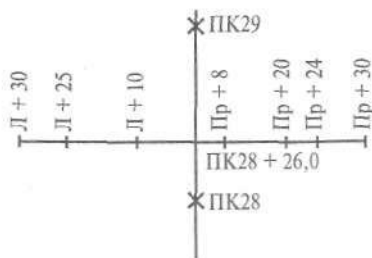


Рис. 20.5. Разбивка поперечного профиля трассы

Пикетажный журнал (рис. 20.6) состоит из сшитых листов клетчатой бумаги. Ось трассы показывают в виде прямой линии, расположенной посередине страницы. На прямую линию в масштабе (обычно одна клетка равна 20 м) наносят все пикетные и плюсовые точки, углы поворота, поперечные профили и т.д. Запись в журнале ведут снизу вверх, чтобы правая и левая стороны страницы соответствовали правой и левой сторонам трассы по ходу пикетажа. Углы поворота обозначают стрелками, направленными вправо и влево от средней осевой линии в зависимости от того, в какую сторону поворачивает трасса. Около углов поворота выписывают принятые основные элементы кривых: угол поворота с указанием правый или левый, радиус, тангенс, кривую, биссектрису, домер; здесь же подсчитывают пикетажные значения начала и конца кривой.

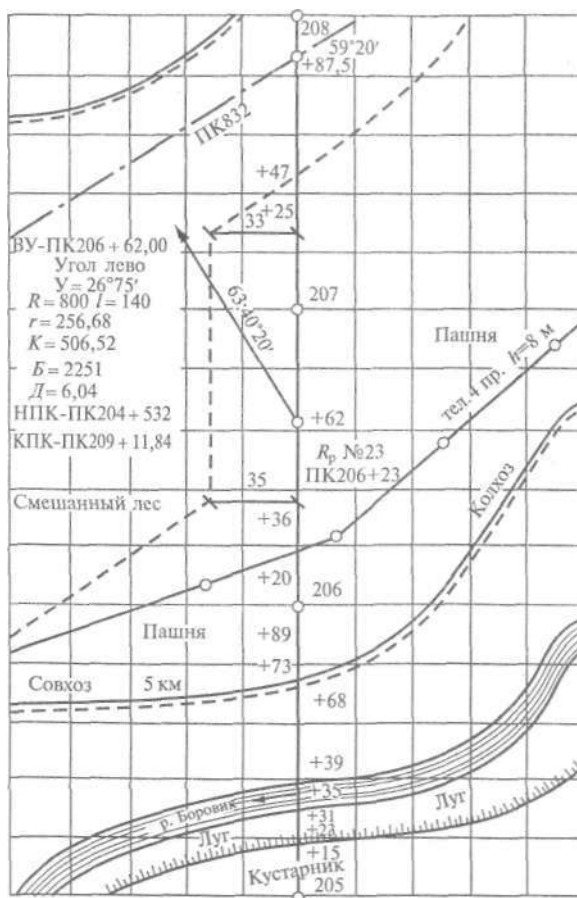


Рис. 20.6. Пикетажный журнал (условный пример)

Эта же информация может быть записана, например, в электронном журнале.

Разбивку пикетажа ведут по той же линии, по которой выполняют непосредственный промер между вершинами углов при продолжении теодолитного хода, что позволяет контролировать линейные измерения. Контрольное расстояние L_k между смежными вершинами угла должно быть равно разности их пикетажных значений плюс домер на задней вершине: $L_k = ПК_{д+1} - ПК_{д} + Д_{д}$.

Разность AL непосредственно измеренной линии и полученной по приведенной выше формуле в относительной мере не должна превышать $1/1000$ — в благоприятных условиях измерений, $1/500$ — в неблагоприятных условиях.

Разбивка пикетажа через 100 м затрудняет использование дальномеров, поэтому иногда применяют беспикетный способ полевого трассирования, при котором на местности разбивают не каждый стометровый пикет, а только точки, расположенные на характерных формах рельефа и важных для проектирования элементах ситуации. На планах и продольных профилях пикеты наносят камерально, их отметки определяют интерполированием между ближайшими плюсовыми точками. Если пикеты необходимы для строительства дороги, то их разбивают на местности при восстановлении трассы.

Для составления продольного и поперечного профилей трассы и определения отметок реперов, устанавливаемых вдоль трассы, производят техническое нивелирование с использованием, как правило, двух нивелиров (Н-10 или Н-10К). Первым прибором нивелируют все связующие точки (пикеты, плюсовые точки, реперы), вторым — все промежуточные точки (некоторые плюсовые точки, поперечные профили, геологические выработки на трассе). Километровые пикеты и реперы как связующие точки обязательно нивелируют обоими нивелирами, что позволяет надежно контролировать превышения в ходе.

Нивелирование по ходу обычно ведут методом из середины, устанавливая равенство плеч «на глаз». Расстояние до связующих точек принимают равным 100... 150 м. Если нивелирование по трассе производят одним нивелиром, то превышения между связующими и всеми пикетными точками определяют по черной и красной сторонам реек, а при работе с односторонними рейками — при двух горизонтах нивелира. Рейки применяют шашечные, трехметровые, двусторонние; в пересеченной местности удобны четырехметровые складные рейки.

При передаче высот через водные препятствия наблюдения выполняют или по специальной программе, или пользуются уровнем воды, полагая, что у взаимно противоположных берегов он имеет одинаковые отметки.

Полевой контроль нивелирования производят на станции и в ходе между реперами с известными отметками. Расхождения между

превышениями, полученными на станции из наблюдений двумя нивелирами или по двум сторонам реек, не должны превышать 7... 10 мм. Невязка в ходе между реперами с известными отметками не должна превышать $50\sqrt{L}$ мм, где L — длина хода, км, а расхождение между суммами превышений, полученными из нивелирования первым и вторым нивелирами, — $70\%/Z$ мм.

На трассе дороги могут быть расположены различные сооружения: участковые станции, разъезды, мастерские, станции обслуживания, заправочные колонки, сооружения (мосты, трубы), поселки, водоотводящие устройства и др. Для проектирования этих объектов необходимо иметь крупномасштабные планы соответствующих участков местности. Съёмка таких участков ведется в масштабах 1:2000... 1:500 тахеометрическим способом с опорой на точки трассы.

Для съёмки больших площадок создают плано-высотное обоснование в виде теодолитных и нивелирных полигонов. Съёмку узкой полосы вдоль трассы ведут по поперечным профилям, разбиваемым на пикетах и плюсовых точках трассы. При наличии крупномасштабных фотопланов подробных съёмочных работ на трассе не ведут. На фотопланах обновляют и дополняют ситуацию, в необходимых местах рисуют рельеф.

По окончании полевых работ материалы трассирования обрабатывают: проверяют полевые журналы, уравнивают нивелирные и теодолитные ходы, вычисляют отметки и координаты точек трассы, составляют планы, продольный и поперечные профили участков дороги.

Продольный профиль разбитой на местности трассы — основной документ, полученный в результате изысканий. Им постоянно пользуются при проектировании и строительстве железной и автомобильной дорог, а также в процессе эксплуатации. Профиль составляют в масштабах: горизонтальном — 1:5000 для автомобильной дороги и 1:10000 для железной дороги; вертикальном — соответственно 1:500 и 1:1000.

На продольный профиль (рис. 20.7) в соответствующие графы вписывают все данные, необходимые для проектирования дороги. В графе «Ситуация» показывают контурную часть плана в полосе шириной по 100 м с каждой стороны от оси трассы. Углы поворота в этой графе отмечают стрелкой, а ось трассы вычерчивают красным цветом. При заполнении графы «План линии» проставляют длины и истинные румбы прямых участков; на кривых показывают их основные элементы: φ , R , T , K . Кривую вычерчивают вниз, если трасса поворачивает влево, и вверх, если трасса поворачивает вправо. В графу «Отметки земли» выписывают отметки пикетов и плюсовых точек, определенные в процессе нивелирования по трассе. На продольном профиле отмечают также номера пикетов, расстояния между ними и километраж по трассе. Проек-

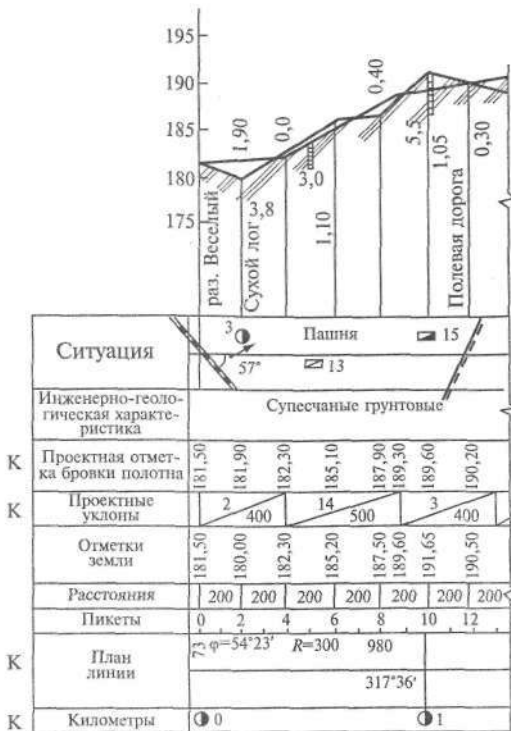


Рис. 20.7. Продольный профиль участка трассы железной дороги

тные данные показывают в соответствующих графах красным цветом. «План линии» также вычерчивают красным цветом.

По отметкам земли и пикетажу строят фактический профиль. При этом начало масштаба высот выбирают так, чтобы самая низшая точка фактического профиля не доходила до первой графы на 20...30 мм.

Красную линию профиля проектируют в соответствии с техническими условиями на данный вид и категорию дороги. Кроме того, при проектировании выполняют следующие правила: проектные уклоны задают с точностью до 0,001; проектные отметки относят к бровке земляного полотна; алгебраическая разность уклонов на двух соседних участках проектной линии не должна превышать заданного предельного уклона; на участках плановых кривых предельно допустимый уклон должен быть смягчен, уменьшен для железных дорог на $700/i^2$, где R — радиус кривой, для автомобильных дорог — от 10 до 50 %; объем насыпей и выемок должен быть минимальным.

Проектирование начинают от мест с заданными отметками, например, от начальной точки трассы, мостового перехода через

водное препятствие. Далее приближенно намечают первый участок проектной линии. По разности отметки земли в конце первого участка и начальной проектной отметки, а также расстояния между этими отметками подсчитывают уклон. Если он окажется допустимым, то его округляют до 0,001 и записывают в соответствующую графу профиля, указывая одновременно расстояния. Знаком уклон не сопровождают, его заменяет соответствующая диагональная линия в графе уклонов. По принятому значению уклона и расстоянию вычисляют превышение и, прибавив его с соответствующим знаком к первой проектной отметке, находят отметку конца первого участка красной линии. Дальнейшее проектирование выполняют подобным образом.

Разность проектной и фактической отметок данной точки профиля называется *рабочей отметкой*. Положительная рабочая отметка показывает высоту насыпи, отрицательная — глубину выемки. Рабочие отметки намечают на самом профиле. Точку пересечения проектной линии с линией профиля называют *точкой нулевых работ*; рабочая отметка этой точки равна нулю. Точки нулевых работ иногда отмечают на профиле трассы, так как они указывают начало насыпи или выемки.

В ходе проектирования, чтобы обеспечить размещение вертикальных кривых, выдерживают шаг проектирования — минимально допустимое расстояние между переломами проектной линии.

На профиле дорог проектируют также водоотводные каналы (кюветы), указывая при необходимости в соответствующих графах продольного профиля их проектные уклоны, расстояния и отметки на пикетах.

20.3. Восстановление дорожной трассы и разбивка кривых

Между проектированием и строительством дороги проходит определенный промежуток времени, за который точки закрепления трассы на местности частично утрачиваются. Поэтому перед началом строительных работ трассу восстанавливают, принимая за основную окончательно выбранную и закрепленную на местности при полевом трассировании и определенную чертежами рабочей документации трассу.

Восстановление начинают с отыскания на местности вершин углов поворота трассы. Отдельные вершины, на которых не сохранились знаки крепления, находят промерами от постоянных местных предметов согласно абрисам их привязки или прямой засечкой по проектным углам из двух соседних вершин трассы. Если знаки крепления не сохранились на нескольких расположенных рядом углах поворота и их невозможно восстановить от

местных предметов, то вновь выполняют трассирование этого участка, придерживаясь взятых с проекта углов поворота и расстояний.

Одновременно с восстановлением вершин измеряют углы поворота трассы и сравнивают полученные значения с проектными. При обнаружении значительных расхождений направление трассы на местности не изменяют, а исправляют значение проектного угла поворота и пересчитывают по исправленному углу все элементы кривой.

Затем приступают к контрольному измерению линий с разбивкой пикетажа. Пикеты и точки пересечения трассы с водотоками и магистралями устанавливают в створе по теодолиту. При этом стараются не допускать сплошной передвижки существующего пикетажа.

На закруглениях трассы детально разбивают переходные и круговые кривые. При радиусе, большем 500 м, кривую разбивают через 20 м, при радиусе менее 500 м — через 10 м, при радиусе менее 100 м — через 5 м.

Наиболее распространенный способ детальной разбивки кривых — способ прямоугольных координат. Для совместной детальной разбивки переходных и круговых кривых из соответствующих таблиц по значениям радиуса R круговой кривой и длине / переходной кривой выбирают разности $K-x$ (кривая без абсциссы) и ординаты y . Разбивку ведут от конечных точек начала первой переходной кривой НПК1 и начала второй переходной кривой НПК2 к середине круговой кривой (рис. 20.8). Вдоль тангенсов откладывают длины кривых K_x , соответствующие интервалу разбивки, отмеряя назад значения $K-x$. В найденных точках восстанавливают перпендикуляры и откладывают ординаты y , определяя точки кривой.

В стесненных условиях для разбивки кривой применяют способ хорд. В этом способе положение точек переходных и круговых кривых определяют построениями от хорд (рис. 20.9). Длину хорды выбирают равной 100 м и более с таким расчетом, чтобы наибольшая ордината y не превышала 2...3 м.

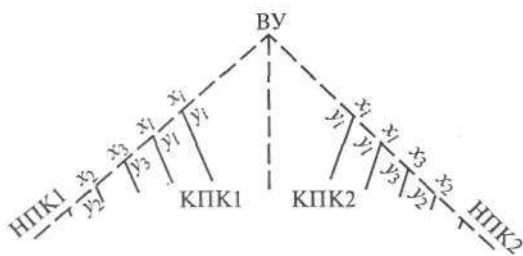


Рис. 20.8. Схема разбивки кривой способом прямоугольных координат

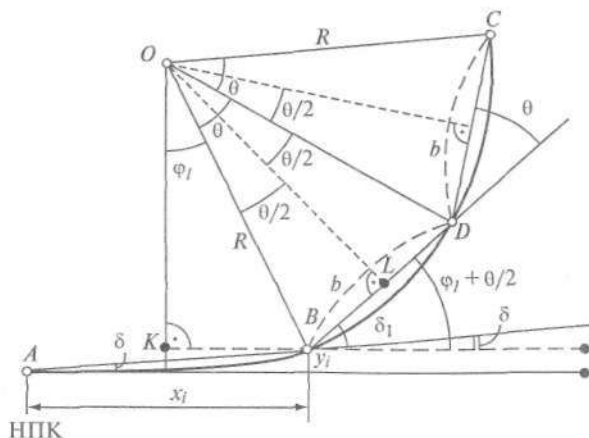


Рис. 20.9. Схема разбивки кривой способом хорд

Направления хорд задают при помощи теодолита по углам δ , δ_1 и θ . Углы находят по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{y_i}{x_i}; \quad \delta_1 = \varphi_l + \frac{\theta}{2} - \delta; \quad \varphi_l = \frac{l}{2R} \rho; \quad \sin \frac{\theta}{2} = \frac{b}{2R},$$

где x_i , y_i — координаты конца переходной кривой длиной l ; φ_l — центральный угол переходной кривой; θ — центральный угол круговой кривой, стягиваемой хордой b ; R — радиус круговой кривой.

Координаты разности $K-x$ и u для детальной разбивки кривой от хорды выбирают из специальных таблиц по значениям R и b отдельно для переходных и круговой кривых. Разбивку ведут от концов хорды к середине, так же как и в способе прямоугольных координат, от линии тангенса.

В горных районах и на косогорных участках проектируют сложные кривые, называемые *серпантинами*. Основными элементами серпантин (рис. 20.10) являются: основная кривая FDE радиуса R , две вспомогательные кривые AP и BG с радиусами r_1 и r_2 , две прямые вставки или переходные кривые $PE = l_1$ и $FG = l_2$.

При разбивке серпантин теодолит устанавливают в вершине угла поворота O и по створу прямых OA и OB откладывают расстояние d . Получают на местности вершины M и N вспомогательных кривых. По этим же направлениям от полученных точек откладывают длину тангенса T и находят точки A и B начала и конца серпантин. Затем, откладывая от сторон OA и OB угол γ и длину радиуса R , находят точки E и F — начало и конец основной кривой. Для контроля измеряют угол β . Откладывая по направлению ME от вершины M величину тангенса T , получают точку P конца

вспомогательной кривой. От точек A и P обычным порядком через 5...10 м детально разбивают вспомогательную кривую. Аналогично разбивают вторую вспомогательную кривую. Детальную разбивку основной кривой производят через 3...5 м. Для этого угол φ_0 делят на соответствующее число частей и вдоль заданных теодолитом направлений откладывают от центра кривой радиус R .

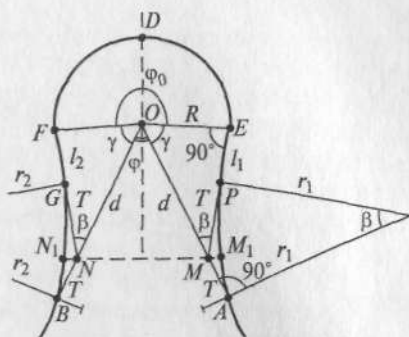


Рис. 20.10. Симметричная серпантина

После восстановления пикетажа и детальной разбивки кривых трассу закрепляют. Знаки крепления устанавливают вне зоны земляных работ так, чтобы они сохранялись на все время строительства.

Одновременно с закреплением трассы для удобства обслуживания строительных работ сгущают сеть рабочих реперов с таким расчетом, чтобы на 4...5 пикетов трассы приходился один репер. В качестве реперов стремятся использовать различные местные предметы, устойчивые по высоте, и знаки крепления, установленные ниже глубины промерзания.

В контрольное нивелирование трассы включают все пикетные и плюсовые точки и всю сеть постоянных и временных реперов. Для уточнения подсчета объемов земляных работ в местах, где поперечный уклон превышает $0,1$ (6°), разбивают и нивелируют дополнительные поперечники.

При восстановлении трассы может быть проведено некоторое ее корректирование и улучшение расположения на местности для уменьшения объема земляных работ и увеличения устойчивости отдельных сооружений. Так, могут быть спрямлены некоторые участки, найден более удачный переход или обход мест, неустойчивых в геологическом отношении, более удачно размещены искусственные сооружения, несколько изменены радиусы кривых и уклоны продольного профиля.

Точность геодезических работ при восстановлении трассы должна быть не ниже точности этих работ на стадии окончательных изысканий.

20.4. Разбивка земляного полотна дороги

Автодорожное полотно состоит из проезжей части, обочин, откосов и кюветов (рис. 20.11, а). Ширина проезжей части b колеблется от 6 м и более в зависимости от категории дороги. Для

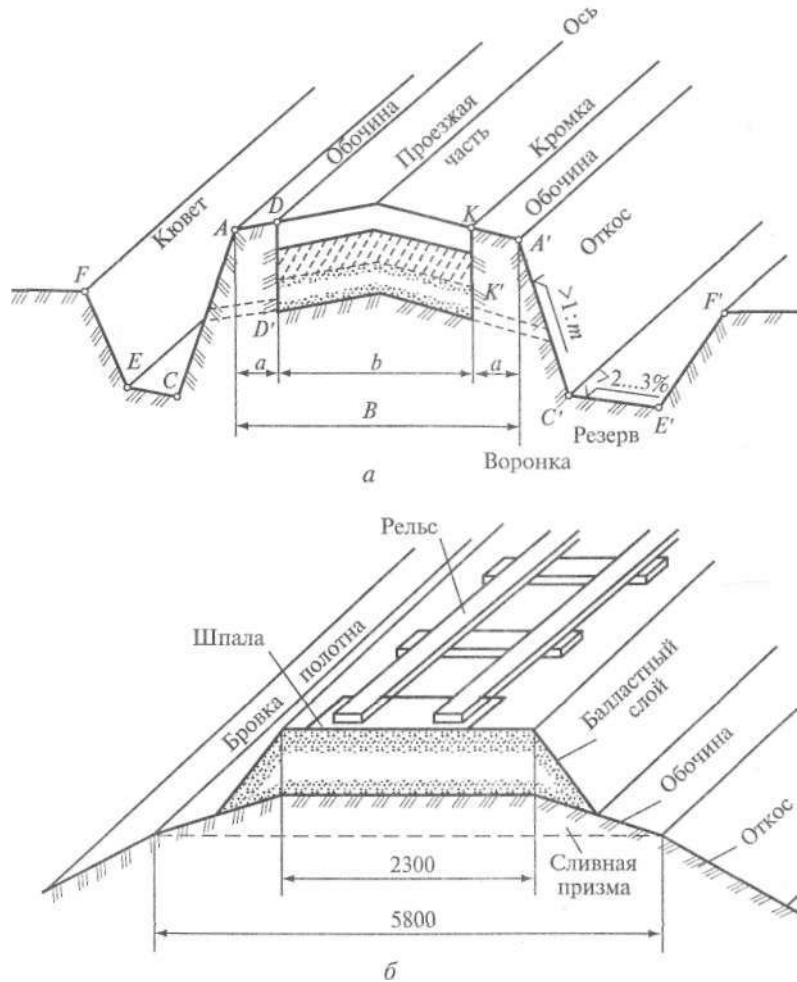


Рис. 20.11. Строение дорожного полотна:
a — автодороги; *б* — железной дороги

укрепления проезжей части с обеих сторон ее устраивают обочины *a* шириной от 2 до 3,75 м. К обочинам примыкают откосы *АС* и *А'С*. Линия, отделяющая обочины от откосов, называется *бровкой* (точки *A* и *A'*) дорожного полотна. Проектные отметки в продольном профиле дают по бровке.

Проезжая часть магистральных автомобильных дорог состоит из искусственного покрытия (бетонного, каменного и др.). Для устройства этого покрытия в дорожном полотне делают специальное земляное корыто *DD'KK*.

Для быстрого стока воды поверхность дорожного полотна имеет поперечный уклон от середины к бровкам. Величину этого уклона назначают в зависимости от типа покрытия. На цементно-бетонных и асфальтобетонных дорогах общей ширины B поперечный уклон проезжей части составляет 1,5...2,0%, щебеночных и гравийных — 2,0...3,0%, на мостовых — 3,0...4,0%. Поперечный уклон обочин на 2,0 % больше уклона проезжей части. Поперечный уклон дна корыта, как правило, равен уклону проезжей части.

Основной частью железнодорожного полотна (рис. 20.11, б) служит верхнее строение — рельсы со шпалами, уложенные на балластный слой. Для лучшего стока воды земляное основание под балластным слоем устраивают в виде сливной призмы. На однопутных дорогах, ширина земляного полотна которых равна 5,8 м, сливная призма в сечении имеет трапецеидальную форму с верхним основанием 2,3 м и высотой 0,15 м. На двухпутных дорогах шириной 10 м сливную призму строят с треугольным основанием, высотой 0,2 м.

Вдоль дорожного полотна устраивают боковые водоотводные канавы — кюветы, средняя глубина которых составляет 0,6 м. Продольный уклон дна кювета должен быть не менее 0,3 %.

Для выполнения земляных работ производят детальную разбивку земляного полотна (строительных поперечников), которая состоит в обозначении на местности в плане и по высоте всех характерных точек поперечного профиля полотна: оси, бровок, кюветов, подошвы насыпей и т.д.

На прямолинейных участках трассы поперечники разбивают через 20... 40 м и на всех переломах продольного профиля. Для этого с помощью теодолита и рулетки в створе оси трассы разбивают плюсовые точки между пикетами, например +20, +40, +60, +80 м. Это будут осевые точки поперечников. Сами же поперечники разбиваются вправо и влево от этих точек, перпендикулярно к оси трассы. Прямой угол строят с помощью теодолита или экера, а необходимые по проекту расстояния до характерных точек поперечного профиля откладывают лентой или рулеткой.

На закруглениях трассы поперечники разбивают через 10... 20 м в зависимости от радиуса кривой. На этих участках поперечники должны располагаться по направлению к центру кривой, т. е. перпендикулярно касательной к кривой в точке разбивки поперечника.

Одновременно с разбивкой поперечников выносят в натуру проектные отметки, которые соответствуют отметке бровки дорожного полотна в законченном виде. Рабочие отметки, т. е. высоты насыпей или глубины выемок, равны разности проектных отметок по бровке и фактических отметок местности по оси. При этом, если проектная отметка больше отметки местности, то дорога идет по насыпи, а если меньше — то в выемке.

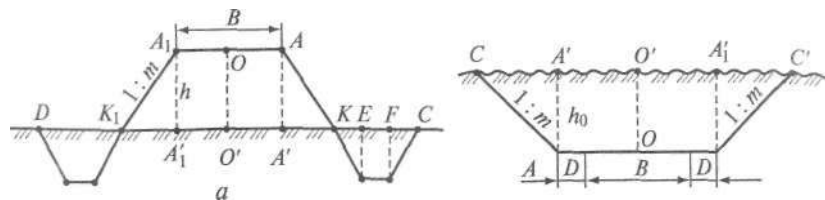


Рис. 20.12. Схемы разбивки дорожного полотна:

a — для устройства земляного полотна на насыпи; *б* — в выемке

Для удобства выноса в натуру проектных отметок и уклонов перед выходом в поле составляют так называемый *писанный профиль*, в котором на основании проектного продольного профиля дороги вычисляют для каждого разбиваемого в натуре поперечника проектные и рабочие отметки, глубины кюветов и другие данные.

На ровных (без поперечных уклонов) участках местности при разбивке поперечных профилей для устройства земляного полотна на насыпи (рис. 20.12, *a*) на местности колышками закрепляют положение проекции осевой точки O' , проекции бровок A' , A_1' , точек подошвы насыпи K , K_1 и проекции точек кюветов D , C , E , F .

После отсыпки насыпи вчерне для окончательной отделки полотна восстанавливают ось и выносят в натуру проектные отметки с учетом запаса на последующую осадку грунта. При отсыпке полотна автомобильной дороги производят разбивку для устройства корыта.

При разбивке поперечников для устройства земляного полотна в выемке (рис. 20.12, *б*) на поверхности земли фиксируют осевую точку трассы O' , точки A' , A_1' и точки бровки выемки C , C' . После выемки грунта вчерне при отделке земляного полотна производят разбивку под кюветы, корыто и обочины (сливную призму на железнодорожном полотне).

При значительном поперечном наклоне местности разбивка несколько усложняется. Так, для поперечного профиля в насыпи (рис. 20.13, *a*) расстояния от оси O' до подошвы насыпи K и K_1 будут различны. Положение точек K и K_1 может быть найдено, если отложить на наклонной местности отрезки $O'K$ и $O'K_1$. Величины этих отрезков могут быть вычислены по следующим формулам:

$$O'K = \left(\frac{B}{2} + mh\right) \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \nu)}; \quad O'K_1 = \left(\frac{B}{2} + mh\right) \frac{\sin \beta}{\sin(\beta - \nu)},$$

где B — ширина дорожного полотна; h — высота насыпи; ν — угол поперечного наклона местности; β — угол откоса насыпи ($\operatorname{tg} \beta = 1:m$).

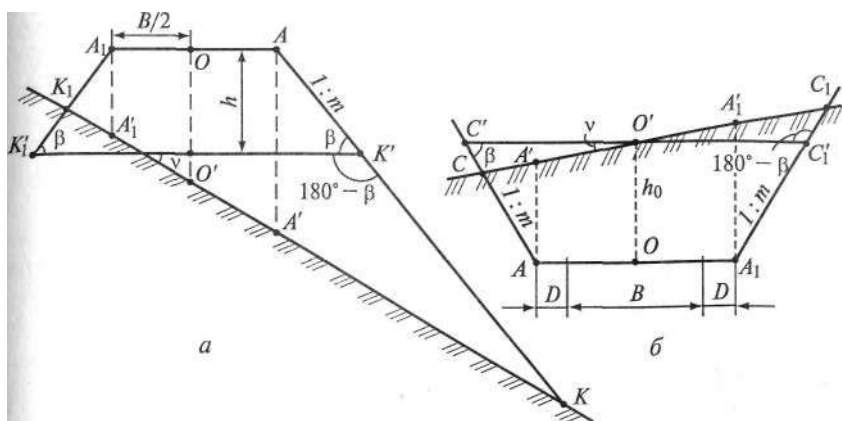


Рис. 20.13. Схемы разбивки дорожного полотна на косогоре:
a — для поперечного профиля в насыпи; *б* — в выемке

Чтобы получить проекции бровок A' и A_1' , необходимо от точки O' отложить по поверхности земли расстояние

$$O'A' = O'A_1' = \frac{B}{2} \cos v.$$

Для поперечного профиля в выемке (рис. 20.13, б) наклонные расстояния от оси до бровок выемки могут быть подсчитаны по следующим формулам:

$$O'C = \left(\frac{B}{2} + D + mh_0 \right) \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + v)}; \quad O'C_1 = \left(\frac{B}{2} + D + mh_0 \right) \frac{\sin \beta}{\sin(\beta - v)},$$

где D — ширина кювета; h_0 — глубина выемки.

Проектные отметки всех характерных точек земляного полотна вычисляют от проектной отметки бровки по конструктивным размерам, проектным уклонам и ширине отдельных частей дороги. Проектные отметки земляного полотна вносят в натуру с погрешностью не более 1 см.

После окончания работ по возведению земляного полотна производят исполнительную съемку. Для этого восстанавливают продольную ось и на каждом пикете проверяют ширину корыта, обочин, кюветов и др. На всех пикетах и переломах продольного профиля контрольным нивелированием определяют отметки характерных точек поперечников.

20.5. Разбивка верхнего строения дороги

После возведения земляного полотна еще раз разбивают поперечники для устройства автодорожного покрытия или верхнего строения пути на железных дорогах.

Покрытие на автомобильных дорогах строится в подготовленном для этого земляном корыте и состоит из песчаной или гравийной подушки, бетонного или каменного несущего слоя и верхнего асфальтового слоя.

После того как песчаная подушка уложена в земляное корыто и укатана, при помощи теодолита разбивают ось дороги и кромки проезжей части, обращая особое внимание на тщательность разбивки криволинейных участков дороги. Одновременно с плановой разбивкой при помощи нивелира устанавливают разбивочные точки на уровень проектных отметок верха покрытия или несущего слоя.

Поперечники разбивают на всех пикетах, переломах продольного профиля и плюсовых точках примерно через 20 м на прямолинейных участках и через 10 м на кривых. Полученные точки служат плановой и высотной основой для укладки камня или установки опалубки при бетонировании дороги.

При использовании самоходной бетонообрабатывающей машины по кромкам проезжей части устанавливают на проектную отметку вместо опалубки специальные рельс-формы.

Верхнее строение железных дорог состоит из балластного слоя (песка, гравия, щебня), шпал и рельсов. Толщина балластного слоя принимается не менее 35 см на магистральных дорогах и 25 см на местных.

При укладке или окончательной рихтовке железнодорожных путей строго по теодолиту разбивают ось каждого пути. На закруглениях полотна производят детальную разбивку переходных и круговых кривых.

Разбивку закрепляют кольями, на которых гвоздями фиксируют положение оси.

Одновременно при помощи нивелира выносят в натуру и закрепляют проектные отметки головки рельсов с погрешностью не более 1 ...2 мм. Чтобы определить проектную отметку головки рельсов, необходимо к проектной отметке профиля (отметке бровки полотна) прибавить высоту сливной призмы, толщину балластного слоя по проекту с учетом запаса на его осадку, толщину шпал и высоту рельсов.

После окончательной отделки полотна дороги вновь производят исполнительную съемку. При съемке автодорожного покрытия определяют отметки по поперечникам в точках на оси дороги и по краям проезжей части. Поперечные уклоны не должны отличаться от проектных более чем на 0,03. На железных дорогах проверяют ширину рельсовой колеи и разность отметок головок рельсов обеих ниток на одном поперечнике. Отклонение от проектной ширины рельсовой колеи должно быть в пределах от +4 до -3 мм, а разность отметок головок рельсов на одном поперечнике должна составлять 4 мм.

20.6. Построение мостовой разбивочной основы

Современные мостовые переходы представляют собой сложные инженерные сооружения, основными конструктивными элементами которых служат мостовые опоры и пролетные строения.

При строительстве мостового перехода на местности определяют и закрепляют положение центров мостовых опор и других элементов моста, а также производят детальную разбивку при возведении опор и монтаже пролетных строений.

Для этих целей строят специальную геодезическую разбивочную сеть, обеспечивающую выполнение разбивочных работ на всех стадиях строительства мостового перехода. Кроме того, рационально расположенная и надежно закрепленная разбивочная сеть может служить основой и для наблюдений за деформациями моста в процессе его строительства и эксплуатации.

В зависимости от способа разбивки центров опор и условий местности плановую разбивочную сеть создают в виде триангуляции, трилатерации, линейно-угловых построений, полигонометрии. При возможности разбивки опор по створу светодальномером в качестве основы могут служить исходные пункты, закрепляющие ось мостового перехода. Эти пункты закрепляют еще в период изысканий.

Разбивочную сеть создают в частной системе координат, за ось абсцисс которой принимают ось мостового перехода. Координаты одного из пунктов, лежащих на этой оси, задают, исходя из условия положительности координат всех пунктов. Погрешность в определении положения пунктов разбивочной сети относительно исходного не должна превышать 10 мм. Пункты разбивочной сети закрепляют в геологически устойчивых местах, не затопляемых высокими паводковыми водами.

Триангуляция — довольно распространенный вид построения мостовой разбивочной сети. Форма ее может быть различной, но наиболее часто встречаются простой или сдвоенный геодезический четырехугольник (рис. 20.14), а при наличии островов — центральные системы. Длины сторон колеблются от 0,2 до 2,0 км. Угловые измерения производят со средней квадратической погрешностью 1 ... 2". При этом особое внимание обращают на точность центрирования теодолита и визирных целей. Для контроля масштаба сети измеряют не менее двух базисных сторон с погрешностью порядка 2...3 мм. Уравнивается мостовая триангуляция строгим способом.

Трилатерация строится в основном тогда, когда метеорологические условия не позволяют производить угловые измерения в триангуляции с необходимой точностью. При построении трилатерации на мостовых переходах, как и в триангуляции, основной фигурой служит сдвоенный геодезический четырехугольник, все

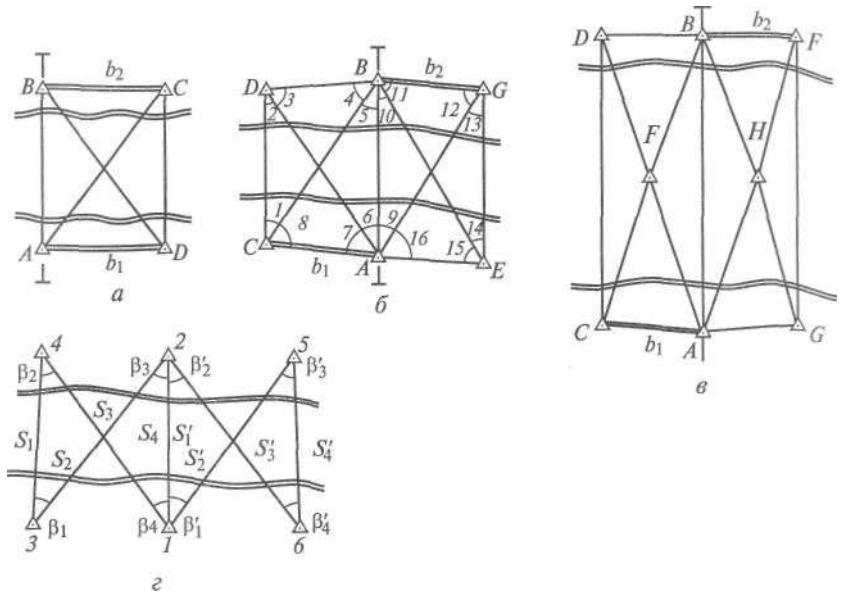


Рис. 20.14. Типовые схемы мостовой опорной сети:

a — геодезический четырехугольник; *б* — двудвойный геодезический четырехугольник; *в* — двудвойная центральная система; *г* — линейно-угловая сеть

стороны которого измеряются светодальномером соответствующей точности.

При *линейно-угловых построениях* на мостовых переходах измеряют стороны S_1, S_2, \dots, S_4 и углы $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_4$. Сети подобного вида обладают рядом преимуществ. Отсутствие направлений вдоль берегов позволяет измерять углы в примерно одинаковых внешних условиях, уменьшая тем самым влияние боковой рефракции. Взаимная видимость между пунктами сети обеспечивается без постройки высоких знаков. При сравнительно небольшом объеме линейных и угловых измерений сеть обладает достаточной точностью и высокой маневренностью в сложных условиях местности.

Полигонометрию применяют для мостов, строящихся на суходоле. Строят ее в виде системы ходов. Продольные ходы проектируют параллельно оси мостового перехода и располагают от нее на таком расстоянии, чтобы пункты не попадали в зону строительных работ. Стороны в таких ходах измеряют со средней квадратической погрешностью 5 мм, а углы — $2 \dots 3''$. После вычисления координат пункты редуцируют по оси ординат, чтобы они располагались строго в створе, параллельном оси моста. Это позволяет выполнять разбивочные работы способом прямоугольных координат или створной засечки.

На больших мостовых переходах, располагающихся в сложной широкой речной пойме, геодезическая разбивочная основа может строиться из сочетания линейно-угловых и полигонометрических сетей.

Высотную геодезическую сеть на мостовом переходе создают еще в период изысканий, но по точности она обеспечивает выполнение всех видов работ, в том числе и разбивочных.

Сеть представляет собой систему реперов, точность определения отметок которых относительно исходного репера характеризуется средней квадратической погрешностью 3... 5 мм. Это требование вполне обеспечивается про-

ложением ходов нивелирования III класса. На строительной площадке устанавливают густую сеть рабочих реперов, от которых передают отметки на все возводимые мостовые сооружения.

Реперы, расположенные на противоположных берегах реки, должны иметь отметки в единой системе высот, поэтому при строительстве мостового перехода возникает необходимость в передаче отметки через реку. Отметки через реку, как правило, передают точным геометрическим или тригонометрическим нивелированием по специальной программе, а в зимнее время — нивелированием по льду.

Наиболее широкое распространение получил метод двойного геометрического нивелирования, сущность которого заключается в следующем. На обоих берегах примерно на одинаковой высоте закладывают реперы I и 2 (рис. 20.15). В 5... 10 м от них организуют станции для нивелира I_1 и I_2 таким образом, чтобы $d_1 = d_3$ и $d_2 = d_4$. При установке нивелира в точке I_1 берут отсчеты последовательно по ближней и дальней рейкам. Затем нивелир перевозят на другой берег и в точке I_2 берут отсчеты сначала по дальней, потом по ближней рейкам. Таких приемов делают несколько в зависимости от требуемой точности передачи. Отсчеты по дальней рейке берут на утолщенные штрихи специальной передвижной марки, закрепляемой на рейке. Превышение на станции будет измеряться со значительной погрешностью, пропорциональной углу i нивелира и большой разности расстояний до реек на разных берегах. Среднее значение в приеме будет свободно от этой погрешности при условии неизменности угла i за время выполнения одного приема. Для ослабления влияния рефракции нивелирование целесообразно проводить одновременно двумя нивелирами с противоположных берегов, меняя затем их местами.

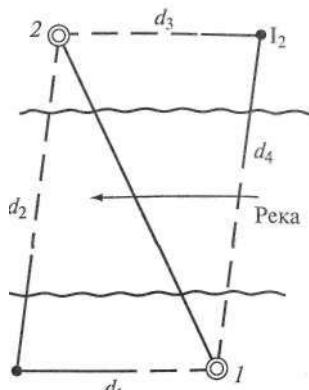


Рис. 20.15. Схема передачи отметки через реку

20.7. Разбивочные работы при возведении опор и пролетных строений моста

Для разбивки опор моста прежде всего выносят в натуру положение их центров. При разбивке на суходоле или в зимнее время положение центров опор, например М01 и М03 (рис. 20.16), определяют непосредственным откладыванием проектных расстояний вдоль продольной оси моста от точек *A* и *B*, закрепляющих эту ось.

Проектные расстояния откладывают с помощью шкаловых лент или рулеток. Натяжение при этом задают динамометром и учитывают поправки за температуру и компарирование мерного прибора. При использовании светодальномера вначале разбивку производят приближенно. Затем светодальномером измеряют расстояния до полученных точек, сравнивают их с проектными значениями и смещают предварительно найденные точки по оси моста в проектное положение. Створ оси моста задают теодолитом или лучом лазера.

Вынесенные в натуру центры мостовых опор на суходоле закрепляют створными плоскостями, перпендикулярными продольной оси моста. Знаки, закрепляющие створные плоскости, устанавливают вне зоны предстоящих строительных работ.

На мостовых переходах через большие судоходные реки разбивку центров мостовых опор, как правило, производят способом прямой или обратной угловых засечек с пунктов разбивочной

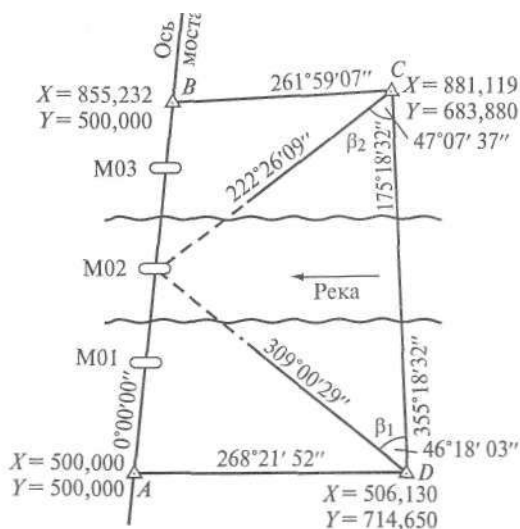


Рис. 20.16. Схема разбивки центров мостовых опор прямой угловой засечкой

сети. Например, для прямой угловой засечки центр опоры определяют не менее чем с трех пунктов, причем одно из направлений должно совпадать с осью моста. Перед разбивкой опор составляют разбивочный чертеж. На этом чертеже показана схема разбивки положения центра М02 мостовой опоры прямой угловой засечкой с пунктов *С* и *D*. Разбивочные углы ρ_1 и ρ_2 вычислены как разности дирекционных углов соответствующих направлений. Дирекционные углы в свою очередь определены по фактическим координатам пунктов сети и проектным координатам центра опоры путем решения обратных геодезических задач.

Для разбивки на пунктах *С* и *D* устанавливают точные оптические теодолиты. На определяемой точке закрепляют визирную марку с оптическим центриром. По указанию наблюдателей ее перемещают, добиваясь совмещения оси марки с коллимационной плоскостью теодолита, задающего разбивочный угол. Положение мишени визирной марки, находящейся на пересечении визирных лучей двух теодолитов, проектируют с помощью оптического отвеса на землю и закрепляют. Аналогично определяют точку при втором положении круга теодолита. Из двух точек находят среднюю. Для контроля и повышения точности по теодолиту, установленному на пункте *A* и ориентированному по створу *AB*, проверяют положение найденного центра опоры относительно продольной оси моста. Если центр опоры смещен от оси не более чем на 20 мм, то его смещают по перпендикуляру на ось перехода.

В случае применения обратной угловой засечки теодолит устанавливают над приближенно найденным центром опоры и измеряют углы не менее чем на три пункта разбивочной сети. По измеренным углам и координатам пунктов сети вычисляют фактические координаты точки стояния теодолита и сравнивают их с проектными координатами центра мостовой опоры. При несовпадении координат находят элементы редукции и редуцируют центр опоры в проектное положение.

Контролем разбивочных работ является измерение расстояний между вынесенными центрами нескольких опор.

В процессе строительства центры опор восстанавливают несколько раз: для возведения фундаментов, установки опалубки при бетонировании опор, перед установкой конструкций пролетных строений. Поэтому для опор, расположенных в воде, направление засечек с пунктов разбивочной сети закрепляют на противоположном берегу специальными визирными знаками.

Детальную разбивку мостовой опоры производят от закрепленного в натуре центра. При этом из центра опоры теодолитом выносят ось мостового перехода и перпендикулярную к ней ось опоры. От этих осей разбивают положение отдельных элементов опоры. Для обеспечения строительства опоры в высотном отношении на нее от ближайших рабочих реперов передают отметку,

фиксируя ее в удобном для использования месте. По окончании строительства опоры производят исполнительную съемку.

При монтаже пролетного строения в зависимости от его конструкции и схемы монтажа (непосредственно в пролете, сборка на берегу и т.п.) геодезические работы обеспечивают детальную разбивку мест установки пролета, периодическую выверку сборки пролета, его плановую и высотную установку, нивелирование профиля пролета (определение строительного подъема). По окончании монтажа производят исполнительную съемку, в результате которой составляют план и профиль пролетного строения, продольный профиль пути.

Контрольные вопросы

1. Когда и как выполняется камеральное трассирование дорог?
2. Когда и как выполняется полевое трассирование дорог?
3. Каким образом производится разбивка кривых на дорогах?
4. Что изображают на продольном профиле дороги?
5. Какие работы выполняют при восстановлении дорожных трасс?
6. Каковы особенности разбивки земляного полотна дороги?
7. Какие виды геодезических построений используют в качестве мостовой разбивочной основы?
8. Какие разбивочные работы выполняют при возведении опор моста?

ГЛАВА 21

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

21.1. Гидротехнические сооружения и состав геодезических работ при их возведении

Гидротехнические сооружения предназначаются для использования водных ресурсов и борьбы с водной стихией.

В зависимости от вида используемого естественного потока или водоема различают речные, озерные и морские гидротехнические сооружения. Их условно подразделяют на три основные группы:

водоподпторные — испытывают на себе напор воды и удерживают ее перед собой. К их числу относятся различные дамбы и плотины;

водопроводящие — служат для отвода или подвода воды из одних пунктов к другим. К ним относятся каналы, трубопроводы, гидротехнические тоннели;

регуляционные — определяют условия протекания водных потоков в руслах; ограничивают наносы, размывы; регулируют действие волн, течений. Это волноломы, льдозащитные стенки, берего- и дноуглубительные системы.

Кроме того, различают специальные виды гидротехнических сооружений, например лесопропускные, портовые, мелиоративные, рыбоводческие сооружения, сооружения санитарной гидротехники, судоходные шлюзы, здания гидроэлектростанций (ГЭС) и Др.

Группа различных гидротехнических сооружений, связанных общей водохозяйственной целью и местоположением, составляет узел гидротехнических сооружений, или гидроузла.

Наибольшее число сооружений обычно бывает у речных гидроузлов, часто объединяющих в одном месте сооружения общего и специального назначения.

Одним из наиболее распространенных и ответственных видов гидротехнических сооружений являются плотины. Плотина предназначается преимущественно для создания водохранилищ. Запас воды в водохранилище используется для получения электрической энергии на ГЭС, увеличения судоходных глубин в реке, водоснабжения промышленных объектов и населенных пунктов, орошения земель и т.п.

По своим размерам и конструктивной сложности плотины могут быть от простейших (в виде небольших запруд) до крупнейших высотой в 300 м и более, длиной в несколько километров.

В зависимости от строительных материалов различают земляные, каменно-набросные и бетонные плотины.

По конструктивным признакам бетонные плотины подразделяются на гравитационные, арочные, арочно-гравитационные и контрфорсные.

Гравитационные плотины представляют собой массивные сооружения, сопротивляющиеся собственной массой напору воды.

Арочные плотины имеют в плане криволинейную форму. Их сооружают, как правило, на горных реках с прочными скальными берегами.

Арочно-гравитационные плотины работают одновременно как арки и гравитационные плотины, т.е. они имеют криволинейную форму, большую высоту и массу.

Контрфорсные плотины состоят из ряда контрфорсов — стенок, устанавливаемых на некотором расстоянии друг от друга для сопротивления давлению воды.

Сложнейшим сооружением гидроузла является гидроэлектростанция. Если здание ГЭС размещают вблизи плотины, то такая ГЭС называется *приплотинной*. Если здание ГЭС, находясь в составе сооружений станционного узла, удалено от плотины, а

вода к турбогенераторам подводится по специальному каналу или тоннелю, то такая ГЭС называется *деривационной*.

Для строительства гидроэлектростанции в выбранном на реке месте необходимо создать *напор*, т. е. разность уровней воды перед плотиной (верхний бьеф) и ниже ее (нижний бьеф). Вместе с *расходом* (количество кубических метров воды, протекающее через поперечное сечение реки в одну секунду) напор определяет мощность ГЭС.

Из воднотранспортных гидротехнических сооружений наибольший интерес представляют каналы. По своему назначению каналы разделяются: на судоходные, оросительные (ирригационные), энергетические (деривационные), водопроводные, обводнительные, осушительные и лесосплавные. Часто каналы выполняют несколько функций и называются *смешанными* или *комплексными*. Одним из главных сооружений на судоходных каналах являются судоходные шлюзы. Они служат для подъема (или спуска) судов с одного водного горизонта на другой.

Содержание и объем геодезических работ зависит от вида гидротехнического сооружения, стадии его проектирования и строительства.

При проектировании большинства гидротехнических сооружений геодезические работы выполняют для составления топографических и гидрографических планов, продольных профилей рек, а также для обслуживания геологических, гидрологических и других специальных работ.

Для этих целей развивают исходное и съемочное планово-высотные геодезические обоснования, создающие единую систему плановых координат и высот на всю территорию строительства. Съёмки, в том числе и русловые, выполняют в различных масштабах в зависимости от стадии проектирования.

Значительные по объему геодезические работы выполняют при проектировании искусственных водохранилищ. Помимо топографических съемок на территории будущего водохранилища производят работы по выносу в натуре его контура, т.е. определению границы затопления.

При возведении гидротехнических сооружений выполняют разнообразные по составу и большие по объему геодезические измерения, связанные с выносом в натуре проекта сооружения. Исходными данными для них служат рабочие чертежи проекта. Для выполнения разбивочных работ в качестве основы частично используют пункты сетей обоснования, созданных для целей изысканий, а также строят специальные разбивочные сети.

Разбивочные работы выполняют на всех стадиях строительства: при выносе осей сооружений, выполнении земляных и бетонных работ, монтаже металлоконструкций и гидроагрегатов и т.д. Кроме того, при выполнении монтажных работ производят геодези-

ческие измерения, связанные с установкой технологического оборудования в проектное положение.

В процессе строительства гидросооружений ведут наблюдения за их деформациями.

21.2. Вынос в натуру проектного контура водохранилища

Вынос проектного контура водохранилища производят для определения в натуре границы затопления различных земель: населенных пунктов, сельскохозяйственных и лесных угодий и т. п. Эта работа состоит в обозначении на местности точек, высоты которых соответствуют отметкам $Я_{np}$ проектной горизонтали контура водохранилища.

Проектную горизонталь чаще всего определяют проложением ходов технического нивелирования. Нивелирный ход начинают от ближайших к контуру водохранилища реперов высотной основы m прокладывают его в район расположения горизонтали затопления. Определив по ходу точку I (рис. 21.1) с отметкой, близкой к (в пределах 1,0 м) к отметке проектной горизонтали, закрепляют ее и переходят на станцию I_r . На этой станции определяют горизонт прибора H_{mn} по рейке, стоящей на точке I. Вычисляют отсчет ϕ по рейке (она находится на проектной горизонтали): $b = H_{zn} - H_{nv}$.

Далее, вблизи определяемой точки I переставляют рейку по склону вверх или вниз до тех пор, пока отсчет по ней (в пределах 5 см) не будет равен B . С этой же станции аналогичным образом определяют положение еще нескольких точек, например 1, 2, 3, 4, отстоящих друг от друга примерно на 30...40 м. Полученные точки закрепляют кольями. Затем, двигаясь по ходу, определяют отметку точки II, близкую к проектной, и на станции I_2 вновь определяют горизонт прибора, вычисляют отсчет по рейке B и находят положение проектной горизонтали в точках 5... 8. Аналогично находят положение точек проектной горизонтали на участках между реперами исходного обоснования. Предельная длина рабочего хода дощскается до 15 км на застроенной территории и

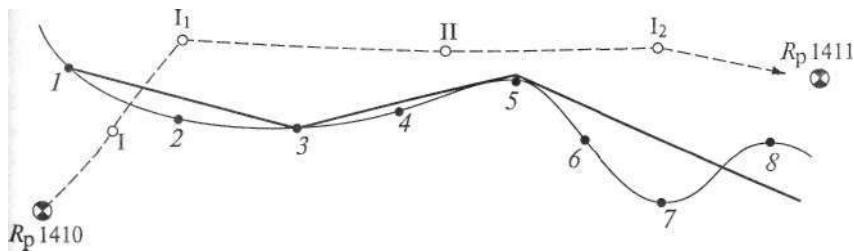


Рис. 21.1. Схема выноса в натуру проектной горизонтали контура водохранилища

до 50 км в залесенных районах. Однако привязку к реперам исходной основы желательно делать чаще, чтобы при грубых промахах не переделывать большие участки работ.

На крутых склонах применяют метод тригонометрического нивелирования, прокладывая с помощью теодолита высотные тахеометрические ходы. В этом случае отыскивают положение точек, превышение h которых над тахеометрической станцией с отметкой H_{mc} составляет

Установив рейку примерно на отметке проектной горизонтали, измеряют угол наклона и расстояние. Вычислив превышение, сравнивают его с расчетным. В случае расхождения определяют, куда и на какую величину следует переместить рейку по склону. В залесенных труднодоступных районах применяют метод барометрического нивелирования.

В характерных местах через 200... 300 м выносимую линию закрепляют более основательно — деревянными столбами, бетонными монолитами, затесами на деревьях в залесенной местности и т. п. Между смежными знаками должна быть взаимная видимость. В случае применения метода геометрического нивелирования по постоянно закрепленным точкам прокладывают теодолитный ход и определяют координаты этих точек. Теодолитный ход привязывают к пунктам исходного обоснования не более чем через 10 км на застроенной территории и через 50 км в малообжитых районах.

При наличии на участке контура водохранилища крупномасштабных топографических планов или фотопланов с горизонталями граница затопления может быть вынесена в натуру с достаточной точностью промерами от четких контуров. Точность выноса в натуру проектной отметки контура водохранилища зависит от хозяйственной ценности территории и рельефа местности. Характеризуется она величинами погрешностей: от 5 см на застроенной равнинной местности и до 60 см в залесенной или всхолмленной.

21.3. Геодезическое обоснование для строительства гидротехнических сооружений

Для геодезического обеспечения строительства гидроузлов, как правило, создают специальную разбивочную сеть. Эта сеть служит основой для выполнения всех видов строительных разбивок и обеспечения монтажных работ. Ее используют также для наблюдений за деформациями берегов реки и сооружений гидроузла.

Плановую разбивочную сеть на площадке строительства гидроузла развивают в виде триангуляции, полигонометрии и линейно-угловых построений. Строят ее в две или три ступени.

В качестве первой (исходной) ступени обычно применяют триангуляционные или линейно-угловые сети. Точностные характеристики этих сетей такие же, как и у государственных триангуляционных сетей соответствующих классов.

Необходимый разряд сети выбирают в зависимости от типа объекта, занимаемой им площади и размеров его основных сооружений. Точностные характеристики сети I-го разряда определяют расчетным путем, исходя из заданной точности конечных результатов измерений.

Сеть строят как локальную в строительной системе координат, принимая за ось абсцисс разбивочную ось плотины, а один из пунктов закрепления этой оси — за начальный. Для увязки разбивочных и съемочных работ разбивочную сеть привязывают к пунктам изыскательской сети.

Сеть редуцируют не на поверхность референц-эллипсоида, как это делают для государственных сетей, а на поверхность относимости с высотой $H_{отн} = (H_x + Я_2)/2$, где H_x и H_2 — высоты основания и гребня плотины.

Пункты сети закрепляют вне зоны производства строительных работ и в устойчивых грунтах. При этом используют трубчатые знаки или бетонные тумбы высотой 1,2 м, снабженные приспособлениями для точного центрирования теодолита и визирных целей.

Уравнивание сети производят строгим способом, широко используя для этой цели ЭВМ.

Для детальной разбивки отдельных сооружений гидроузла основная сеть сгущается сетью пунктов второго порядка, размещенных вблизи возводимых сооружений, на бортах котлована и перемычках, по возможности совмещая их с точками закрепления разбивочных осей. Детальные сети развиваются с точностью разбивки соответствующих осей и характеризуются средними квадратическими погрешностями взаимного положения пунктов 3... 5 мм. Сети строятся в виде полигонометрии, микротриангуляции, микротрилатерации. При необходимости пункты этих сетей редуцируются в соответствии с проектным расположением осей.

Приведем схему разбивочной триангуляционной сети гидроузла (рис. 21.2), состоящей из пунктов А... в первой ступени и пунктов 1... в второй ступени. Часть пунктов второй ступени располагается на перемычке котлована первой очереди строительства.

При необходимости дальнейшее сгущение разбивочной сети производят по точкам, закрепляющим оси конструктивных элементов (отдельные секции плотины, здания ГЭС, шлюзы, портовые сооружения и т.п.). Эти построения осуществляют путем проложения полигонометрических ходов, засечками, створными построениями.

Поскольку пункты разбивочных сетей второго и третьего порядков располагаются в зоне строительных работ, то их устойчивость

периодически контролируют относительно наиболее стабильных пунктов исходной разбивочной основы.

Высотное обоснование на территории строительства гидроузла строят также в несколько ступеней. Используют его не только для обеспечения строительных работ, но и для наблюдений за осадками возводимых сооружений, поэтому исходное высотное обоснование, например для бетонных плотин, может создаваться нивелированием II класса, а в отдельных случаях и нивелированием, соответствующим по точности классу I. Дальнейшее сгущение высотной сети производят ходами III и IV классов, а также техническим нивелированием. Нивелирование III и IV классов может служить исходным в случае, когда на этапе строительства нет необходимости в высокоточных наблюдениях за осадками.

Схема высотной разбивочной сети определяется, исходя из конкретной компоновки и конструктивных особенностей гидроузла. Опорная сеть первой ступени строится в виде одиночного нивелирного хода или системы ходов, связывающих в высотном отношении оба берега реки и опирающихся на исходные реперы 1, 2 и кусты реперов (рис. 21.3). Нивелирные ходы второй ступени,

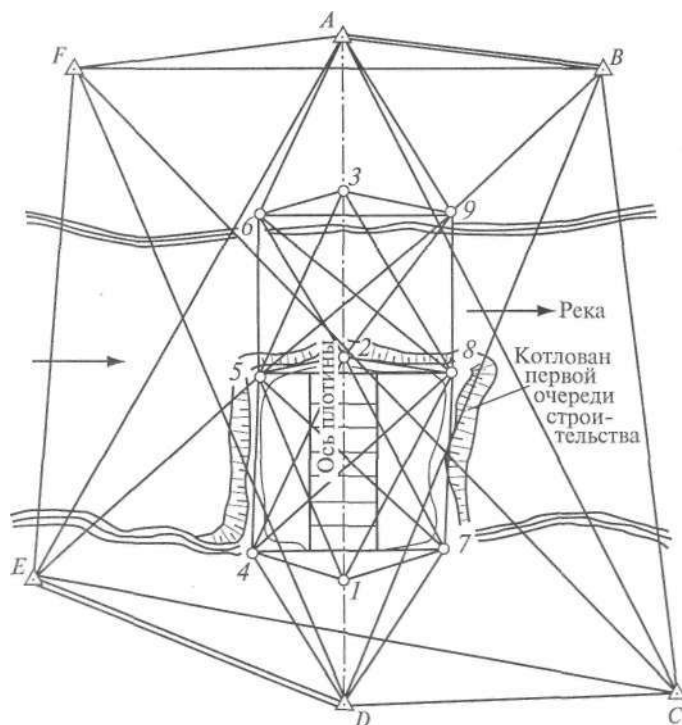


Рис. 21.2. Разбивочная триангуляционная сеть гидроузла

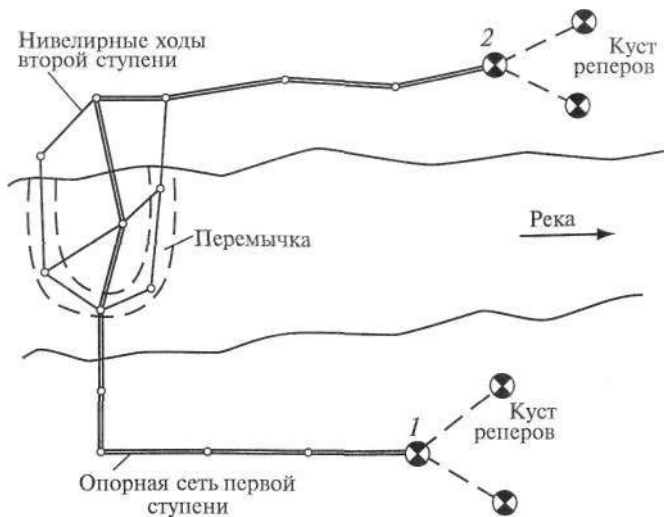


Рис. 21.3. Высотная опорная сеть для строительства гидроузла

опираясь на реперы первой, равномерно охватывают все объекты гидроузла, образуя небольшие по длине замкнутые полигоны. Расстояния между смежными реперами не должны превышать 200...400 м, чтобы высоты можно было передать на сооружение с двух-трех установок нивелира.

Пункты высотной сети закрепляются грунтовыми и скальными реперами.

Высотная разбивочная сеть уравнивается как свободная. Для вычисления отметок в Балтийской системе один из исходных реперов разбивочной сети привязывают к ближайшему реперу сети, созданной при изысканиях.

Для строительства каналов и сооружений, связанных с ним, используют обоснование, созданное в процессе выполнения изыскательских работ. Плановое обоснование развивают в виде ходов полигонометрии, прокладываемых вдоль трассы канала. В зависимости от плотности пунктов государственной триангуляции в районе строительства канала прокладывают полигонометрию IV класса с предельной длиной ходов до 30 км или полигонометрию I-го разряда с длиной ходов до 15 км. При создании высотного обоснования выбор класса нивелирования также зависит от расстояния между исходными реперами, а кроме того, и от уклона дна канала. При возможности привязки к нивелирной сети I и II классов вдоль трассы канала прокладывают основной ход нивелирования III класса, привязывая его через 75 км. Опираясь на этот ход, развивают полигоны или ходы нивелирования IV класса длиной до 25 км. На трассе канала реперы устанавливают через 2...3 км.

Для строительства гидротехнических водоподводящих тоннелей создают специальные тоннельные сети.

21.4. Разбивочные работы на площадке гидроузла

Каждое гидротехническое сооружение, входящее в гидроузел, имеет свою главную ось, относительно которой komponуются все его формы и размеры. Геометрической основой проекта гидроузла служит совокупность увязанных между собой главных осей основных сооружений. Форма и размеры отдельных сооружений определяются совокупностью основных и вспомогательных осей, привязанных к главным осям.

К главным осям обычно относят: продольные оси бетонных и земляных плотин, продольную ось здания ГЭС, оси междупутья железнодорожных и автомобильных мостов, расположенных на плотине, оси камер судоходных шлюзов, деривационных каналов, тоннелей и т.п.

Возведение гидротехнического сооружения начинают с фиксации на местности главной оси, от которой на протяжении всего строительства выносят основные и вспомогательные строительные и монтажные оси и откладывают затем проектные размеры сооружения и его частей.

Вынос осей осуществляется последовательно: сначала выносят и закрепляют главную ось сооружения относительно пунктов разбивочной сети, затем относительно главной оси определяют в натуре положение остальных осей и элементов сооружения. Вынос в натуре осей производят в соответствии с требованиями нормативных документов и технических условий на возведение данного вида гидротехнического сооружения.

Главная ось плотины, как правило, является исходной осью для всех разбивочных работ при сооружении гидроузла. Ее выносят в натуре до начала строительства по проектным координатам главных точек этой оси, взятым с топографического плана соответствующего масштаба. Вынос точек, определяющих положение оси плотины, производят от ближайших пунктов геодезического обоснования, созданного для целей изысканий. Погрешности в положении выносимых в натуре точек относительно близлежащих контуров местности будут составлять от 0,4 до 2,0 м в зависимости от точности графического определения координат и масштаба топографического плана. Вынесенные в натуре и капитально закрепленные главные точки оси плотины включают в систему пунктов исходной разбивочной геодезической сети и в этой системе определяют координаты этих точек. Все дальнейшие разбивки выполняют на основе аналитических расчетов по данным проекта и координатам пунктов разбивочных сетей. Таким обра-

зом, на взаимное положение сооружений гидроузла и их элементов погрешности первоначального выноса исходной оси влияния не оказывают.

Выполнение последующих разбивочных работ зависит от очередности строительства сооружений гидроузла и этапов выполнения строительно-монтажных работ по каждому из видов сооружений. В зависимости от конструктивных особенностей и способов возведения отдельных сооружений технологии разбивочных работ и требования к их точности могут быть различными. Однако для всех сооружений можно выделить некоторую общую последовательность в этапах их возведения, а отсюда и общую последовательность геодезических разбивок: разбивки для земляных работ, разбивки для обслуживания бетонных работ, геодезическое обеспечение монтажа металлоконструкций и технологического оборудования. При этом, как уже отмечалось, различают основные и детальные разбивочные работы.

При строительстве гидроузла выполняют значительный объем земляных работ: отсыпку перемычек, рытье котлована, подготовку основания плотины, отсыпку плотины из грунтовых материалов.

Основания сооружений гидроузла возводят в глубоком котловане, контур которого ограждают перемычками (см. рис. 21.2). Характерные точки перемычек (начало, конец, углы поворота) задают координатами и определяют в натуре от пунктов геодезического обоснования полярным способом на суходоле и прямой засечкой на воде. В последнем случае они закрепляются поплавками с якорем.

Отсыпку перемычек, как правило, производят земснарядами, забирая грунт из будущего котлована. При этом осуществляют промеры глубины котлована и определяют объем вынутого грунта.

После намыва перемычек на них выносят точки, закрепляющие положение основных разбивочных осей, например I, Г (рис. 21.4). От них разбивают и закрепляют продольные и поперечные оси котлована $A-A'$, $B-B'$ и т.д. На знаки закрепления осей передают отметки. После открытия и осушения котлована оси переносят на его дно и производят исполнительную съемку.

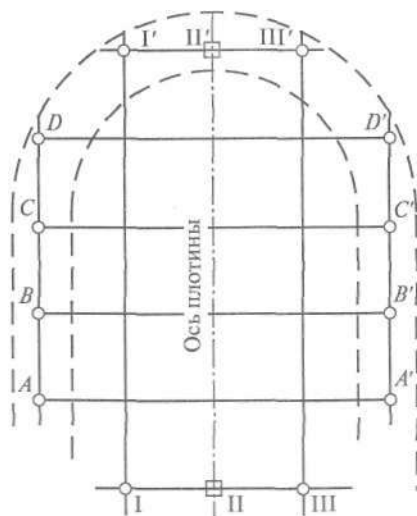


Рис. 21.4. Схема разбивки и закрепления осей плотины



Рис. 21.5. Схема разбивки осей блока плотины:

1 - угловые знаки; 2 - знаки выноски

Будет установлена опалубка), а их продолжение (выноски). После установки опалубки ее положение контролируют промерами от этих знаков. При бетонировании второго и последующего ярусов разбивка выполняется аналогичным образом. В то же время знаки закрепления контура блоков могут поярусно переноситься проектированием их по вертикали.

Задача геодезических измерений заключается в разбивке границ секций и отдельных блоков, установке опалубки в проектное положение.

Границы секций разбивают створными засечками от продольных и поперечных осей плотины со средней квадратической погрешностью 5... 10 мм. Для контроля измеряют длины сторон между закрепленными угловыми знаками 1 секции (рис. 21.5). Разбивку блоков выполняют способом прямоугольных координат от знаков закрепления секции. Величины откладываемых вдоль границы секции расстояний берут с разбивочного чертежа, полученного в результате аналитической подготовки проекта разбивочных работ. Закрепляют в натуре знаками 2 не сами границы блоков (на них будет установлена опалубка), а их продолжение (выноски). После установки опалубки ее положение контролируют промерами от этих знаков. При бетонировании второго и последующего ярусов разбивка выполняется аналогичным образом. В то же время знаки закрепления контура блоков могут поярусно переноситься проектированием их по вертикали.

Для определения проектной высоты бетонирования на опалубку блока или близлежащие конструкции выносятся отметки.

Разбивка блоков арочной плотины отличается от гравитационной в силу криволинейности ее формы в плане, а в большинстве случаев и по высоте. Отличие состоит в том, что на каждом блоке выносят в натуре произвольно расположенную внутри блока точку. Обратной засечкой на пункты исходной разбивочной сети оп-

При отсыпке грунтовой плотины геодезическое обеспечение работ состоит, как правило, в выносе на местность контура отсыпки. Для этого выносят в натуре ось плотины и относительно нее линейными промерами по перпендикуляру к оси определяют контуры низовых и верхних граней плотины.

Геодезические работы при возведении бетонных гидросооружений обеспечивают соблюдение с требуемой точностью проектных форм и размеров их отдельных частей, узлов и блоков. Так, например, тело бетонной плотины по длине конструктивно делят на секции, разделенные температурно-осадочными

ределяют ее точные фактические координаты. По этим координатам и проектным координатам точек контура блока вычисляют разбивочные элементы и полярным способом определяют в натуре положение контура блока.

Разбивочные работы при строительстве канала заключаются, как правило, в вынесении на местность его оси и разбивке строительных поперечников. Основные точки оси канала (вершины углов поворота, точки пересечений и переходов, оси шлюзов и т.д.) задаются проектными координатами и выносятся от пунктов разбивочной сети. Разбивка поперечных профилей канала производится таким же способом, как и на дорожных трассах. В процессе строительства канала осевые точки и поперечные профили приходится часто восстанавливать. Для упрощения работ знаки крепления выносят за границу строительных работ таким образом, чтобы восстанавливать утраченные точки створными плоскостями. Высотные точки по дну канала и поперечным профилям устанавливают по нивелиру со средней квадратической погрешностью 1 см.

При строительстве шлюзов выносят в натуру главную продольную ось, оси камер и оси элементов верхней и нижней голов шлюза.

21.5. Геодезическое обеспечение монтажных работ на гидроузле

Строительство гидроузлов связано с большим объемом работ по монтажу закладных деталей металлических конструкций, механизмов и оборудования. Для обеспечения монтажных работ выполняют разнообразные геодезические измерения, включающие в себя: вынос в натуре и закрепление монтажных осей и отметок, разбивку мест установки закладных деталей, а также контроль установки деталей и механизмов в проектное положение.

Исходными документами для геодезических разбивок монтажных осей являются: рабочие и сборочные чертежи, на которых показаны схемы расположения оборудования; монтажные оси с привязкой их к исходным точкам и линиям; требования к точности изготовления и установки конструкций в плане и по высоте. Разбивку в натуре монтажных осей производят различными способами в зависимости от условий производства работ и наличия измерительных приборов. Чаще всего применяют способы створной и створно-линейной засечек.

Разбивку мест установки закладных частей металлоконструкций и механизмов (арматурных каркасов, затворов, подкрановых консолей, эстакад и т.д.) выполняют от закрепленных монтажных и разбивочных осей, рабочих реперов и фиксированных на конструкциях отметок.

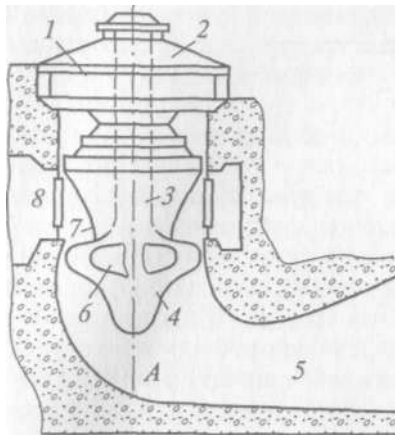


Рис. 21.6. Конструктивная схема гидроагрегата:

1 — ротор; 2 — гидрогенератор; 3 — вал; 4 — рабочее колесо; 5 — отсасывающая труба; 6 — лопасть; 7 — гидротурбина; 8 — подводящая камера

погрешностью 1 ...2 мм. Наиболее ответственными являются геодезические работы при монтаже гидроагрегатов (рис. 21.6).

Установку металлоконструкций, требующую высокой точности, выполняют, как правило, в две стадии — предварительную и окончательную. Предварительную установку производят приблизительно, совмещая заводские риски на конструкциях с осями. Затем с требуемой высокой точностью производят исполнительную съемку. По результатам съемки определяют величины отклонений от проектного положения и на их основе производят окончательную установку металлоконструкций. Для определения вертикальности металлоконструкций используют тяжелые отвесы, зенит-приборы и боковое нивелирование. Точность установки металлоконструкций характеризуется средней квадратической

21.6. Геодезические работы при гидромелиоративном строительстве

Мелиорацией земель называют комплекс мероприятий по улучшению природных условий эксплуатируемых земель и методов их использования. Различают мероприятия гидромелиоративные и агромелиоративные. *Гидромелиорация* связана с орошением или осушением земель, *агромелиорация* — с усилением водопроницаемости и влагоемкости почвенного слоя, ускорением поверхностного стока. Наибольшие по объему и сложности геодезические работы выполняют при проектировании и строительстве оросительных и осушительных систем.

Оросительная система представляет собой комплекс гидротехнических сооружений, забирающих воду из источника орошения и распределяющих ее по орошаемой площади. Водозабор из источника может быть самотечным или напорным (с помощью насосов). По конструкции оросительная система может быть открытой, закрытой и комбинированной.

Открытая оросительная система (рис. 21.7) состоит из источника орошения (река, водохранилище и т.п.) с водоза-

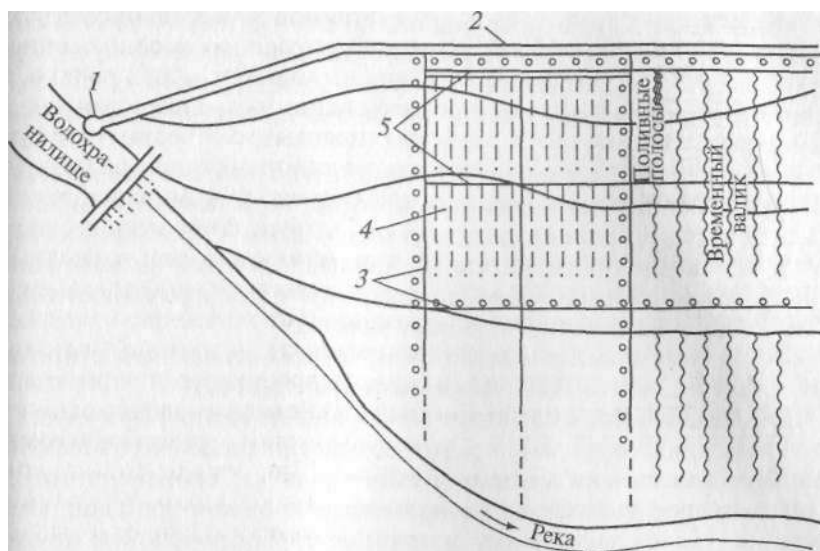


Рис. 21.7. Открытая оросительная система:

1 — водозаборное сооружение; 2 — магистральный канал; 3 — распределительные каналы; 4 — поливные борозды; 5 — водосборные каналы

борным сооружением 7, подающим воду в магистральный канал 2. Магистральный канал располагают на высоких отметках территории. Из магистрального канала вода направляется самотеком в распределительные каналы 3, разделяющие орошаемую площадь на отдельные поливные участки. От распределителей вода поступает в поливные борозды 4. Остатки воды из оросительной сети и от дождевых осадков отводятся водосборными каналами 5 в ближайшие участки реки.

В закрытой оросительной системе вода для полива подается от водозабора под напором по уложенным в земле трубам. Распределительная сеть состоит из трубопроводов с водовыпусками в каждую поливную борозду или гидрантами для забора воды дождевальными машинами. Трубопроводы сооружают с уклоном (не менее 0,001) для выпуска воды на зимний период.

Осушительная система — это система гидротехнических сооружений, позволяющих существенно улучшить состояние заболоченных и переувлажненных земель и сделать их пригодными для хозяйственного освоения. По конструкции осушительные системы бывают закрытыми и открытыми.

Закрытая осушительная система состоит из дренажеров, по которым избыточная вода поступает в коллекторы. Из коллекторов она сбрасывается в магистральный канал, который направляет ее в реку или иной водоприемник. Трассу

магистрального канала располагают по самым низким точкам осушаемой территории. Для защиты осушаемой территории от внешних вод устраивают дамбы и ловчие каналы. Дрены-осушители изготавливают преимущественно из керамических труб различного диаметра.

В открытой осушительной системе вместо дрен используют канавы-осушители, из которых вода поступает в канавы-сборители (коллекторы), а из них — в магистральный канал. Открытое осушение на посевных площадях мешает механизации сельскохозяйственных работ, поэтому этот метод применяют главным образом на луговых и лесных участках.

Геодезические работы выполняют на всех этапах проектирования и строительства гидромелиоративных систем.

При изысканиях производят сбор и анализ картографических и других материалов на район работ; создают плано-высотное обоснование для съемки мелиорируемого участка; производят крупномасштабную съемку; выполняют трассирование каналов, коллекторов, водоприемников, напорных трубопроводов и других линейных сооружений; обеспечивают в геодезическом отношении другие виды инженерных изысканий.

Строительству гидромелиоративных систем предшествуют основные разбивочные и планировочные работы. Непосредственно в процессе строительства выполняют детальные разбивки и геодезические измерения, обеспечивающие положение, форму и размеры запроектированных сооружений.

В зависимости от размера мелиорируемой территории геодезической основой для изысканий и вынесения проекта в натуру служат триангуляционные, линейно-угловые и полигонометрические сети IV класса и сети сгущения 1-го и 2-го разрядов. В качестве высотной основы служат ходы нивелирования III класса, прокладываемые вдоль магистральных каналов, сгущаемые нивелирными полигонами IV класса.

Разбивочные работы начинают с перенесения в натуру основных осей сооружений. При строительстве оросительных систем выносят и закрепляют на местности оси магистральных каналов или трубопроводов. Используя эти оси, выполняют разбивку распределительных каналов или трубопроводов и поливных борозд. Разбивку осушительной системы начинают с выноса в натуру осей коллекторов, а от них уже выносят оси отдельных дрен.

Детальную разбивку трасс сооружений для разработки траншей производят через 20 м. Закрепленные пикеты трасс нивелируют с точностью нивелирования IV класса.

При планировочных работах вначале перемещают основные объемы грунта, т. е. проводят предварительную планировку. После получения поверхности, отметки которой отличаются от проектных на 10... 15 см, выполняют окончательную планировку. На эта-

пе предварительной планировки в случае применения лазерной системы контроля планировочных работ разбивают сетку квадратов 700 x 700 м. Перед окончательной планировкой на горизонтальных участках выносят проектные отметки, а на наклонных — строят плоскости с заданным уклоном. Качество планировки проверяют нивелированием по квадратам со сторонами 20 м. Отклонение фактических отметок спланированной поверхности от проектных допускают до 5 см.

В процессе гидромелиоративного строительства выполняют большой объем земляных и трубоукладочных работ, широко используя современные планировочные землеройные и трубоукладочные машины. Для производительной работы этих машин в настоящее время применяют автоматизированные лазерные системы, позволяющие вести рабочий орган по заданным направлению и уклону.

Контрольные вопросы

1. Какие сооружения называются гидротехническими?
2. Для чего и как вынесен в натуру проектный контур водохранилища?
3. Каковы особенности построения геодезического обоснования для строительства гидротехнических сооружений?
4. Какова технология выполнения разбивочных работ при строительстве гидроузлов?
5. Каков состав геодезических работ при обеспечении монтажных работ?
6. Какие работы выполняют при гидромелиоративном строительстве?

ГЛАВА 22

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ

22.1. Виды тоннелей и способы их сооружения

По назначению подземные сооружения подразделяют на тоннели на путях сообщения (железнодорожные, метрополитены, пешеходные), гидротехнические (в комплексах гидроузлов, водоснабжения, мелиорации), промышленные, горнопромышленные, коммунальные (водотоки, коллекторы и др.) и специальные тоннели.

Строят тоннели в зависимости от глубины заложения открытым или закрытым способом. Открытым способом обычно сооружают тоннели мелкого заложения. В незастроенной местности их строят в котлованах с откосами, а на застроенных — в котлованах с вертикальными стенами, которые крепят сваями или шпунтами

по всему контуру котлована. По мере его открытия между сваями устанавливают деревянные или металлические распорки. На проектной глубине котлована укладывают подготовку из бетона, слой гидроизоляции и возводят защитные стенки также со слоем гидроизоляции. Затем бетонизируют лоток и стены. После возведения стен до проектной отметки на них кладут перекрытия, а затем на них насыпают грунт до проектной отметки вертикальной планировки территории.

Тоннели глубокого заложения сооружают либо через *порталы*, которыми называют защитные стенки, оформляющие вход в тоннель, либо через боковые штольни, либо через вертикальные стволы шахт и специальные камеры. Через порталы и боковые штольни строят чаще всего горные транспортные, гидротехнические или специальные тоннели.

Для транспортных тоннелей, строящихся в горных условиях, полотно дороги доводят до горного массива, затем производят выемку грунта и возводят защитную стенку, предназначенную для предохранения входа в тоннель от обвалов, снежных лавин и ливневых вод. Иногда перед порталом строят *рампу* — длинную, постепенно увеличивающуюся выемку, стенки которой укрепляют бетоном или камнем. Выемку грунта, разработку породы в самом тоннеле производят с устройством временного крепления, под защитой которого сооружают постоянное крепление из металлических тюбингов, монолитного бетона или каменной кладки, называемое *обделкой тоннеля*. Разработку породы выполняют не сразу на полное сечение, а в установленной проектом последовательности в зависимости от размеров поперечного сечения и геологического строения породы.

Тоннели метрополитена глубокого заложения сооружают обычно посредством вертикальных стволов шахт, которые для удобства при дальнейшей эксплуатации располагают на расстоянии 20...50 м от трассы тоннеля. После проходки до проектной глубины и закрепления ствола 1 (рис. 22.1) под землей сооружают приствольные выработки 2 и штольни 3 для выхода от ствола на трассу тоннеля 4. По внешнему контуру поперечного сечения тоннеля после выемки грунта сооружают металлическую железобетонную обделку, которая состоит из отдельных колец шириной 0,75... 1,0 м, каждое из которых, в свою очередь, собирается из отдельных блоков или тюбингов. Такую обделку применяют преимущественно в мягких грунтах для гидротехнических тоннелей и тоннелей метрополитена.

Коммунальные тоннели и тоннели метрополитена глубокого заложения сооружают преимущественно щитовым способом. *Проходческий щит* представляет собой жесткую передвижную стальную конструкцию цилиндрической формы и состоит из трех основных частей: ножа, служащего несущей конструкцией, опорного кольца

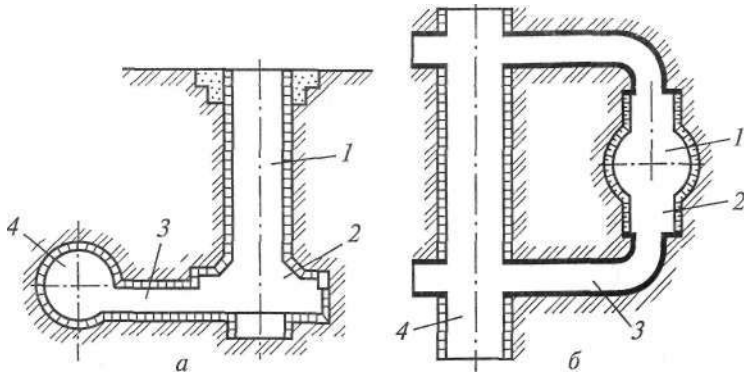


Рис. 22.1. Схема сооружения тоннеля через ствол:

a — разрез; *б* — план; 1 — ствол; 2 — приствольная выработка; 3 — штольня; 4 — тоннель

и обочинки. Опорное кольцо укреплено вертикальными и горизонтальными перегородками с выдвигаемыми платформами. Щит оборудуется гидравлическими домкратами, предназначенными для его передвижения по трассе. Щит монтируют в специальной щитовой камере.

Тоннели глубокого заложения, как правило, строят встречными забоями, т. е. навстречу друг другу, от ствола к стволу, от портала к стволу, от ствола к станции, от портала к промежуточной боковой штольне и наоборот. Встречу двух построенных тоннелей называют *сбойкой встречных забоев*, а место встречи — *местом сбойки*. Точность сбойки осей для большинства видов тоннелей составляет 100 мм.

При сооружении тоннелей на путях сообщений установлено три вида габаритов: подвижного состава, приближения строения и приближения оборудования. *Габарит подвижного состава 1* (рис. 22.2) определяется контуром, внутри которого помещается подвижной состав со всеми выступающими частями с учетом его раскачки и наклона при полужесткой рессоры. *Габарит приближения оборудования 2* определяется контуром, соединяющим наиболее выступающие точки различного оборудования (кабелей, светофоров, релейных шкафов, осветительных фонарей и др.),

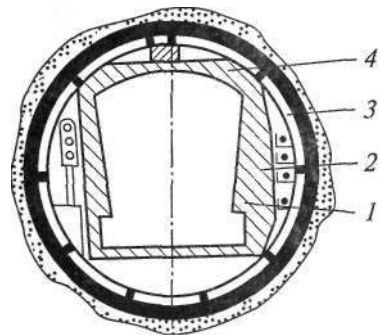


Рис. 22.2. Габариты тоннеля:

1 — подвижного состава; 2 — приближения оборудования; 3 — приближения строения; 4 — габаритный запас

устанавливаемого в тоннелях. *Габарит приближения строения 3* определяется контуром, соединяющим выступающие внутрь точки обделки тоннеля. Пространство между габаритом подвижного состава и габаритом приближения оборудования называют *габаритным запасом 4*. Его устанавливают проектировщики. Как правило, он равен 100 мм. Габаритный запас служит исходной величиной при расчете требуемой точности геодезических работ.

22.2. Основные виды геодезических работ, выполняемых при строительстве тоннелей

На различных стадиях проектирования трасс тоннелей используются топографические планы разных масштабов.

Для предварительных общих соображений при проектировании трасс транспортных тоннелей могут использоваться планы масштабов 1:50 000... 1:25 000. На стадии разработки проектного задания требуются топографические планы в масштабах 1:10 000... 1:5000, а для тоннелей метрополитенов — в масштабе 1:2000.

Проекты горных, подводных и гидротехнических тоннелей разрабатываются на основе топографических планов масштаба 1:2000, а тоннелей метрополитена — масштабов 1:2000 ... 1:500. Рабочие чертежи строительных площадок шахт, предпортальных выемок и порталных опорных стен, участков открытого способа работ разрабатывают на основе топографических съемок в масштабе 1:500... 1:200. Тот же топографический материал используют для отображения геолого-разведочных данных.

Для решения задач, связанных с перенесением проекта тоннеля в натуру, обеспечением сбойки тоннелей, сооружаемых встречными забоями, ведением проходки тоннелей, составлением исполнительных чертежей, выполняют следующие основные виды геодезических работ:

- построение наземной плановой разбивочной основы;
- создание наземной высотной разбивочной основы;
- ориентирование подземной разбивочной основы в системе координат, принятой для наземной разбивочной основы;
- создание подземной плановой разбивочной основы;
- создание высотной подземной разбивочной основы;
- расчеты геометрических элементов трассы тоннеля;
- расчеты разбивочных данных по перенесению в натуру проекта тоннеля;

- производство разбивочных работ в процессе строительства тоннеля;

- производство съемок для составления исполнительных чертежей и для учета объемов выполненных горно-строительных работ по грунту и обделке;

составление исполнительных чертежей на готовые объекты и а виды работ, отображающих ход горно-строительных работ; наблюдения за деформациями наземных объектов и подземных сооружений;
разбивочные работы при укладке путей железнодорожных тоннелей.

22.3. Плано-высотное геодезическое обоснование

Геодезическое обоснование для строительства подземных сооружений можно разделить на две части: геодезическое обоснование на поверхности и геодезическое обоснование в подземных выработках (подземная разбивочная основа).

Геодезическое обоснование на поверхности создается в районе подземного строительства до начала горнопроходческих работ, подземная разбивочная основа — в течение всего периода горнопроходческих работ во всех подземных сооружениях по мере их озвещения.

Геодезическое обоснование создается для обеспечения точно-о перенесения в натуру всех подземных и наземных сооружений, ходящих в комплекс строительства, а также для обеспечения одновременного строительства тоннелей с нескольких площадок, предусмотренных в проекте организации работ. В последнем случае возводимые участки тоннелей при продвижении их навстречу друг другу после сбоек образуют в подземном пространстве единое запроектированное инженерное сооружение, поэтому геодезическая основа является исходной для всех разбивочных работ. Она предназначена для обеспечения точности совпадения осей при сбояках тоннелей, сооружаемых встречными забоями.

Построение планового геодезического обоснования на поверхности. Основным плано-вым геодезическим обоснованием для вынесения в натуру запроектированной трассы тоннеля и всех сооружений являются: тоннельная триангуляция, трилатерация, линейно-угловая сеть и точки, определяемые спутниковыми приемниками. Для сгущения точек плано-вого обоснования, полученного этими методами, строят основную полигонометрическую сеть или прокладывают полигонометрический ход.

Если местные условия позволяют расположить пункты сети в непосредственной близости к стволам шахт, то надобность в проложении сплошной основной полигонометрической сети вдоль запроектированной трассы отпадает. В этом случае основную полигонометрическую сеть развивают только в районах шахтных площадок, в местах скважин, запроектированных по трассе между стволами и шахтными площадками, и в местах расположения различных сооружений, связанных с трассой единой системой

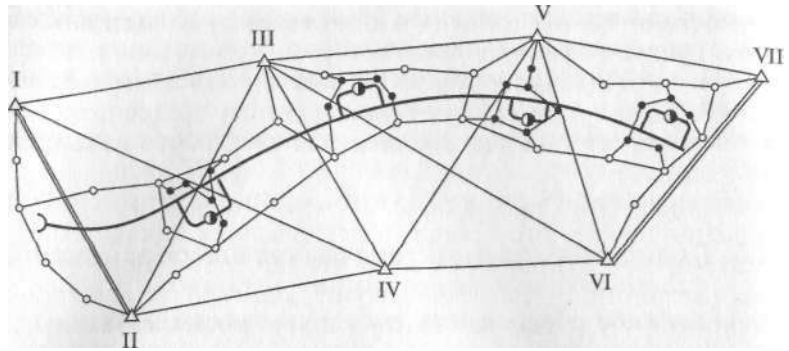


Рис. 22.3. Схема планового геодезического обоснования тоннеля:
 д — тоннельная триангуляция; о — основная полигонометрия; • — подходная полигонометрия; o — ствол шахты; ^^ — трасса тоннеля

координат. Для передачи координат от пунктов основной полигонометрии к стволам прокладывают сети подходной полигонометрии в виде отдельных ходов, системы ходов или замкнутых полигонов, опирающихся на пункты основной полигонометрической сети.

Приведем общую схему планового геодезического обоснования на поверхности, создаваемую для сооружения тоннелей (рис. 22.3).

От точек подходной полигонометрической сети координаты и дирекционные углы передают в подземные выработки через стволы шахт.

Процесс передачи через стволы дирекционного угла и координат с поверхности в подземные выработки называется *ориентированием подземной геодезической основы*.

В подземных выработках для выхода от ствола на трассу прокладывают ходы подходной подземной полигонометрии, координаты для которой передаются с поверхности. По трассе вслед за движущимся вперед забоем прокладывают ходы сначала рабочей полигонометрии со сравнительно короткими сторонами, 25...30 м, затем основной подземной полигонометрии со сторонами длиной 50... 100 м.

При сооружении длинных тоннелей и больших расстояниях между стволами для повышения точности передачи дирекционного угла от приствольной линии к забою прокладывают главные ходы подземной полигонометрии. Пункты главных полигонометрических ходов совмещают с пунктами ходов основной подземной полигонометрии через две-три стороны.

Построение высотного геодезического обоснования. Для вынесения проекта профиля трассы создается высотное геодезическое обоснование в виде нивелирных сетей, класс которых выбирают в

зависимости от длины тоннеля и длин встречных подземных выработок, предусмотренных проектом.

Требуемая точность сооружения тоннеля по высоте в большинстве случаев даже при сравнительно длинных трассах (до 5 км) может быть обеспечена построением на поверхности нивелирной сети IV класса.

Однако надежные высотные пункты необходимы не только для обеспечения проектного профиля тоннеля, но и для наблюдения за осадками поверхности, происходящими под действием подземных выработок, а также для правильного учета величины и интенсивности этих осадков. Поэтому при строительстве тоннелей на поверхности прокладывают в основном нивелирные сети III I класса.

На территории городов нивелирные сети, построенные для сооружения тоннелей метрополитенов, опираются на марки нивелирования II класса, имеющихся в городе. На незастроенных территориях при строительстве железнодорожных, гидротехнических и других тоннелей нивелирные ходы и сети III класса служат первичным высотным геодезическим обоснованием.

Нивелирные сети III класса, развиваемые для строительства тоннелей, представляют собой вытянутую систему замкнутых полигонов, охватывающую всю полосу возможной деформации местности. От реперов нивелирования III класса высоты передают к I стволам шахт, а затем через стволы — в подземные выработки.

При сооружении тоннеля через портал высота в подземные выработки передается непосредственным приложением нивелирного хода IV класса, идущего на поверхности от репера нивелирования III класса.

22.4. Ориентирование подземных выработок

Ориентирование подземной геодезической сети, состоящее в передаче координат и дирекционного угла с дневной поверхности на горизонт подземных выработок, является одной из самых ответственных работ, выполняемых геодезистами при строительстве тоннелей. В зависимости от характера соединения тоннеля с поверхностью применяют различные способы ориентирования.

При наличии выходов на дневную поверхность портала, штольни, наклонного хода ориентирование выполняют приложением полигонометрического хода непосредственно с поверхности в подземные выработки.

При сооружении тоннеля через вертикальную шахту ориентирование сети осуществляют гиротеодолитным и геометрическими способами (створа двух отвесов, соединительного треугольника, - двух шахт).



Гиротеодолитный способ является одним из самых прогрессивных способов автономного ориентирования. Этот метод позволяет в любое время, на различной глубине и при произвольном расстоянии от ствола определять азимут или дирекционный угол направления в подземных выработках. В этом случае отпадает необходимость остановки работы в стволе или прекращения подземных строительных работ на время ориентирования, как это делается при других видах ориентирования.

Все геометрические способы основаны на применении отвесов, которые опускают с поверхности в подземные выработки через стволы, скважины большого диаметра и другие вертикальные проходки. Массу груза и диаметры проволоки отвесов устанавливают в зависимости от глубины шахты. Для уменьшения колебаний отвесы помещают в сосуды с водой или маслом. Вместо отвесов иногда применяют высокоточные лазерные или оптические приборы вертикального проектирования.

Для передачи плановых координат с поверхности в подземные выработки используют один отвес. От ближайших пунктов полигонометрии определяют координаты отвеса на поверхности и эти же значения координат приписывают нижней точке отвеса. Необходимо отметить, что даже в случае применения гиротеодолитного способа ориентирования передачу координат можно выполнить лишь при помощи отвеса или иного вида вертикального проектирования.

В способах передачи дирекционного угла используют два отвеса, отстоящие друг от друга на возможно большее расстояние, которое допустимо при вертикальной проходке.

Наиболее просто дирекционный угол передают способом створа двух отвесов. В этом способе на поверхности от пункта полигонометрии выносят и закрепляют ось I—II (рис. 22.4).

Над пунктами, закрепляющими эту ось, устанавливают теодолит и визирную цель. Теодолит ориентируют по створу I—II. В этом створе строго по теодолиту подвешивают отвесы O_1 и O_2 .

В подземных выработках теодолит устанавливают в точке *A* на специальном столике, который можно перемещать с помощью микрометричного устройства. Перемещая теодолит перпендикулярно створу отвесов, устанавливают его визирную ось в этом створе. Измерения производят при двух кругах многократно. Дирекционный угол передают на пункты подземной полигонометрии, например *AB*, поворотом теодолита точно на 180° . Точность способа характеризуется средней квадратической погрешностью порядка $30''$. Основным источником погрешностей является качание отвесов. Для повышения точности на расстоянии 1...2 см от отвесов закрепляют шкалы с миллиметровыми делениями. По шкалам берут отсчеты, соответствующие крайним положениям качающихся отвесов. Среднее значение принимают за положение

отвеса в спокойном состоянии. Затем теодолит перемещают так, чтобы его визирная ось проходила через полученные средние значения отсчетов по шкалам. Таким образом добиваются существенного повышения точности до 8... 12". На один из отвесов передают координаты, для чего измеряют на поверхности расстояние l_1 . Для определения координат точки B измеряют расстояния l_2 , l_3 и l_4 .

Наибольшее распространение получил способ соединительного треугольника. В этом способе в ствол также опускают два отвеса O_1 и O_2 (рис. 22.5). В точке A , закрепленной на поверхности около ствола, измеряют угол α между направлениями [на отвесы и примычный угол α . Кроме того, измеряют расстояние a между отвесами и расстояния b и c от теодолита до каждого из двух отвесов. Таким образом на поверхности получают треугольник ABC , в котором измерены три стороны и один угол. Этот горизонтальный треугольник называют *соединительным треугольником*. По результатам измерений могут быть вычислены значения двух остальных углов ρ и γ у треугольника. Зная дирекционный угол направления $AT_{ж}$ значение примычного угла γ и пользуясь углами соединительного треугольника, можно получить дирекционный угол линии BC , т. е. плоскости, проходящей через отвесы.

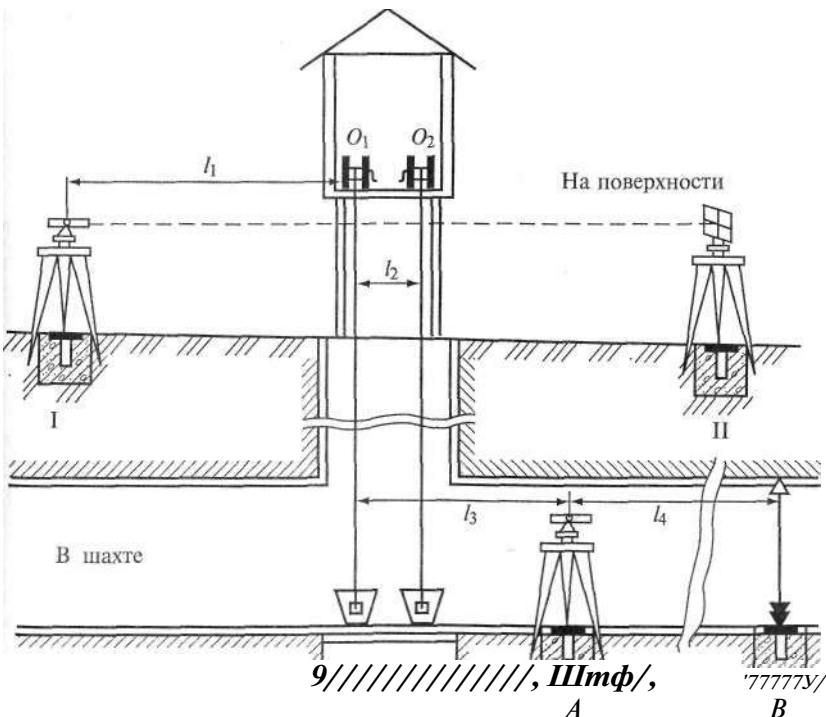


Рис. 22.4. Схема ориентирования способом двух отвесов

В подземных выработках около ствола закрепляют точку A_x . В этой точке измеряют o_1 и o_2 , а также стороны a , b и c соединительного треугольника. Принимая в подземных выработках дирекционный угол плоскости, проходящей через отвесы, за исходный, с помощью углов подземного соединительного треугольника и примычного угла ω вычисляют дирекционный угол приствольной линии $A_x M_x$ подземной полигонометрии. Все измерения выполняют при трех положениях отвеса, смещая их с помощью специальных пластин ровно на 15 мм.

На поверхности точку A включают в ход подходной полигонометрии и получают ее координаты. Пользуясь сторонами соединительных треугольников на поверхности и под землей, а также дирекционными углами этих сторон, вычисляют координаты точки A_x закрепленной в подземных выработках. При этих вычислениях координаты отвесов, определенные через стороны соединительного треугольника на поверхности, в подземных выработках принимают за исходные.

Точность ориентирования во многом зависит от формы соединительного треугольника. Углы α и β не должны превышать $2...3^\circ$, а отношения b/a и c/a_x не должны быть более 1,5. При соблюде-

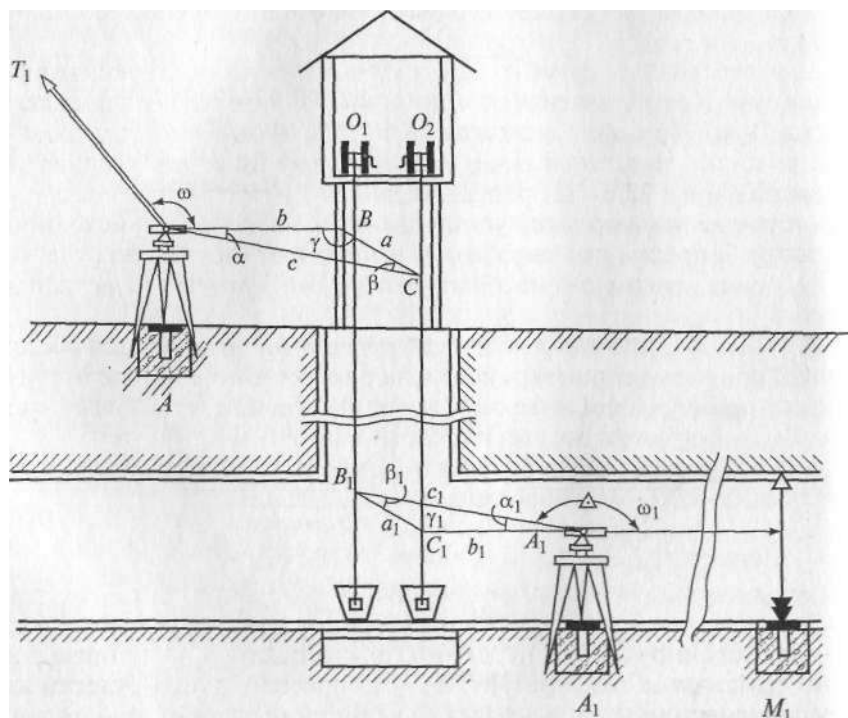


Рис. 22.5. Схема ориентирования способом соединительного треугольника

нии всех условий способ обеспечивает среднюю квадратическую погрешность передачи дирекционного угла порядка 8".

Когда по мере сооружения тоннеля возникает необходимость уточнения его ориентирования и появляется возможность передачи координат в подземные выработки, применяют способ двух шахт. Сущность способа состоит в сравнении координат одной и той же точки, полученных по подземному полигонометрическому ходу и переданных с поверхности через скважину. По разностям координат вычисляют продольную и поперечную невязки. Линейную величину поперечной невязки перевычисляют в угловую меру пропорционально общей длине подземного полигонометрического хода и вводят в виде поправки в примычный угол этого хода. Продольную невязку распределяют в виде поправок пропорционально длинам линий. По исправленным значениям дирекционных углов и длин линий вычисляют исправленные значения координат подземного полигонометрического хода.

22.5. Передача отметки в подземные выработки

Исходными для передачи отметки в подземные выработки являются реперы, закрепленные на поверхности и шахтной площадке.

Для передачи отметки к копру крепят стальную прокомпарированную рулетку нулевым концом вниз. К рулетке подвешивают груз в 10 кг. При этом же натяжении производят и компарирование рулетки. Наверху и в подземных выработках устанавливают нивелиры (рис. 22.6). На поверхности берут отсчеты по подвешенной рулетке и по рейке, установленной на репере с исходной высотой. В подземных выработках выполняют отсчеты по рулетке и по рейке, расположенной на репере, на который передается высота.

В процессе передачи высоты сначала линии визирования обоих нивелиров наводят одновременно на рулетку и по команде отсчитывают по ней. Затем нивелиры наводят на рейки, установленные на реперах, и берут по ним отсчеты.

Высоту репера, закрепленного в подземных выработках, вычисляют по следующей формуле:

$$H_{\text{р.п.}} = H_{\text{пов.}} + a - \{(l_1 - l_2) + \Delta_t + \Delta_k + \Delta_l\} - b,$$

где $H_{\text{пов.}}$ — отметка исходного репера на поверхности; a — отсчет по рейке на поверхности; l_1 — отсчет по рулетке на поверхности; l_2 — отсчет по рулетке в подземных выработках; Δ_t — поправка в длину рулетки за температуру; Δ_k — поправка в длину рулетки за компарирование; Δ_l — поправка за удлинение рулетки; b — отсчет по рейке в подземных выработках.

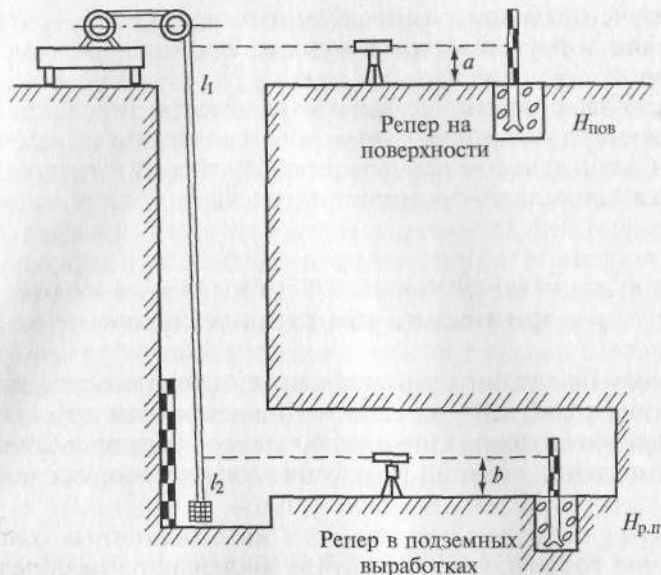


Рис. 22.6. Схема передачи отметки в подземные выработки

Поправку за температуру рулетки вычисляют по формуле

$$\Delta_t = \alpha(l_1 - l_2)(t_{cp} - t_0),$$

где t_0 — температура, для которой дано уравнение рулетки; величину коэффициента расширения α для стальной рулетки принимают равной 0,0000125.

Для получения t_{cp} при передаче высоты измеряют температуру на поверхности, в подземных выработках и стволе через каждые 5 м высоты. Из результатов измерений температуры в указанных точках берут среднее значение.

При передаче отметки на большую глубину следует учитывать поправку за удлинение рулетки под действием собственной массы, вычисляемую по формуле

$$\Delta_l = \frac{P}{2} \frac{l}{EF},$$

где P — собственная масса рулетки; l — длина рулетки; E — модуль упругости; F — поперечное сечение.

Для стальных рулеток шириной 100 мм и толщиной 0,2 мм $F = 0,02 \text{ см}^2$; $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$. При длине рулетки 100 м и удельном весе $\gamma = 8 \cdot 10^{-8} \text{ Н/м}^3$ масса $P = 0,02 \cdot 100,8 = 1,6 \text{ кг}$ и поправка $\Delta_l = 2 \text{ мм}$. Для рулетки длиной 50 м поправка $\Delta_l = 0,5 \text{ мм}$.

Расхождения значений высот подземных реперов, полученных при разных горизонтах нивелиров или различных положениях рулетки, не должны превышать 4 мм, а расхождения в высо-

тах, полученных при одновременных передачах, — 7 мм при отсутствии деформаций подземных реперов за период между передачами.

От ствола в подземные выработки высоты передают по мере продвижения забоя нивелирным ходом в прямом и обратном направлениях. В качестве рабочих реперов используют закрепленные в выработках полигонометрические знаки.

22.6. Геодезические разбивочные работы при подземном строительстве

Разбивочные работы для подземного строительства выполняют: при проходке стволов шахт, разбивке оси тоннеля, сооружении наклонных тоннелей для эскалаторов, укладке обделки тоннеля, возведении станций и вспомогательных сооружений, а также при укладке железнодорожных путей.

Стволы в основном сооружают из железобетонных колец. Геодезические разбивки в этом случае заключаются в определении центра ствола, а затем и его вертикальной оси. В процессе проходки ствола и установки колец следят за их перекосом в горизонтальной плоскости и вертикальностью.

Ось тоннеля разбивают от пунктов подземной полигонометрии. На прямолинейном участке положение оси тоннеля определяется координатами пикетов, вычисленными при аналитической подготовке проекта трассы. Если на участке проходки вблизи пункта подземной полигонометрии оказывается пикет, то любым из возможных способов (полярным, перпендикуляров, линейной засечкой) от ближайшего пункта подземной полигонометрии его положение выносят в натуру. Поскольку проходку ведут меньшими отрезками, чем расстояние между пунктами, то возникает необходимость выноса оси тоннеля по промежуточным (плюсовым) точкам. Для этого нужно вычислить проектные координаты промежуточных точек, а по этим координатам и координатам ближайших точек полигонометрии — разбивочные элементы и выполнить в натуре разбивку.

При строительстве наклонных тоннелей для эскалаторов в первую очередь производят разбивку тоннеля на поверхности. Если наклонный тоннель в поперечном сечении имеет вид окружности, то сечение его горизонтальной плоскостью будет эллипсом, центр которого совпадает с центром тоннеля. Отсюда следует, что на поверхности необходимо вынести в натуру по координатам центр наклонного тоннеля, по направлению дирекционного угла а наклонной оси тоннеля — размер большой полуоси, а по перпендикулярному направлению — размер малой полуоси эллипса. Для наклонных эскалаторных тоннелей метрополитена угол наклона α к

горизонту принимают равным 30° . В этом случае размер малой полуоси эллипса будет равен радиусу тоннеля $a = r$, а большой полуоси — $b = 2r$. Проектные значения координат центра и дирекционного угла оси относятся к определенной проектной уровенной поверхности, например пола вестибюля. В натуре разбивку производят на дневной поверхности, отстоящей от проектной на величину h . При значительной величине h в проектные координаты вводят поправки по следующим формулам:

$$\Delta x = h \operatorname{ctg} \beta \cos \alpha; \quad \Delta y = h \operatorname{ctg} \beta \sin \alpha.$$

Ось наклонного хода при сборке обделки тоннеля задают визирной осью теодолита, устанавливая наклон оси по вертикальному кругу.

При укладке сборной обделки тоннеля как из металлических тубингов, так и из железобетонных блоков, контролируют правильность укладки их в плане и по высоте. Положение колец обделки в плане определяют от оси тоннеля боковым нивелированием, по высоте — нивелированием свода и лотка. Измеряют эллиптичность колец, т.е. разность проектных и фактических горизонтальных и вертикальных диаметров, а также диаметров под углом 45° . Через 8... 10 колец определяют отклонение передней плоскости колец от перпендикуляра к оси тоннеля, которое называют *опережением колец*.

Геодезические работы при проходке станционных тоннелей, сооружаемых из тубингов или блоков, схожи с работами, выполняемыми при строительстве перегонных тоннелей. Исключение составляет повышенное требование к установке колец в продольном направлении (по пикетажу), для чего через 8... 10 колец определяют пикетаж и опережение. После завершения строительства станционных тоннелей производят монтаж внутренних строительных конструкций и оборудования станции, а также монтаж платформ. Эти работы выполняют относительно продольных и поперечных осей станции, которые, в свою очередь, выносят от пунктов полигонометрии.

Для укладки железнодорожных путей в тоннелях закрепляют так называемые *путейские реперы*. На прямых участках путейские реперы устанавливают через 20 м, на кривых — через 5 м. Их также располагают на всех характерных точках плана и профиля трассы. Путейский репер представляет собой болт со сферической головкой, бетонируемый в обделке тоннеля. Реперы устанавливают таким образом, чтобы верх сферической головки имел высоту, соответствующую высоте головки ближнего к реперу рельса на этом пикете. Пикетаж ведут от знаков полигонометрии путем измерения расстояния между ними. Получив фактическое значение пикетажа реперов, вычисляют их проектные высоты и на эту высоту, пользуясь нивелиром, устанавливают сферические головки

болтов. Вычисляют также расстояния z от репера до оси пути и расстояние ρ от репера до внутренней грани ближнего к реперу рельса. Используя все эти значения, производят укладку рельсов от путевых реперов, пользуясь рейкой и накладным уровнем. Проверку высотного положения рельсов выполняют с помощью нивелира в процессе и после заливки шпал бетоном.

Контрольные вопросы

1. Перечислите виды тоннелей.
2. Каким образом сооружают тоннели?
3. Какие виды геодезических работ выполняют для строительства тоннелей?
4. Какова общая схема построения плано-высотного обоснования?
5. Что такое ориентирование подземных выработок, каковы способы его выполнения?
6. Как передают отметку в подземные выработки?
7. Какие разбивочные работы выполняют в подземных выработках?

ГЛАВА 23

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗЕМЕЛЬНОГО КАДАСТРА

23.1. Общие понятия о земельном кадастре

Кадастр определяется как «систематизированный свод сведений, составляемый периодически или путем непрерывных наблюдений над соответствующим объектом». Таким объектом в земельном кадастре является земля, и все что находится на ней, над ней и под ней. Существуют различные формулировки и толкования понятия «земельный кадастр». Юридически в нашей стране оно определено соответствующим постановлением Правительства Российской Федерации «как государственная система необходимых сведений и документов о правовом режиме земель, их распределении по собственникам земли, землевладельцам, землепользователям и арендаторам, категориям земель, о качественной характеристике и народнохозяйственной ценности земель». Из этого определения следуют задачи и содержание земельного кадастра.

Государственный земельный кадастр ведется в целях: своевременного обеспечения органов государственной власти и управления, предприятий, организаций, учреждений и физических лиц достоверной информацией о земельных ресурсах территории;

обеспечения учета, рационального использования и охраны земель;

защиты прав землевладельцев, землепользователей, арендаторов;

создания основы для установления нормативной цены земли, земельного налога и арендной платы;

сохранения границ исторических землевладений, объектов историко-культурного наследия.

Объектом государственного земельного кадастра являются все земли и территории, независимо от форм собственности, целевого назначения и характера их использования.

Ведение государственного земельного кадастра включает в себя: сбор, учет, обработку и анализ земельно-кадастровой информации, ее хранение, разработку рекомендаций по изменению характера правового состояния земель и выдачу информации пользователям.

Базовой единицей в кадастре является участок. Участок ограничивается площадью с определенным видом использования земли либо площадью, которая находится в руках одного или нескольких лиц. Владение может состоять из нескольких участков.

В кадастре о каждом участке записана информация о его местоположении, площади, стоимости, наличии объектов недвижимости (дома, строения, коммуникации, дороги и т.п.), экологической среде, кому этот участок принадлежит или сдан в аренду и другие сведения природного, общественного и юридического характера.

Информация, содержащаяся в кадастре, используется при проведении государственной земельной политики в таких вопросах, как, например, перераспределение земель, их объединение, отвод и продажа, поддержание земельного рынка и т.п. Кадастровая информация служит также для целей налогообложения.

Кадастр может различаться по своему назначению: городской, лесной, водный и т.п. Особенно сложным и значительным по содержанию и объему информации является городской кадастр. Для городов характерна высокая концентрация материальных ресурсов, сложная социальная и экологическая обстановка с быстротечным изменением ее во времени, разнообразность решаемых на городских землях задач.

Кадастровая информация может быть представлена в виде книги, картотеки или автоматизированной (компьютерной) базы данных.

Исторические корни возникновения кадастра уходят в глубокую древность. Так, первые сведения о кадастровых работах, проводимых в Древнем Египте для учета земель с указанием границ и площадей участков, относятся к 3000 г. до н.э. Сам термин «кадастр» происходит со времен римского правителя Августа (27 — 14 гг. до н.э.), когда была утверждена единица учета сбора дани (налога) на землю и введена перепись населения. В настоящее время кадастр ведется во всех странах мира.

В Российской Федерации ведение кадастра законодательно поручено Федеральной службе земельного кадастра России (Росземкадастр) и ее подразделениям при местных органах государственной власти.

23.2. Состав геодезических работ для кадастра

Геодезические работы занимают в кадастре значительное место. Их состав зависит от назначения кадастра и степени его автоматизации. Однако в большинстве случаев работа ведется по следующей схеме.

1. *Подготовительные работы.* В процессе подготовительных работ собирают и анализируют следующие материалы:

- проект землеустройства;
- постановление административного органа об отводе земельного участка;
- договора о купле-продаже или аренде земельного участка;
- выписки из книги регистрации земельного участка;
- чертеж границ или топографический план земельного участка;
- схемы и списки координат пунктов государственной или местной геодезических сетей;
- сведения об использовании земель.

2. *Полевое обследование пунктов опорной геодезической сети.* Выполняют для проверки сохранности пунктов и выбора наиболее выгодной технологии проведения геодезических работ.

3. *Составление технического проекта.* Геодезические работы выполняют по заранее составленному техническому проекту, который включает в себя: текстовую часть, графические материалы и мету затрат.

4. *Кадастровые съемки.* В зависимости от назначения кадастра съемки производят в тех же масштабах, теми же способами и с той же точностью, что и топографические. Базовым является масштаб 1:500, наиболее широко используемым — 1:2000, обзорно-правочным — 1:10000 и мельче.

На кадастровых картах и планах дополнительно изображают: аницы земельных участков, владений, сельскохозяйственных и других земельных угодий; кадастровые номера и наименования земельных участков; дают экспликацию (описание) категорий использования земель и других кадастровых сведений. Кадастровые карты и планы могут не содержать информацию о рельефе местности.

5. *Установление и согласование границ земельных участков на местности.* Границы земельных участков выносят на местность по оординатам характерных точек от пунктов геодезического обоснования и закрепляют специальными межевыми знаками. В случае

когда границы каким-то образом закреплены ранее, определяют координаты закрепленных точек.

Согласование установленных границ производят в присутствии представителя государственной власти, владельцев или пользователей участка и участков, смежных с ним.

6. *Определение площадей земельных участков.* Площади земельных участков вычисляют в основном аналитическими методами по координатам межевых знаков. В отдельных случаях используют картографические материалы.

7. *Составление чертежей границ земельных участков.* Чертежи границ земельных участков составляют в масштабе основного кадастрового плана (или крупнее) по результатам установления на местности и согласования границ.

8. *Контроль и регистрация результатов кадастровых работ.* Результаты кадастровых работ подлежат обязательному полевому контролю, так как в процессе его выполнения устраняются возможные погрешности и несогласованности, возникшие в процессе съемок. Кроме того, контролируют соблюдение требований технического задания и соответствующих инструкций на производство топографо-геодезических работ.

Полученная в результате работ информация переносится в специальные реестры и отображается на кадастровых картах или планах.

9. *Кадастровые съемки. Ведение базы данных.* Для систематизации и управления большими объемами текстовой и графической кадастровой информации создается и ведется база данных. Ее наличие предусматривает не только хранение информации, но и оперативную выдачу ее потребителю.

Кроме указанных работ геодезист участвует в планировании землепользования, оценке состояния и стоимости земель, а также в разрешении возникающих споров.

23.3. Способы и точность определения площадей земельных участков

Определение площадей земельных участков является одним из важнейших видов геодезических работ для целей земельного кадастра.

В зависимости от хозяйственной значимости земельных участков, наличия планово-топографического материала, топографических условий местности и требуемой точности применяют различные способы определения площадей:

аналитический — площадь вычисляется по результатам измерений линий на местности, результатам измерений линий и углов на местности или по их функциям (координатам вершин фигур);

графический — площадь вычисляется по результатам измерений линий или координат на плане (карте);

механический — площадь определяется по плану с помощью специальных приборов (планиметров) или приспособлений (палеток). Иногда эти способы применяют комбинированно, например, часть линейных величин для вычисления площади определяют по плану, а часть берут из результатов измерений на местности.

Площади можно также определить на ЭВМ по цифровой модели местности с помощью специальной программы.

При аналитическом способе определения площадей применяются формулы геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии. При определении площадей небольших участков (для учета площадей, занятых строениями, усадьбами, площадями вспашки, посева) они разбиваются на простейшие геометрические фигуры, преимущественно треугольники, прямоугольники, реже трапеции. В этом случае площади участков определяются как суммы площадей отдельных фигур, вычисляемых по линейным элементам — высотам и основаниям.

Если по границам участка выполнены геодезические измерения, то площадь всего участка или его части можно вычислить по формулам, приведенным применительно к следующим фигурам участков:

треугольник (рис. 23.1, а). Площадь треугольника определяется по сторонам l_1 и l_2 , углу β_2 , заключенному между ними, по формуле

$$P = \frac{1}{2}(l_1 l_2 \sin \beta_2); \quad (23.1)$$

четырёхугольник (рис. 23.1, б). В зависимости от элементов, известных в четырёхугольнике, могут быть использованы различные формулы для расчета, в связи с чем приведем пример, характеризующий это многообразие. Пусть в четырёхугольнике измерены все стороны и один угол при вершине 2. В таком случае площадь треугольника 1—2—3 может быть вычислена по формуле (23.1).

При этом полезно вычислить длину l_{1-3} , используя теорему косинусов:

$$l_{1-3} = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1 l_2 \cos \beta_2}.$$

Площадь треугольника 1—3—4 может быть вычислена по формуле

$$P = \sqrt{S(S - l_3)(S - l_4)(S - l_{1-3})},$$

где $S = \frac{1}{2}(l_3 + l_4 + l_{1-3})$ — полупериметр.

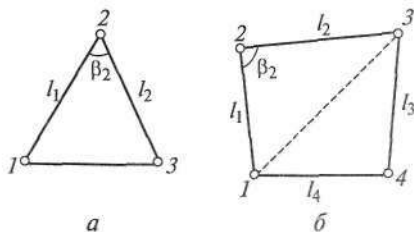


Рис. 23.1. Геометрические фигуры для определения площадей участков:

а — треугольник; б — четырёхугольник

Общая площадь четырехугольника

$$P = \frac{l_1 l_2}{2} \sin \beta_2 + \sqrt{S(S - l_3)(S - l_4)(S - l_{1-3})}.$$

При наличии координат вершин полигона площади треугольника и четырехугольника удобно вычислять соответственно по следующим формулам:

$$P = \frac{1}{2} [(X_1 - X_2)(Y_2 - Y_3) - (Y_1 - Y_2)(X_2 - X_3)];$$

$$P = \frac{1}{2} [(X_1 - X_3)(Y_2 - Y_4) - (Y_1 - Y_3)(X_2 - X_4)].$$

Если полигон имеет более четырех углов, то площадь его быстрее и с хорошим контролем можно получить по координатам X_i и Y_i его вершин или по приращениям координат ΔX_i и ΔY_i после увязки полигона, например по следующим формулам:

$$P = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n (X_i + X_{i+1})(Y_{i+1} - Y_i) \right];$$

$$P = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n X_i Y_{i+1} - \sum_{i=1}^n X_{i+1} Y_i \right];$$

$$P = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n X_i \Delta Y_i + \sum_{i=1}^n \Delta Y_i X_{i+1} \right];$$

$$P = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^n X_i \Delta Y_i - \sum_{i=1}^n \Delta Y_i X_i \right].$$

Координаты вершин полигона для определения площади участка как в государственной, так и в местной системах могут быть получены любым из известных геодезических способов: триангуляционными или линейно-угловыми построениями; проложением полигонометрических или теодолитных ходов; угловыми, линейными и полярными засечками; спутниковыми приемниками для определения местоположения и т. д.

Если для определения площадей используются пункты государственной геодезической сети, то полученные площади чаще всего имеют несколько преуменьшенное значение, потому что координаты пунктов относятся не к поверхности Земли, а к поверхности принятого референц-эллипсоида. На больших высотах этой разницей не всегда можно пренебречь.

Переход от площади P_0 на поверхности референц-эллипсоида к площади P на поверхности Земли на высоте H может быть выполнен по формуле

$$P = P_0 \left(1 + \frac{2H}{R} \right),$$

где R — радиус Земли, равный 6370 км.

Пользуясь координатами пунктов, планами (картами) в проекции Гаусса — Крюгера площади участков $P_{пр}$ и размеры получают всегда больше их горизонтальных проекций, и это увеличение возрастает по мере удаления от осевого меридиана зоны. Для приведения площади к горизонтальной проекции используют формулу

$$P = P_{пр} \left[1 - \left(\frac{Y_m}{R} \right)^2 \right],$$

где Y_m — средняя ордината участка (расстояние от осевого меридиана зоны до середины участка).

Иногда возникает необходимость получения площадей физической (топографической) поверхности участка $P_{ф}$, которая тем больше отличается от площади горизонтального проложения участка $P_{г.п.}$, чем больше угол наклона v или уклон i местности. Для получения площади физической поверхности участка его разбивают на части с одинаковыми скатами, т. е. с равностоящими, и более или менее прямыми горизонталями. На каждой из этих частей в перпендикулярном направлении к горизонталям определяют угол наклона или уклон и вычисляют площадь $P_{ф}$ на физической поверхности земли по следующим формулам:

$$P_{ф} = P_{г.п.} \left(1 + \frac{v^2}{2p^2} \right); \quad P_{ф} = P_{г.п.} \left(1 + \frac{i^2}{2} \right).$$

Например, уже при угле наклона $v = 2,9^\circ$ (уклоне $i = 0,05$) поправка составит 1:800 или $12,5 \text{ м}^2$ на 1 га.

Требования к точности определения площади земельных участков зависят от многих факторов: хозяйственной значимости (сельхозугодья, лесные угодья, городская территория и т. п.), местоположения (центр города, его окраина и т. п.), экологической обстановки (химическая загрязненность земли, атмосферы и т. п.), наличия и ценности недвижимости. Все эти и другие возможные факторы влияют на нормативную стоимость земли, которая в основном и является исходной для расчета требуемой точности определения площади земельных участков.

Достижение требуемой точности возможно лишь при правильном выборе способа определения площади участка. Очевидно, что наивысшая точность может быть достигнута при аналитическом способе определения площади. В этом способе площадь участка определяется по результатам измерений на местности, погрешность в определении площади будет зависеть от погрешностей

этих измерений, так погрешность m_P площади треугольника и прямоугольника, вычисляемую по измеренным высоте h с погрешностью m_h и основанию l с погрешностью m_l , определяют по формуле

$$\frac{m_P}{P} = \sqrt{\left(\frac{m_h}{h}\right)^2 + \left(\frac{m_l}{l}\right)^2}.$$

При одинаковой относительной погрешности измерения h и l

$$\frac{m_h}{h} = \frac{m_l}{l} = \frac{1}{S}; \quad m_P = \sqrt{2} \frac{P}{S}. \quad (23.2)$$

Например, при $P = 1$ га ($10\,000 \text{ м}^2$) и $1/S = 1/2000$, $m_P = 7 \text{ м}^2$. Из выражения (23.2) для полигона с n вершинами можно получить формулу погрешности площади вида

$$m_P = \frac{1}{2} m_{X,Y} \sqrt{\sum_{i=1}^n D_i^2}, \quad (23.3)$$

где m — средняя квадратическая погрешность определения координат X и Y точек вершин полигона при условии, что

$$m_{X_1} = m_{X_2} = \dots = m_{Y_1} = m_{Y_2} = m_{Y_n} = m_{X,Y},$$

D_i — расстояние от начала координат до i -й точки вершины полигона (в частном случае от одной из вершин, принятой за начало координат).

Для прямоугольника со сторонами a и b формула (23.3) примет следующий вид:

$$m_P = \frac{m_{X,Y}}{\sqrt{2}} \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (23.4)$$

а для квадрата со стороной a

$$m_P = am_{X,Y}. \quad (23.5)$$

Так, например, если для участка размером 100×100 м и площадью 1 га определять координаты со средней квадратической погрешностью 0,02 м, то погрешность площади будет равна 2 м².

Для погрешности площади участка, определяемой по топографическому плану (карте), с учетом погрешностей измерений на местности и погрешностей составления топографического плана можно использовать формулу следующего вида:

$$m_P = \frac{0,3M}{1000} \sqrt{P}, \quad (23.6)$$

где M — знаменатель численного масштаба плана; P — площадь участка, м².

Площадь P , м ²	Погрешность m , м ² , масштабов		
	1:500	1:1000	1:2000
400	3,0	6,0	12,0
600	3,7	7,3	14,6
1200	5,2	10,4	20,8
2500	7,5	15,0	30,0
10000	15,0	30,0	60,0

В табл. 23.1 приведены величины средних квадратических погрешностей, вычисленных по формуле (23.6) для различных площадей участков по планам различных масштабов.

Приведенные формулы являются приближенными, так как не учитывают возможных погрешностей исходных данных и зависимости между входящими в них величинами. Однако они вполне остаточны для предварительных (проектных) расчетов.

23.4. Вынос в натуру и определение границ землепользования

Геодезические работы по выносу в натуру границ землепользования выполняют аналогично разбивочным работам по выносу в натуру зданий, сооружений и других объектов жизнедеятельности человека.

Базовой основой геодезических работ является проект. При землеустроительных работах основными объектами проектирования являются: границы районов, городов, поселков городского типа, сельских населенных пунктов, границы отдельных земельных владений, приусадебных, садово-огородных, дачных, арендных и других земельных участков, имеющих статус самостоятельных территориальных образований.

В зависимости от административных решений, хозяйственной емкости и занимаемой площади объектов землеустройства проектирование границ ведется на основе геодезических измерений местности или с использованием топографических материалов различного вида и масштабов, включая и цифровые модели (электронные карты). По данным землеустроительного проекта выполняют геодезическое проектирование. Оно включает в себя аналитическую подготовку данных для перенесения на местность проектных точек наиболее целесообразными способами, обеспечивающими требуемую точность их положения, и составление разбивочных чертежей.

При аналитической подготовке координаты выносимых в натуру точек вычисляют в государственной или местной системе координат. При необходимости перевычисляют координаты из местной системы в государственную и наоборот. Однако во всех случаях координаты выносимых точек должны вычисляться в той же системе, что и координаты пунктов исходного геодезического обоснования.

Исходным геодезическим обоснованием могут служить все виды геодезических построений, обеспечивающие требуемую точность выноса в натуру границ землепользования: триангуляция, трилатерация, линейно-угловые сети, полигонометрия, спутниковые определения и в некоторых случаях теодолитные ходы.

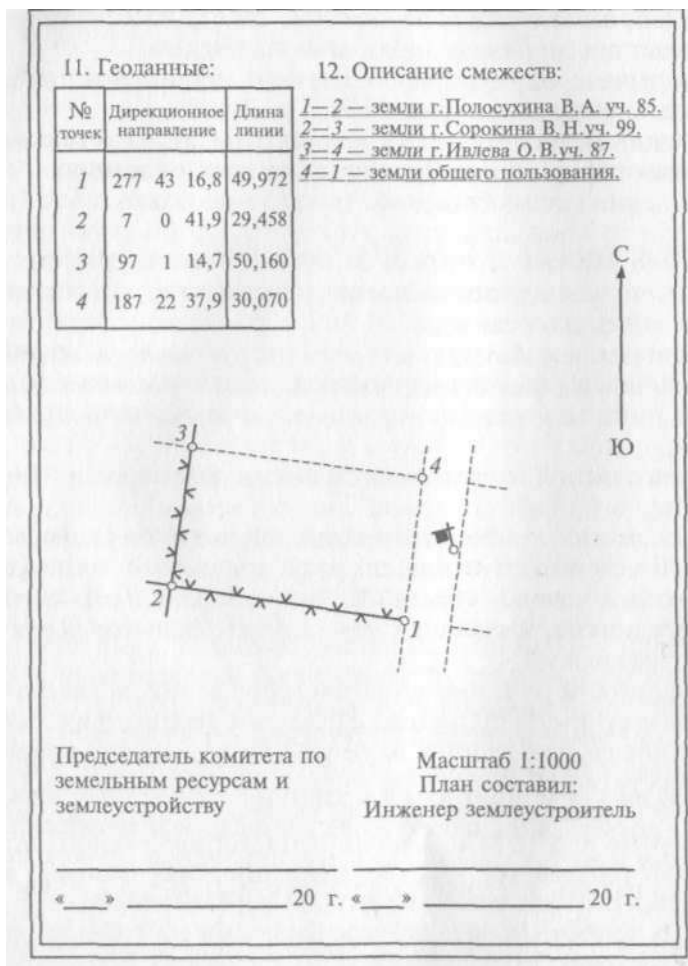


Рис. 23.2. Чертеж границ земельного участка

Вынос в натуру точек границ землепользования от пунктов исходного обоснования производят всеми известными способами разбивочных работ: угловыми, линейными, створными и створно-линейными засечками; способами полярных и прямоугольных координат, перпендикуляров; теодолитными ходами и другими геодезическими построениями.

Вынесенные в натуру точки, как правило, закрепляют специальными межевыми знаками. Ими могут служить также четко опознаваемые контурные точки, например: углы капитальных заборов или зданий на застроенной территории, пересечения осей дорог, угловые точки угодий, урочищ и другие бесспорно опознаваемые точки местности. В этом случае путем соответствующих геодезических измерений определяют координаты этих точек.

Полученные данные переносят на кадастровые планы и заносят в кадастровый банк данных. В случае необходимости, например при выдаче акта на владение землей, составляют чертеж границ земельного участка (рис. 23.2).

От точности геодезических данных зависит достоверность кадастровой информации. Поскольку во всех операциях с землей (установлении прав собственности, купле-продаже, дарении, сдаче в аренду и др.) обязательно фигурирует площадь земельного владения, то требуемая точность ее определения служит расчетной основой для назначения точности выноса в натуру и определения границ землепользования.

Если формулы (23.3)...(23.5) решить относительно $m_{x,y}$, то, задаваясь величиной погрешности площади m_p , можно с достаточным приближением рассчитать необходимую точность определения координат точек границ землепользования. Следуя далее, можно рассчитать необходимую точность угловых и линейных измерений.

Покажем это на примере участка прямоугольной формы размером 30 x 50 м в центральной части городской застройки, где чрезвычайно высока стоимость земли и учитывается каждый квадратный метр площади, т. е. $m_p = 1 \text{ м}^2$. Из формулы (23.4) следует, что, см,

$$m_{x,y} = \frac{m_p \sqrt{2}}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{1\sqrt{2}}{\sqrt{30^2 + 50^2}} \approx 0,024 \text{ м} = 2,4.$$

Формула (23.4) получена из предположения, что начало координат совмещено с одной из вершин прямоугольника. В этом случае погрешность, например, в координате X равна погрешности приращения по этой координате, т.е. $m_x = m_{\Delta X}$. В свою очередь,

$$m_{\Delta X}^2 = m_S^2 \cos^2 \alpha + \frac{S^2 \sin^2 \alpha}{\rho} m_{\alpha}^2.$$

Применяя принцип равных влияний погрешностей линейных и угловых измерений, можно записать следующие формулы:

$$m_s = \frac{m_{\Delta X}}{\sqrt{2} \sin \alpha}; \quad m_\alpha = \frac{m_{\Delta X P}}{\sqrt{2} S \sin \alpha}.$$

Для приведенного примера получим: $m_s = 2$ см, $m_\alpha = 2''$. Поскольку в частной системе координат прямоугольника можно принять дирекционный угол длинной стороны b равным нулю, то $m_\alpha = m_\beta$.

В случае когда координаты точек границ землевладений определяют с пунктов исходного геодезического обоснования, выполняют более сложные расчеты, учитывающие все погрешности геодезических построений и зависимости между ними. Однако и в этом случае для проектных расчетов можно принять погрешности исходных данных в два раза меньшими погрешностей последующего построения.

В практике геодезических работ для земельного кадастра принято считать, что для городских земельных участков площадью до 1 га координаты точек их границ следует определять со средней квадратической погрешностью 2 см, для участков значительной площади — 2... 10 см.

23.5. Понятие о геоинформационных системах (ГИС)

Появление современных высокопроизводительных компьютеров с их возможностью переработки, хранения и выдачи огромного количества информации предопределило возникновение нового направления в хозяйственной и управленческой деятельности человека и новой науки — геоинформатики.

Первоначально понятие «геоинформационные системы» расширявалось как «географические информационные системы», поскольку оно появилось в недрах географической науки. Сейчас область использования далеко вышла за пределы географии и приставка «гео» указывает лишь на то, что информация связана с Землей и деятельностью человека на ней.

Таким образом, под *геоинформационной системой* чаще всего понимают компьютерное хранилище знаний о территориальном взаимодействии природы и общества, обеспечивающее сбор, хранение, обработку и визуализацию (зрительное представление) многих видов информации о явлениях в окружающем человека пространстве и времени. К их числу относится информация из областей: географии, информатики, геодезии, картографии, земельного учета, управления, права, экологии и других наук.

Геоинформационные системы разделяются по территориальному охвату: общенациональные и региональные; по целям использования: многоцелевые, специализированные, информаци-

онно-справочные, для нужд планирования, управления и др.; по тематике: водных ресурсов, использования земель, туризму и др. Активно развиваются системы, ориентированные на кадастр.

Источниками информации для ГИС в основном являются географические и топографические карты и планы, аэрокосмические материалы, нормативные и правовые документы.

Современные ГИС, как правило, являются цифровыми и создаются с использованием специального программного обеспечения и объема данных, называемого *базой данных*.

База данных цифровой карты включает в себя два варианта информации: пространственную, определяющую местоположение объекта, и семантическую (атрибутивную), описывающую свойства объекта.

Многообразная пространственная информация в ГИС организуется в виде отдельных тематических слоев, отвечающих решению различных задач. Каждый слой может содержать информацию, относящуюся только к одной или нескольким темам. Например, для задач развития городской территории набор из отдельных слоев может включать в себя данные: о землевладениях и недвижимости; об объектах транспорта, образования, здравоохранения, культуры; инженерных сетях; рельефе; геодезических сетях и других объектах городского хозяйства.

Для представления карт и планов в компьютере используются прямоугольная система координат. Каждая точка описывается одной парой координат X , Y . Пользуясь координатной системой, можно представить точки, линии и полигоны в виде списка координат. При этом для представления земной поверхности на плоскости используются различные картографические проекции, например проекции Гаусса — Крюгера.

Данные с карты, плана вводятся в компьютер путем цифрования. Цифрование может быть выполнено либо путем оцифровки каждой характерной точки объекта, либо путем сканирования всего листа карты электронным сканером. Ввод в базу данных компьютера может также осуществляться с электронных геодезических приборов. Описательные характеристики объектов могут вводиться с клавиатуры компьютера. Данные аэро- и космических съемок, записанные в цифровом виде, также могут быть введены в компьютер, минуя «бумажную» стадию.

23.6. Геоинформационные системы в кадастре

По существу, любой вид кадастра (земельный, градостроительный, водный, лесной и др.) является геоинформационной системой, поскольку содержит совокупность достоверных и необходимых сведений о природном, хозяйственном и правовом

положении земель и недр на базе картографической информации.

Картографическая информация служит и для оценки количества, качества и стоимости земель, регистрации землепользования и землевладения, текущего контроля за землепользованием.

Информационная основа кадастра создается в результате инвентаризации земель и кадастровых съемок. Эти работы могут охватывать как большие территории (город, район, населенный пункт и т.п.), так и небольшие земельные участки.

Чтобы разместить большое количество сведений в единой информационной системе, кадастровая информация делится на элементарные слои, каждый из которых самостоятельно используется для решения конкретной задачи.

Для автоматизированной системы кадастра, основанной на применении ГИС, используются цифровые кадастровые карты, планы.

Все объекты, представленные на кадастровой карте, плане, имеют пространственную привязку, т. е. их положение определено в той системе координат, которая принята при создании карты. Описательные данные объекта (земельного участка) составляют содержание базы данных информационной системы. Для обозначения и связи объектов этой базы данных используются идентификаторы (кадастровые номера) участков. Таким образом, цифровая кадастровая карта, представляя собой совокупность метрических (графических) и семантических (описательных) данных, является картографической частью информационной системы кадастра. Определяя местоположение земельных участков, их границы и площади, она используется как инструмент управления земельными ресурсами.

Таким образом, государственный земельный кадастр является геоинформационной системой, обеспечивая сбор, хранение и выдачу земельной информации потребителям.

Контрольные вопросы

1. Что такое земельный кадастр?
2. Какие геодезические работы выполняют для земельного кадастра?
3. Каковы особенности определения площадей земельных участков?
4. Каким образом определяют границы земельных участков?
5. Как приближенно рассчитать требования к точности определения границ землевладения?
6. Что такое геоинформационная система, каково ее место в кадастре?

ГЛАВА 24 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЛЕСОУСТРОЙСТВЕ

24.1. Понятие о лесоустройстве

Под *лесоустройством* понимается комплекс мероприятий по организации ведения лесного хозяйства и лесопользования, направленный на обеспечение рационального пользования, воспроизводства, охраны и защиты лесов.

Основными задачами лесоустройства являются:

получение достоверной информации о лесах и динамике лесного фонда;

осуществление внутривладельческой организации земель;

разработка и составление документов по инвентаризации и учету лесов;

рациональное пользование, воспроизводство, охрана, защита лесов.

Для удобства ведения лесного хозяйства вся территория, занимаемая лесом, делится на более мелкие участки, которые привязывают к геодезическим пунктам государственной геодезической сети. Такая работа называется *организацией территории*.

Важной частью этой работы является разделение леса на кварталы, которое проводится в соответствии с проектом организации каждого лесничества, входящего в лесное хозяйство. Размеры квартальной сети принимаются в зависимости от разряда лесоустройства и конкретных условий местности. Установлено три разряда лесоустройства: I, II, III, которые определяются государственными органами лесного хозяйства.

К разряду I лесоустройства относят:

памятники природы;

леса, имеющие научное и историческое значение;

особо ценные лесные массивы;

городские леса, леса национальных и природных парков;

леса курортов;

лесоплодовые насаждения, государственные защитные лесные полосы и т.п.

К разряду II относят: зеленые зоны объектов с низкой интенсивностью ведения лесного хозяйства, участки в лесах группы II при полном использовании расчетной лесосеки и лесах группы II при недостатке лесосырьевых ресурсов.

К разряду III относят: притундровые леса, леса групп II и III с избытком спелых насаждений, леса группы III, намечаемые к освоению не позже чем через 20 лет и др.

Полный цикл лесоустроительных работ состоит из трех периодов: подготовительного, полевого и камерального. Продолжается он, как правило, в течение трех лет.

24.2. Геодезические работы при подготовке к лесоустройству

Подготовительные работы выполняют лесоустроительными партиями за год до проведения полевых лесоустроительных работ.

В состав подготовительных работ входят:

изучение существующих границ устраиваемого объекта, его административно-хозяйственных единиц и подготовка предложений по их изменению;

анализ существующего деления территории устраиваемого объекта на группы лесов и категории защитности и подготовка предложений по его совершенствованию;

уточнение границ лесосырьевых и потребительских баз, лесосечного фонда долгосрочного пользования;

составление проекта квартальной и визирной сети;

сбор и оценка полноты имеющихся таксационных, геодезических, плано-картографических и аэрофотосъемочных материалов.

Кроме этого собираются и изучаются многие другие сведения, необходимые для составления проекта задания на лесоустройство.

Технической основой лесоустроительных работ являются материалы аэрофотосъемки.

Масштаб аэрофотоснимков принимается в зависимости от разряда лесоустройства: для I, II — 1:10 000, III — 1:15 000. Если на снимаемой площади находятся леса, устраиваемые по разным разрядам, требующим аэрофотоснимки различных масштабов, то масштаб съемки принимают по преобладающей площади лесоустройства.

На полевых работах используют только аэроснимки, по которым составляют фотоабрисы, опознают границы, просеки и ходовые линии. Они помогают лучше ориентироваться в лесу при выполнении лесоустроительных работ, а также при составлении лесоустроительных планшетов и других картографических материалов.

В период подготовительных работ производят сбор геодезических данных и картографических материалов и оценку их качества.

Полученные материалы тщательно изучают. При обнаружении грубых погрешностей в геодезических данных по границам смежных землепользователей создают совместные комиссии из заинтересованных организаций и производят проверку в натуре. Уточненную площадь земель объекта лесоустройства сверяют с данными государственного учета лесов и земельным кадастром района. После этого устанавливают возможность использования собранного материала и определяют метод составления новых лесоустроительных планшетов.

В подготовительный период составляют проект квартальной и визирной сети. Он разрабатывается отдельно по каждому лесни-

честву в масштабе плана лесонасаждений на основе картографических материалов прежнего лесоустройства и материалов аэрофотосъемки. Размеры проектируемых кварталов должны соответствовать установленным разрядам лесоустройства. В качестве квартальных просек (границ) могут быть использованы различные дороги, противопожарные разрывы, реки и т.п.

Квартальная сеть и нумерация кварталов, установленная ранее, как правило, сохраняется, если не меняется разряд лесоустройства. Нумерацию кварталов проводят в пределах лесничеств с северо-запада на юго-восток. В равнинной местности проектируют прямоугольную квартальную сеть с прокладкой просек с севера на юг и с востока на запад относительно истинного меридиана. В горных условиях квартальная сеть проектируется с учетом сложившихся грузовых потоков и максимального использования естественных разграничительных рубежей.

Таксационные визиры располагают параллельно квартальной сети. Взамен визиров могут быть использованы дороги, тропы, трассы, линии связи и электропередачи и другие просеки, если они обеспечивают проведение таксации леса в соответствии с требованиями лесоустройства.

На схему квартальной сети наносят: границы планшетов, административных районов, номера кварталов; группы и категории защитности лесов; лесосырьевые базы и другие контурные обозначения, необходимые для проведения полевых работ.

24.3. Геодезические работы при организации территории и подготовке к лесотаксационным работам

Лесоустройство связано с выполнением разнообразных геодезических измерений, производством аэрофотосъемок, проектированием лесоустроительных работ и выносом проекта в натуру.

Целью геодезических работ при лесоустройстве является восстановление границ объекта лесоустройства, съемка планшетных рамок и наиболее значимых элементов внутренней ситуации, границ хозяйственно ценных выделов, дорог, троп и других линейных элементов, используемых в качестве таксационных ходов.

Восстановление окружных границ объекта лесоустройства производят по имеющимся старым материалам, а при их отсутствии выполняют необходимые геодезические измерения с использованием теодолита, мерных лент и других геодезических приборов.

При съемке планшетных рамок измерение горизонтальных углов и восстановление границ производят с точностью не ниже Γ , а внутренней ситуации — $10'$. Длины линий измеряют лентами в одном направлении с округлением результатов до 0,1 м. Углы

наклона учитывают только при величине 4° и более. Если полученные результаты промера длин линий расходятся с имеющимися геодезическими данными более чем на 2 %, то выполняют второй промер в обратном направлении.

Все случаи несоответствия геодезических данных землеустройства результатам натурных измерений рассматриваются совместно с местными органами землеустройства, и по согласованию с ними вносятся соответствующие коррективы, что оформляется актом.

Для таксационных целей производится промер и прочистка квартальной и визирной сети и оформление их лесоустроительными знаками. Границы и квартальные просеки прорубают или прочищают на ширину 0,5 м, визиры — 0,3 м. При этом крупные деревья, находящиеся на линии вешения, не срубаются, а их обходят способом параллельного вешения по перпендикулярам к основной линии или направление линии задается вновь инструментально. Направление прорубки проверяют по заданному румбу, и при отклонении линии более чем на 2° она прорубается заново.

Измерение длин просек, визиров и других линий, используемых в качестве таксационных ходов, осуществляется только в пределах одного квартала. Сквозной (непрерывный) промер линий, проходящих через несколько кварталов, запрещен. Промер ломаных линий (дорог, троп, различных трасс) производят между углами поворотов, которые закрепляют пикетными кольями. Измерение расстояний выполняют мерной лентой в одном направлении, при этом пикетные кольца устанавливают через 100 м при I, II и 200 м — при III разряде лесоустройства. Уклон местности в этом случае учитывают с 6° и более, на абрисах (фотоабрисах) показываются горизонтальные проложения линии.

Если на объекте лесоустройства по его границам сохранились межевые знаки, то промер граничных линий производят между ними. Одновременно с измерением линий отмечают места выходов квартальных просек, визиров и другой внутренней ситуации на границу. Точность измерения длин линий при лесоустройстве должна быть не менее 1:500 для I, II и 1:300 — для III разряда.

При организации лесоустройства и лесного хозяйства устанавливается большое число различных знаков.

По назначению знаки делят на следующие типы: столбы квартальные, квартальные указательные, граничные хозяйственные, визирные, визирные указательные на пробных площадях, внутренней ситуации, лесосечные (деляночные), на площадях лесовосстановительных мероприятий, прочие лесохозяйственные столбы; колья пикетные и для закрепления центров площадок при измерительно-перечислительной таксации, обследовании естественного возобновления лесных культур.

24.4. Геодезические работы при инвентаризации лесных массивов

Под *лесным массивом* понимают значительную целостную территорию леса, имеющую естественные границы (реки, озера, холмы и др.) или граничащую на большом протяжении с другими угодьями или населенными пунктами. Если лесной массив закреплен за лесным предприятием, то он составляет его лесной фонд. Лесной массив может занимать территорию от нескольких сотен до нескольких тысяч гектаров, которая разделяется на лесную и нелесную площади. К нелесной площади относят участки, непригодные для выращивания леса, без проведения на них специальных работ, а к лесной — участки земли, пригодные и предназначенные для выращивания леса; они могут быть покрыты или не покрыты лесом.

При лесоинвентаризации территорию каждого лесного квартала разделяют на таксационные выделы — первичные лесохозяйственные учетные единицы. *Таксационный выдел* — участок лесной или нелесной земли, однородный по таксационной характеристике и хозяйственному назначению, на всей площади которого необходимы одинаковые лесохозяйственные мероприятия. Каждый таксационный выдел изображается в своих границах на картографических документах (планшетах и планах лесонасаждений).

Размеры таксационных выделов зависят от разряда лесостроительства. Средние их значения колеблются от 3... 15 га при I и II и до 16... 33 га — при III разряде лесостроительства. Для удобства таксации и более точного определения мест положения выделов в квартале прорубают визеры. В местах пересечения визиров с просеками и границами устанавливают визирные столбы, на «щеках» которых римскими цифрами обозначают номер визиров. Квартальную и визирную сети выносят в натуру в соответствии с разработанным проектом.

В процессе таксации в лесу уточняют только границы выделов, определенные по аэрофотоснимкам, присваивают им номера и заносят таксационные характеристики в специальные карточки.

При отсутствии аэроснимков границы выделов определяют с помощью геодезических приборов методом засечек по ходовым линиям или выполнением угломерной съемки.

Метод засечек состоит в том, что таксатор, имея абрис, вычерченный на миллиметровой бумаге, где изображены просеки, визеры, дороги, отмечает места перехода от одного выдела к другому, т. е. точки границы выделов. Полученные точки засечек соединяют пунктирными прямыми линиями, которые и образуют контур выделов. Границы выделов при данном методе получаются прямолинейными, хотя в действительности это не так. Однако

практика показывает, что погрешность измерения в данном случае составляет всего около 5 %.

Угломерная съемка применяется при инвентаризации особо ценных лесных массивов или небольших площадей. В этом случае границы выделов определяют с использованием геодезических приборов — теодолита, дальномера или буссоли. Данный способ более трудоемкий, но достаточно точный.

Полученные границы выделов наносят на абрис и определяют их площади. Впоследствии их копируют на основные картографические материалы, в том числе на планшеты и планы лесонасаждений.

Использование аэрофотоснимков при таксации леса значительно повышает производительность труда, на 20...25 % уменьшает затраты инженерно-технических работников и на 40...60 % — рабочих. При этом качество материалов таксации заметно лучше, чем полевой наземной таксации.

В последние годы при инвентаризации лесов стали применять сверхкрупномасштабную аэрофотосъемку (СКМАФС), выполняемую в масштабе 1:500... 1:2000. Ее выполняют малоформатной камерой ЛФА с вертолетов или самолетов.

24.5. Геодезические работы при отводе лесосек

Лесосека — это участок леса, ограниченный визирами, лесосечными знаками или естественными рубежами, отведенный для рубок главного или промежуточного пользования. Она может иметь различную конфигурацию и размеры, которые устанавливаются в зависимости от группы леса, режима лесопользования, растительных условий и преобладающих пород леса. Ширина лесосек может быть 100... 1000 м, а длина до 2000 м. Отвод лесосек лесные хозяйства производят, как правило, в весенне-осенний период за два года до начала рубок главного пользования и за год — рубок ухода. Для рациональной организации лесозаготовительных работ лесосеки разбивают на делянки; на делянке работает одна комплексная заготовительная бригада. Ширину делянки принимают равной половине ширины лесосеки, а длину — 200...300 м.

Отводу лесосек в натуре предшествует составление плана отвода по материалам таксационных описаний и картографических документов. Лесосеки по возможности устраивают прямоугольной формы.

Углы лесосек (делянок) отмечают установкой деревянных столбов высотой 130 см и диаметром 16 см. Закапывают их на глубину 70 см. Щека с надписью направляется в сторону участка, гребень столба — к середине участка. На столбах указывают номер

квартала — номер выдела, мероприятие — год, площадь, га. Если в одной точке сходятся углы нескольких смежных лесосек в пределах одного квартала, то устанавливают один столб с соответствующим числом щек (окон), на которых делают соответствующие надписи.

Лесосеки строго учитываются. На каждую лесосеку составляют полевой абрис, на котором указывают: привязку к квартальной сети; румбы и длину линий границ; расположение внутренних визиров и границ таксационных участков; выделенные внутри лесосеки неэксплуатационные площади; расположение семенных участков, молодняка и подроста; характер участков, граничащих с лесосекой.

По материалам абриса составляют чертежи лесосек, которые хранятся в лесничестве и лесном хозяйстве.

Отвод и таксация лесосек контролируются как в процессе работ, так и после их окончания. Проверяют правильность измерения длин линий, углов, площадей, объемы лесосечного фонда и их соответствие установленному размеру лесопользования. Контролируют также и правильность установки лесоустроительных знаков.

Измерение углов границ лесосеки производится с помощью теодолита или буссоли, а промер линий — дальномером или мерной лентой. Погрешности при измерении углов не должны превышать 30', а измерения длин линии — 1:300.

Контрольные вопросы

1. Что такое лесоустройство?
2. Какие геодезические работы выполняют при подготовке к лесоустройству?
3. Назовите геодезические работы, которые производят при инвентаризации лесных массивов.
4. Что делают при отводе лесосек?

ГЛАВА 25

ВЫНОС В НАТУРУ И ПЛАНОВО-ВЫСОТНАЯ ПРИВЯЗКА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ВЫРАБОТОК И ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТОЧЕК

25.1. Понятие о горных выработках

Горная выработка — это разработка подземных месторождений для разведки или добычи полезных ископаемых.

В зависимости от вида полезного ископаемого и условий его залегания горную выработку осуществляют несколькими способами:

бурением скважин (для нефти и газа), строительством шахт (для угля, металлических руд), открытыми выработками — шурфами, канавами, штольнями.

Скважина имеет форму цилиндра, диаметром (обычно до 1 м) существенно меньшим ее длины. Начало скважины у поверхности земли называют *устьем*, дно — *забоем*.

При строительстве шахт проходка с поверхности земли к месту залегания полезного ископаемого начинается со *ствола* — наклонного или вертикального канала в земле. Через ствол шахты ориентируют подземные выработки, вывозят породы, подают воздух, доставляют людей и механизмы. Ствол шахты может быть цилиндрической или прямоугольной формы размером в несколько метров. Ствол, так же как и скважина, у поверхности земли начинается с устья.

При выполнении буровых и горнопроходческих работ, а также при геологических изысканиях следует знать положение горной выработки на местности. При этом возникает необходимость в решении двух задач: перенесение проекта размещения выработки в натуру и привязка выработки, т. е. определение ее положения по всем трем координатам.

25.2. Вынос в натуру горных выработок

Положение горной выработки на местности определяется центром скважины или ствола шахты.

Для перенесения проекта положения горной выработки в натуру составляют разбивочную схему, пользуясь генеральным планом или другой соответствующей проектной документацией. На схеме указывают необходимые для разбивки геодезические данные (исходные пункты, разбивочные углы и длины линий), которые получают графическим или графоаналитическим способом.

При графическом способе горизонтальные углы между исходными линиями и направлениями на проектную точку измеряют на топографической карте (плане) транспортиром, а длину линий — циркулем-измерителем по масштабной линейке; при графоаналитическом разбивочные углы B и длины линий L вычисляют по координатам опорных A , B и проектной P точек путем решения обратных геодезических задач. Координаты проектной точки при этом определяют графически с топографической карты (плана) по координатной сетке. Если в качестве опорных приняты хорошо опознаваемые на местности контурные точки, то и их координаты также определяют графически.

Проектное положение горной выработки переносят на местность различными способами.

Совмещение с контурной точкой. Если проектное положение горной выработки совмещается с хорошо опознаваемой на местности контурной точкой, то перенесение выработки будет заключаться в опознавании на местности этой контурной точки. Правильность опознавания контурной точки контролируют визируванием с нее на хорошо видимые местные предметы (например, столбы электропередачи, углы зданий и т.п.) или измерением от нее расстояний до местных предметов, надежно опознаваемых на карте. Совпадение результатов измерений углов и расстояний на местности и карте будет служить контролем правильного перенесения проектного положения горной выработки в натуру.

Промер вдоль линейного контура. Если проектное положение горной выработки было выбрано на линейном контуре, имеющем характерную точку, то перенесение выработки в натуру будет заключаться в отложении на местности вдоль линейного контура от его характерной точки расстояния, измеренного на карте.

Способ полярных координат. В качестве опорных на топографической карте выбирают две контурные точки, хорошо опознаваемые на местности, либо два пункта опорной сети A, B . Для перенесения в натуру проектной точки P теодолит устанавливают в опорной точке A и откладывают угол β от направления линии AB . По построенному направлению AP рулеткой или лентой откладывают расстояние, равное L .

Способ прямой угловой засечки (рис. 25.1). Этот способ применяют в том случае, когда от опорных точек до проектной нельзя непосредственно измерить расстояние. Чтобы перенести в натуру проектную точку P , необходимо иметь не менее трех опорных точек A, B, C . Углы α, β, γ и δ должны быть известны. Теодолит устанавливают последовательно в опорных точках A, B, C и, строя проектные углы α, β, γ и δ , задают направления AP, BP, CP , на пересечении которых определится точка P .

Способ линейной засечки (рис. 25.2). Этот способ применяют в том случае, когда расстояние между опорными точками и проектной не превышает длины мерного прибора. Чтобы определить положение точки P , от опорных точек откладывают лентой или рулеткой горизонтальные проложения L_1, L_2 и L_3 . На пересечении линейных промеров определится положение точки P .

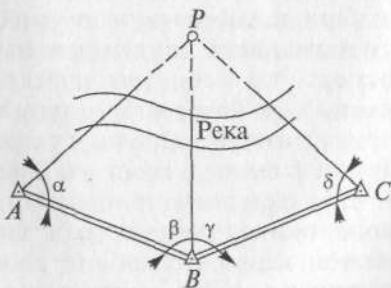


Рис. 25.1. Перенесение проектной скважины в натуру способом прямой угловой засечки

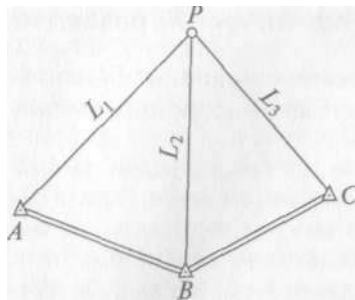


Рис. 25.2. Перенесение проектной скважины в натуру способом линейной засечки

Точность выноса в натуру положения горных выработок определяется видом и категорией выработки, а также целью работы — разведка, добыча. Во всех случаях для определения проектного положения горной выработки используют топографическую карту (план) соответствующего масштаба. Например, для нефтяных поисковых скважин используют карту масштаба 1:25 000, обеспечивающую определение проектного положения скважины с предельной погрешностью не более 25 м.

Положение вынесенной в натуру горной выработки закрепляют *знаками* — металлическими трубами или деревянными кольями длиной 1,2 м, которые закладывают на глубину около 0,7 м и окапывают. На верхней части трубы (кола) несмываемой краской пишут номер выработки, дату перенесения ее в натуру и наименование организации, производящей работу. Знак по возможности привязывают к местным предметам и составляют абрис привязки.

25.3. Плано-высотная привязка горных выработок

Для производства строительного-монтажных работ и эксплуатации горных выработок необходимо знать их плановое и высотное положение. Хотя проектные координаты горной выработки известны из работ по выносу ее в натуру, однако точности их определения, особенно по высоте, для последующих стадий работ недостаточно. В этом случае заново определяют плановые и высотные координаты горной выработки, но уже с большей точностью. Такой вид измерений называют *привязкой* горной выработки. Так, если для нефтяной скважины предельная погрешность перенесения в натуру составляет 10 м в плане и 5 м по высоте, то для привязки скважины — 4 и 0,3 м соответственно. Требования к точности привязки стволов шахт еще выше.

Для определения планового положения горных выработок на поисковых, разведочных и эксплуатационных площадях создают геодезическую сеть в виде цепочек треугольников или теодолитных ходов. Кроме того, широко используют прямые и обратные угловые, а также линейные засечки.

Высотную привязку горных выработок выполняют геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

25.4. Геодезические работы при геофизической разведке

При инженерно-геологических изысканиях широко используются геофизические методы: электроразведка, сейсморазведка, магнитная и гравиметрическая разведка.

Электроразведка основывается на изучении особенностей прохождения электрического тока в различных грунтах. При этом используются либо естественные, либо искусственные электрические поля. Естественные электрические поля возбуждаются в грунтах Солнцем, а искусственные создаются пропусканием постоянного или переменного тока через забитые в грунт электроды (металлические штыри).

Геодезические работы при электроразведке сводятся к разбивке на местности профиля или системы параллельных профилей, а также определению и обозначению точек закрепления электродов с учетом их последовательного перемещения по профилю.

Положение отдельного профиля или системы профилей электроразведки наносится на карту (план). При этом, согласно «Строительным правилам СП 11-104—97», положение точек наблюдений относительно ближайших пунктов опорной или съемочной геодезических сетей должно определяться в плане со средней квадратической погрешностью 1,0 мм на используемой карте, а по высоте — 1,0 м.

Сейсморазведка основана на наблюдениях за скоростью распространения упругих волн в земной коре, вызванных искусственными сотрясениями (взрывами, ударами). В результате взрыва в грунте возникают упругие волны, характер и скорость распространения которых наблюдают на поверхности Земли специальными приборами — сейсмоприемниками, которые располагают также по профилям.

Геодезические работы при сейсморазведке сводятся к разбивке на местности профилей с обозначением на них точек взрыва и точек расположения сейсмоприемников, определению координат и высот этих точек и составлению вертикального разреза по линии профиля.

Средняя квадратическая погрешность положения сейсмического профиля на отчетной карте характеризуется в плане величиной 1,0 мм, а по высоте колеблется от 0,25 до 0,5 м.

Магнитная разведка основана на изучении геомагнитного поля Земли, обусловленного неодинаковыми магнитными свойствами горных пород. Ведется она с помощью высокочувствительных магнитометров, преимущественно по густой сетке квадратов. Размеры квадратов колеблются от 5 x 5 м и более, покрывая небольшие участки порядка 50 x 50 м. Разбивка сеток малых квадратов выполняется простейшими геодезическими средствами —

рулетками, лентами, экером; положение квадратов на участке привязывается к пунктам геодезической основы.

Маршрутная магнитная съемка обычно приурочивается к дорогам, тропам, лесным просекам, берегам рек. Привязка маршрутов ведется по контурам, без применения инструментов. Там где контуров мало, расстояния измеряют по спидометру автомашины или шагами.

Средняя квадратическая погрешность плановой привязки маршрутов определяется величиной 1,0 мм на отчетной карте. Высоты точек магнитной разведки, как правило, не определяются.

Гравиметрическая разведка основана на измерениях силы тяжести, которая определяется специальными приборами — гравиметрами. На основе гравиметрических аномалий (отклонений силы тяжести от нормальной) определяют местоположение, размеры, форму и глубину геологических объектов, создающих аномалию.

Гравиметрические пункты располагают по площади на четких, хорошо распознаваемых контурах местности. Для плановой привязки используют карты масштаба 1:25... 1:100000. Точность определения высот гравиметрических пунктов колеблется от 0,2 до 10 м.

Контрольные вопросы

1. Что такое горная выработка?
2. Каким образом выносят в натуру горные выработки?
3. Как осуществляется плано-высотная привязка горных выработок?
4. Какие геодезические работы выполняют при геофизической разведке?

ГЛАВА 26

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, СВЯЗИ И МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

26.1. Воздушные линии электропередачи и связи

Линии электропередачи (ЛЭП) подразделяют на кабельные (подземные) и воздушные. Кабельные линии в основном прокладывают на застроенных территориях. По воздушным линиям (ВЛ), как правило, передается ток высокого напряжения на значительные расстояния.

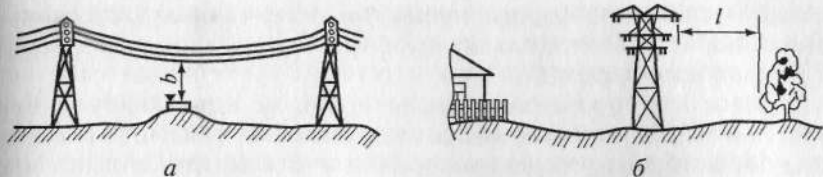


Рис. 26.1. Габаритные размеры приближения проводов:
 а — вертикальный; б — горизонтальный

При изысканиях линий электропередачи необходимо определять габаритные размеры приближения проводов (рис. 26.1): вертикальный — допустимое кратчайшее расстояние b между самой низкой точкой натянутого провода (при максимальной стреле провеса) и поверхностью земли или сооружения, расположенного под линией, и горизонтальной — кратчайшее расстояние до предметов на местности l . Например, для линии напряжением 220...500 кВТ допустимая величина вертикального габаритного размера равна в ненаселенной местности 7...8 м, в труднодоступной местности 6...7 м. Для линий напряжением 750 кВТ соответственно принимают 12 и 10 м.

К линиям связи относят: междугородные, внутрирайонные и городские телефонные линии; сети радиофикации; радиорелейные линии. Линии связи могут быть кабельными и воздушными. Воздушные линии связи состоят из опор, проводов, изоляторов. Опоры бывают деревянные и железобетонные. Вертикальный габаритный размер приближения на линиях связи составляет 2,5...8,5 м.

Направление больших магистральных трасс ЛЭП выбирают в период технико-экономического обоснования, а небольших трасс — при подготовке технического задания на проектирование. Трассу выбирают в соответствии с техническими условиями с учетом топографических, инженерно-геологических и гидрометеорологических условий местности.

Технические изыскания трассы ЛЭП выполняют по выбранному и утвержденному направлению. Эти изыскания начинаются с изучения материалов выбора трассы и проверки документов согласования.

Технические изыскания небольших трасс, проходящих в слабо пересеченной местности, выполняют наземными методами. При изысканиях больших трасс, прокладываемых в сложных условиях, применяют аэрометоды.

Основные точки выбранной и утвержденной трассы по данным привязки к контурам или координатам выносят на местность.

В отличие от других трасс линия электропередачи состоит только из прямых участков, без кривых, с поворотом в вершинах углов,

поэтому углы поворотов выбирают в местах, удобных для сооружения опор, т.е. геологически устойчивых и расположенных вдали от растущих оврагов.

Полевое трассирование проводят в том же порядке, что и для дорог. Так как кривые на трассе отсутствуют и пикеты разбивают между вершинами углов поворота без учета домера и перемены пикетажа на углах, то, следовательно, расстояние между соседними вершинами поворотов или створными точками будет равно разности их пикетажного значения.

На трассах воздушных линий продольные профили можно составлять по плюсовым точкам, взятым на характерных перегибах рельефа местности и в местах пересечений естественных препятствий или искусственных сооружений. Разбивку опор линий, положение которых, как правило, не совпадает с целыми пикетами, ведут от близлежащих закрепленных точек трассы. Поэтому при изысканиях воздушных линий весьма эффективен беспикетный способ трассирования. В этом случае можно применять дальнометры для определения расстояний до закрепляемых характерных точек трассы.

Нивелирование трассы ВЛ выполняют для составления продольного профиля, по которому проектируют положение и высоту опор, обеспечивающих расчетные габаритные размеры приближений проводов. При этом погрешности из-за обобщения (спрямления) рельефа при выборе характерных плюсовых точек не должны превышать 0,3 м. Этому требованию должна соответствовать точность нивелирования.

В равнинной местности, а также на больших переходах через водотоки, пересечениях дорог, на застроенной территории производят техническое нивелирование по пикетажу трассы ВЛ. В горных районах и сильно пересеченной местности можно прокладывать по трассе тахеометрические ходы.

Через каждые 8... 10 км на трассе устанавливают железобетонные или деревянные реперы. Планово-высотную привязку ходов по трассе производят не реже чем через 15... 20 км. По результатам изысканий трассы составляют продольный профиль ЛЭП.

Вместе с изысканием воздушной линии выбирают и производят съемку в крупном масштабе площадки подстанций, монтерских пунктов и ремонтных баз, обследуют проходящие в районе трассы дороги и карьеры строительных материалов, а при отсутствии дорог намечают места, по которым с наименьшими затратами они могут быть построены. Производят изыскания эксплуатационной линии связи.

Изыскания линии связи очень схожи с изысканиями ЛЭП, но так как напряжение на линиях связи ниже, габаритные размеры приближения у них меньше. Изыскания ведут преимущественно в одну стадию.

Геодезические работы, которые выполняют при строительстве линий электропередачи и связи, состоят в разбивке на местности опор и определении фактических габаритных размеров приближения проводов.

Центры опор разбивают по их пикетажному значению от ближайших закрепленных точек трассы: вершин углов поворота и створных точек. Направление по створу трассы задается теодолитом, проектные расстояния откладываются дальномером или рулеткой с введением в каждый пролет поправок за наклон местности. Расстояния между вынесенными в натуре центрами опор не должны отличаться от проектных более чем на $1/200$ от длины пролета.

От центра опоры разбивают ее фундаменты и положение анкерных устройств.

При монтаже опоры с помощью теодолита производят выверку ее вертикальности.

В процессе исполнительной съемки построенной воздушной линии измеряют расстояния между опорами и проверяют соблюдение габаритных размеров приближения проводов.

26.2. Магистральные трубопроводы

Магистральными трубопроводами называют сооружения, предназначенные для транспортировки на дальние расстояния нефти, нефтяных продуктов, газа, воды. Магистральные трубопроводы состоят из подводящих трубопроводов, головных и линейных сооружений и промежуточных станций.

Магистральные трубопроводы укладывают в грунт на глубину не менее 0,8 м до верха трубы, а при переходе через водные преграды — не менее 0,5 м от уровня возможного размыва дна. Уклоны трубопровода проектируют преимущественно параллельно рельефу местности, поэтому для правильного определения длины трубопровода пикетаж разбивают по наклонной местности. По наклонным расстояниям составляют и продольный профиль. План трассы строят по горизонтальному проложению линий.

В районах вечной мерзлоты, болотистых и горных местах, на оползнях проектируют надземные магистральные трубопроводы на опорах.

На стадии изысканий под проект определяют наилучший кратчайший вариант трассы, который удовлетворял бы всем техническим условиям и требовал бы минимальных затрат на строительство. Варианты трассы намечают по топографической карте, придерживаясь наиболее короткого направления между начальным и конечным пунктами. По возможности стремятся приблизить трассу к существующим железным и автомобильным дорогам, чтобы использовать их при строительстве и эксплуатации

трубопровода. В настоящее время для выбора наилучшего варианта трассы широко применяют аэрофотосъемку.

На полевом этапе изысканий уточняют положение трассы в натуре и закрепляют ее основные точки, выбирают места переходов и площадки станций.

Для составления рабочих чертежей производят полевое трассирование трубопровода с измерением и закреплением углов поворота, разбивкой и нивелированием пикетажа, съемкой пересечений и переходов.

Вершины поворотов отмечают вехами и закрепляют столбами, при этом расстояния между угловыми знаками, а на длинных прямых участках — между створными точками должны быть 300...500 м.

Реперы размещают по трассе через 2...3 км вблизи больших углов поворота; целесообразнее их устанавливать на продолжении стороны трассы на расстоянии 10... 15 м от вершины угла. На длинных трассах в местах, не обеспеченных высотной основой, через каждые 10 км устанавливают железобетонные реперы. Все реперы в плановом положении привязывают к трассе. Саму трассу привязывают к геодезическим пунктам не реже чем через 50 км. При отсутствии вблизи трассы опорных пунктов через каждые 30...40 сторон определяют истинный азимут.

Для проектирования мест пересечения трубопроводом рек, оврагов, каналов, дорог дополнительно проводят подробную съемку этих мест в масштабе 1:500 или 1:1000.

На переходах через реки и овраги сооружают дюкер, т. е. трубопровод заглубляют в землю ниже дна препятствия; при пересечении горных дорог и глубоких ущелий возводят эстакаду.

Съемку участка перехода реки производят в масштабах 1:500... 1:1000 с сечением рельефа через 0,5 м. Снимают оба берега и дно реки. Съемку дна выполняют путем промеров глубин по трем створам: главному и двум боковым, расположенным выше и ниже по течению на 50...60 м от оси.

Одновременно с трассированием трубопровода производят изыскания и съемку площадок головных сооружений и промежуточных станций. Выбранные площадки снимают в масштабе 1:500. На основании материалов полевого трассирования составляют план трассы трубопровода в масштабах 1:5000... 1:10 000, планы отдельных пересечений и площадок в масштабах 1:500... 1:1000, а также продольный профиль трассы.

Перед строительством трубопровода восстанавливают и закрепляют углы поворота, пикетаж трассы, детально разбивают кривые, сгущают сеть рабочих реперов (не реже чем через 1 км), проводят контрольные измерения линий и повторное нивелирование. Одновременно с восстановлением трассы в соответствии с проектом разбивают и закрепляют колодцы и переходы. Точки креп-

ления выносят за пределы зоны земляных работ, т. е. примерно на 5 м в обе стороны от оси.

Для производства земляных работ необходима детальная разбивка траншеи, технология которой зависит от того, каким экскаватором будут выполняться эти работы. При использовании одноковшового экскаватора примерно через 10 м намечают на местности от закрепленной оси обе бровки траншеи и указывают глубину последней. Для правильной работы многоковшового экскаватора (канавокопателя) разбивают линию, которая параллельна оси трубопровода и отстоит от нее на величину, равную половине расстояния между внутренними гребнями гусениц канавокопателя. Эту линию закрепляют через 5... 10 м кольями, которые должны быть хорошо видны экскаваторщику.

При направлении грани соответствующей гусеницы вдоль линии кольев канавокопатель будет двигаться строго по намеченной трассе.

Чтобы избежать переборов грунта, траншеи не добирают до проектных отметок на величину 10... 15 см. Затем на пикетах и колодцах строят обноски и с помощью визирок зачищают окончательно дно траншеи. Обноска ставится перпендикулярно оси трубопровода. На колодцах, расположенных на поворотах трассы, обноску ставят на биссектрисе угла. От точек крепления на обноску выносят ось траншеи и закрепляют ее гвоздем. Натянув между осевыми точками соседних обносок проволоку и подвесив на нее отвес, проверяют плановое положение траншеи.

Производят высотную выверку дна траншеи с применением визирок.

На переломах продольного профиля трассы разбивают вертикальные кривые больших радиусов. Прямая вставка между началом и концом соседних кривых должна быть не менее 10... 20 м. На участках вертикальных кривых проектные отметки по дну траншеи устанавливаются с помощью нивелира, так как способ визирок на этих участках не может быть применен.

По окончании укладки трубопровода производят исполнительную съемку. В исполнительном продольном профиле показывают фактические отметки верха насыпи и верха трубопровода, отметки дна траншеи, диаметры уложенных труб и т.д. На плане отмечают отклонения от проекта, допущенные в процессе строительства.

Контрольные вопросы

1. Какие бывают линии электропередачи?
2. Что такое габаритные размеры приближения проводов?
3. Каковы особенности изысканий ЛЭП?
4. Какие прокладки относят к магистральным трубопроводам?
5. Каковы особенности изысканий магистральных трубопроводов?

ГЛАВА 27 ОРГАНИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

27.1. Организация геодезических работ в строительстве

Геодезические работы в строительстве представляют собой комплекс измерений, вычислений и построений в чертежах и натуре, обеспечивающих правильное и точное размещение зданий и сооружений, а также возведение их конструктивных и планировочных элементов в соответствии с геометрическими параметрами проекта и требованиями нормативных документов.

Геодезические работы являются составной частью процесса строительного проектирования и производства. Отсюда следует, что их содержание и технологическая последовательность должны определяться этапами и технологией основного производства.

При выборе площадки под строительство геодезические работы предусматривают сбор, анализ и обобщение материалов, необходимых для проектирования. Кроме того, для особо сложных физико-геологических процессов и крупных прецизионных сооружений иногда организуют геодезические наблюдения за деформациями земной поверхности.

Для строительства выполняют непосредственно топографо-геодезические изыскания и обеспечивают в геодезическом отношении другие виды изысканий.

При изготовлении строительных конструкций ведут контроль за соблюдением геометрических параметров формирующего оборудования и проводят статистический контроль геометрических параметров строительных конструкций.

В подготовительный период строительства создают геодезическую разбивочную основу, осуществляют инженерную подготовку территории и выносят в натуре главные и основные оси.

В основной период строительства выносят в натуре оси конструктивных и планировочных элементов, осуществляют геометрическое обеспечение строительно-монтажных работ, производят поэтапную исполнительную съемку законченных объектов, при необходимости ведут наблюдения за деформациями.

По окончании строительства составляют технический отчет о результатах выполненных в процессе строительства геодезических работ и составляют исполнительный генеральный план.

Геодезические работы в строительстве имеют свои специфические особенности, в значительной степени определяющие их организацию. Это сезонность полевых изыскательских работ и экспедиционный характер их выполнения, различие физико-географических и экономических условий на объектах, необходимость

высокой квалификации основных исполнителей, наличие непроизводительных организационно-ликвидационных мероприятий, необходимость частых переездов с одного рабочего места на другое, интенсивность движения транспорта и пешеходов при работах в городах и т. д.

Геодезические изыскательские работы организуются в основном по бригадному принципу. При изысканиях протяженных линейных трасс всю трассу делят на участки и каждой бригаде выделяют свой участок. Размеры участка определяют исходя из продолжительности полевого сезона или установленного срока окончания изысканий. Изыскания небольших трасс выполняет, как правило, одна специальная бригада. Состав бригады определяют в зависимости от назначения и категории трассы, квалификации исполнителей и т. п.

При изысканиях площадных сооружений чаще всего применяют комплексную организацию труда, при которой одна и та же бригада выполняет на объекте несколько видов работ. Хотя по численности такая бригада больше обычной, однако комплексная организация труда способствует повышению производительности за счет сокращения простоев, совмещения профессий и т. п.

Для выполнения изыскательских работ составляют специальный проект, который в общем случае содержит физико-географическое описание и топографо-геодезическую изученность района работ, схему и расчет точности построения геодезического обоснования, чертежи геодезических центров, требования к съемке, сведения об организации работ, перечень основных приборов и оборудования, смету и другие сведения, необходимые для производства работ.

Организация инженерно-геодезических работ на строительных и монтажных площадках обладает характерной особенностью. Прежде всего эти работы проводятся в сложных условиях строительной площадки в любое время года. От оперативности их выполнения зависит оперативность самих строительных работ, а иногда и своевременный ввод объектов в эксплуатацию. Брак в работе геодезиста на строительной площадке совершенно недопустим, так как может явиться причиной переделок дорогостоящих строительномонтажных работ.

Работа геодезиста на строительной площадке не всегда связана с необходимостью работать вместе со строителями. Это позволяет ему одновременно обслуживать несколько строительных бригад или объектов.

При организации геодезических работ необходимо учитывать, что измерения на строительной площадке затруднены из-за наличия большого числа транспортных и подъемных механизмов, складываемого оборудования и материалов и т. п. При таких условиях время на выполнение отдельных измерительных операций

может быть увеличено по сравнению с обычными полевыми условиями.

Условия выполнения геодезических работ при монтаже технологического оборудования аналогичны условиям на строительной площадке. Различие в основном состоит в том, что в большинстве случаев монтаж оборудования выполняют в помещениях и с более высокой точностью. На монтажной площадке геодезические работы могут выполняться одновременно на нескольких участках и в несколько смен. Многие виды работ требуют совместного участия геодезистов и монтажников. В этом случае для лучшей организации работ геодезическая бригада осуществляет только начальный и заключительный контроль положения монтируемого оборудования. Контроль всех промежуточных операций монтажники производят с помощью своих измерительных средств. Такая организация труда увеличивает его производительность и позволяет геодезической бригаде обслуживать несколько монтажных бригад.

Геодезические работы на строительных и монтажных площадках выполняют по специально разработанному проекту производства геодезических работ.

27.2. Лицензирование геодезических работ

Согласно законодательству Российской Федерации лицензирование геодезических работ уполномочены производить два федеральных ведомства: Федеральная служба геодезии и картографии и Государственный строительный комитет (Госстрой России).

Виды геодезической и картографической деятельности и конкретные перечни работ установлены соответствующими положениями о лицензировании. Они уточняются и видоизменяются в зависимости от требований народного хозяйства, но в целом соответствуют общей номенклатуре геодезических и картографических работ. Здесь мы рассмотрим только принципы лицензирования геодезических работ. Лицензии для права производства геодезических работ носят разрешительный характер. Органы государственного управления имеют право разрешать или запрещать их производство. Основанием для разрешения является наличие и предоставление в органы лицензирования соответствующей заявки от соискателя лицензий, а также обязательства выполнять правила, нормы и регламенты ведения работ.

Для получения лицензий соискатель лицензии подает в лицензионный орган *заявление-просьбу* с наименованием видов деятельности и перечнем работ. Кроме соответствующих документов юридического характера (устава, свидетельства о государственной регистрации, справки о постановке на учет в налоговых органах и

т.д.) заявитель своим квалификационным составом и наличием инструментов должен обосновать, а эксперт органа лицензирования подтвердить (проверить) возможность выполнять заявленные виды деятельности и конкретные работы.

При осуществлении строительной деятельности лицензируются в объеме СНиП 11-02—96 «Инженерные изыскания» и предусматривается получение лицензий, если геодезист намерен осуществлять следующие виды работ:

создание (развитие) опорных геодезических сетей, планово-высотных съемочных сетей;

обновление топографических (инженерно-топографических) планов;

топографические съемки в масштабах 1:10000... 1:200;

наземная фототопографическая съемка;

аэрофототопографические съемки;

стерефотограмметрические съемки;

съемки подземных сооружений;

трассирование линейных сооружений;

инженерно-гидрографические работы;

геодезические работы, связанные с переносом в натуре и привязкой инженерно-геологических выработок, геодезических и других видов изысканий;

геодезические стационарные наблюдения за деформациями зданий, сооружений и земной поверхности в районах развития опасных природных и техноприродных процессов;

составление инженерно-топографических планов.

Если геодезические работы производятся в процессе строительства, то требуется получение лицензии:

на создание геодезической основы для строительства;

разбивку внутриквартальных, кроме магистральных, линейных сооружений или их частей, временных зданий (сооружений);

создание внутренней разбивочной сети здания (сооружения);

геодезический контроль точности геометрических параметров зданий (сооружений) и исполнительные съемки с составлением исполнительной геодезической документации;

геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий (сооружений) и их частей.

Как уже отмечалось, при получении лицензий геодезисты подтверждают возможность выполнять заявленные виды работ. Однако главным является выполнение лицензионных требований и условий при осуществлении работ. Эти условия заключаются при соблюдении лицензиатом законодательства Российской Федерации и субъектами Российской Федерации экологических, санитарно-эпидемиологических, гигиенических, противопожарных норм и правил, а также положений о лицензировании конкретных видов деятельности: выполнение лицензиатом разрешенных лицензией

видов работ; квалификационные требования к лицензиату (квалификационные требования к работникам юридического лица или гражданину, являющемуся индивидуальным предпринимателем); требования по выполнению геодезических работ на территориях с особо сложными геолого-климатическими условиями; соблюдение требований по охране труда и техники безопасности; наличие системы контроля качества выполняемых работ; страхование рисков.

Проверки выполнения лицензионных требований и условий осуществляют лица, уполномоченные Госстроем России, Федеральным лицензионным центром при Госстрое России, Роскартографией или территориальными лицензионными органами на местах. При необходимости в качестве проверяющих экспертов и консультантов в проверках участвуют ведущие специалисты экспертных базовых центров, научно-исследовательских и учебных организаций и учреждений, испытательных лабораторий, имеющих лицензии на осуществление контроля качества.

Руководители проверяемых организаций обязаны обеспечить проверяющим: свободный доступ в служебные и производственные помещения, к технической документации, на объекты при предъявлении уведомления или доверенности на право проверки; предоставление документов и сведений, необходимых для проведения проверки.

При несоблюдении условий лицензирования действие лицензии приостанавливается или она аннулируется.

27.3. Стандартизация в инженерно-геодезических работах

Стандартизация — это процесс установления и применения правил для упорядочения деятельности человека в данной сфере производства. Задачей стандартизации в инженерно-геодезических работах является обеспечение единства измерений, вычислений и построений на чертежах и в натуре. Решение этой задачи обеспечивает система стандартов, норм и правил.

В России действуют четыре категории стандартов, различающихся по сфере действия: государственный общероссийский стандарт (ГОСТ), стандарт субъекта Федерации (ССФ), отраслевой стандарт (ОСТ) и стандарт предприятий (СТП). В странах СНГ, в том числе и в нашей стране, действуют также стандарты СЭВ (не отмененные) и ISO (введенные).

Непосредственное отношение к геодезическим работам в строительстве имеют стандарты группы «Система обеспечения геометрической точности в строительстве». Это ГОСТ 21778—81 «Основные положения», ГОСТ 21779—82 «Технологические допуски», ГОСТ 21780—83 «Расчеты точности», ГОСТ 23616—79 «Общие

правила контроля точности», ГОСТ 26433.0—85 «Правила выполнения измерений». При геодезических работах в строительстве используют ГОСТы из других разделов, относящихся к геодезической терминологии, геодезическим приборам, технологии измерений и т. п.

Систему общероссийских нормативных документов по проектированию и строительству представляют строительные нормы и правила (СНиП), состоящие из шести частей. Каждая часть подразделяется на группы, а группы — на отдельные главы, которые издаются самостоятельно и содержат требования к конкретному виду работ. Части группы и главы обозначаются арабскими цифрами. Так, например, 1.01.01—82 означает, что данный СНиП относится к части 1, группе 01, главе 01 и утвержден в 1982 г. Указанный СНиП, называемый «Система нормативных документов в строительстве. Основные положения» определяет новую систему СНиПов, введенную в действие в 1982 г. С 1994 г. вводятся стандарты, утверждаемые Госстроем России.

Приведем состав данного СНиПа:

Часть 1. «Организация, управление, экономика». Состоит из 12 групп.

Часть 2. «Нормы проектирования». Состоит из 12 групп.

Часть 3. «Организация, производство и приемка работ». Включает в себя девять групп.

Часть 4. «Сметные нормы». Не делится на группы.

Часть 5. «Нормы затрат материальных и трудовых ресурсов». Состоит из четырех групп.

Часть 6. «Эксплуатация и ремонт зданий, сооружений и конструкций». Содержит две группы.

Дополнением к СНиПу служат различного рода инструкции, правила, указания и технические условия, именуемые «Строительные нормы» (СН) и строительные правила (СП). С соответствующим индексом и годом утверждения они входят в состав групп СНиПов.

Геодезические работы регламентируются двумя основными документами. СНиП 3.01.03—84 «Геодезические работы в строительстве» содержат требования к геодезической разбивочной основе, разбивочным работам, контролю точности выполнения строительного-монтажных работ, а также определяют условия обеспечения точности геодезических измерений. СНиП 11-02—96 «Инженерные изыскания для строительства» и СП 11-104—97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства» регламентируют производство всего комплекса геодезических работ при инженерно-геодезических изысканиях. Во многих СНиПах, относящихся к различным видам проектных и строительных работ, имеются разделы, определяющие требования к точности геодезических разбивок и построения разбивочной геодезической основы.

Геодезические работы в строительстве могут быть регламентированы местными (например, МГСН — Московские строительные нормы) и ведомственными (ВСН) строительными нормами. Используются также нормативная и инструктивная документация Федеральной службы геодезии и картографии России. Всего используется свыше 25 общероссийских стандартов и СНИПов, где приведены нормы и правила геодезических работ.

27.4. Техника безопасности при выполнении инженерно-геодезических работ

Инженерно-геодезические работы выполняют в различных условиях: на территориях городов и промышленных объектов, в лесных и труднодоступных местах, на участках железных и автомобильных дорог, возводимых зданиях и сооружениях и т. д. Для предупреждения несчастных случаев и травм в этих условиях все работы должны выполняться с соблюдением специальных правил и инструкций по технике безопасности. Для ознакомления всех без исключения работающих с этими правилами проводятся специальные инструктажи. Различают инструктаж вводный и на рабочем месте. Повторный инструктаж проводится через установленное время, при внедрении новой технологии, нового оборудования и введении новых правил по технике безопасности.

При выполнении геодезических работ на строительных площадках прежде всего соблюдаются общие правила техники безопасности строительства.

На строительных площадках устанавливают знаки безопасности и надписи около опасных зон, где действуют или могут возникнуть опасные производственные факторы, например «Зона работы крана», «Открытые проемы» и т. д.

К таким зонам относятся: пространство вблизи неизолированных токоведущих частей электроустановок; места передвижения машин, хранения вредных веществ; территория, над которой перемещают грузы грузоподъемными кранами, где работает оборудование с вращающимися рабочими органами и ведутся сварочные работы. Строящиеся здания и сооружения ограждают заборами или козырьками.

При сварочных и других работах, при которых возможно возгорание, соблюдают правила пожарной безопасности. Около мест, где ведутся такие работы, устанавливают средства для тушения пожара и вывешивают инструкции по их применению.

Строительную площадку и подходы к ней в темное время суток равномерно освещают.

Колодцы, шурфы и другие выемки в грунте, а также проемы в перекрытиях зданий и сооружений закрывают щитами или огора-

живают, в темное время на этих ограждениях горят электрические сигнальные лампы.

Для подъема и спуска на рабочие места при строительстве зданий и сооружений высотой или глубиной 25 м и более применяют пассажирские и грузопассажирские подъемники (лифты). Рабочие, находящиеся на высоте, пользуются предохранительными поясами, которые крепят к надежным конструкциям.

При выполнении работ с применением лазерного луча в местах возможного прохода людей устанавливают экраны, исключающие распространение луча за пределы мест производства работ.

Если работы выполняют по одной вертикали, то места, расположенные ниже нее, оборудуют защитными устройствами.

Учащиеся профессионально-технических училищ и техникумов в возрасте до 18 лет, но не моложе 17 лет при прохождении производственной практики на объектах строительства по профессиям, предусматривающим выполнение строительно-монтажных работ, к которым предъявляются дополнительные требования по безопасности труда, могут работать не более 3 ч. Работы должны выполняться под руководством и наблюдением мастера производственного обучения и работника строительно-монтажной организации, назначенных для руководства практикой. В остальных случаях учащиеся профессионально-технических и технических училищ, средних специальных учебных заведений во время прохождения производственной практики или работы трудятся под наблюдением инженерно-технического работника, ответственного за безопасное ведение работ. Всех учащихся обучают безопасным методам и приемам производства по типовым программам.

При выполнении геодезических работ, сопутствующих строительным, выполняют все правила техники безопасности, установленные для данного вида строительных работ, а также специфические.

До начала полевых топографо-геодезических работ в городских условиях, населенных пунктах и на территориях промышленных объектов устанавливают схемы размещения скрытых объектов: подземных коммуникаций и сооружений. При работе в городе необходимо знать правила дорожного движения; при работе на проезжих частях надо надевать демаскирующую (оранжевую) одежду и выставлять оградительные щиты. Проведение работ на улицах и площадях с интенсивным движением согласовывают с ГИБДД.

По проезжей части дороги разрешается ходить только у кромки тротуара навстречу движущемуся транспорту — в таком направлении и ведутся измерения в ходах. Запрещается оставлять геодезические приборы без надзора на проезжих частях улиц и дорог.

Высоту подвесных проводов линий электропередачи, электроподстанций определяют аналитическим путем, не касаясь прово-

дов рейками, рулетками, вешками. Рейки, вешки и другие предметы, применяемые для измерений, не разрешается подносить ближе чем на 2 м к электропроводам, в том числе контактными на железных дорогах и трамвайных линиях.

При закладке временных кольев, штырей и других знаков их верхнюю часть забивают вровень с поверхностью земли, а их длина не должна быть более 15 см.

При геодезических измерениях, выполняемых в процессе земляных, каменных, бетонных и монтажных работ, соблюдают правила безопасности, предписываемые для данных строительных работ.

На работы в пределах охранных зон кабелей, находящихся под напряжением, или действующего газопровода, необходимо разрешение соответствующего электро- или газового хозяйства. При нивелирных работах вблизи стен не разрешается переходить по стенным перекрытиям. Рейку устанавливают на подмостах, высота которых должна быть ниже уровня кладки на 0,7 м. При необходимости делать разметку на внешних плоскостях стен работают с предохранительными поясами.

При бетонных работах во время электронагрева бетона нельзя касаться рулеткой арматуры, а также выполнять разбивочные и выверочные работы в зоне монтажа. При скорости ветра 15 м/с и более, гололедице, грозе или тумане, исключающем видимость в пределах фронта работ, прекращают все работы, в том числе и геодезические на высоте в открытых местах.

Запрещается размечать оси и другие ориентиры на элементах конструкций во время их подъема, перемещения или в подвешенном состоянии. Нельзя оставлять геодезические приборы и принадлежности без присмотра на монтажном горизонте во время перерыва в работе. Геодезические приборы переносят только в упаковочных ящиках, а штативы — в сложенном виде.

Съемка существующих подземных коммуникаций, как правило, связана с их обследованием. При обследовании снимают крышки колодцев и ставят около них треногу со знаком «Опасность».

Перед спуском людей в колодец проверяют, нет ли в нем газа, опуская в него шахтерскую лампу. Если в колодце есть метан, лампа гаснет или сильно уменьшает силу света, а при наличии светильного газа — вспыхивает и гаснет. От паров бензина пламя лампы удлиняется и окрашивается в синий свет, от аммиачного газа без вспышки гаснет. Если лампа не гаснет, а горит ровным светом (таким же, как и на поверхности), то газов в колодце нет и можно спускаться. Запрещается проверять газ по запаху, бросать в колодец зажженную бумагу или опускать горящую свечу или фонарь.

Во время работы следят за открытыми люками, не допуская к ним посторонних людей. По окончании работы или при перерыве

все люки колодцев плотно закрывают крышками. Инструменты, лампы и предметы опускают в колодец на веревке после подачи работающим в колодце условного сигнала. Колодец освещают шахтерской лампой. Работы ведут в рукавицах.

Металлические рейки опускают в колодец и вынимают из него по частям, не касаясь проводов.

К работе на дорогах допускаются лица в демаскирующей одежде оранжевого цвета. На время работы выделяют двух сигнальщиков, которые оповещают работающих о приближении транспортных средств. На автодорогах сигнальщики должны находиться на расстоянии 50... 100 м с обеих сторон от места работы, а на железных — не менее 1 км. Во время тумана, метели, грозы работать на дорогах не разрешается. Переходы, промеры по дорогам ведут по бровкам, а не по полотну.

При измерениях стальной лентой или рулеткой через рельсы электрифицированных железных дорог полотно держат навесу. Нельзя пролезать под вагонами, перетаскивать под ними геодезические приборы и инвентарь, проходить между буферами вагонов, если расстояние между ними менее 5 м.

Если работы ведутся на мосту длиной менее 50 м, то его на время прохождения поезда освобождают. При длине моста более 50 м работающие укрываются в нишах.

При постройке и закладке геодезических знаков выполняют следующие правила.

К работам допускаются только лица, имеющие специальную подготовку, прошедшие обучение безопасным методам ведения работ по закладке знаков.

Заготовку деталей знаков ведут на земле, работы выполняют топором и пилой. При протесывании бревен нельзя придерживать их ногами — бревно закрепляют на подкладках П-образными скобами и следят за тем, чтобы топор не соскользнул на ногу. Раскалывая чурбаки, нельзя придерживать их ногой.

При сборке металлических знаков гаечные ключи, которыми пользуются верхолазы, привязывают лямками к кистям рук. Винты, болты, шайбы хранят в карманах на спецодежде или в подвешенных сумках.

Если знаки строят на крыше здания, то работающие привязываются цепью верхолазного ремня к стропилам крыши.

К самостоятельному верхолазным работам согласно действующему законодательству Российской Федерации допускаются лица не моложе 18 лет. Они должны проходить специальный медицинский осмотр, а впервые приступающие в течение одного года должны работать под непосредственным надзором опытных рабочих.

Рытье котлованов для закладки и канав для маркировки подземных центров геодезических знаков, вырубку углублений в кир-

пичных и железобетонных стенах для закладки реперов производят, как правило, механическими средствами. При рытье котлованов вручную запрещается вести работы подкопом.

Бетонные монолиты и другие материалы опускают в котлованы в соответствии с правилами погрузочно-разгрузочных работ.

Начиная с 1993 г. Госстроем России введены типовые инструкции по охране труда для работников строительных профессий (ТОИ Р66—01; 02 и т.д.). Таких инструкций утверждено свыше 60. Государственной противопожарной службой МВД России утверждены Правила пожарной безопасности (ППБ), три части, свыше 10 выпусков. Издаются также Руководящие документы в строительстве (РДС).

Руководитель геодезических работ на объекте строительства обязан изучить эти нормы, провести инструктаж подчиненных работников и несет ответственность за их соблюдение.

Контрольные вопросы

1. Как организуются геодезические работы в строительстве?
2. Для чего необходимо лицензирование геодезических работ?
3. На какие основные виды геодезических работ требуется получить лицензию?
4. Каким образом стандартизируются геодезические работы?
5. Каковы основные правила по технике безопасности при производстве геодезических работ в строительстве?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Электронные тахеометры, представленные на российском рынке
и их основные технические характеристики

Марка тахеометра, страна или фирма	Погрешность		Дальность на одну призму, м	Память	Примечание
	измерения расстояния, мм	измерения угла,			
ЗТa5, Россия	3	5	1000	РСМ-СИА карта памяти 1 Мбайт	
SET 600, «Sokkia»	3	6	1600	2000 точек	Русифицирован
SET 500, «Sokkia»	3	5	1600	4000 точек	До 100... 200м применение пленочных отражателей, русифицирован
SET 4010, «Sokkia»	2	5	1800	5000 точек+ + карта памяти 2000 точек	То же
SET 3010, «Sokkia»	2	3	2200	5000 точек+ + карта памяти 2000 точек	До 100...200м применение пленочных отражателей
SET 2010, «Sokkia»	2	2	2400	То же	То же
SET 1010, «Sokkia»	2	1	2400	»	»
Constructor 55 (Elta R55)	5	5	1300	1900 точек	Зарядное устройство, мини-призма, кабель передачи данных, русифицирован
Elta R45	3	3	1500	1900 точек	Аккумулятор, русифицирован, температура воздуха до -33 °С

Марка тахеометра, страна или фирма	Погрешность		Дальность на одну призму, м	Память	j Примечание
	измерения расстояния, мм	измерения угла,			
Elta C20	2	2	2500	Внутренняя память 1 Мбайт	Аккумулятор, лазерный отвес, трэк-лайт
Elta C30	2	3	2500	Тоже	Тоже
Elta S10	1	1	2500	8000 точек РСМ-СІА карта памяти 1 Мбайт	Поиск, трэк-лайт, сервопривод, файн-лок, выносной дисплей, квик-лок сенсор, аккумулятор
Elta S20	2	3	2500	Тоже	Тоже
GTS 213, «Topcon»	5	10	600	500 точек	—
GTS 212, «Topcon»	3	6	900	2000 точек	—
GTS 2110, «Topcon»	3	5	1100	2000 точек	Суперводозащита
GTS 312, «Topcon»	2	3	2500	3000 точек	—
GTS 311, «Topcon»	2	2	2700	3000 точек	—
GTS 802A, «Topcon»	2	3	2400	5000 точек+ РСМ-СІА карта памяти	Система автоматического слежения
GTS-605CAF, «Topcon»	2	5	3000	RAM 640 Кбайт + карта памяти compact Flash (тип 1) до 32 Мбайт	Автофокусирование, лазерный отвес, система створоруказания, программы «Измерение точ-

Марка тахеометра, страна или фирма	Погрешность		Дальность на одну призму, м	Память	Примечание
	измерения расстояния, мм	измерения угла,			
					ки на плоскости», «Определение оси колонны», русифицирован
GTS-603CAF, «Topcon»	2	3	3000	Тоже	Тоже
GTS-602 CAF, «Topcon»	2	2	3000	»	»
GTS-601 CAF, «Topcon»	2	1	3000	»	»
GTS-6005C, «Topcon»	3	5	7000	»	До 150 м безотражательный режим, автофокусирование, лазерный отвес, система створоуказания, программы «Измерение точки на плоскости», «Определение оси колонны», русифицирован
GTS-6003C, «Topcon»	3	3	7000	»	До 150 м безотражательный режим, лазерный отвес,

Марка тахеометра, страна или фирма	Погрешность		Дальность на одну призму, м	Память	Примечание
	измерения расстояния, мм	измерения угла,			
GTS-6003С, «Topcon»					система створуказания, программы «Измерение точки на плоскости» и «Определение оси колонны», русифицирован
GTS-6002С, «Topcon»	3	2	7000	Тоже	Тоже
GTS-6001 С, «Topcon»	3	1	7000	»	»
DTM-352, «Nikon»	3	5	2300	10000 точек	До 60 м применение отражающих марок, зарядное устройство, русифицирован
DTM-551, «Nikon»	2	1	2700	8000 точек	Система автоматического слежения, до 100м примененные рефлекторных марок
DTM-531, «Nikon»	2	2	2700	Тоже	Тоже
DTM-521, «Nikon»	2	3	2700	»	»
NPL-821, «Nikon»	5	3	5000	—	—
NPL-350, «Nikon»	5	5	5000	5000 точек	Безотражательный режим (коаксиальная система фоку-

Марка тахеометра, страна или фирма	Погрешность		Дальность на одну призму, м	Память	Примечание
	измерения расстояния, мм	измерения угла,			
					сировки излучения дальномера)
TS 3305DR, «Trimble»	3	5	3000	1900 измерений	До 100 м безотражательный режим, русифицирован
TS 3305 X-treme, «Trimble»	5	5	1300	1900 измерений	Работа до -35 °С, русифицирован
TS 3303DR, «Trimble»	3	3	3000	1900 измерений	До 100 м безотражательный режим, русифицирован
TS 3303 X-treme, «Trimble»	5	3	1300	1900 измерений	Работа до -35 °С, русифицирован
TS 3605DR, «Trimble»	2	5	3000	32000 измерений	До 150 м безотражательный режим, лазерный створочный указатель, ИК-порт, ПО Expert
TS 3603DR, «Trimble»	2	3	3000	32000 измерений	До 150 м безотражательный режим, лазерный створочный указатель, ИК-порт, ПО Expert, русифицирован
TS 3602DR, «Trimble»	2	2	3000	5000 точек	То же

Марка тахеометра, страна или фирма	Погрешность		Дальность на одну призму, м	Память	Примечание
	измерения расстояния, мм	измерения угла,			
TS 3602DR, «Trimble»	1	2	3000	5000 точек	До 150 м безотражательный режим, лазерный створочный указатель, ИК-порт, ПО Expert, русифицирован
TS 3601DR, «Trimble»	1	1,5	3000	5000 точек	То же
TS 5603 Servo Special, «Trimble»	3	3	1800	5000 точек	До 150 м безотражательный режим, сервопривод
TS 5603 Autolock Special, «Trimble»	3	3	1800	5000 точек	Autolock (автозахват цели)

Таблица П.2

Основные технические характеристики некоторых спутниковых приемников, представленных на российском рынке

Марка приемника, фирма-производитель	Система	Точность измерения координат						Число каналов отслеживания спутников
		Статика		Кинематика		В реальном времени		
		в плане	по высоте	в плане	по высоте	в плане	по высоте	
Z-Xtreme, «Ashtech»	NAV-STAR	5 мм + 1 ppm	5 мм + 1 ppm	10 мм + 1 ppm	10 мм + 1 ppm	1,0 см	1,7 см (СКО)	36 (паралл.)
GG Surveyor, «Ashtech»	ГЛО-НАСС GPS	5мм + 1 ppm 5мм + 1 ppm	10 мм + 1 ppm 10 мм + 1 ppm	—	—	100 см 90 см	100 см 90 см	12 12

Окончание табл. П.2

Марка приемника, фирма-производитель	Система	Точность измерения координат						Число каналов отслеживания спутников
		Статика		Кинематика		В реальном времени		
		в плане	по высоте	в плане	по высоте	в плане	по высоте	
PROMark 2, «Ashtech»	GPS WAAS EGNOS	5 мм + 1ppm То же	10 мм + 2ppm То же	12мм+ + 2,5 ppm То же	15мм+ + 2,5 ppm То же	< 3м	—	10 (паралл.) 1
Prego, «Iavad»	GPS ГЛО-НАСС	3мм+ + 1ppm То же		10мм+ + 1,5 ppm То же				20 20
IGG-20, «Iavad»	GPS ГЛО-НАСС WAAS Inmarsat	10мм+ + 1ppm То же	10 мм+ + 1ppm То же					20 20
Trimble 5700, «Trimble»	GPS WAAS EGNOS	5мм+ 0,5 мм/км То же	5мм+ 1 мм/км То же	10мм+ 1 мм/км То же	20мм+ 1 мм/км То же	25см+ 1 мм/км 3...5м То же	50 см + 1 мм/км 3...5м То же	24
4600LS «Trimble»	GPS	5мм+ 1 мм/км	10мм+ 2 мм/км	1 см+ 1 мм/км	2 см+ 1 мм/км			12
GeoXM (Geo Explorer) «Trimble»	GPS WAAS	< 1 м				2...5м		8
Geo XT (Geo Explorer CE) «Trimble»	GPS WAAS	30 см				< 1 м		12

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В.Д., Маркузе Ю.И.* Практикум по теории математической обработки геодезических измерений. — М.: Недра, 1983.
2. Геодезические методы исследования деформаций сооружений / А. К. Зайцев, С.В.Марфенко, Д.Ш.Михелев и др. — М.: Недра, 1991.
3. Геодезические работы при строительстве мостов / В.А. Коугия, В.В.Грузинов, О. Н. Малковский и др. — М.: Недра, 1986.
4. *Григоренко А. Г., Киселев М.И.* Инженерная геодезия. — М.: Высш. шк., 1993.
5. Инженерно-геодезические работы для проектирования и строительства энергетических объектов / А.А.Карлсон, Л.И.Пик, О.А.Пономарев и др. — М.: Недра, 1986.
6. Инженерная геодезия / Е.Б.Клюшин, М.И.Киселев, Д.Ш.Михелев и др. — М.: Высш. шк., 2002.
7. *Клюшин Е.В., Михелев Д.Ш.* Инженерная геодезия. — М.: Недра, 1990.
8. *Левчук Г. П., Новак В.Е., Конусов В. Г.* Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. — М.: Недра, 1981.
9. *Левчук Г.П., Новак В. Е., Лебедев Н. Н.* Прикладная геодезия. Геодезические работы при изыскании и строительстве инженерных сооружений. — М.: Недра, 1983.
10. *Маслов А. В.* Способы и точность определения площадей. — М.: Геодиздат, 1955.
11. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве / В.Д.Большаков, И.Ю.Васютинский, Е.Б.Клюшин и др. — М.: Недра, 1976.
12. Практикум по прикладной геодезии. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений. — М.: Недра, 1993.
13. *Фельдман В.Д., Михелев Д.Ш.* Основы инженерной геодезии. — М.: Высш. шк., 2001.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	4

ЧАСТЬ I. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Глава 1. Общие сведения	6
1.1. Понятие о форме и размерах Земли.....	6
1.2. Метод проекций в геодезии.....	7
1.3. Определение положения точек на земной поверхности.....	7
1.4. Влияние кривизны Земли на измерение горизонтальных и вертикальных расстояний.....	11
Глава 2. Ориентирование линий на местности. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости	13
2.1. Сближение меридианов. Склонение магнитной стрелки. Азимуты. Дирекционные углы. Румбы.....	13
2.2. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости.....	17
2.3. Измерения и построения в геодезии.....	18
Глава 3. Геодезические планы, карты и чертежи	21
3.1. Понятие о геодезических планах, картах и чертежах.....	21
3.2. Масштабы.....	22
3.3. Номенклатура карт и планов.....	24
3.4. Условные знаки на планах, картах, геодезических и строительных чертежах.....	28
3.5. Рельеф местности и способы его изображения.....	30
3.6. Уклон линии. График заложений.....	33
3.7. Ориентирование на местности с помощью карты.....	35
3.8. Способы измерения площадей на планах и картах.....	35
3.9. Решение задач на топографических планах (картах).....	37
3.10. Изображение земной поверхности в цифровом виде.....	40
Глава 4. Элементы теории погрешностей геодезических измерений	42
4.1. Погрешности измерений.....	42
4.2. Свойства случайных погрешностей измерений.....	43
4.3. Принцип арифметической середины.....	43
4.4. Средняя квадратическая погрешность.....	44
4.5. Предельная, абсолютная и относительная погрешности.....	46
4.6. Средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин.....	46

4.7. Двойные измерения.....	48
4.8. Понятие о весе измерения. Общая арифметическая средина.....	49
4.9. Понятие о правилах и технике геодезических вычислений.....	50
Глава 5. Угловые измерения.....	52
5.1. Схема измерения горизонтального угла.....	52
5.2. Зрительная труба.....	54
5.3. Уровни и их устройство.....	57
5.4. Теодолиты.....	59
5.5. Инструментальные погрешности.....	63
5.6. Поверки и юстировки теодолитов.....	64
5.7. Центрирование теодолита. Приведение измеренных направлений к центрам знаков.....	67
5.8. Измерение горизонтальных углов.....	68
5.9. Измерение вертикальных углов.....	69
5.10. Экер и его применение.....	72
Глава 6. Измерение длины линий.....	74
6.1. Измерение длины линий мерными приборами.....	74
6.2. Измерение длины линий дальномерами.....	83
Глава 7. Измерение превышений.....	89
7.1. Сущность и методы измерения превышений.....	89
7.2. Геометрическое нивелирование.....	89
7.3. Нивелиры и их устройство.....	92
7.4. Поверки и юстировки нивелиров.....	96
7.5. Тригонометрическое нивелирование.....	98
7.6. Понятие о барометрическом нивелировании.....	100
7.7. Понятие о гидростатическом нивелировании.....	101
7.8. Производство геометрического нивелирования.....	102
7.9. Нивелирование по квадратам.....	103
Глава 8. Современные геодезические приборы.....	105
8.1. Лазерные геодезические приборы.....	105
8.2. Электронные теодолиты и тахеометры.....	106
8.3. Приборы вертикального проектирования.....	108
8.4. Использование спутниковых технологий в инженерной геодезии.....	109
Глава 9. Геодезические сети.....	112
9.1. Общие сведения о геодезических сетях.....	112
9.2. Плановые геодезические сети.....	113
9.3. Высотные геодезические сети.....	115
9.4. Знаки для закрепления геодезических сетей.....	116
Глава 10. Топографические съемки.....	119
10.1. Понятие о топографической съемке.....	119
10.2. Съемочное плановое обоснование.....	120
10.3. Высотное съемочное обоснование.....	125

10.4. Аналитический метод съемки.....	127
10.5. Тахеометрическая съемка.....	131
10.6. Фототопографическая съемка.....	134
10.7. Специальные методы съемки.....	136

ЧАСТЬ 2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Глава 11. Инженерные изыскания для строительства	138
11.1. Виды и задачи инженерных изысканий.....	138
11.2. Изыскания площадных сооружений.....	139
11.3. Изыскания для линейных сооружений.....	142
11.4. Современные методы инженерных изысканий.....	145
Глава 12. Инженерно-геодезические опорные сети	146
12.1. Назначение, виды и особенности построения опорных сетей.....	146
12.2. Триангуляционные сети.....	148
12.3. Трилатерационные сети.....	150
12.4. Линейно-угловые сети.....	152
12.5. Полигонометрические сети.....	154
12.6. Геодезическая строительная сетка.....	156
12.7. Высотные опорные сети.....	158
Глава 13. Геодезические разбивочные работы	160
13.1. Назначение и организация разбивочных работ.....	160
13.2. Нормы и принципы расчета точности разбивочных работ.....	162
13.3. Вынос в натуру проектных углов и длин линий.....	165
13.4. Вынос в натуру проектных отметок, линий и плоскостей проектного уклона.....	168
13.5. Способы разбивочных работ.....	171
Глава 14. Общая технология разбивочных работ	182
14.1. Геодезическая подготовка проекта.....	182
14.2. Основные разбивочные работы.....	184
14.3. Закрепление осей сооружений.....	188
Глава 15. Геодезические работы при планировке и застройке городов	190
15.1. Планировка и проектирование городской территории.....	190
15.2. Составление и расчеты проекта красных линий.....	194
15.3. Вынесение в натуру и закрепление красных линий, осей проездов, зданий и сооружений.....	196
15.4. Составление плана организации рельефа.....	200
15.5. Составление плана земляных масс.....	203
15.6. Вынесение в натуру проекта организации рельефа.....	205
Глава 16. Геодезические работы при строительстве гражданских и промышленных зданий	207
16.1. Гражданские здания и состав геодезических работ при их возведении.....	907

16.2. Геодезические работы при возведении подземной части зданий.....	209
16.3. Построение базисных осевых систем и разбивка осей на исходном горизонте.....	217
16.4. Перенос осей и отметок на монтажные горизонты.....	218
16.5. Геодезические работы при возведении надземной части зданий различной конструкции.....	222
16.6. Геодезические работы при строительстве промышленных сооружений.....	228
16.7. Разбивка и выверка подкрановых путей.....	233
Глава 17. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подземных коммуникаций.....	239
17.1. Общие сведения о подземных коммуникациях.....	239
17.2. Разбивка подземных коммуникаций и геодезические работы при их укладке.....	241
17.3. Съёмка подземных коммуникаций.....	243
17.4. Поиск подземных коммуникаций.....	245
Глава 18. Исполнительные съёмки.....	248
18.1. Назначение и методы исполнительных съёмок.....	248
18.2. Исполнительные съёмки в строительстве.....	249
18.3. Составление исполнительных генеральных планов.....	254
Глава 19. Наблюдения за деформациями сооружений геодезическими методами.....	256
19.1. Виды деформаций и причины их возникновения.....	256
19.2. Задачи и организация наблюдений.....	257
19.3. Точность и периодичность наблюдений.....	259
19.4. Основные типы геодезических знаков и их размещение.....	260
19.5. Наблюдения за осадками сооружений.....	262
19.6. Наблюдения за горизонтальными смещениями сооружений.....	265
19.7. Наблюдения за кренами, трещинами и оползнями.....	267
19.8. Обработка и анализ результатов наблюдений.....	270
Глава 20. Геодезические работы при изысканиях и строительстве дорог и мостов.....	274
20.1. Камеральное трассирование.....	274
20.2. Полевое трассирование.....	276
20.3. Восстановление дорожной трассы и разбивка кривых.....	284
20.4. Разбивка земляного полотна дороги.....	287
20.5. Разбивка верхнего строения дороги.....	291
20.6. Построение мостовой разбивочной основы.....	293
20.7. Разбивочные работы при возведении опор и пролетных строений моста.....	296

Глава 21. Геодезические работы при строительстве гидротехнических сооружений	298
21.1. Гидротехнические сооружения и состав геодезических работ при их возведении.....	298
21.2. Вынос в натуру проектного контура водохранилища.....	301
21.3. Геодезическое обоснование для строительства гидротехнических сооружений.....	302
21.4. Разбивочные работы на площадке гидроузла.....	306
21.5. Геодезическое обеспечение монтажных работ на гидроузле.....	309
21.6. Геодезические работы при гидромелиоративном строительстве.....	310
Глава 22. Геодезические работы при строительстве тоннелей	313
22.1. Виды тоннелей и способы их сооружения.....	313
22.2. Основные виды геодезических работ, выполняемых при строительстве тоннелей.....	316
22.3. Планово-высотное геодезическое обоснование.....	317
22.4. Ориентирование подземных выработок.....	319
22.5. Передача отметки в подземные выработки.....	323
22.6. Геодезические разбивочные работы при подземном строительстве.....	325
Глава 23. Геодезическое обеспечение земельного кадастра	327
23.1. Общие понятия о земельном кадастре.....	327
23.2. Состав геодезических работ для кадастра.....	329
23.3. Способы и точность определения площадей земельных участков.....	330
23.4. Вынос в натуру и определение границ землепользования.....	335
23.5. Понятие о геоинформационных системах (ГИС).....	338
23.6. Геоинформационные системы в кадастре.....	339
Глава 24. Геодезические работы при лесоустройстве	341
24.1. Понятие о лесоустройстве.....	341
24.2. Геодезические работы при подготовке к лесоустройству.....	342
24.3. Геодезические работы при организации территории и подготовке к лесотаксационным работам.....	343
24.4. Геодезические работы при инвентаризации лесных массивов.....	345
24.5. Геодезические работы при отводе лесосек.....	346
Глава 25. Вынос в натуру и планово-высотная привязка геологических выработок и геофизических точек	347
25.1. Понятие о горных выработках.....	347
25.2. Вынос в натуру горных выработок.....	348
25.3. Планово-высотная привязка горных выработок.....	350
25.4. Геодезические работы при геофизической разведке.....	351

Глава 26. Геодзическое обеспечение строительства линий электропередачи, связи и магистральных трубопроводов	352
26.1. Воздушные линии электропередачи и связи.....	352
26.2. Магистральные трубопроводы.....	355
Глава 27. Организация инженерно-геодзических работ. Техника безопасности	358
27.1. Организация геодзических работ в строительстве.....	358
27.2. Лицензирование геодзических работ.....	360
27.3. Стандартизация в инженерно-геодзических работах.....	362
27.4. Техника безопасности при выполнении инженерно-геодзических работ.....	364
Приложение.....	369
Список литературы.....	376

Учебное издание

**Киселев Михаил Иванович,
Михелев Давид Шавевич**

Геодезия

Учебник

Редактор *Л. В. Толочкова*
Технический редактор *Н. И. Горбачева*
Компьютерная верстка: *Г. Ю. Никитина*
Корректоры *Е.А. Чуйко, М.В. Дьяконова*

Диaposитивы предоставлены издательством.

Изд. № А-1039-П. Подписано в печать 23.03.2004. Формат 60х90/16.
Гарнитура «Тайме». Бумага тип. № 2. Печать офсетная. Усл. печ. л. 24,0.
Тираж 8000 экз. Заказ № 13030.

Лицензия ИД № 02025 от 13.06.2000. Издательский центр «Академия».
Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.02.953.Д.003903.06.03 от 05.06.2003.
117342, Москва, ул. Бутлерова, 17-Б, к. 223. Тел./факс: (095)330-1092, 334-8337.

Отпечатано на Саратовском полиграфическом комбинате.
410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.