

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
ЧИТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ЧитГУ)

С.В. Смолич, А.Г. Верхотуров, В.И.Савельева



ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Учебное пособие для студентов строительных
специальностей ВУЗов

Чита 2009

УДК 624.131.32 (075)

ББК 26.1 я 7

С 512

Рецензенты:

1) Д.М. Шестернев д-р.техн.наук, профессор, зав. лабораторией общей криологии ИПРЭК СО РАН;

2) В.В. Готов канд.техн.наук., доцент, зав.кафедрой «Экономики горного производства и геологоразведки».

Смолич С.В.

С 512 Инженерная геодезия: учеб. пособие. / С.В.Смолич, А.Г. Верхотуров, В.И.Савельева. – Чита: ЧитГУ, 2009. - 185 с.

ISBN

В основу учебного пособия положена программа курса «Инженерная геодезия» для студентов строительных, землеустроительных и экологических специальностей ВУЗов. В работе рассматриваются общие понятия дисциплины, методы геодезических исследований, используемые приборы и оборудование, порядок их поверки и юстировки, а также приведены специальные виды геодезических работ.

Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения, аспирантов и инженерных работников, выполняющих исследования и принимающих решения, связанные с необходимостью геодезических измерений.

На первой стороне переплета – гравюра XVII в., изображающая «короля картографов» Герарда Меркатора и амстердамского гравера и издателя Иодока Хондия.

Утверждено и рекомендовано к изданию решением редакционно-издательского совета ЧитГУ

Ответственный за выпуск Овешников Ю.М. д-р.техн.наук., профессор.

УДК 624.131.32 (075)

ББК 26.1 я 7

ISBN

© Читинский государственный университет, 2009

© Смолич С.В., 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие предназначено в первую очередь для студентов строительных и землеустроительных специальностей вузов. Однако с успехом может быть использовано и горно-геологическими специальностями при изучении основ курса инженерной геодезии.

В основу пособия положены курсы лекций, читаемые в Читинском государственном университете для студентов строительного и горно-геологического профиля.

Так как данная дисциплина для ряда специальностей читается в нескольких семестрах, как на младших курсах, раздел «основы инженерной геодезии», так и на старших курсах раздел «специальные виды геодезических измерений и топографических съемок», пособие содержит оба этих раздела, которые тесно между собой взаимосвязаны и не могут изучаться раздельно друг от друга.

В состав данного пособия включены не только теоретические основы геодезических работ и измерений, но и приведены примеры практического опыта выполнения работ, связанного с различным видом геодезического обеспечения.

Учитывая возросшие современные требования к информационным технологиям (мониторинг различных явлений, происходящих как на поверхности Земли, так и в ее недрах), данное пособие будет полезно как магистрам, обучающимся по соответствующим направлениям, так и инженерно-техническому персоналу, чья работа требует выполнение различных измерений на местности.

ВВЕДЕНИЕ

Геодезия – наука об определении формы и размеров Земли, об измерениях на земной поверхности, вычислительной обработке их для построения карт, планов, профилей и для решения инженерных, экономических и других задач.

Геодезия (в переводе с греч. «землеразделение») возникла в глубокой древности и развивалась с ростом потребностей человека в жилье, делении земельных массивов, изучении природных богатств и их освоении.

Научными задачами геодезии являются:

- установление систем координат;
- определение формы и размеров Земли и ее внешнего гравитационного поля и их изменений во времени;
- проведение геодинамических исследований (определение горизонтальных и вертикальных деформаций земной коры, движений земных полюсов, перемещений береговых линий морей и океанов и др.).

Научно-технические задачи геодезии в обобщенном виде заключаются в следующем:

- определение положения точек в выбранной системе координат;
- составление карт и планов местности разного назначения;
- обеспечение топографо-геодезическими данными нужд обороны страны;
- выполнение геодезических измерений для целей проектирования и строительства, землепользования, кадастра, исследования природных ресурсов и др.

ГЛАВА 1. ЗАДАЧИ ГЕОДЕЗИИ, ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ, ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГЕОДЕЗИИ

1.1. Задачи геодезии

В геодезии, как в науке, в зависимости от решаемых задач выделяется ряд дисциплин. Задачей определения фигуры (формы) и размеров Земли, а также вопросами создания высокоточных геодезических опорных сетей занимается *высшая геодезия*. Вопросы, связанные с изображением сравнительно небольших частей земной поверхности в виде планов и профилей, решает *топография* (в строительстве – *инженерная геодезия*). Созданием сплошных изображений значительных территорий в виде карт занимается *картография*. *Аэрогеодезия*, *космогеодезия*, *гидрография*, *маркшейдерия* (*подземная геодезия*) также являются научными направлениями в геодезии. В задачи инженерной геодезии, которые она решает для различных отраслей промышленности, входит топографическая съемка территорий, перенесение в натуру проектов зданий и сооружений, различные измерения на отдельных стадиях строительства и, наконец, определение деформаций и сдвигов сооружений в процессе их эксплуатации.

Решение этих задач осуществляется путем:

- 1) измерения линий и углов на поверхности земли, под землей (в шахтах и туннелях), над землей при аэрофотосъемке (АФС) и космической съемке, под водой – для составления планов, профилей и специальных целей;
- 2) вычислительной обработки результатов измерений;

3) графических построений и оформления карт, планов и профилей.

Строительство промышленных и гражданских сооружений, автомобильных дорог, осушительная или оросительная мелиорации земель требуют широкого использования геодезических методов. Например, при природообустройстве той или иной территории требуются планы, карты, профили, которые позволяют определить существующее состояние земель (почва, растительность, увлажненность и т.д.). По результатам экономического анализа устанавливают необходимость мелиорации, рекультивации, охраны земель и проектируют объекты природообустройства, границы которых затем переносят на местность. В настоящее время в результате внедрения современных технологий решение этих задач может быть почти полностью автоматизировано.

Геодезия тесно связана с математикой, астрономией, географией, геологией, геоморфологией, механикой, оптикой, электроникой, черчением и рисованием.

1.2. Исторический очерк

Геодезия возникла за несколько тысячелетий до н.э. в Египте, Китае, Греции и Индии. Пирамиды, каналы, дворцы – возведение этих объектов стало возможным только при разработанных приемах геодезических измерений. Можно выделить следующие основные вехи в развитии инженерной геодезии, в т. ч. и в России:

В III в. до н.э. впервые была осуществлена попытка определения величины земного радиуса египетским математиком и географом Эратосфеном.

Первые исторические сведения о геодезических работах на Руси появились в XI в. н.э. Об этом свидетельствует Тмутараканский камень, на котором сохранилась надпись, что князь Глеб в 1068 г. измерил расстояние в 20 верст между Керчью и Таманью по льду. В XVI в. создается одна из первых карт Московского государства «Большой Чертеж». В XVII в. выходит первая русская печатная карта, составленная С.Е. Ремезовым «Чертеж Сибирской земли».

Бурное развитие геодезические работы получили после изобретения Галилеем в XVII в. зрительной трубы, что привело к появлению первых геодезических приборов нивелиров, а несколько позже теодолитов.

В 1739 г. был учрежден Географический Департамент Петербургской Академии Наук, которым в 1758-1763 гг. руководил М. В. Ломоносов.

Французский ученый Деламбер в 1800 г. определил размеры земного эллипсоида и предложил в качестве измерения длины 1 м равный 1 : 40 000 000 части парижского меридиана.

В 1822 г. был основан корпус русских военных топографов.

В XIX в. проводятся геодезические работы по построению геодезических сетей и градусные измерения по меридиану. Большие геодезические работы, проведенные при генеральном межевании после отмены крепостного права в 1861 г. завершились изготовлением генеральных уездных планов и губернских атласов.

После революции 15.03.19. Совет Народных Комиссаров учреждает Высшее геодезическое управление. С 1927 г. начинает использоваться аэрофотосъемка. В начале 60-х гг. XX в. появляется космическая съемка. За советский период вся территории страны была покрыта геодезической съемкой разных масштабов вплоть до 1:25000.

В 90-е гг. XX в. в геодезии начали широко внедряться новые компьютерные технологии на всех этапах геодезических работ.

В настоящее время все геодезические работы выполняются в соответствии с Федеральным законом о геодезии и картографии принятым 22.11.95 , «Положением о государственном геодезическом надзоре за геодезической и картографической деятельностью» от 28.03.00 за № 273 и «Положением о лицензировании топографо-геодезической и картографической деятельности в Российской Федерации»» принятом Правительством Российской Федерации 26.08.95 № 847.

1.3. Форма и размеры Земли

Земля не является правильным геометрическим телом, её физическая поверхность, особенно поверхность суши сложная. Сведения о форме и размерах Земли используются во многих отраслях знаний. Физическая поверхность Земли имеет общую площадь 510 млн км² , из которых 71 % приходится на долю мирового океана и 29 % на сушу. Средняя высота суши 875 м, средняя глубина океана 3 800 м.

Представление о фигуре Земли в целом можно получить, вообразив, что вся планета ограничена мысленно продолженной поверхностью океанов в спокойном состоянии. Такая замкнутая поверхность в каждой своей точке перпендикулярна к отвесной линии, т.е. к направлению действия силы тяжести.

Основной уровенной поверхностью или поверхностью *геоида* называется поверхность, совпадающая с средним уровнем воды океанов в спокойном состоянии и продолженная под материками. Из-за неравномерного распределения масс внутри Земли геоид не имеет правильной геометрической формы (рис.1.1) и его поверхность не может

быть выражена математически.

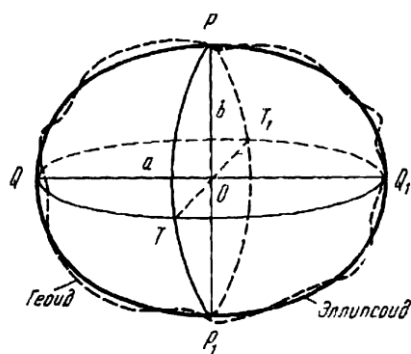


Рис. 1.1. Земной эллипсоид и геоид

Однако поверхность геоида ближе всего подходит к математической поверхности эллипсоида вращения, получающегося от вращения эллипса PQ_1P_1Q вокруг малой оси PP_1 . Поэтому практически при геодезических и картографических работах поверхность геоида заменяют поверхностью эллипсоида вращения, называемого также сфероидом. Линии пересечения поверхности сфероида плоскостями, проходящими через ось вращения, называются меридианами и представляются на сфероиде эллипсами. Линии пересечения сфероида плоскостями перпендикулярными к оси вращения являются окружностями и называются параллелями. Параллель, плоскость которой проходит через центр сфероида называется экватором. Линии $OQ = a$ и $OP = b$ называют большой и малой полуосями сфероида (a – радиус экватора, b – полуось вращения Земли). Размеры земного сфероида определяются длинами этих полуосей и величиной

$$\alpha = \frac{a-b}{a}, \quad (1.1)$$

где α – сжатие сфероида.

Изучение фигуры математической поверхности Земли сводится к определению размеров полуосей и величины сжатия эллипсоида, наилучшим образом подходящего к геоиду и правильно расположен-

ных в теле Земли. Такой эллипсоид называют референц-эллипсоидом. С 1946 г. для геодезических и картографических работ в СССР приняты размеры земного эллипсоида Ф. Н. Красовского:

$$a = 6\,378\,245 \text{ м}, \quad b = 6\,356\,863 \text{ м}, \quad a-b \approx 21 \text{ км}, \quad \alpha = 1:298,3.$$

Величину сжатия можно оценить, представив глобус с большой полуосью $a = 300$ мм, в таком случае разность $a-b$ для такого глобуса составит всего 1 мм. Сжатие эллипсоида Красовского подтверждается выводами из результатов наблюдений за движением искусственных спутников Земли.

При приближенных расчетах поверхность эллипсоида принимается за поверхность шара (равновеликого по объему земному эллипсоиду) с радиусом 6371,1 км. Для небольших участков земной поверхности радиусом до 20 км поверхность эллипсоида принимают за плоскость.

1.4. Влияние кривизны Земли на измеряемые расстояния и высоты точек

При геодезических работах, выполняемых на небольших по площади участках местности, уровенную поверхность принимают за горизонтальную плоскость. Такая замена влечет за собой некоторые искажения в длинах линий и высотах точек.

Рассмотрим при каких размерах участка этими искажениями можно пренебречь. Допустим, что уровенная поверхность является поверхностью шара радиуса R (рис.1.2). Заменим участок шара $A_oB_oC_o$ горизонтальной плоскостью ABC , касающейся шара в центре участка в точке B . Расстояние между точками B (B_o) и C_o равно r , центральный угол соответствующий данной дуге обозначим α , отрезок касательной

$BC = t$, тогда в горизонтальном расстоянии между точками B (B_o) и C_o возникнет ошибка $\Delta d = t - d$. Из рис. 1.2 находим $t = R \cdot \operatorname{tg} \alpha$ и $d = R \cdot \alpha$, где угол α выражен в радианах $\alpha = d / R$, тогда $\Delta d = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha)$ а так как значение d незначительно по сравнению с R то угол настолько мал, что приближенно можно принять $\operatorname{tg} \alpha - \alpha = \alpha^3 / 3$. Применив формулу определения угла α , окончательно получаем: $\Delta d = R \cdot \alpha^3 / 3 = d^3 / 3R^2$. При $d = 10$ км и $R = 6371$ км погрешность определения расстояния при замене сферической поверхности плоскостью составит 1 см. Учитывая реальную точность, с которой производят измерения на местности при геодезических работах, можно считать, что на участках радиусом 20-25 км погрешность от замены уровенной поверхности плоскостью не имеет практического значения. Иначе обстоит дело с влиянием кривизны Земли на высоты точек. Из прямоугольного треугольника OBC

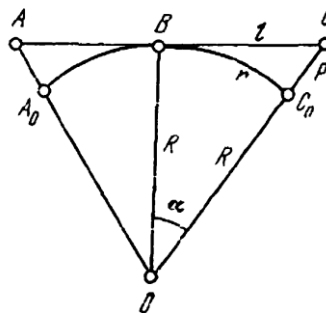


Рис.1.2. Влияние кривизны Земли на измеряемые расстояния

$$R^2 + l^2 = (R + p)^2, \quad (1.2)$$

откуда

$$p = \frac{l^2}{2R + p}, \quad (1.3)$$

где p – отрезок отвесной линии CC_o , выражающий влияние кривизны Земли на высоты точки C . Так как полученное значение p очень мало, по сравнению с R , то в знаменателе полученной формулы этой величиной можно пренебречь. Тогда получим

$$p = \frac{l^2}{2R} \quad . \quad (1.4)$$

Для различных расстояний l определим поправки в высоты точек местности, значения которых представлены в табл. 1.1, из которой видно, что влияние кривизны Земли на высоты точек сказывается уже на расстоянии в 0,3 км. Это необходимо учитывать при производстве геодезических работ.

Таблица 1.1

Погрешности измерений высот точек на разных расстояниях

l , км	0,3	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	20,0
p , м	0,01	0,02	0,08	0,31	1,96	7,85	33,40

1.5. Принципы изображения земной поверхности на плоскости

Одна из задач геодезии – создание графических изображений земной поверхности. Для решения этой задачи используют метод ортогонального проектирования. Сущность метода состоит в том, что все точки физической поверхности Земли (A, B, C, D) проектируют на поверхность земного эллипсоида, проводя через них отвесные линии до пресечения с уровенной поверхностью P_o (рис. 1.3).

В пересечении получают точки a, b, c, d , которые называются горизонтальными проекциями соответствующих точек местности.

Фигура, обозначенная точками a, b, c, d – горизонтальная проекция четырехугольника $ABCD$ на земной поверхности. Так как уровенная поверхность кривая, то проектирующие отвесные линии не параллельны друг другу.

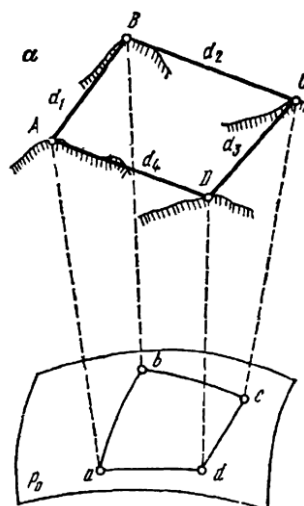


Рис. 1.3. Проектирование точек местности на уровенную поверхность

Чтобы можно было судить о форме пространственной фигуры $ABCD$ по ее проекции $abcd$ необходимо знать расстояния aA , bB , cC , dD от точек местности до уровенной поверхности. Эти расстояния называют *высотами точек местности*. Изображая небольшой участок местности, кривую уровенную поверхность P_0 , заменяют горизонтальной плоскостью P (рис 1.4), касающейся поверхности P_0 в центре данного участка.

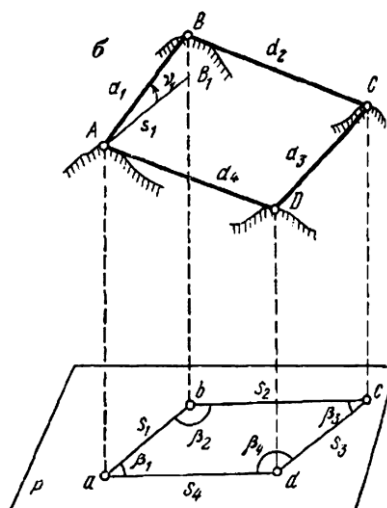


Рис. 1.4. Проектирование точек местности на горизонтальную плоскость

Проектирующие отвесные линии Aa , Bb , Cc , Dd ; перпендикулярные к горизонтальной плоскости P будут практически параллельны между собой. Стороны ab , bc , cd , da и углы между ними β_1 , β_2 , β_3 , β_4 являются горизонтальными проекциями на плоскость P соответствующих линий и углов местности. Горизонтальные проекции линий местности называются *горизонтальными проложениями*.

Вертикальное расстояние от уровенной поверхности, проходящей через точку местности до *основной* уровенной поверхности принятой за начало отсчета, называется *абсолютной* (геодезической) высотой данной точки, а её числовое значение *отметкой*. Когда уровенная поверхность выбрана произвольно отметки являются условными и соответственно высоты точек условны. За начало отсчета абсолютных высот в России принят средний уровень Балтийского моря, которому соответствует нулевое деление специальной рейки (медная доска с горизонтальной чертой, вделанная в гранитный устой моста Обводного канала в Кронштадте – Кронштадтский футшток). Эта система высот носит название *Балтийской* (БС). Разность h абсолютных или условных высот двух точек A и B называется превышением

$$h = H_B - H_A. \quad (1.5)$$

1.6. Понятие о системах координат, используемых в геодезии

Положение точек на земной поверхности определяется координатами – величинами, которые характеризуют расположение заданных точек относительно исходных точек, линий или плоскостей выбранной системы координат.

Система географических координат является общепринятой и единой для всего земного шара. Пространственное положение любой точки M на поверхности Земли можно определить двумя географическими координатами – широтой φ и долготой λ (рис. 1.5).

Географической широтой точки M называется угол φ (MOM_1) между отвесной линией MO , проходящей через эту точку и плоскостью экватора. Широты изменяются от 0° на экваторе до 90° к северу или югу в зависимости от того, в каком полушарии находится рассматриваемая точка. В северном полушарии широты носят название – северные, а в южном – южные широты.

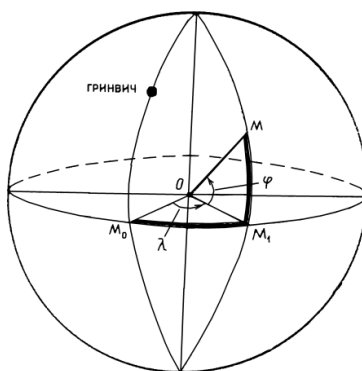


Рис 1.5. Географические координаты

Географической долготой точки M называется двугранный угол λ между плоскостью начального меридиана $P_1M_0P_2$ и плоскостью меридиана $P_1MM_1P_2$ данной точки. За начальный меридиан в географической системе координат принят Гринвичский меридиан, проходящий через астрономическую обсерваторию в Гринвиче, находящуюся вблизи Лондона. Долготы изменяются от Гринвичского меридиана к западу или к востоку и принимают значения от 0° до 180° и имеют соответствующие названия – западные или восточные долготы.

Система географических координат проста, но неудобна для практического применения, т.к. географические координаты выражаются в угловых величинах, а их линейные значения в различных частях

земного эллипсоида неодинаковы. Поэтому в геодезии широко распространена *система плоских прямоугольных координат*.

Зональная система плоских прямоугольных координат. Поскольку уровенная поверхность является кривой, то большую её часть на плоскости нельзя изобразить без искажений. При решении этих задач используют различные картографические проекции. В России применяется, разработанная Карлом Гауссом в XIX в. специальная картографическая проекция (полное название – круглоцилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера). Суть её в том, что вся уровенная поверхность Земли разделяется на 60 отдельных участков, каждый из которых ограничен двумя меридианами с разностью долгот между ними в 6° . Такие участки называются зонами (рис 1.6). В каждой зоне средний меридиан (делящий зону пополам) называется *осевым*. В плоском изображении зоны осевой меридиан P_1OP_2 и экватор Q_1OQ_2 будут представлять взаимно перпендикулярные прямые линии. Граничные меридианы $P_1Q_1P_2$ и $P_1Q_1P_2$ и параллели изображаются кривыми линиями. 60 таких зон и составляют поверхность сфероида.

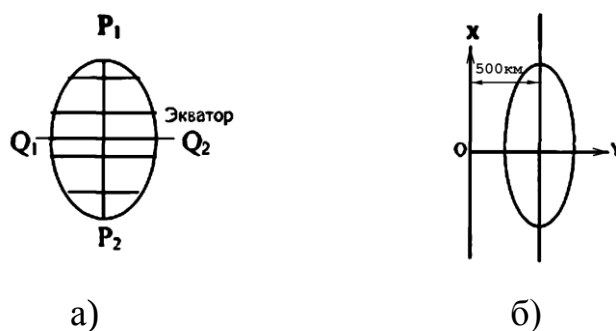


Рис 1.6 Зональная система координат

а) зона в географической системе координат,

б) зона в системе плоских прямоугольных координат

В проекции Гаусса ставится условие, что изображение углов между различными направлениями на шаре и на проекции равны

между собой. В то же время длины линий будут передаваться с искажениями, причем эти искажения имеют наибольшее значение на краях зон, удаленных от осевого меридиана. Однако в пределах шестиградусной зоны такие искажения не превышают погрешностей графических построений и удовлетворяют требованиям составления карт масштабов 1:10 000 и мельче.

Все зоны последовательно проектируют на стенки цилиндра в который вписана земная сфера, причем осевой меридиан каждой зоны проектируется без искажений. Такая проекция называется поперечно-цилиндрической. После проецирования цилиндр разрезается по образующим и зоны разворачивают на плоскости.

Наличие двух взаимно перпендикулярных линий – осевого меридиана и экватора позволило ввести для определения пространственного положения точек зоны – зональную систему плоских прямоугольных координат. За ось абсцисс X принято изображение осевого меридиана, а за ось ординат Y – изображение экватора. Начало координат – точка пересечения осевого меридиана и экватора. Положительные направления осей: абсцисс – с юга на север, ординат – с запада на восток. Ординаты в пределах каждой зоны могут быть положительными и отрицательными. Во избежание отрицательных ординат в России принято условно считать ординату точки пресечения равной не 0, а 500 км. В этом случае ординаты всех точек каждой зоны будут положительными, т.к. наибольшая ширина шестиградусной зоны не превышает 385 км. Следовательно, все точки, лежащие к западу от осевого меридиана, имеют ординаты менее 500 км, точки на осевом меридиане имеют ординату 500 км, а восточнее – более 500 км и менее 900 км. Такие ординаты называют преобразованными. Чтобы знать в какой из 60 зон лежит точка, впереди значения ординаты пи-

шут номер зоны. Для удобства решения практических задач на топографическую карту наносят координатную сетку. Координатная сетка представляет собой систему взаимно перпендикулярных линий, образующих сетку квадратов. Стороны квадратов параллельны осям абсцисс и ординат. Размер стороны квадрата соответствует определенному расстоянию на местности в зависимости от масштаба карты (для масштабов 1:10 000 – 1:100 000 – это 1 км).

Плоская система полярных координат. Если на горизонтальной плоскости через произвольно выбранную точку O , называемую полюсом, провести линию OX – полярную ось (рис. 1.7), то положение любой точки можно определить зная расстояние $OM = r_1$ (радиус-вектор) и угол β_1 между полярной осью и радиусом-вектором. Для другой точки M полярные координаты будут определяться – $r_2 = ON$ и углом β_2 .

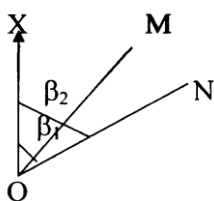


Рис. 1.7. Полярные координаты

В этой системе координат углы отсчитываются от полярной оси по ходу часовой стрелки до радиус-вектора. Положение полярной оси может быть произвольным, но иногда его совмещают с направлением меридиана, проходящего через O .

1.7. Ориентирование линий

Ориентировать линию значит определить её направление относительно какого-либо исходного направления. В геодезии за исходные

направления принимают *географический меридиан, магнитный меридиан и осевой меридиан зоны*. Ориентирование линий осуществляют при помощи ориентирующих углов: *географического и магнитного азимутов, а также дирекционного угла*.

Плоскость, проходящая в данной точке через ось вращения Земли, называется плоскостью географического или истинного меридиана. Направление истинного меридиана определяется из астрономических наблюдений. *Географическим азимутом A линии BC в точке B* называется горизонтальный угол (рис 1.8), отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана до данного направления BC , изменяющийся от 0 до 360° .

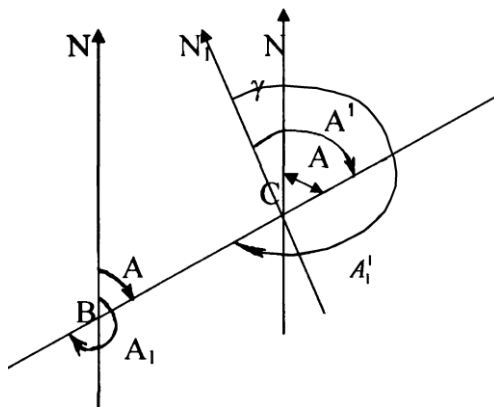


Рис. 1.8. Истинные азимуты линии BC

Так как меридианы в различных точках не параллельны, то азимут одной и той же линии в каждой её точке имеет разное значение. Например, азимут (A) в точке B не равен азимуту (A') в точке C .

Проведя через точку C линию CN параллельную меридиану BN точки B получим при точке C угол γ , который называется *сближением меридианов*. Азимут A линии BC в точке B – прямой азимут, а A_1 – обратный азимут той же линии в точке B (направление линии противоположно). Азимуты в точке C связаны с азимутами в точке B зависимостями

$$A^1 = A + \gamma \quad \text{и} \quad A_1^1 = A + 180^\circ + \gamma, \quad (1.6)$$

где γ – сближение меридианов (восточное сближение принято считать положительным, а западное отрицательным).

Магнитный азимут – это горизонтальный угол (A_m), отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана до данного направления, изменяющийся от 0 до 360° (рис.1.9). Магнитный меридиан совпадает с направлением свободно подвешенной магнитной стрелки.

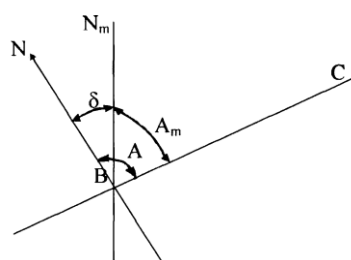


Рис. 1.9. Связь между истинными и магнитными азимутами

Географический и магнитный меридианы в каждой точке земной поверхности между собой образуют угол δ , называемый *склонением магнитной стрелки*. Северный конец магнитной стрелки под действием земного магнетизма может отклоняться к востоку или к западу от северного направления истинного (географического) меридиана, т.е. склонение магнитной стрелки может быть восточным или западным. Отклонение магнитной стрелки вызвано несовпадением магнитного и географического полюсов Земли. Восточное склонение считается положительным, западное – отрицательным. Географический и магнитный азимуты связаны между собой зависимостью

$$A = A_m \begin{matrix} +\delta_e \\ -\delta_z \end{matrix}, \quad (1.7)$$

Склонение не постоянно во времени и меняется в разных точках местности. В Забайкалье оно изменяется от -7° до $+14^\circ$, в России от $+30^\circ$ на северной оконечности Новой Земли до -14° в районе Верхоян-

ска. В течение суток изменение склонения может достигать 15', а за несколько столетий – десятков градусов. Ориентирование линий по магнитному меридиану допустимо лишь при работах невысокой точности.

Так как азимуты одной и той же линии в разных её точках различны, то пользоваться ими неудобно и поэтому для ориентирования используют дирекционные углы.

Дирекционный угол α - это горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана данной зоны (положительного направления оси абсцисс OX), или линии параллельной ему до данного направления. В отличие от азимутов дирекционный угол линии в каждой её точке постоянен и может принимать значения от 0 до 360^0 . Это позволяет легко использовать их в практике (рис. 1.10).

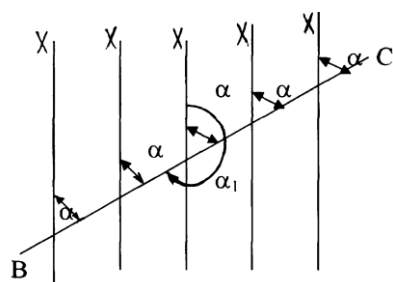


Рис. 1.10. Дирекционный угол

Прямой α и обратный α_1 дирекционные углы одной и той же линии отличаются друг от друга на 180^0

$$\alpha = \alpha_1 + 180^0. \quad (1.8)$$

Все ориентирующие углы связаны между собой, что очевидно из рис. 1.11 нижеприведенными формулами

$$A = A_m \begin{matrix} +\delta_g \\ -\delta_z \end{matrix}, \quad (1.9)$$

$$A = \alpha \begin{matrix} +\gamma_g \\ -\gamma_z \end{matrix}, \quad (1.10)$$

$$\alpha = A_m + (\pm\delta) - (\pm\gamma). \quad (1.11)$$

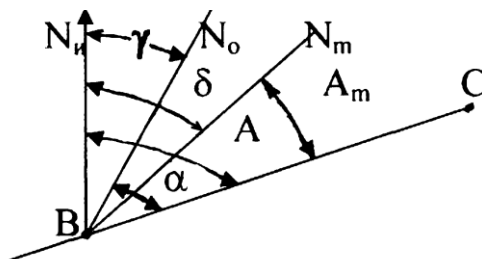


Рис. 1.11. Связь ориентирующих углов

BC – направление линии, BN_u – истинный (географический) меридиан, BN_o – линия параллельная осевому меридиану (линия координатной сетки), BN_m – магнитный меридиан

Горизонтальные углы между направлением данной линии и ближайшими направлениями географического, магнитного или осевого меридиана и заданным направлением называют румбами рис. 1.12. Румбы являются острыми углами, изменяются от 0 до 90° и сопровождаются названием четвертей относительно стран света (*CB* – северо-восток, *ЮЗ* – юго-запад и др.). Румбы удобно применять при использовании тригонометрических таблиц.

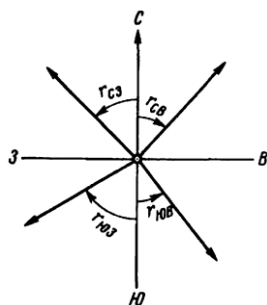


Рис. 1.12. Румбы

Ориентировать план или карту значит расположить их так, чтобы направление линий на плане и карте были параллельны направлениям горизонтальных проекций соответствующих линий на местности. Для ориентирования обычно используют компас или буссоль и координатную сетку. Направление *С – Ю* компаса совмещают с координатной сеткой, затем поворачивают карту вместе с компасом, чтобы по северному концу стрелки получился отсчет равный $(\delta - \gamma)$ с учетом знаков этих величин.

1.8. Прямая и обратная геодезические задачи

При вычислительной обработке результатов измерений на местности, связанной с составлением плана, перед перенесением проекта в натуру часто приходится решать прямую и обратную геодезические задачи.

Прямая геодезическая задача состоит в том, что по координатам одного конца линии AB , – X_A , Y_A , по дирекционному углу этой линии α_{AB} и ее горизонтальному проложению d_{AB} вычисляют координаты другого конца линии – X_B , Y_B рис. 1.13.

Из рисунка следует, что координаты последующей точки равны координате данной точки плюс соответствующее *приращение*. Приращения координат могут быть вычислены по дирекционному углу и горизонтальному проложению линии AB .

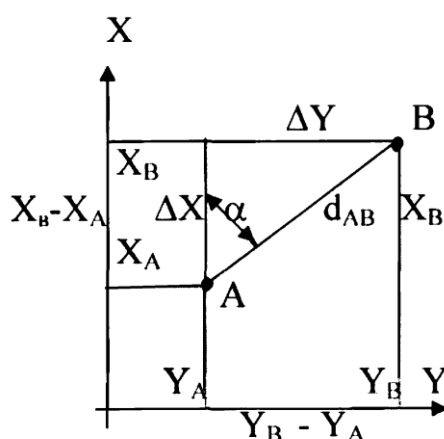


Рис. 1.13. Прямая геодезическая задача

Таким образом

$$X_B = X_A + (X_B - X_A) = X_A + \Delta X_{AB}, \quad (1.12)$$

$$Y_B = Y_A + (Y_B - Y_A) = Y_A + \Delta Y_{AB}, \quad (1.13)$$

$$\Delta X_{AB} = d_{AB} \times \cos \alpha_{AB}, \quad (1.14)$$

$$\Delta Y_{AB} = d_{AB} \times \sin \alpha_{AB}, \quad (1.15)$$

Приращения координат имеют положительные и отрицательные

значения в зависимости от четверти (табл. 1.2).

Обратная геодезическая задача состоит в том, что по координатам концов линии AB вычисляют дирекционный угол и горизонтальное проложение этой линии. То есть известны X_A , Y_A , X_B и Y_B необходимо найти α_{AB} и d_{AB} . Вычисления выполняют по формулам:

$$\Delta X_{AB} = (X_B - X_A), \quad (1.16)$$

$$\Delta Y_{AB} = (Y_B - Y_A), \quad (1.17)$$

$$tg \alpha_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (1.18)$$

Особое внимание уделяют на знаки приращения координат, знаки приращений определяют название румба и следовательно величину дирекционного угла.

Таблица 1.2

Наименование румба в зависимости от значения дирекционного угла, знаки приращений координат

Величина дирекционного угла, град	Название румба	Знаки приращения координат	
		ΔX	ΔY
0 – 90	<i>СВ</i>	+	+
90 – 180	<i>ЮВ</i>	–	+
180 – 270	<i>ЮЗ</i>	–	–
270 – 360	<i>СЗ</i>	+	–

Горизонтальные проложения находят по формулам

$$d_{AB} = \frac{\Delta X_{AB}}{\cos \alpha_{AB}}, \quad d_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}}. \quad (1.19)$$

или по формуле

$$d_{AB} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}. \quad (1.20)$$

Контрольные вопросы

1. Каковы основные научные и технические задачи геодезии?
2. Какая поверхность называется уровенной?

3. Что такое референц-эллипсоид?
4. Является ли поверхность геоида уровенной?
5. Какие высоты называются абсолютными, относительными?
6. Какие картографические проекции называют конформными?
7. Как отсчитываются абсцисса и ордината точки в зональной системе прямоугольных координат в проекции Гаусса-Крюгера?
8. Что значит ориентировать линию?
9. Что называют азимутом? Одинаковы ли его значения в разных точках прямой?
10. Что называют дирекционным углом? Одинаковы ли его значения в разных точках прямой?
11. Какова зависимость между прямым и обратным дирекционными углами данной линии?
12. Как перейти от дирекционного угла линии к ее азимуту?
13. Что такое магнитный азимут?
14. Что называют магнитным склонением? Постоянно ли оно?
15. Что такое румб? Где они используются?
16. В чем сущность прямой и обратной геодезических задач?

Рекомендуемая литература

1. Инженерная геодезия / Е.Б. Ключин.[и др.] /под ред. Д.Ш. Михелева: учебник для вузов. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 480 с.
2. Новак В.Е. Практикум по инженерной геодезии / В.Е. Новак – М.: Недра, 1986. – 273 с.
3. Фельдман В.Д. Основы инженерной геодезии / В.Д. Фельдман – М.: Изд-во Высшая школа , 2001. – 456 с.

ГЛАВА 2. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ, МАСШТАБ. НОМЕНКЛАТУРА КАРТ. РЕЛЬЕФ И ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ НА КАРТАХ И ПЛАНАХ

2.1 План

Горизонтальные проекции контуров и линий местности можно нанести на бумагу в уменьшенном и подобном виде. Это изображение называется планом. Для полного представления о взаимном расположении точек на местности необходимо знать высоты этих точек относительно уровенной поверхности. Если на плане у соответствующих проекций подписать их отметки, то путем графической или аналитической интерполяции можно провести кривые равных высот, называемые горизонталями или *изогипсами*. По форме и взаимному расположению таких кривых можно судить о рельефе.

При изображении дна водотоков и водоемов на планах иногда проводят кривые равных глубин, называемые *изобатами*.

Имея план с горизонталями или отметками можно: 1) составлять изображение вертикального разреза местности по некоторому заданному направлению; 2) определять расстояние между пунктами; 3) измерять углы между заданными направлениями; 4) определять крутизну скатов; 5) измерять площади фигур.

2.2. Карта

При изображении на плоскости больших территорий нельзя пренебрегать кривизной Земли. Проектирование контуров местности

отвесными линиями производят уже не на плоскость, а на сферическую поверхность. Поверхность сфероиды не может быть развернута на плоскости без искажений. Задача состоит в уменьшении искажений и математическом определении их значений с тем, чтобы по искаженным изображениям можно было вычислить действительные величины. Таким образом, картой называется уменьшенное закономерно искаженное (из-за влияния кривизны Земли) изображение на плоскости всей земной поверхности или значительной ее части.

При создании карты в зависимости от ее назначения выбирают определенную картографическую проекцию; этим задается математический закон изображения одной поверхности на другой, в данном случае на плоскости. Прежде всего строят географическую сеть меридианов и параллелей, называемую картографической сеткой, внутри которой располагают изображаемые контуры. Картографическая сетка служит внешним признаком отличающим карту от плана. На картах, которые изображают большую часть поверхности Земли, масштаб может меняться в различных частях карты и по разным направлениям.

По масштабу карты делятся на: 1) крупномасштабные 1:10 000 – 1:100 000; среднемасштабные 1:200 000-1:1 000 000; мелкомасштабные < 1:1 000 000.

Основной государственной картой России является карта масштаба 1:1 000 000 . Размер рамки каждого листа этой карты составляет 4° по широте и 6° по долготе. В северных широтах от 60 до 76° листы сдваиваются, а от 76 до 88 ° учетверяются по долготе.

2.3. Номенклатура карт и планов

Определенный порядок разделения и взаимного расположения

листов различных масштабов устанавливается единой *разграфкой*, а обозначение отдельных листов карт и планов по определенной системе называется *номенклатурой*. Вся земная поверхность делится меридианами, проводимыми через 6° на 60 колонн. Колонны нумеруются арабскими цифрами. Счет колонн ведется с запада на восток от меридиана с долготой 180° (нулевым является Гринвичский меридиан). Номер колонны отличается от номера зоны на 30. Колонны, в свою очередь, разделены на ряды (пояса) параллелями, проводимыми через 4° . Ряды обозначают заглавными буквами латинского алфавита. Счет рядов ведется от экватора к северному и южному полюсам. Параллели и меридианы, проведенные таким образом, служат рамками отдельных листов карты (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Размеры рамки листов карт по широте и долготе

Масштаб	Размер рамки	
	по широте	по долготе
1:500 000	2°	3°
1:200 000	$40'$	1°
1:100 000	$20'$	$30'$

Рамка каждого листа представляет собой равнобокую трапецию. Номенклатура листа складывается из указания ряда (пояса) и колонны, в которых расположен данный лист; например N-49 – номенклатура листа, где находится г. Чита (рис.2.1)

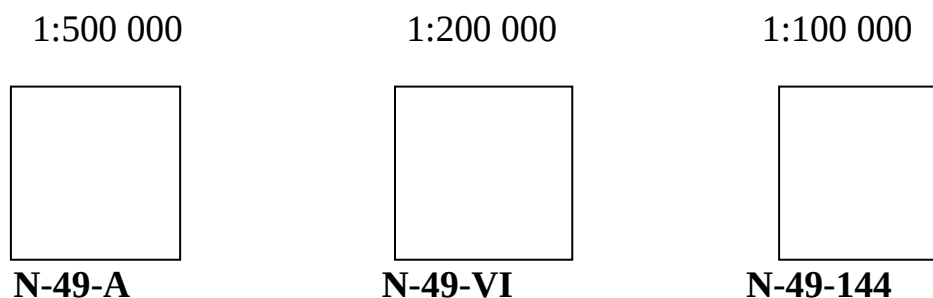


Рис. 2.1. Разграфка карт среднего и крупного масштабов

Одному листу карты масштаба 1:1 000 000 соответствует 4 листа карты масштаба 1:500 000, обозначаемые заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г; 36 листов карты масштаба 1:200 000, обозначаемых римскими цифрами I...XXXVI; 144 листа карты масштаба 1:100 000, обозначаемых арабскими цифрами 1...144.

Лист карты масштаба 1:1 000 000 служит основой для разграфки и номенклатуры карт более крупных масштабов. Одному листу карты масштаба 1:100 000 соответствует 4 листа карты масштаба 1:50 000, которые обозначаются заглавными буквами русского алфавита, присоединяемыми к номенклатуре стотысячного листа (рис. 2.2).

Одному листу масштаба 1:50 000 соответствует 4 листа масштаба 1:25 000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита, присоединяемыми к номенклатуре листа масштаба 1:50 000.

Одному листу масштаба 1:25 000 соответствует 4 листа масштаба 1:10 000 и обозначаются они арабскими цифрами, присоединяемыми к номенклатуре листа масштаба 1:25 000.

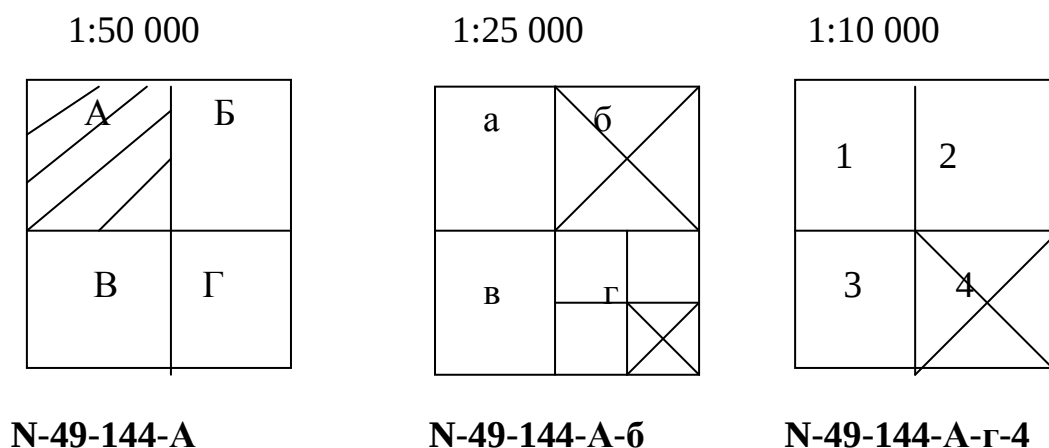


Рис. 2.2. Разграфка карт крупного масштаба

Одному листу карты масштаба 1:100 000 соответствует 256 (16×16) листов плана масштаба 1:5 000, которые обозначаются цифрами 1, 2, 3,.....256, заключаемыми в скобки, например N-49-36-(223).

Одному листу масштаба 1:5 000 соответствуют 9 листов масштаба 1:2000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита, заключаемыми в скобки, например N-49-36-(223-и). Крупномасштабные планы для городского и поселкового строительства могут иметь квадратную разграфку. За основу разграфки принимают план масштаба 1:5 000 с размером рамки квадрата 40×40 см. Каждый лист масштаба 1:5 000 обозначается арабской цифрой. Данные для разграфки, например, шестого листа масштаба 1:5 000 на планы более крупных масштабов показаны в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Номенклатура планов в зависимости от масштабов

Масштаб плана	Число листов в одном листе более мелкого масштаба	Номенклатура последнего листа	Размер рамки квадрата, см
1:2000	4 листа в м-бе 1:5000	6-Г	50×50
1:1000	4 листа в м-бе 1:2000	6-Г-IV	50×50
1:500	16 листов в м-бе 1:2000	6-Г-16	50×50

2.4. Рельеф и его изображение на планах и картах

Изображение рельефа – важнейший элемент содержания топографических планов и карт. *Рельеф* – совокупность неровностей земной поверхности, важнейшая характеристика территории. Он определяет условия строительства, влияет на почвообразование, развитие неблагоприятных процессов и т.п. С течением времени под влиянием внутренних и внешних процессов, в т.ч. и в результате деятельности человека на Земле, как планете, рельеф может меняться.

Основными формами рельефа являются горы или холмы – воз-

вышающиеся над окружающей местностью куполообразная или конусообразная форма рельефа с наивысшей точкой вершиной. Боковые поверхности горы образуют скаты или склоны, иногда имеющие площадки или уступы в виде террас.

Котловины или впадины – замкнутые чашеобразные углубления земной поверхности. Самая низкая точка котловины называется дном.

Хребет – вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении возвышенность, образованная двумя скатами. Скаты соединяются в верхней части, образуя водораздельную линию (или водораздел), которую чаще называют осью хребта.

Лощина – углубление удлиненной формы. Линию вдоль лощины, проходящую по самым низким точкам, называют водотоком или тальвегом. Широкие лощины – долины. Лощина с крутыми скатами – ущелье.

Седловина – имеет форму седла, представляет собой сочетание двух хребтов со сходящимися водоразделами в одной точке.

Равнина – имеет плоскую форму; при высоте над уровнем моря менее 200 м – низменность; при высоте более 200 м – плоскогорье.

Для изображения рельефа на планах и картах применяют условные обозначения, которые давали бы представление о формах рельефа. Рельеф можно представить: 1) надписями отметок, 2) способом штрихов количество и густота которых определяется крутизной ската, 3) способом цветной пластики, используемой на географических картах, где цвета даются в зависимости от высоты.

Наиболее распространен способ изображения рельефа горизонталями. Это след, получающийся от сечения земной поверхности горизонтальной поверхностью. Таким образом, *горизонталь* – это кривая, все точки которой имеют одинаковые высоты над уровнем моря.

Расстояние h по высоте между соседними горизонталями называют высотой сечения рельефа. Эта величина может быть большей или меньшей в зависимости от масштаба составляемого плана и характера рельефа.

Расстояние d на плане между соседними горизонталями называют *заложением ската*. Чем круче скат, тем меньше заложение и наоборот. Отметки горизонталей всегда кратны высоте сечения рельефа, причем ее выбор зависит от характера рельефа и масштаба карты (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Высота сечения рельефа в зависимости от масштаба

Характер местности	Масштабы		
	1:5 000	1:10 000	1:25 000
Равнина	0.5	1	2.5
Полуравнина	1	2.5	5
Горная	2	5	10

Контрольные вопросы

1. Какие знаете виды масштабов?
2. Как с помощью линейного и поперечного масштабов определить длину линии?
3. Какие две задачи решают с помощью численного масштаба?
4. Зависит ли длина отрезка на плане от его масштаба?
5. Что такое топографический план?
6. Что такое карта? В чем ее сходство и различие с планом?
7. Что такое масштаб, и как он выражается?
8. Что называют точностью масштаба, и как ее определяют?
9. Для чего нужна номенклатура карт и планов?
10. Листу плана или карты и какого масштаба соответствует но-

менклатура N-30-120?

11. Что называют высотой сечения рельефа?
12. Какими свойствами обладают горизонтали?
13. Как определить отметку точки, лежащей между горизонталями?
14. Что такое уклон, и по какой формуле он определяется? Как его выразить в процентах?
15. Как определить уклон либо угол наклона по масштабу заложений?
16. Почему в одних случаях применяют масштабные условные знаки, а в других – внемасштабные?
17. Как определить географические и прямоугольные координаты точки на карте?
18. Как измерить на карте дирекционный угол линии?
19. Что такое цена деления планиметра, и от чего она зависит?
20. Почему определение площадей планиметром целесообразно выполнять при двух положениях каретки счетного механизма?
21. Какова точность определения площадей планиметром?

Рекомендуемая литература

1. Верхотуров А.Г. Инженерная геодезия. Ч-I.:метод указания к лабораторным работам / А.Г. Верхотуров. – Чита: ЧитГУ, 2002. – 35с.
2. Инженерная геодезия / под ред. П.С. Закатова.– М.: Недра, 1976. – 583 с.
3. Смолич С.В. Работа с топографической картой / С.В. Смолич, В.И. Савельева: методические указания. – Чита: ЧитГУ, 1999. – 30 с.

ГЛАВА 3. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ

Под измерениями понимают процесс сравнения какой-либо величины с другой однородной величиной, принимаемой за единицу. В результате *линейных измерений* на местности определяются расстояния между заданными точками. За единицу линейных измерений в геодезии принят метр, эталон которого из платино-иридиевого сплава с 1889 г. хранится в Международном бюро мер и весов в Париже. В настоящее время эталоном метра является длина пути, пройденная светом за $1/299792546$ доли секунды.

Применяемые в настоящее время в геодезии приборы для измерения длин линий можно разделить на три группы: механические, оптические и электромагнитные, предназначенные для измерения расстояний от нескольких метров до десятков и более километров.

К механическим мерным приборам относятся рулетки, мерные ленты, мерные проволоки. Точность измерений линий этими приборами характеризуется погрешностями, которые в зависимости от применяемого прибора составляют от 1:1 000 (для рулеток) до 1:1 000 000 для проволок. Этими приборами линии измеряют непосредственным методом, т.е. прямым сравнением длины измеряемой линии с длиной мерного прибора.

Измерение линий оптическими и электромагнитными (свето- и радиодальномерами) производится косвенным путем. Точность измерений оптическим дальномером от 1:300 до 1:15 000 длины линии. Измерение линий электромагнитными дальномерами, основанное на скорости прохождения световых и радиоволн позволяет измерять очень большие линии с точностью от 1:10 000 до 1:1 000 000. В зави-

симости от вида геодезических работ и требуемой точности применяются те или иные приборы.

3.1. Компарирование мерных лент

Всякий рабочий мерный прибор перед использованием для измерения на местности проверяют путем сравнения его длины с мерным прибором (эталонном), длина которого известна с высокой точностью. Такое сравнение называется *компарированием*. Проволоки и эталонные ленты компарируют на компараторах в специальных лабораториях. Стальная мерная лента шириной 15-20 мм, толщиной 0.3-0.4 мм и длиной 20 м является наиболее простым мерным прибором. Для удобства хранения и переноски ленту наматывают на железное кольцо. Обычно мерные ленты компарируют на полевых компараторах длиной 120 м. На концах полевого компаратора забивают металлические штыри со штрихами, отмечающими начало и конец компаратора. Точную длину полевого компаратора устанавливают многократным измерением прокомпарированной лентой или проволокой. Часто рабочую ленту сравнивают с прокомпарированной лентой. Если l -действительная длина рабочей ленты, l_0 – номинальная длина рабочей ленты. Тогда поправка за компарирование

$$\Delta l = l - l_0. \quad (3.1)$$

Пусть действительная длина рабочей ленты $l = 20,028$ м, а номинальная длина рабочей ленты $l_0 = 20$ м, откуда

$$\Delta l = 20,028 - 20 = +0,028 \text{ м.}$$

При пользовании полевым компаратором рабочей лентой измеряют длину компаратора и разность между действительной длиной компаратора L и результатом его измерения рабочей лентой L_0 делят

на число n , указывающее, сколько раз рабочая лента уложилась в длине компаратора. Полученный результат соответствует поправке Δl за компарирование мерного прибора

$$\Delta L = \frac{L - L_0}{n} = \frac{119.963 - 119.870}{6} = +0.016. \quad (3.2)$$

Эта поправка учитывается при измерении длин линий.

3.2. Измерение мерными лентами и рулетками

Мерные ленты бывают штриховые, концевые и шкаловые. У штриховой ленты нулевой штрих нарезан около крючка, в который вставляют шпильку, устанавливаемую в землю, т.е. нулевой штрих приходится против оси шпильки. У концевой ленты начало счета ведется от ручки. Шкаловая лента отличается от штриховой наличием дециметровых шкал с обеих концов ленты. Шкалы имеют миллиметровые деления и длины линий измеряют с повышенной точностью. Каждый метр на лентах отмечен пластинками с обеих сторон ленты. На пластинках выбиты надписи, выражающие число метров от нулевого штриха 1, 2...и т.д. Каждый полуметр ленты отмечен кнопкой, а дециметр сквозным круглым отверстием. Для более точных измерений используют инварные проволоки. *Инвар* – сплав, имеющий малый коэффициент температурного расширения. Чтобы достигнуть постоянства натяжения ленты при точных измерениях применяется динамометр, а для учета температуры термометр.

Измерение длины линии AB производится 2-мя рабочими в следующей последовательности. Задний совмещает нулевой штрих ленты с началом линии IA (рис. 3.1), отмеченным на колышке, и направляет переднего рабочего так, чтобы лента легла по направлению измере-

мой линии. Передний рабочий натягивает ленту по створу и ставит первую шпильку в углубление в конце ленты против нулевого штриха (точка 2).

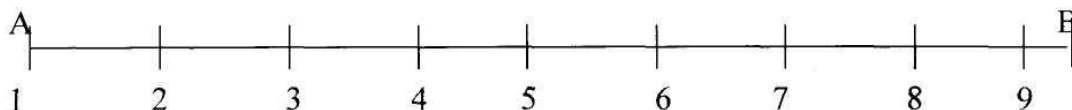


Рис. 3.1. Схема вешения и измерения линии АВ

Подобным образом от точки 2 откладывают к точке 3 следующие 20 м. Затем задний рабочий вынимает шпильку и оба мерщика идут дальше по линии створа. По окончании измерения считают шпильки у заднего рабочего и для контроля у переднего и по их числу определяют число уложенных лент. Остаток линии измеряют той же лентой, при этом целые метры отсчитывают по номеру плашки, десятые доли по отверстиям, а сотые доли оценивают на глаз. Если длина линии > 200 м, то уложив ленту 10 раз, задний рабочий передает 10 шпилек переднему и измерения продолжают.

Условия необходимые для производства измерений: 1) линия перед измерением должна быть расчищена и подготовлена; 2) уклонение переднего конца ленты от створа не более 6-12 см; 3) шпильки должны быть прямые и ставить их надо вертикально.

3.3. Вешение линий

Концы линий, которые необходимо измерить, предварительно закрепляют на местности кольями круглого или квадратного сечения длиной 30-40 см и толщиной около 5 см. В верхних концах кольев забивают гвозди. Перед измерением на концах линии устанавливают вехи – шесты круглого сечения диаметром 4-6 см и длиной 2-3 м. Ес-

ли длина линии превышает 150-200 м, то ее необходимо обозначить на местности дополнительными вехами. Эти вехи должны располагаться в створе измеряемой линии. Процесс установки дополнительных вех называется – *вешением*. Число дополнительных вех зависит от длины линии и характера рельефа. На равнинных участках их ставят через 100-150 м, на пересеченных чаще, чтобы обеспечить надежную видимость между соседними вехами. Вешение может производиться на глаз или с помощью теодолита.

Если местность ровная и открытая, то после установки вех на концах линии А-В (рис. 3.2) один из наблюдателей встает за вехой, установленной в точке А в створ линии А-В (веха А должна закрыть веху в точке В) и смотрит в сторону точки В. Второй наблюдатель по сигналу первого устанавливает дополнительную веху, чтобы она закрывала веху В. Двигаясь к точке А устанавливают вехи 2, 3, 4, 5 – это так называемое «вешение на себя». Вешение в противоположном направлении менее точно, т.к. ближайшие вехи будут закрывать дальние.

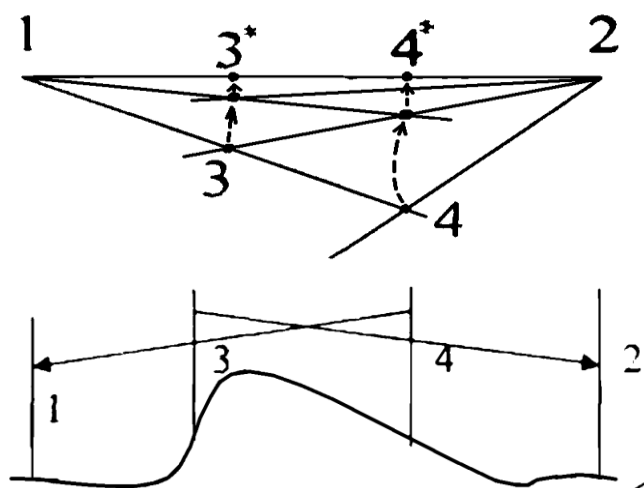


Рис. 3.2. Схема установки вех через возвышенность

При вешении через возвышенность, когда видимость между вешками 1 и 2 отсутствует сначала ставят вешку 3 на произвольном

расстоянии от вешек 1 и 2, причем так, чтобы от нее была видна одна вешка, например 2.

Затем в створе вешек 2-3 ставят на произвольном расстоянии от вешки 3 вешку 4, но с таким расчетом, чтобы от нее была видна вешка 1. Далее в створ 4-1 переставляют вешку 3 так, чтобы от нее была видна вешка 2, а затем в створ 3-2 переносят вешку 4. Ее устанавливают так, чтобы от нее была видна вешка 1 и т.д. Эти действия выполняют до тех пор, пока вешки 3 и 4 не окажутся в створе вешек 1 и 2.

При вешении через овраги (рис. 3.3) наблюдатель, находясь, например, у вешки 1, от себя устанавливает вешку 3 в створе вешек 1 и 2, а затем вешку 4 в створе вешек 1 и 3. Перейдя на другую сторону оврага, он по вешкам 2 и 3 устанавливает вешку 5. Наконец спустившись на дно оврага к вешке 5, он устанавливает по вешкам 5 и 4 вешку 6.

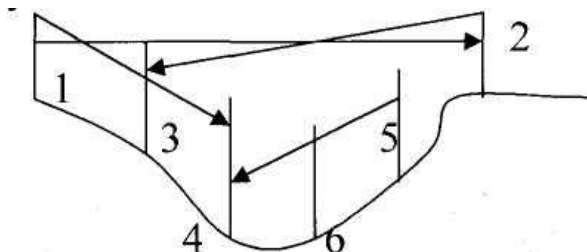


Рис. 3.3. Схема установки вешек через овраг

3.4. Приведение к горизонту длин линий, измеренных мерной лентой или рулеткой

Мерной лентой или рулеткой непосредственно на местности измеряют наклонные расстояния D , а для составления планов требуется знать горизонтальные проложения d . Поэтому возникает необходимость приведения к горизонту расстояний, измеренных лентой или

рулеткой (рис.3.4). Для решения этой задачи применяют формулу

$$d = D \times \cos v. \quad (3.3)$$

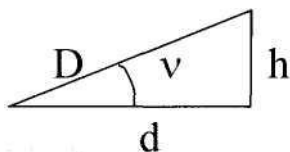


Рис. 3.4. Схема к приведению линии к горизонту

Или вводят поправку Δd в измеренные расстояния.

$$d = D - \Delta d, \quad (3.4)$$

$$\Delta d = 2D \sin^2 \left(\frac{v}{2} \right). \quad (3.5)$$

Обычно поправку за наклон линии выбирают из таблиц. При угле наклона $< 2^\circ$ поправку не учитывают ввиду ее малости. Угол наклона измеряют эклиметром или с помощью вертикального круга теодолита.

3.5. Точность измерений расстояний мерными лентами

Ошибки при измерении лентой возникают из-за: 1) неравномерного натяжения ленты; 2) непостоянства температуры воздуха; 3) неточного фиксирования концов каждой ленты; 4) ошибок от искривления или прогиба ленты; 5) уклонения ленты от створа; 6) ошибок при взятии отсчетов. Для контроля лентой измеряют два раза в прямом и обратном направлении. Если при благоприятных условиях погрешность (разность между измерениями) не превышает 1:3 000, а при неблагоприятных 1:1 000, то за длину линии принимают среднее арифметическое значение из двух измерений

Поправку за температуру, если она отличается от температуры при которой выполнялось компарирование рабочей ленты, определя-

ют по формуле

$$l_p = l_o + \Delta l + \alpha l_o (t^* - t_o), \quad (3.6)$$

где l_p – длина рабочей ленты;

l_o – номинальная длина ленты;

Δl – поправка за компарирование;

$\alpha = 0,000012$ (для стали) – коэффициент расширения на 1° изменения температуры.

3.6. Принципы измерения расстояний оптическими дальномерами

В основе конструкции всех известных дальномеров лежит решение очень длинного вытянутого равнобедренного треугольника AMN, где b – сторона MN треугольника AMN, называемая базой или базисом, а противолежащий угол β – параллактическим углом, величина которого обычно невелика рис. 3.5.

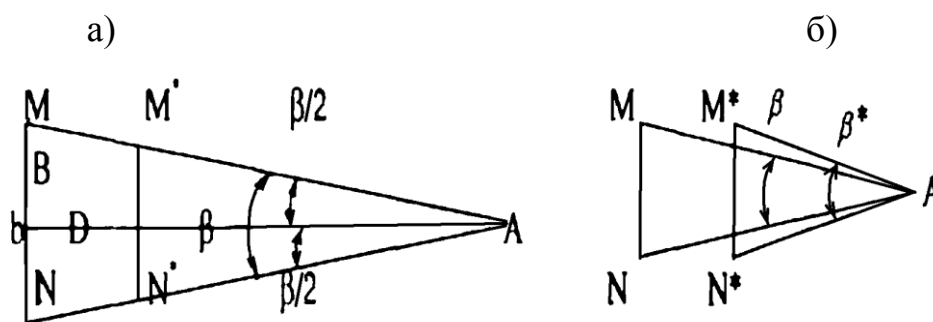


Рис. 3.5. Схема конструкции оптических дальномеров:
а) с переменной базой, б) с переменным углом

Оптические дальномеры по конструкции разделяются на дальномеры с постоянным углом и переменной базой и дальномеры с постоянной базой и переменным углом. Для первых определение D осуществляется по формуле

$$\frac{1}{2} b \cdot \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \quad (3.7)$$

где $C = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$ – постоянная величина, называемая коэффициентом дальномера (обычно равна 100, при $\beta = 0^{\circ}34'22.6''$).

Для второй группы дальномеров

$$\frac{b}{2} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} = \frac{b\rho}{\beta'} \quad (3.8)$$

где ρ – радиан, выраженный в угловых секундах (206265).

Нитяной дальномер первого типа прилагается большинству геодезических приборов. Он представляет собой две дополнительные горизонтальные нити (дальномерные штрихи) сетки симметричные относительно средней нити. По рейке, разделенной на сантиметры, расстояния определяют следующим образом: из отсчета по верхней нити в миллиметрах вычитают отсчет по нижней нити, разность переводят в метры и по формуле

$$D = 100 \cdot b, \quad (3.9)$$

определяют длину линии. При измерении наклонных линий необходимо вводить поправку за наклон линии

$$D = D_H \cdot \cos^2 \nu, \quad (3.10)$$

где D_H – длина наклонного расстояния;

ν – угол наклона линии.

Точность нитяного дальномера составляет примерно 1:300 от определяемого расстояния.

3.7. Принципы измерения расстояний лазерными (квантовыми) дальномерами

Лазерные дальномеры (лазерные рулетки) – современные электронно-оптические приборы, используемые для определения дальности до любого предмета на местности. Погрешность измерений зависит от конструкции прибора и может колебаться от метра до одного миллиметра. В зависимости от модели прибора, дальномеры могут производить вычисления объемов и площадей помещений, а так же иметь различный набор сервисных функций.

Принцип работы большинства лазерных дальномеров основан на измерении разности фаз отраженного от предмета, до которого измеряется расстояние, лазерного импульса и излученного (рис. 3.6.).

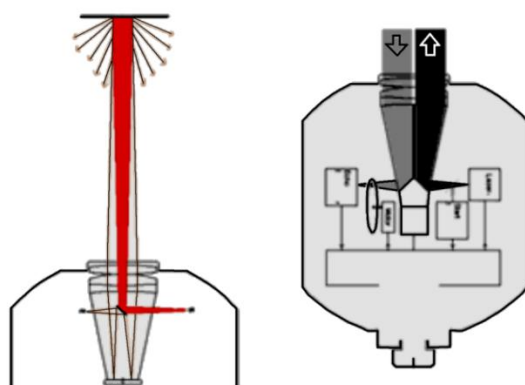


Рис. 3.6. Оптические схемы фазового (слева) и импульсного (справа) дальномеров

Метод измерения разности фаз работает по принципу наложения на несущую частоту модулированного сигнала. Прибор измеряет постоянное смещение фазы, несмотря на неизбежные изменения в излучаемом и принимаемом сигнале. В результате сравнения фаз опорного и получаемого сигнала определяется только величина сдвига фазы, а целое число циклов остается неизвестным и не позволяет сразу получить расстояние. Эта неоднозначность разрешается путем много-

кратных измерений модуляции волны, в результате чего определяется уникальное целое число циклов. Как только целое число циклов определено, то расстояние до цели может быть вычислено очень точно.

Для вычисления расстояний в импульсном методе определяется точное время прохождения импульса до цели и обратно. Импульсный лазер генерирует множество коротких импульсов в инфракрасной области спектра, которые направляются через зрительную трубу к цели. Эти импульсы отражаются от цели и возвращаются к инструменту, где при помощи электроники определяется точное время прохождения каждого импульса. Скорость прохождения света сквозь среду может быть точно определена. Поэтому, зная время прохождения, можно вычислить расстояние между целью и инструментом. Каждый импульс – это однократное измерение расстояния, но поскольку каждую секунду могут быть посланы тысячи таких импульсов, то с помощью усреднения результатов достаточно быстро достигается высокая точность измерений. На рис. 3.7. показано распределение измерений с помощью импульсного дальномера.

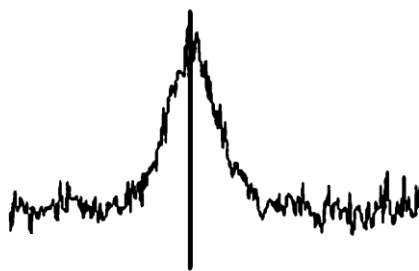


Рис. 3.7. Усреднение импульсов

В ходе измерения делается около 20 000 лазерных импульсов в секунду. Затем они усредняются для получения более точного значения расстояния.

Точность обычных импульсных дальномеров обычно несколько ниже, чем у фазовых (до 10 мм).

Лазерная рулетка – это компактный прибор. Он прост в использовании; имеет противоударный, пыле- и влагозащитный корпус для работы в любых условиях. Лазерные дальномеры помогают производить замеры в неудобных местах и из углов помещений. Прибор может оснащаться большим количеством дополнительных аксессуаров и принадлежностей, таких как алюминиевые штативы, отражатели, интерфейсные кабели, оптические визеры и т.д. Максимальная дальность определения расстояния индивидуальна для каждой модели лазерного дальномера.

Лазерный дальномер часто называют лазерной рулеткой, потому что он заменил традиционную рулетку во многих отраслях бизнеса и производства. Вычисление площади и объема, сложение и вычитание – эти функции лазерного инструмента стали привычными. Более совершенные модели оснащены такими функциями, как замер угла наклона, вертикального, горизонтального или наклонного расстояния и т.п. Лазерная линейка, измеритель лазерный, измеритель расстояния и дальности – это все синонимы, которые часто используют люди для описания функций лазерного дальномера. Законодателем мод в этом сегменте много лет является швейцарская компания Leica Geosystems, которая выпускает дальномеры как под своим именем, так и для известнейших торговых марок.

Лазерные дальномеры имеют дальность действия, которая в большей мере зависит от окружающего освещения и отражающей способности визируемой поверхности. Измерения в помещениях обычно не вызывает проблем. Труднее под открытым небом: при слепящем солнечном свете крошечную лазерную точку трудно рассмотреть обычно уже на расстоянии 10 м. Повышают распознаваемость красные очки, улучшающие видимость лазерного луча. С другой сто-

роны, отраженный сигнал может быть настолько слабым, что его уже нельзя будет обработать с нужной степенью точности. В этом случае вместо результата измерений лазерные дальномеры выдают сигнал ошибки.

При измерении больших расстояний до 500 м в яркий солнечный день лучше применять импульсные дальномеры с инфракрасным излучателем. Они обычно снабжены оптическими визирами, т.к. излучаемые ими импульсы находятся в невидимой для человеческого глаза части спектра. Однако точность измерения такими дальномерами существенно ниже и составляет 0,1-0,5 м. На рис. 3.8. представлен дальномер, снабженный двумя лазерными излучателями и использующий оба способа измерения расстояний – импульсный и фазовый.



Рис. 3.8. Дальномер, снабженный двумя лазерными излучателями (дальность измерения до 270 м)

Контрольные вопросы

1. Что называют створом линии? Как его обозначить на местности?
2. Что называют компарированием мерного прибора?
3. С какой относительной погрешностью измеряются расстояния стальной лентой?
4. Какие поправки вводят в результат измерения лентой?
5. Каков принцип измерения расстояний оптическими дальномерами?
6. К какому типу оптических дальномеров относится нитяной?
7. Какова точность нитяного дальномера?
8. Что такое лазерный дальномер?
9. В чем отличие дальномеров с фазовым и импульсным способом измерения расстояния?
10. В чем преимущества и недостатки лазерных дальномеров?

Рекомендуемая литература

1. Ключин Е.Б. Инженерная геодезия / Е.Б. Ключин [и др.] / под ред. Д.Ш. Михелева. – М.: Изд-во Высшая школа, 2002. – 446 с.

ГЛАВА 4. НИВЕЛИРОВАНИЕ

Совокупность геодезических измерений, выполняемых для определения превышений между точками земной поверхности, или высот относительно принятой отсчетной поверхности называется *nivelированием*. В зависимости от используемых приборов и принципов различают следующие методы нивелирования: геометрическое, тригонометрическое, физическое (барометрическое, гидростатическое и гидромеханическое), механическое и стереофотограмметрическое.

4.1. Методы нивелирования

Тригонометрическое нивелирование выполняют наклонным визирным лучом. При этом измеряют угол наклона линии визирования и горизонтальное (или наклонное) расстояние между точками. Превышение получают из вычислений по тригонометрическим формулам. Точность тригонометрического нивелирования характеризует погрешность порядка 4 см на 100 м расстояния.

Барометрическое нивелирование основано на использовании зависимости значения атмосферного давления от высоты над уровнем моря. На малых и равнинных участках высоты точек определяют с точностью 0,2-0,3 м.

Гидростатическое нивелирование основано на свойстве жидкости устанавливаться на одинаковых уровнях в сообщающихся сосудах. Фиксируют высоты столбов жидкости в сообщающихся сосудах, установленных в точках с разной высотой, и вычисляют превышения

$$h = (l_1 - l_2) - (c_1 - c_2), \quad (4.1)$$

где l_1 и l_2 – высоты сосудов;

c_1 и c_2 – расстояния от верха соответствующего сосуда до уровня жидкости в нем.

Гидромеханическое нивелирование заключается в измерении давления столба жидкости в гидростатической системе, расположенной между нивелируемыми точками. Превышение определяют как функцию избыточного давления или вакуума, создаваемого столбом жидкости в гидростатической системе.

Механическое нивелирование осуществляют, используя принцип маятника, стремящегося сохранить отвесное положение. Относительно него определяют наклон транспортирующих средств при передвижении. Профиль пути автоматически вычерчивается на поверхности вращающегося цилиндра или записывается на фотопленке. Погрешность измерений составляет несколько сантиметров на 1 км.

Стерефотограмметрическое нивелирование основано на измерении превышений по стереоскопической модели местности при помощи стереоприбора по двум перекрывающимся аэрофотоснимкам (АФС) одного и того же участка местности. Погрешность определения высот при наземной стереоскопии 0,1-0,3 м, при АФС $\approx 1:1\ 500$ высоты (Н) фотографирования.

Геометрическое нивелирование основано на использовании горизонтальной линии визирования прибора, называемого нивелиром. Разность высот точек определяют из отсчетов по рейкам, вертикально установленным в двух точках. Этот метод является наиболее совершенным и обеспечивает погрешность определения превышений от 0,5 до 50 мм на 1 км хода.

4.2. Принцип и способы геометрического нивелирования

Для определения превышения между точками A и B местности на точках вертикально устанавливают одинаковые рейки, а между ними нивелир (рис. 4.1, 4.2)

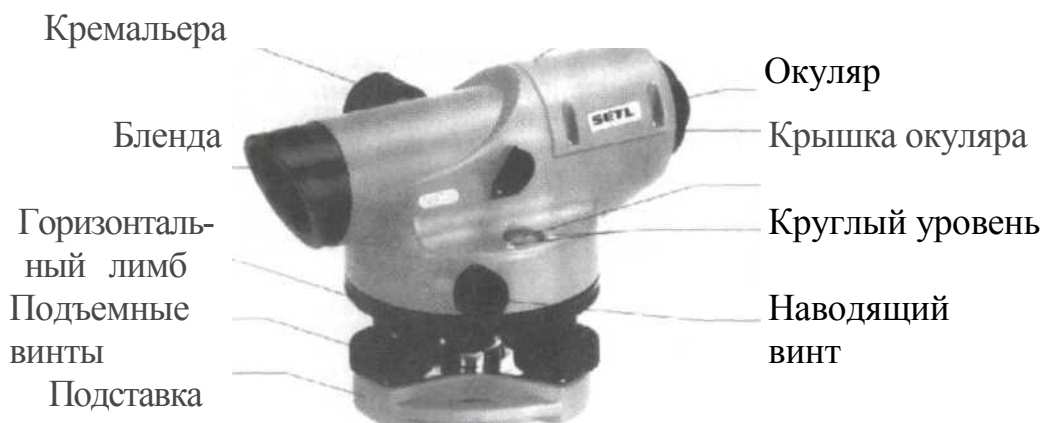


Рис. 4.1. Нивелир с компенсатором AT-24D (КНР)

В комплект нивелира входят нивелир и две деревянные рейки. Последние представляют собой деревянный брус, на котором нанесены по шашечному принципу сантиметровые деления с началом счета от нижнего конца рейки. Каждый дециметр подписан, миллиметровые деления определяются на глаз. В обозначении рейки, например РН-3, указывается ее длина в метрах (3 м). Рейка имеет черную основную и красную – контрольную стороны.

Геодезический прибор нивелир представляет собой зрительную трубу с закрепленным на ней цилиндрическим уровнем (или компенсатором), по которому устанавливают горизонтально визирную ось. Горизонтальный луч пересекает рейки в точках A' и B' (рис. 4.2).

Разность длин AA' и BB' , заключенных между горизонтальным лучом и точками A и B местности, равно превышению h_{AB} , т.е. $h_{AB} = AA' - BB'$. Поскольку отсчеты по рейкам a и b равны соответст-

вующим длинам AA' и BB' , то превышение можно выразить формулой

$$h_{AB} = a - b, \quad (4.2)$$

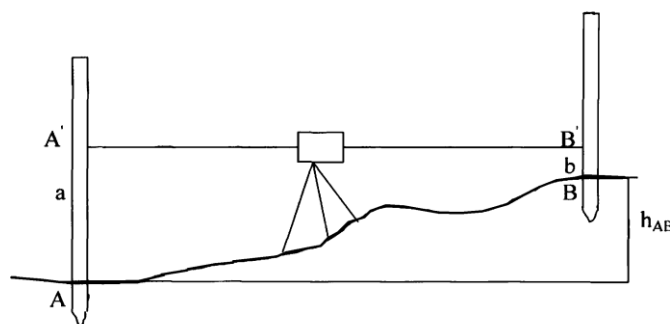


Рис. 4.2. Схема нивелирования из середины

Точку A , относительно которой определяют превышение называют задней, а точку B – передней. Таким образом, превышение равно отсчету по задней рейке минус отсчет по передней. Этот способ называется способом нивелирования из середины.

Простое нивелирование – одна установка нивелира и одна станция. Если организуется несколько станций, образующих нивелирный ход, то такое нивелирование называется сложным. Точки нивелирного хода общие для двух смежных станций называются связующими.

При этом превышение конечной точки B нивелирного хода над начальной A равно сумме превышений между связующими точками, т.е.

$$h_{AB} = h_1 + h_2 \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i. \quad (4.3)$$

Если известна высота начальной точки A (H_A), то высоту конечной точки B определяют по формуле (превышение может быть положительным и отрицательным)

$$H_B = H_A + h_{AB}. \quad (4.4)$$

Сложное геометрическое нивелирование, выполняемое с целью определения высот точек, расположенных на оси сооружения линейного типа (автодороги, ЛЭП), нивелирования теодолитных ходов, на-

зывается продольным нивелированием.

Второй способ геометрического нивелирования – это *нивелирование вперед*. Нивелир устанавливают в начальной точке *A*, а в точке *B* ставят вертикально рейку, обращенную черной стороной к прибору (рис. 4.3). Отсчеты берут только по черной стороне рейки. Рулеткой или рейкой измеряют расстояние от верха колышка (*A*) до центра окуляра горизонтально установленной зрительной трубы, называемое высотой прибора *i* и берут отсчет *b* по рейке. Затем вычисляют превышение по формуле

$$h_{AB} = i - b, \quad (4.5)$$

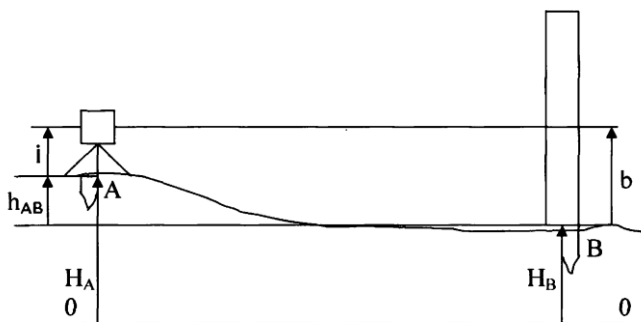


Рис. 4.3. Схема нивелирования вперед

Таким образом, при нивелировании вперед превышение равно высоте прибора – *i* минус отсчет по рейке – *b*. Нивелирование вперед имеет низкую производительность и меньшую точность, по сравнению с нивелированием из середины. Для определения отметки точки *B* (*H_B*) вначале находят горизонт прибора *ГП* по формуле

$$ГП = H_A + i, \quad (4.6)$$

а затем по формуле

$$H_B = ГП - b, \quad (4.7)$$

окончательно находят отметку точки *B*.

Горизонт прибора (инструмента) – расстояние по отвесной линии от визирной оси нивелира до уровенной поверхности, принятой за

начало счета отметок. Он также численно равен отметке точки, на которой установлена рейка, плюс отсчет по рейке

$$\text{ГП} = H_B + b. \quad (4.8)$$

Геометрическое нивелирование точек (способом вперед), расположенных с заданной плотностью в пределах участка местности, называется нивелированием поверхностей.

4.3. Устройство, поверки и юстировки нивелиров

В современных нивелирах визирная ось прибора устанавливается в горизонтальное положение либо при помощи цилиндрического уровня, либо автоматически посредством специальных устройств, называемых компенсаторами. В связи с этим нивелиры первого типа называются нивелирами с уровнем при трубе, а второго – с самоустанавливающейся линией визирования. В нивелирах с самоустанавливающейся линией визирования используют компенсаторы для автоматического удержания визирной оси в горизонтальном положении. При наклоне зрительной трубы на некоторый малый угол компенсатор стабилизирует положение визирной линии, т.е. возвращает ее в горизонтальное положение. В современных нивелирах диапазон работы современного компенсатора 5-30'.

Марки нивелиров: Н-05, Н-3, Н-10 и др. Цифры в шифрах нивелиров обозначают средние квадратические погрешности нивелирования в мм на 1 км двойного хода. Н-3 точный нивелир, погрешность не более 3 мм на 1 км двойного хода, предназначен для нивелирования III кл. Нивелир имеет контактный уровень и элевационный винт.

Н-3КЛ – нивелир такой же точности, но имеет компенсатор и лимб.

Все нивелиры не менее одного раза в год должны проходить аттестацию и быть поверены. В результате поверки проверяется и исправляется (юстировка) основное геометрическое условие нивелира – оптическая ось зрительной трубы должна быть горизонтальна (для нивелиров с компенсатором), и должна быть параллельна оси цилиндрического уровня (для нивелиров с уровнем при трубе).

4.4. Высотные сети

Передачу высот на пункты сгущения и съемочных сетей осуществляют с помощью *технического нивелирования*, предельная невязка которого (мм) не должна превышать

$$f_{\text{дон.}} = \pm 50\sqrt{L}, \quad (4.9)$$

где L – длина хода (км).

Геометрическое нивелирование разделяют на государственное I, II, III и IV классов и техническое нивелирование.

Сети I и II класса – главная высотная основа.

Сеть III класса – высотное обоснование топографических съемок, опирающаяся на нивелирные знаки I и II классов.

Сеть IV класса является сгущением сетей III класса и служит для обоснования топографических съемок

$$f_{\text{дон.}} = \pm 20\sqrt{L}. \quad (4.10)$$

Нивелирные знаки делятся на постоянные (фундаментальные реперы, стенные марки) и временные (временные реперы, грунтовые марки).

4.5. Площадное нивелирование (нивелирование по квадратам)

Может использоваться как вид топографической съемки. Оно производится на открытой местности со слабовыраженным рельефом для составления крупномасштабных планов. Допустимые уклоны в пределах 0,0002-0,005. Масштабы 1:1 000 – 1:5 000, сечение рельефа 0,25-0,5 м. Цель съемки – составление проектов вертикальной планировки и подсчет объемов земляных работ.

В зависимости от характера рельефа, требуемой точности разбивают сеть квадратов или магистралей, реже полигонов со сторонами от 10 до 100 м, обычно 10×10 м, или 20×20 м. Вершины квадратов закрепляют колышками с номерами. Перед началом нивелирования на плотной бумаге составляют схему квадратов, которая одновременно является и полевым журналом нивелирования. Реечника снабжают такой схемой с указанием порядка перемещения. Если на сторонах квадрата имеются точки перегиба, то их отмечают как плюсовые пикеты. Станции выбирают так, чтобы из связующих точек образовался замкнутый полигон. С каждой станции, в зависимости от характера рельефа, определяют отметки вершин квадратов в радиусе 100-150 м. Одновременно снимают абрис или кроки. Отметки вершин квадратов и промежуточных точек определяют через горизонт прибора и записывают с точностью до 1 мм на схему нивелирования под отсчетами по черной стороне рейки этих же точек.

Найденное значение горизонта прибора вписывают на схему нивелирования.

Контроль нивелирования на станции состоит в том, что суммы накрест лежащих взглядов (отсчетов) на связующие точки должны быть равны. Расхождение сумм не должно быть более 4 мм.

Уравнивание результатов нивелирования и вычисление отметок вершин квадратов производят в следующем порядке. По каждой линии хода вычисляют превышения конечной точки над начальной из пары отсчетов взятых на одной станции.

Вычисляют превышения по полигону, записывают в ведомость, в которой уравнивают и вычисляют высоты вершин опорного полигона, приняв одну из них за исходную.

Вычисленные высоты связующих точек выписывают на полевую схему. Затем по высотам двух точек на каждой станции вычисляют два значения горизонта прибора, средние из которых выписывают над номером станции, округляя до сотых долей метра.

После вычислительной обработки результатов нивелирования составляют топографический план, на который наносят границу участка, вершины квадратов, дополнительные точки в характерных местах рельефа, контуры ситуации. Подписывают высоты точек и проводят горизонтالي с заданной высотой сечения рельефа. План вычерчивают тушью в соответствии с условными знаками.

По отметкам вершин квадратов, используя кроки нивелирования, производят построение горизонталей методом графического интерполирования с заданной высотой сечения рельефа.

Горизонтالي интерполируют только между точками на однородном скате. Существуют аналитический (рис. 4.5) и графический способы интерполирования.

Из условий подобия имеем

$$\frac{d_1}{d} = \frac{h_1}{H_A - H_B}, \text{ или } d_1 = \frac{h_1}{H_A - H_B} d, \quad (4.11)$$

где h_1 – расстояние (по высоте) до ближайшей горизонтали;

h_2 – расстояние до следующей горизонтали.

Далее находим расстояние $d_1 + d_2$

$$d_1 + d_2 = \frac{h_2}{H_A - H_B} d . \quad (4.12)$$

Аналогично интерполируют по другим сторонам квадрата, после чего проводят горизонтали через точки с одинаковыми высотами. Способ графического интерполирования основан на использовании палетки. Ход горизонталей должен быть плавным и соответствовать рельефу местности. Опытные топографы интерполируют на глаз.

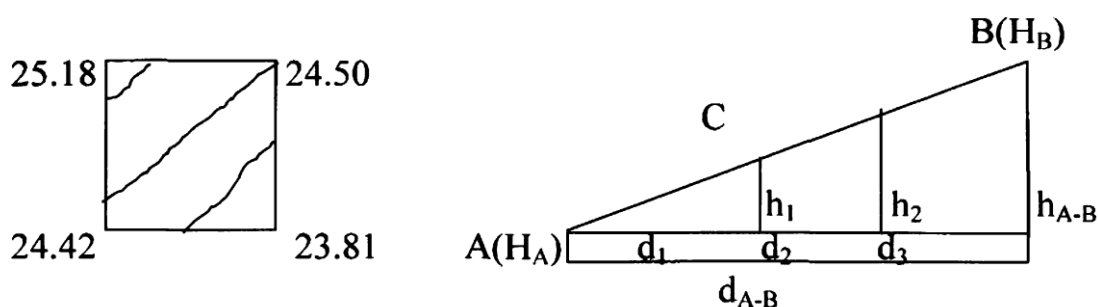


Рис. 4.5. Схема аналитического интерполирования

Горизонтالي – линии равных отметок, поэтому задача будет решена, если найти на плане точки с одинаковыми отметками и соответствующим образом соединить их плавными кривыми линиями. Для удобства зрительного восприятия и простоты расчетов, возникающих при решении задач по горизонталям, принято проводить их по отметкам, кратным высоте сечения. Например, при высоте сечения $h = 0,5$ м и диапазоне отметок 115,35 м -121,17 м горизонтالي должны соединять точки с отметками 115,50, 116,00, 116,50 и т.д.

Выполнив нивелирование по квадратам, приступают к подсчету объема земляных масс, необходимых для планировки площадки под горизонтальную плоскость. Вначале вычисляется отметка проектной плоскости, которую будет иметь площадка после планировки. Отметку проектной плоскости ($H_{пр.}$) вычисляют по формулам

$$H_{пр.} = \sum_{i=1}^n \frac{H_{ср.ч.от.}}{n}, \quad H_{ср.ч.от.} = \frac{\sum_{i=1}^4 H_i}{4}, \quad (4.13)$$

где H_i – отметка вершины i -того квадрата;
 $H_{ср.ч. отм.}$ – средняя черная отметка квадрата;
 n – число квадратов.

Контроль вычислений выполняется по формуле

$$H_{np} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 4\sum H_4}{4n}, \quad (4.14)$$

где H_1 – отметка, характерная для одной вершины квадрата;
 H_2 – отметка, характерная для двух вершин квадратов;
 H_4 – отметка, характерная для четырех вершин квадратов.

Затем составляют картограмму земляных масс на миллиметровой бумаге в масштабе 1:500, если длина стороны квадрата 20 м. Далее определяют рабочие отметки, которые указывают на то предстоит ли подсыпка грунта или наоборот срезка для получения отметки проектной плоскости. Соответственно рабочие отметки имеют положительные (+ насыпь) или отрицательные (– срезка) значения. Рабочие отметки вписывают красным цветом на картограмму земляных масс с точностью 0,01 м. Рабочие отметки определяют по формуле

$$h_{pab} = H_{np} - H_i. \quad (4.15)$$

Для тех сторон квадрата, где рабочие отметки имеют разные знаки, определяют местонахождение точек нулевых работ

$$X = \frac{|h_{p.1}| \times d}{|h_{p.1}| + |h_{pab.2}|}, \quad (4.16)$$

где X – расстояние до точки нулевых работ по оси X .

Точки нулевых работ соединяют прямыми линиями, которые разграничивают насыпь от выемки. Насыпь окрашивают красным, выемку – желтым. Расстояния до точек нулевых работ записывают синим. Объем земляных работ (V) определяется по формуле

$$V = S \times h_{np}, \quad (4.17)$$

где S – площадь строительной площадки;

$h_{пр}$ – высота призмы, равная средней рабочей отметке для данной фигуры.

Высоту вычисляют до тысячных долей метра, результаты заносят в таблицу 4.1

Таблица 4.1

Ведомость вычисления объемов земляных работ

Номер фигуры	Площадь	Высота приз- мы	Объемы	
			Насыпь	Выемка
1				
2				
3				

$$S_{треуг.} = \frac{1}{2}ah, \quad S_{трап.} = \frac{a+b}{2} \times h \quad \sum V_n \quad \sum V_v$$

При производстве планировочных работ объем выемки примерно должен быть равен объему насыпи

$$\frac{\sum V_v - \sum V_n}{\sum V_v} \times 100\% \approx 2\%, \quad (4.18)$$

если баланс нарушен, то находят поправку ΔH к отметке проектной плоскости

$$\Delta H = \frac{\Delta V}{S_{уч.}} = \frac{\sum V_n - \sum V_v}{S_{уч.}} \quad (4.19)$$

и все вычисления выполняют снова.

4.6. Продольное техническое нивелирование (нивелирование трассы)

При проектировании линейных объектов (автодорог, траншей, линий электропередач, связи и т.д.) возникает необходимость построения продольных профилей по осям этих сооружений. Комплекс геодезических работ на местности при прокладке трассы складывается из: назначения на местности линии заданного направления и заданного

уклона, вешение и закрепление этой линии, измерение и разбивка углов поворота трассы, разбивка пикетажа, поперечников и кривых, съемка узкой полосы местности, нивелирование трассы и поперечников.

Если трассу проектируют по картам или планам, то трассирование называют камеральным; если выбирают непосредственно на местности, то полевым. Данная задача обычно выполняется техническим нивелированием – определяют высотное и плановое положение точек, расположенных вдоль оси сооружения через определенные интервалы (20-100 м), и дополнительных между ними точек, отражающих особенности рельефа местности.

В состав полевых работ изысканий этих сооружений входят подготовительные, рекогносцировка местности, разбивка пикетажа и съемка ситуации вдоль трассы, разбивка закруглений, вынос пикетов на кривую, нивелирование всех точек трассы.

Подготовительные работы включают поверки, юстировки, исследования геодезических приборов и их принадлежностей.

Рекогносцировка местности проводится с целью выбора окончательного положения трассы

Разбивка пикетажа. Определив окончательное положение трассы, приступают к разбивке оси сооружения на равные по длине участки, как правило, в 100 м. При углах наклона местности $\nu > 2^\circ$ между пикетами откладывают расстояния $D = d/\cos \nu$ ($d = 100$ м). Конечные точки таких участков трассы называют *пикетами*, поэтому совокупность действий по определению их положений на местности получило название *разбивки пикетажа*.

Пикеты закрепляют на местности деревянными колышками, вбиваемыми почти вровень с землей. Для их быстрого отыскания и обозна-

чения рядом с пикетами вбивают сторожок (колышек длиной 0,3-0,4 м), на верхней части которого подписывают номер пикета. Пикету, совпадающему с началом трассы, присваивают нулевой номер, следующему через 100 м – номер один и т.д. Такая нумерация удобна тем, что по номеру пикета легко определить расстояние от начала трассы. Например, ПК3 (пикет № 3) находится в 300 м от начала трассы.

Если трасса представляет собой ломаную линию, то вершины углов закрепляют колышками на местности и теодолитом измеряют углы Θ . Угол Θ , составленный воображаемым продолжением прямолинейного участка трассы и ее новым направлением, называют *углом поворота трассы*.

Для более полной характеристики рельефа местности помимо пикетов в местах перегиба земной поверхности вдоль трассы фиксируют дополнительные точки *C, E, P* (рис. 4.6.), называемые *плюсовыми*.

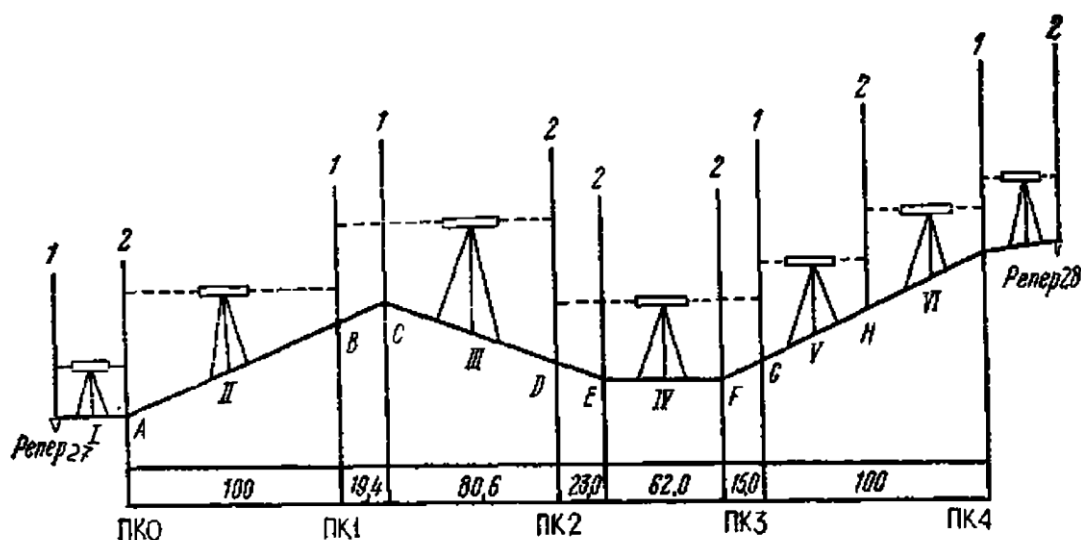


Рис. 4.6. Продольное нивелирование

На сторожке плюсовой точки подписывают номер ближайшего заднего пикета и расстояние от него в метрах, например ПК 1 + 19,4.

Закрепление по трассе пикетов и промежуточных точек сопровождается одновременной разбивкой точек, расположенных влево и

вправо от трассы по перпендикулярным к ней направлениям, называемым *поперечными профилями*. Они характеризуют рельеф в поперечном направлении к трассе и их используют для подсчета объемов земляных работ. Для нахождения положения точек поперечного профиля измеряют расстояния в обе стороны от трассы. Длины поперечных профилей и расстояния между ними могут быть различными в зависимости от назначения профиля, характера местности и точности работ.

Чтобы иметь информацию о ситуации местности, непосредственно прилегающей к трассе, в процессе разбивки пикетажа проводится съемка узкой полосы с помощью прибора или глазомерная съемка в пределах 25-50 м влево и вправо от оси. Результаты разбивочных и съемочных работ отражают в *пикетажной книжке*, страницы которой разграфлены на квадраты. Центральную линию на странице пикетажной книжки принимают за ось сооружения, а влево и вправо от нее в принятом масштабе съемки показывают ситуацию местности. Трасса независимо от наличия поворотов изображается в пикетажной книжке в виде прямой линии. Углы поворота показывают условно в виде стрелки с указанием нового направления трассы. Рядом на полях пикетажной книжки вписывают значение угла поворота и азимут (или румб) нового направления. Поскольку ось сооружения линейного типа в пикетажной книжке представлена прямой линией, то реальное положение ситуации местности сохраняется только относительно каждого прямолинейного участка трассы. По данным пикетажной книжки вычерчивают план местности на продольном профиле.

Таким образом, передвигаясь по прямолинейному участку трассы, одновременно выполняют разбивку пикетажа и поперечных профилей, фиксируют положение промежуточных точек и ведут съемку ситуации. Дойдя до вершины первого угла поворота, и определив его

пикетажное значение, разбивочные работы временно приостанавливают, поскольку в месте поворота трассы необходимо вставить между прямолинейными участками сопрягающую кривую, называемую *закруглением*. Поскольку длину трассы необходимо знать по сопрягающей кривой, а не по ломаной линии, то возникает задача разбивки кривой.

Разбивка закруглений. Существуют сопрягающие кривые между прямолинейными участками различных видов. На практике чаще используют наиболее простой вид кривой, являющейся дугой окружности и называемый *круговой кривой*. Начало кривой (НК), ее середина (СК) и конец (КК) определяют *главные точки кривой*. Для их нахождения необходимо знать следующие элементы круговой кривой: Θ – угол поворота трассы; R – радиус кривой; T – длину касательной, называемую тангенсом; K – длину кривой; B – биссектрису кривой; D – домер, представляющий собой разность длин между ломаной $2T$ и дугой K .

Если угол поворота трассы Θ измерен на местности, а значение радиуса R выбрано с учетом местности и класса сооружения, то остальные элементы круговой кривой можно вычислить.

Из прямоугольного треугольника OAB (рис. 4.7)

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \quad (4.20)$$

Длину кривой K определяют по формуле

$$K = \frac{\pi R}{180^\circ} \theta. \quad (4.21)$$

Биссектриса кривой

$$B = R \sec \frac{\theta}{2} - R, \quad (4.22)$$

По найденным значениям тангенса T и кривой K вычисляют до-

мер.

$$Д = 2Т - К. \quad (4.23)$$

Зная элементы круговой кривой, находят ее главные точки на местности. Начало (НК) и конец (КК) круговой кривой получают, откладывая значения тангенсов от вершины угла поворота против и по ходу трассы.

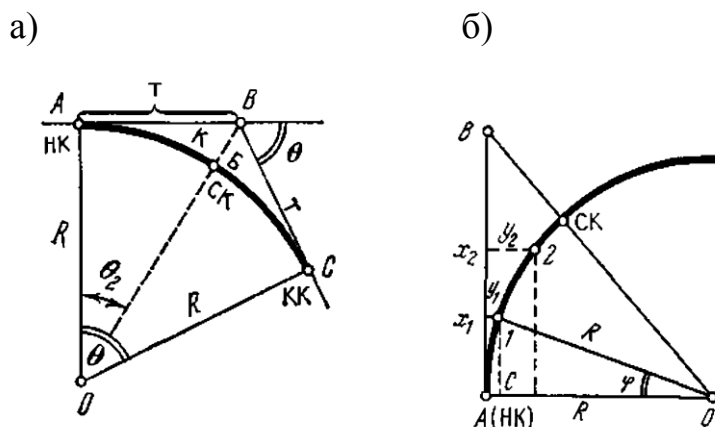


Рис. 4.7. Элементы круговой кривой (а) и способ прямоугольных координат (б)

Для отыскания середины кривой (СК) устанавливают теодолит в вершине угла, находят на местности направление биссектрисы BO , вдоль которой откладывают ее значение B и фиксируют точку, являющуюся серединой кривой. Пикетажное значение главных точек круговой кривой определяют по формулам

$$НК = ВУ - Т; \quad СК = НК + (1/2)К; \quad КК = НК + К. \quad (4.24)$$

$$\text{Контроль: } КК = ВУ + Т - Д, \quad (4.25)$$

где $ВУ$ – пикетажное значение вершины угла поворота.

Закрепив колышками главные точки круговой кривой, продолжают разбивку пикетажа следующего прямолинейного участка. Чтобы получить положение пикета, находящегося за концом круговой кривой по ходу трассы, откладывают расстояние, дополняющее пикетажное значение конца кривой до ближайшей сотни метров. Далее

разбивку пикетажа выполняют в том же порядке.

Нивелирование трассы. При техническом нивелировании все точки, зафиксированные на местности по оси сооружения, делят на связующие и промежуточные. *Связующие точки* являются общими для двух смежных станций и служат для передачи высот по ходу. Все остальные точки нивелирного хода называют *промежуточными*. Для передачи абсолютной высоты от ближайшего репера на нулевой пикет прокладывают нивелирный ход. Такие действия называют *привязкой нивелирного хода* к государственной сети. Нивелирование связующих точек, как правило, выполняют из середины.

При нивелировании трассы необходимо выполнять следующие условия:

- контролировать неравенство (в пределах 10 м) расстояний от нивелира до задней и передней реек на станции;
- не допускать удаления реек от станции свыше 100 м (или 150 м при увеличении трубы свыше 30^х);
- следить, чтобы высота визирного луча над поверхностью земли была не менее 0,2 м;
- контролировать полученное на станции превышение между связующими точками повторным измерением. При работе с двухсторонними рейками отсчеты выполняют по обеим сторонам рейки. Расхождение двух превышений, вычисленных на станции, не должно превышать 5 мм;
- нивелировать промежуточные точки один раз (без контроля) по черным сторонам реек. При этом допускается неравенство расстояний от прибора до реек.

Порядок работы на станции. Нивелирование трассы ведут от нулевого пикета. Полевые работы на станции выполняют в следующей

последовательности.

1. Устанавливают нивелир на станции I, примерно равноотстоящий от реек А и В (рис. 4.2).

2. Приводят при помощи круглого уровня ось вращения прибора в отвесное положение.

3. Визируют на заднюю рейку, установленную в точке А, приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт, делают отсчеты по средней нити по черной и красной сторонам рейки. Результаты измерений записывают в нивелирный журнал.

4. Аналогичным образом получают отсчеты по средней нити по черной и красной сторонам передней рейки, установленной в точке В. Результаты фиксируют в нивелирном журнале.

5. На каждой станции вычисляют превышения, определенные по черным и красным сторонам реек.

При допустимых (менее 4 мм) расхождениях в превышениях вычисляют среднее превышение, округленное до целых миллиметров. При невыполнении указанного допуска измерения на станции повторяют.

Если между связующими точками станции промежуточные точки отсутствуют, то наблюдатель с прибором переходит на следующую станцию, а задний реечник на переднюю точку новой станции.

При наличии промежуточных точек на станции их нивелирование выполняют лишь после завершения нивелирования связующих точек. Отсчеты берут по черной стороне рейки, последовательно устанавливаемой задним реечником на всех промежуточных точках. Точки поперечного профиля также нивелируют как промежуточные.

При нивелировании на крутых равномерных склонах, когда при одной установке прибора оказывается невозможным определить превышение между соседними точками, между ними закрепляют дополни-

тельные точки, выполняющие роль связующих. Поскольку выбранные точки располагаются на участках местности с равномерным уклоном, то нет надобности наносить их на профиль и измерять до них расстояния от пикетов. Такие дополнительные связующие точки носят название *иксовых*.

После нивелирования всех пикетов и промежуточных точек, расположенных на трассе и поперечных профилях, делают привязку нивелирного хода к реперу. В этом случае обеспечивается надежный контроль качества полевых измерений. При отсутствии такого репера прокладывают двойной нивелирный ход, т.е. нивелируют трассу в прямом и обратном направлениях.

Камеральная обработка результатов технического нивелирования состоит в обработке журнала нивелирования, включающего проверку правильности записей и полевых вычислений, выполнение уравнивания нивелирного хода, вычисление высот, нивелируемых точек, а также в составлении продольного и поперечных профилей трассы.

Обработка журнала нивелирования. Контроль результатов полевых измерений проводят отдельно для каждой страницы журнала либо в поле, либо в камеральных условиях и называют *постраничным контролем*. Он заключается в подсчете и записи в нижней части страницы журнала соответствующих суммарных результатов. Вычисления, аналогичные постраничным, выполняют и для всего хода. В случае правильности вычислений приступают к приближенному уравниванию нивелирного хода, т.е. к нахождению наиболее надежных значений высот связующих точек. Приближенное уравнивание разомкнутого или замкнутого нивелирного хода сводится к распределению высотной невязки на все превышения пропорционально расстояниям между связующими точками.

Контролем правильности выполненных действий служит точное совпадение вычисленного и известного значений высоты конечного пункта.

После определения высот связующих точек нивелирного хода приступают к нахождению высот промежуточных точек. Для этого используют *горизонт прибора* на станции, под которым понимают абсолютную высоту $H_{з.п.}$ визирной оси прибора. Горизонт прибора равен высоте заднего (или переднего) пикета плюс отсчет по рейке, установленной на нем:

$$H_{г.п.} = H_{пк1} + a, \quad H_{г.п.} = H_{пк2} + b. \quad (4.26)$$

Высоту любой промежуточной точки получают как разность горизонта прибора и отсчета по черной стороне рейки, установленной на данной точке.

4.7. Построение продольного профиля трассы

Техническое нивелирование завершают составлением продольного и поперечного профилей трассы, которые строят на основании вычисленных высот. Обычно профиль вычерчивают на миллиметровой бумаге, принимая масштаб по вертикали в 10 раз крупнее, чем по горизонтали. В средней части листа проводят горизонтальную линию, являющуюся линией условного горизонта. Ниже этой линии строят профильную сетку, содержащую ряд полос. Их длины определяют протяженностью трассы в принятом горизонтальном масштабе. Профильная сетка содержит информацию: о фактических и проектных уклонах, фактических и проектных отметках, о положении пикетов и плюсовых точек; включает план прямых и кривых, план местности и т.д.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы нивелирования?
2. В чем сущность геометрического нивелирования?
3. В чем преимущества нивелирования из середины?
4. Какое различие между высотой и горизонтом инструмента?
5. Как вычисляют отметки точек через горизонт инструмента?
6. Каково главное условие, которому должны удовлетворять нивелиры с цилиндрическими уровнями?
7. Каково назначение элевационного винта у нивелира НВ-3?
8. На чем основана работа компенсатора в самоустанавливающихся нивелирах?
9. Каковы источники погрешностей при геометрическом нивелировании?
10. Опишите порядок работы на станции при геометрическом нивелировании. Как осуществляется контроль нивелирования?
11. Как определяют невязки в замкнутом и разомкнутом нивелирных ходах?
12. В чем сущность тригонометрического нивелирования?
13. Для чего при тригонометрическом нивелировании стремятся визировать на отсчет, равный высоте инструмента?
14. В чем сущность барометрического, гидростатического, автоматического и аэронивелирования и какова их точность?
15. Какие документы получают в результате нивелирования поверхности?
16. Как вычисляют горизонт инструмента?
17. Что необходимо знать, чтобы определить отметки вершин?
18. С какой точностью производят вычисление отметок вершин и записывают их на схему нивелирования?

19. С какой точностью выписывают отметки вершин на план?
20. Как выполняют графическую интерполяцию горизонталей?
21. Какие цвета применяют для оформления плана?
22. По какой формуле вычисляют проектную и рабочую отметки?
23. По какой формуле производят контроль вычисления проектной отметки?
24. Что выписывают на картограмму земляных работ, и каким цветом?
25. О чем говорят знаки рабочей отметки «плюс» и «минус»?
26. По каким формулам вычисляют горизонтальные расстояния от точки нулевых работ до вершин квадратов?
27. По какой формуле подсчитывают объем земляных работ?
28. Чему равна высота призмы?
29. При каком условии можно считать, что баланс земляных работ не нарушен?
30. Нужно ли учитывать при подсчете объема земляных работ объем грунта, вынимаемого из котлована?

Рекомендуемая литература

1. Инженерная геодезия / Е.Б. Ключин [и др.] / под ред. Д.Ш. Михелева: учебник для вузов. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 480 с.
- 2 Новак В.Е. Практикум по инженерной геодезии / В.Е. Новак. – М.: Недра, 1986. – 273 с.

ГЛАВА 5. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ. ТЕОДОЛИТ

5.1. Принцип измерения углов теодолитом

Говоря об измерении углов на местности, имеют ввиду горизонтальные и вертикальные углы. Рассмотрим три точки местности AOB , расположенные на разных высотах над горизонтальной плоскостью H (рис. 5.1).

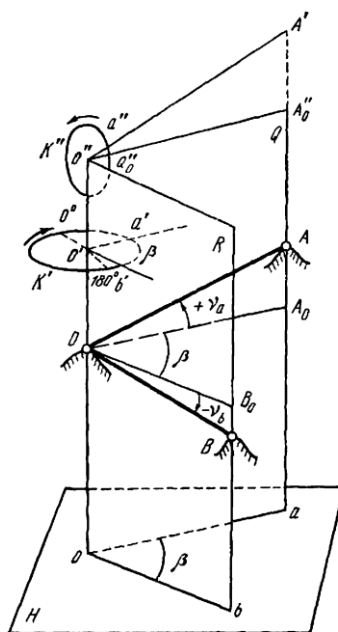


Рис. 5.1. Принципиальная схема измерения горизонтальных и вертикальных углов

Требуется измерить горизонтальную проекцию этого угла на горизонтальную плоскость. Проведем через стороны угла AO и OB отвесные плоскости Q и R , пересекающие плоскость H по направлениям oa и ob . Угол oav в плоскости H и будет горизонтальным углом β , который требуется измерить.

Расположим горизонтально угломерный круг k' так, чтобы его центр a' разместился на отвесной линии, проходящей через вершину угла AOB . Отвесные плоскости Q и R пересекут угломерный круг по

радиусам $o'a'$ и $o'b'$, а образованный между ними угол и будет равен β . Его величина будет равна разности двух значений по кругу k' , взятых в точках b' и a' , т.е.

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

Чтобы измерить вертикальные углы или углы наклона линий местности AO и OB нужно через точку O в отвесных плоскостях Q и R провести горизонтальные линии oa_o и oa .

Вертикальный угол v_o с помощью круга k'' можно получить как разность двух отсчетов по кругу в точках a'' и a_o'' , т.е.

$$v_o = a'' - a_o'',$$

где a'' - отсчет по радиусу $o''a''$.

Последовательно совмещая по таким же правилам круг k'' с отвесными проектируемыми плоскостями, проходящими через другие линии местности, можно измерить углы наклона этих линий.

Таким образом, измерения горизонтальных и вертикальных углов необходим прибор, имеющий горизонтальные или вертикальные угломерные круги с отсчетными устройствами. Эти круги должны устанавливаться строго горизонтально или строго вертикально. Необходимо также устройство, при помощи которого можно последовательно совмещать вертикальный круг в отвесных плоскостях Q и R , проходящих через стороны заданных линий местности.

Всем перечисленным требованиям удовлетворяет угломерный прибор, который называется *теодолитом*. Первый теодолит изобретен еще в XVII в. Он является наиболее точным и распространенным прибором для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Основными частями теодолита (рис. 5.2) являются горизонтальный круг (лимб); отсчетное устройство лимба, расположенное на алидаде; вертикальный лимб, и зрительная труба, поддерживаемая верти-

кальными стойками; алидада; вертикальный круг; цилиндрический уровень горизонтального круга; три подъемных винта, связанные с подставкой прибора; второй цилиндрический уровень на алидаде вертикального круга.

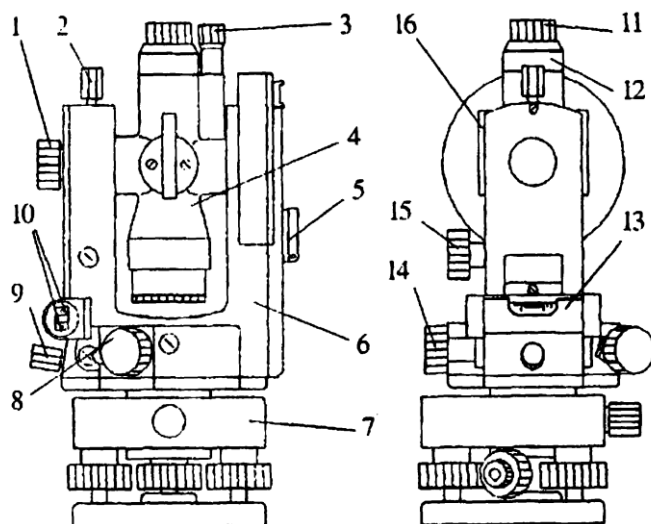


Рис. 5.2. Теодолит 4Т30П

1 - кремальера; 2 - закрепительный винт трубы; 3 - окуляр микроскопа; 4 - визир; 5 - зеркало подсветки; 6 - колонка; 7 - подставка; 8 - рукоятка перевода лимба; 9 - закрепительный винт алидады; 10 - винт юстировочный; 11 - кольцо окуляра диоптрийное; 12 - колпачок; 13 - уровень при алидаде горизонтального круга; 14 - винт алидады наводящий; 15 - наводящий винт трубы.

Горизонтальные и вертикальные лимбы современных теодолитов представляют собой круги, изготовленные из прозрачного стекла. На лимбах нанесены равномерные круговые шкалы оцифрованные в градусной мере. Алидады горизонтального и вертикального кругов снабжены отсчетными устройствами, обеспечивающими взятие отсчетов по лимбу с определенной точностью.

Все современные теодолиты имеют перечисленные ранее основные части. Согласно ГОСТ 10529-86 выпускаются теодолиты пяти типов Т-1, Т-2, Т-5, Т-15 и Т-30. Принципиальная геометрическая схема осей всех теодолитов одинакова. Различаются они по точности

измерения горизонтальных и вертикальных углов и конструктивными особенностями. Цифры в обозначении указывают на погрешность с которой можно измерять углы, выраженную в угловых секундах. Т-30 – погрешность 30", Т-5 - 5".

Теодолит 4Т30П используется для производства геодезических работ. Основное преимущество – малый вес и размеры, простейший способ отсчитывания по угломерным кругам при помощи штрихового микроскопа. В верхней части поля зрения отсчетного микроскопа, помеченной буквой *B*, дается изображение штрихов вертикального круга, в нижней, помеченной буквой *Г* – штрихи горизонтального круга. Отсчеты берутся с точностью до 1'.

5.2. Поверки и юстировка теодолита

Независимо от типа теодолита взаимное расположение его частей должно удовлетворять ряду геометрических условий. Соблюдение их устанавливают, выполняя определенные действия, которые называют поверками.

1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы. Соблюдение этого условия необходимо для получения отвесной проектирующей коллимационной плоскости, образующейся при вращении визирной оси зрительной трубы вокруг горизонтальной оси вращения трубы теодолита.

3. Горизонтальная ось теодолита (ось вращения зрительной трубы) должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита.

4. Один из штрихов сетки нитей должен находиться в коллимационной плоскости.

Если обнаружено, что какое-то из геометрических условий не соблюдено, то производят юстировку (регулировку) прибора.

5.3. Измерение горизонтального угла

Пусть требуется измерить горизонтальный угол между двумя направленными AO и OB . Вершина угла точка O . Заранее знают какой угол необходимо измерить, левый или правый по ходу. Для направления от точки A к точке B левым по ходу является $\angle \beta$, а правым λ , получаемый как дополнение $\lambda = 360^\circ - \beta$ (рис. 5.3.).

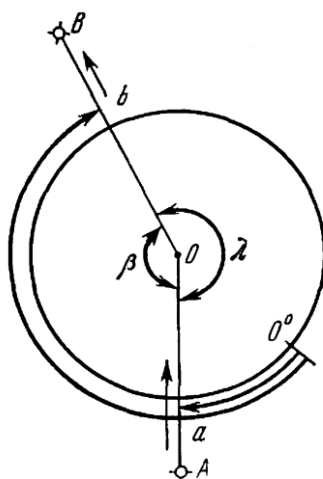


Рис. 5.3. Измерение горизонтального угла способом приеомв

Вначале устанавливают теодолит в вершине O , так чтобы его вертикальная ось была отвесна и проходила через точку O . Установка теодолита состоит из двух операций центрирования и горизонтирования, которые проводят одновременно.

Центрирование выполняют при помощи оптического или нитяного отвеса, подвешенного к верхней части штатива, на который ук-

репляется теодолит. Далее приводят теодолит в рабочее положение используя уровень при алидаде горизонтального круга.

Существует ряд способов измерения горизонтальных углов теодолитом. Наиболее простой *способ приемов* – *способ измерения отдельного угла*. Одновременно с приведением теодолита в рабочее положение в вершине угла O на точках A и B устанавливают визирные цели (вехи, колья, маркеры). Прием измерения состоит из двух независимых полуприемов, выполняемых при КЛ и КП. Рассмотрим измерение левого по ходу угла β . Закрепляют неподвижно лимб теодолита, открепляют алидаду и наводят зрительную трубу при КЛ на заднюю точку A , Берут отсчет (1) и записывают в журнал (табл. 5.1). Затем открепляют алидаду, наводят зрительную трубу при том же круге на переднюю точку B и берут отсчет (2). Вычисляют значение (3) левого по ходу угла (отсчет на переднюю точку минус отсчет на заднюю точку – первый полуприем). Приступают к выполнению второго полуприема при КП. Зрительную трубу поворачивают вокруг горизонтальной оси меняя местами окуляр и объектив (переводят трубу через зенит). Открепляют алидаду и при неподвижном лимбе последовательно визируют при КП на заданную точку A и переднюю точку B . Взятые отсчеты (4) и (5) заносят в журнал (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Журнал измерения горизонтальных углов

№ приема	Точка Стояния	Визируемая точка	КЛ КП	Отсчет по горизонтальному кругу	Значение угла в полуприеме	Среднее значение угла в приеме
1	О	А	КЛ	0°04' (1)	172°44' (3)	172°44,5'
		В		172°48' (2)		
		А	КП	180°05' (4)	172°45' (6)	
		В		352°50' (5)		

Вычисляют значение (6) угла из второго полуприема при КП отсчет (5) – отсчет (4). Если расхождение $\beta_{КЛ}$ и $\beta_{КП}$ из полуприемов не превышает двойной точности отсчетного устройства, то вычисляют значение угла в полном приеме как среднее $\beta = (\beta_{КЛ} + \beta_{КП}) / 2$.

Если необходимо измерить угол несколькими приемами, то при переходе к следующему приему лимб переставляют на величину $180^\circ/n$ и все действия в приеме повторяют. Результатом является среднеарифметическое значение угла из нескольких приемов.

5.4. Измерение вертикального угла

Вертикальный круг теодолита предназначен для измерения вертикальных углов. Началом отсчета этих углов является горизонтальная линия в теодолитах, предназначенных для измерения углов наклона и вертикальная в теодолитах, предназначенных для измерения зенитных углов.

Лимб вертикального круга теодолита наглухо скреплен со зрительной трубой. Алидада вертикального круга несет на себе отсчетное устройство, причем нулевой диаметр его должен быть расположен горизонтально. Если это требование не выполнено, то при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы отсчет по вертикальному кругу будет отличен от 0° или 90° . Такой отсчет называется *местом нуля вертикального круга (МО)*.

Измерение вертикального круга теодолитом сводится к отсчитыванию по вертикальному кругу при визировании на наблюдательную точку при КЛ и КП. Для вычисления угла наклона ν вначале определяют значение *МО* по формуле для теодолита 4Т30П

$$МО = (КЛ + КП) / 2, \quad (5.1)$$

а затем вычисляют угол наклона по формуле

$$\nu = \angle KLO - \angle MO. \quad (5.2)$$

Так как конструкции вертикальных кругов в различных марках теодолитов могут значительно отличаться, мы рекомендуем формулы для вычисления MO и измеренного угла ν брать из паспорта к конкретному теодолиту.

Контрольные вопросы

1. Что называется горизонтальным углом?
2. Опишите порядок действий при установке зрительной трубы для наблюдений. Для чего служит кремальера?
3. Чем отличается визирная ось от оптической и геометрической осей зрительной трубы? Что такое визирная ось?
4. Какую плоскость называют коллимационной?
5. Как устроена сетка нитей, где она находится?
6. Что называется осью цилиндрического уровня, ценой деления? Для чего служат уровни?
7. Что называют поверками геодезического инструмента и зачем их выполняют?
8. В какой последовательности выполняют поверки теодолита?
9. Каков порядок работы на станции при измерении горизонтального угла?
10. Для чего измеряют горизонтальный угол при двух положениях вертикального круга?
11. Какое допускается расхождение между двумя значениями угла в полуприемах?
12. Каково назначение цилиндрического уровня при алидаде вертикального круга?

13. Что называют местом нуля вертикального круга и как его определяют? Какой допуск характеризует постоянство места нуля? Как привести значение места нуля к нулю?

14. Какие теодолиты называют оптическими? Какие отсчетные устройства применяются в оптических теодолитах?

Рекомендуемая литература

1. Инженерная геодезия / под ред. С.П. Закатова. – М.: Недра, 1976. – 583 с.

2. Инженерная геодезия / Е.Б. Ключин [и др.] / под ред. Д.Ш. Михелева: учебник для вузов – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 480 с.

3. Новак В.Е. Практикум по инженерной геодезии / В.Е. Новак – М.: Недра, 1986. – 273 с.

4. Фельдман В.Д. Основы инженерной геодезии / В.Д. Фельдман. – М.: Изд-во Высшая школа, 2001. – 456 с.

ГЛАВА 6. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

6.1. Виды топографических съемок

Совокупность действий, выполняемых на местности для получения плана называется *съемкой*. Если она производится для получения плана без изображения рельефа, то ее называют *контурной*. Если план отображает рельеф, то съемку называют *топографической* или *высотной*. Различают несколько видов съемок.

Теодолитная – по результатам съемки получается контурный или ситуационный план, в основном, измеряются горизонтальные углы.

Тахеометрическая съемка выполняется тахеометрами (теодолитами) для получения плана с изображением рельефа горизонталями. При такой съемке углы измеряют в вертикальной и в горизонтальной плоскостях. Расстояния определяют по дальномеру.

Мензульная съемка производится с использованием двух приборов: мензулы и кипрегеля, при помощи которых непосредственно на местности можно получить план с изображением рельефа. Достоинство мензульной съемки в том, что она позволяет в процессе съемки сопоставлять изображение, получаемое на плане с изображаемой местностью.

Фототеодолитная съемка производится путем фотографирования снимаемой площади с двух разных точек. Съемка выполняется на труднодоступных участках склонов, на бортах карьеров и др. После соответствующей обработки, получаемой пары снимков (стереопары), можно получить план участка местности.

Аэрофотосъемка – съемка, выполняется специальным фотоаппаратом АФА с самолета. Она производится в сочетании с наземными

геодезическими действиями, необходимыми для привязки снимков (контурная, комбинированная, стереофотограмметрическая).

Нивелирование – геометрическое нивелирование по квадратам является одним из видов съемки, позволяющей получить топографические планы равнинных участков местности.

Глазомерная, буссольная съемки позволяют получить ориентировочные планы территории, которые имеют очень низкую точность.

6.2. Общие правила ведения топографических съемок

Чтобы ослабить влияние ошибки измерения и не допустить их накопления в одной части снимаемой территории, принято за правило вести работы от *общего* к частному. С этой целью из множества снимаемых точек выделяют на данной территории наиболее характерные и определяют их в первую очередь и только после этого приступают к съемке подробностей. Такие точки называют *опорными*, служат основой для съемки всех объектов и контуров местности. Эти точки в своей совокупности образуют геодезическую опорную сеть. Все геодезические сети выполняются с контролем.

Положение любой точки можно определить топографическими координатами, выведенными из астрономических наблюдений, топографические координаты могут быть перевычислены в плоские прямоугольные координаты. Однако астрономический метод не дает высокой точности.

Геодезический метод состоит в том, что для определения координат находят из астрономических наблюдений только несколько точек, называемых *исходными*. Каждую исходную точку математически связывают со всеми остальными опорными точками, образуя из них

систему, называемую *геодезической опорной сетью* или просто геодезической сетью. Геодезическая сеть может быть образована сетью треугольников, называемой *триангуляцией* или *трилатерацией*, и сомкнутых или разомкнутых многоугольников, называемой *полигонометрией*.

6.3. Триангуляция, геодезические сети

Триангуляция служит основным методом создания государственной геодезической сети как для топографических съемок, так и для других геодезических измерений. Посредством геодезических измерений и математической обработки результатов координаты исходных точек передаются на все точки триангуляции, трилатерации и полигонометрии. Высоты пунктов определяются нивелированием. Геодезическая опорная сеть ограничивает накопление при съемке неизбежных ошибок измерений, обеспечивает контроль и позволяет вести топогеодезические работы одновременно на разных участках.

Сущность метода триангуляции – опорные точки выбирают, чтобы они равномерно покрывали снимаемую территорию, и чтобы из каждой точки было видно не менее трех соседних. Выбранные точки неизбежно и надежно закрепляют подземными сооружениями – центрами и обозначают особыми знаками или сигналами. Опорные точки связаны между собой в сеть треугольников. Чтобы определить временное расположение этих точек в горизонтальной проекции достаточно знать горизонтальную проекцию только одной какой-либо стороны и измерить горизонт проекции углов всех треугольников сети. Таким образом, действия при построении триангуляции (рис. 6.1) на местности состоят почти исключительно из угловых измерений,

выполняемых с сигналов, построенных на опорных точках для того, чтобы не мешали местные препятствия.

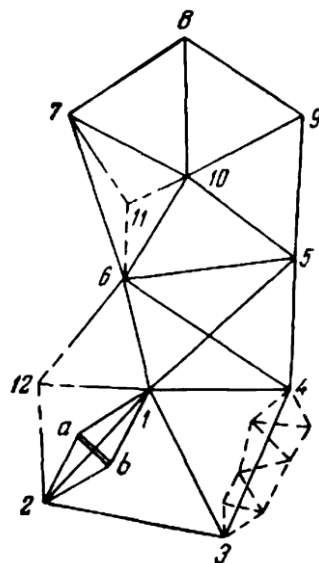


Рис. 6.1. Инженерно-геодезические сети триангуляции

Сторона 1-2, служащая исходной для вычислений называется *выходной*. Иногда вместо ее измерения определяют короткий базис ab и связывают его с выходной стороной при помощи вспомогательной триангуляции, называемой *базисной сетью* (угол против базиса не менее 36°). С большой точностью измеряют базис и все углы, а затем определяют расстояние 1-2. В вершинах базисной сети выполняют астрономические определения широты и долготы, а также истинные азимуты направления на смежные пункты триангуляции. Пользуясь этими измерениями находят координаты всех вершин треугольника. Высоту определяют нивелированием. Использование радио- и светодальномеров позволяет непосредственно измерять выходные стороны триангуляции без построения базисных сетей.

В России государственная триангуляция подразделяется на 1, 2, 3 и 4 классы. Триангуляция 1 класса прокладывается по параллелям и меридианам. Ряды переменных между собой образуют системы полигонов. Остающиеся внутри полигонов 1 класса площади заполняются

сплошной сетью треугольников 2 класса, сгущаемой затем сетями 3 и 4 классов.

1 класс – длина стороны треугольника 20-25 км, 2 класс – 7-20 км, 3 класс – 5-8 км, 4 класс – 2-5 км.

При отсутствии триангуляции 1 и 2 класса строят самостоятельные сети 3 и 4 класса с обязательными измерениями не менее двух базисов или выходных сторон с последующей их привязкой и триангуляции высших классов.

Координаты пунктов государственной геодезической сети вычисляются в *общегосударственной системе геодезических координат* (система 1941 г.). Исходным пунктом этой системы является центр сигнала Пулковской астрономической обсерватории. Геодезические координаты по существу это топографические координаты. Для всех пунктов геодезической сети вычисляют и прямоугольные координаты.

Космогеодезия позволяет увязать геодезическую сеть России с геодезическими сетями других стран.

Сети местного значения – государственные геодезические сети местного значения строят путем сгущения государственных геодезических сетей. Их прокладывают между пунктами государственной геодезической сети. Они разделяются на аналитические, полигонометрические сети 1 и 2 разрядов и сети технического нивелирования.

Съемочные сети подразделяются на плановые и высотные.

Плановые создают методом засечек с пунктов геодезических сетей всех классов и разрядов, проложением теодолитных и мензульных ходов и построением геометрических сетей. Точность плановых съемочных сетей 1:3 000.

Высотная съемочная сеть прокладывается в виде ходов и полигонов нивелирования ошибка $0,1-0,2 \sqrt{L_m}$.

6.4. Теодолитная съемка

6.4.1. Общие требования

Теодолитная съемка позволяет получить план с изображением или без изображения рельефа. Основным прибором является теодолит, которым измеряют горизонтальные и вертикальные углы. Опорой при теодолитной съемке служат теодолитные ходы, представляющие собой системы ломаных линий, в которых углы измеряются одним полным приемом, а стороны стальной 20-ти метровой лентой или дальномером с точностью 1:2 000. Концами этих линий должны быть пункты опорной геодезической сети. Обычно съемочная сеть при теодолитной съемке представляет собой: 1) сеть треугольников; 2) сеть полигонов; 3) просто теодолитных ходов. Формы теодолитных ходов зависят от характера снимаемой территории. При съемке полосы будущей дороги, какими прокладывают разомкнутые ходы в средних их частях. Разомкнутые ходы должны быть по возможности вытянутыми с углами поворота близкими к 180° . На участке строительства предприятия обычно прокладывают сомкнутый полигон. Точки теодолитных ходов выбирают так, чтобы длина их при измерении лентой была в среднем 250 м (400 – max, 50 – min), а углы наклона должны не превышать 5° . Перед производством измерений все вершины полигона закрепляют (обозначают) на местности, вехами и т.п. Не ранее чем через 1 км закладывают центры. Таким образом, теодолитная съемка состоит из: а) подготовительных работ, б) закрепления точек на местности, в) измерения линий и углов в полигонах и ходах, г) съемка подробностей, д) вычислительные работы, е) графические работы.

При проложении теодолитного хода измеряют горизонтальные углы вершинах углов хода и линии между этими вершинами. Углы,

правые по ходу измеряют одним полным приемом. При измерении углов во втором полуприеме измеряют по вертикальному теодолита угол наклона, если он больше 1° . По буссоли теодолита измеряют магнитные азимуты или румбы сторон угла, по которым вычисляют измеряемый горизонтальный угол для контроля измерений. Стороны измеряют дважды в прямом и обратном направлении (нитяной дальномер непригоден).

После измерения углов и линий производят съемку ситуации, прилегающей к вершинам углов и линиям. Результаты угловых и линейных измерений заносят в журнал и абрис.

Чтобы определить недоступное расстояние, когда его невозможно измерить непосредственно, его определяют косвенным путем из решения ΔABC . Выбирают базис $AC = b$, чтобы Δ был равнобедренным.

$$c = \frac{b \sin C}{\sin(A + C)} . \quad (6.1)$$

Часто приходится прокладывать очень длинные теодолитные ходы, что приводит к накоплению больших погрешностей в измерениях и вычислениях, поэтому их привязывают к пунктам опорной геодезической сети. Теодолитный ход, у которого привязана только одна точка – *висячий*. Чаше, начальная и конечная точка хода привязаны к пунктам геодезической сети с известными координатами. С этих точек должны быть известны направления на другие пункты геодезической сети, характеризующиеся дирекционными углами α_N α_K . Привязка хода заключается в измерении *примычных* углов правых по ходу β_N и β_K при точках N и K . Для повышения точности обычно измеряют не один, а два примычных угла.

6.4.2. Съёмка ситуации и обработка результатов теодолитной съёмки

После проложения теодолитных ходов по границе землепользования (участка) и диагональных ходов снимают контуры ситуации внутри участка, этот процесс совмещают с проложением теодолитных ходов. Результаты при съёмке заносят в абрис-чертеж составляемой от руки на местности. Абрис – основной документ съёмки и является материалом для составления плана. На абрисе показывают взаимное расположение опорных точек, линий и снимаемых объектов со всеми числовыми результатами измерений и пояснительными записями.

Абрис составляется с использованием метода обхода (границы землепользования), методом прямоугольных координат, методом полярных координат, методом засечек, методом створов.

В результате полевых работ при теодолитной съёмке получают геодезический журнал и абрис. Вычислительная обработка теодолитных ходов (и полигонов) производится для получения координат точек этих ходов. Исходными данными для вычисления координат являются: начальные координаты хода (X, Y), длины горизонтальных проекций сторон хода (d), горизонтальные проекции углов между ними (β), дирекционные углы сторон (α), румбы (r).

Обычно из непосредственных измерений на местности получают для каждой стороны полигона d и β и лишь для одной из них определяют дирекционный угол или магнитный азимут, или румб. Дирекционные углы и румбы остальных сторон получают посредством вычислений. Вследствие накопления неизбежных ошибок измерений практические расчеты всегда расходятся с теоретической суммой. Эта разность называется *невязкой*. Одна из задач – распределить невязку между результатами измерений, т.е. ввести поправки. Процесс рас-

пределения невязок называется *увязкой* (уравниванием). Таким образом, при теодолитной съемке выполнены следующие действия:

а) обработка угловых измерений и вычисление дирекционных углов и румбов;

б) вычисление горизонтальных проекций сторон;

в) вычисление координат вершин полигонов.

Теоретическая сумма S_m углов многоугольника равна

$$180^\circ(n-2), \quad (6.2)$$

где n – число углов многоугольника.

Практическая сумма $S_n = \sum \beta$. Разность $S_n - S_m$ – *угловая невязка* $f(\beta)$.

$$f(\beta) = \sum \beta - 180^\circ(n-2). \quad (6.3)$$

Получив угловую невязку, определяют, допустима ли она. Для теодолита 30-ти секундной точности принимают предельную угловую невязку равной

$$\text{пред. } f_{(в)} = \pm 45'' \sqrt{n}, \quad (6.4)$$

где n – число измеренных углов.

Если $f(\beta) \leq \text{пред. } f(\beta)$, то ее считают допустимой. В этом случае углы полигона нужно увязать, распределив поровну невязку на все углы, вводя в углы поправку со знаком, обратным знаку невязки. Если невязка значительно меньше допустимой, то округлив в сторону уменьшения невязки и значения углов с дробными частями, оставшуюся часть невязки распределяют только на углы с короткими сторонами.

Соотношение между дирекционными углами и углами полигона. Дан дирекционный угол α_o исходной стороны теодолитного хода AB . $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – углы правые по ходу, измеренные теодолитом. Най-

дем дирекционные углы $\alpha_1 \dots \alpha_n$ остальных сторон хода. На основании зависимости между прямыми и обратными дирекционными углами можно записать

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \alpha_0 + 180^\circ - \beta_1, \\ &\vdots \\ \alpha_n &= \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n.\end{aligned}\quad (6.5)$$

Дирекционный угол последующей линии равен предыдущему плюс 180° минус угол, лежащий вправо по ходу. Контроль выполняют по формуле

$$\alpha_0 - \alpha_n = \Sigma\beta - n \cdot 180^\circ. \quad (6.6)$$

Угловая невязка теодолитного хода

$$\Sigma\beta_n - n \cdot 180^\circ - (\alpha_0 - \alpha_n) = f_\beta. \quad (6.7)$$

Дирекционные углы в сомкнутом многоугольнике продолжают вычислять до тех пор, пока получают исходный дирекционный угол линии AB , что служит контролем правильности вычислений. Если при вычислении углов уменьшаемое меньше вычитаемого, то к уменьшаемому прибавляют 360° , если больше, то вычитают 360° .

По результатам измерения расстояний и углов наклона в теодолитном ходе находят горизонтальные проекции сторон. Далее, решая прямые геодезические задачи вычисляют приращения координат ΔX и ΔY по формулам (1.14) и (1.15).

Известно, что теоретически сумма проекций сторон сомкнутого многоугольника на любую ось равна 0, практическая сумма, как правило, отличается на величину невязки

$$\Sigma \Delta X_T = 0 \text{ и } \Sigma \Delta Y_T = 0, \quad (6.8)$$

$$\Sigma \Delta X_{np} = f_x \text{ и } \Sigma \Delta Y_{np} = f_y, \quad (6.9)$$

где f_x и f_y – невязки в приращениях координат.

Под влиянием ошибок измерений получаем как бы разомкнутый полигон на величину $A_1A = f$ – невязка в периметре полигона

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} . \quad (6.10)$$

Если P – периметр полигона, то f/P – относительная невязка. Допустимая невязка от 1:2 000 до 1:1 000 в среднем 1:1 500, $f \leq 1:1 500$ периметра.

Если невязка больше, то выполняют проверку вычислений или проверку полевую. Если невязка допустима, то приращения увязывают (уравнивают), невязку распределяют на все вычисленные приращения пропорционально длинам сторон и вводят поправки в вычисления приращения со знаком, обратным знаку невязки. После этого сумма приращений должна быть равна нулю.

По заданным координатам начальной точки хода и исправленным приращениям последовательно вычисляют координаты всех точек хода с обязательным контролем. В замкнутом полигоне получают исходные координаты, в разомкнутом полигоне координаты другого пункта геодезической сети, на который опирается ход.

При построении полигонов наносят сначала внешний полигон, а потом внутренние ходы. Построение плана начинают с построения на листе чертежной бумаги координат сетки. Размеры рамок планов для масштабов 1:500 – 1:2 000 50х50 см; для масштаба 1:5 000 40х40 см. Координатная сетка строится в виде сетки квадратов, от ее точности будет зависеть точность плана. Построенную и проверенную сетку (неравенство диагоналей не должно превышать 0,2 мм) оцифровывают в соответствии с координатами теодолитного хода. Теодолитный ход должен располагаться в центре чертежа. Затем приступают к нанесению по координатам точек хода, контролируют их положение. Затем точки соединяют карандашом, и на план наносится ситуация, при этом используется абрис. Расстояние откладывают при помощи циркуля измерителя, горизонтальные углы измеряют транспортиром.

Справа под южной рамкой плана указывают фамилию исполнителя и составителя плана, а также сроки выполнения работ.

6.5. Тахеометрическая съемка

Одновременная съемка контуров и рельефа местности, при которой пространственное положение точек местности определяют со станции полярным способом, измеряя при помощи топографического прибора тахеометра (или теодолита) горизонтальные углы, расстояния и превышения, называется *тахеометрической*. В переводе с греч. *тахеометрия* означает «быстрое измерение»

Тахеометрическая съемка выполняется по принципу от общего к частному. Первоначально создают планово-высотную основу, а затем ведут съемку рельефа и подробностей, по результатам которой в камеральных условиях составляется топографический план. Тахеометрическую съемку рекомендуется производить для составления топографических планов небольших участков или узких полос местности.

Горизонтальные углы измеряют между исходной линией, по которой ориентируется нуль лимба тахеометра и направлением на точки местности. Расстояние определяют оптическим дальномером. Превышение снимаемой точки над станцией находят методом тригонометрического нивелирования.

В качестве исходной плановой и высотной основ для тахеометрической съемки используют пункты государственной геодезической сети, теодолитных и нивелирных ходов, прокладываемых между пунктами геодезических сетей. Точки съемочного обоснования определяют проложением тахеометрических ходов. Одновременно ведут съемку ситуации и рельефа, параллельно составляется абрис снимае-

мого участка.

Полевые работы при тахеометрической съемке выполняются в короткие сроки и она в меньшей степени, чем другие виды топографических съемок зависит от погоды. К недостаткам следует отнести отсутствие своевременного возможности своевременного сличения плана с изображаемой местностью, что требует дополнительного инструментального и визуального контроля.

6.5.1. Производство тахеометрической съемки

На местности геодезическая сеть имеет недостаточную густоту, поэтому ее необходимо довести до соответствующей плотности, обеспечивающей возможность проложения тахеометрических ходов.

Рекогносцировку тахеометрических ходов, закрепление точек и привязку выполняют также как и при проложении теодолитных ходов. Точки (станции) следует выбирать так, чтобы они обеспечивали наилучшие условия при съемке подробностей. Тахеометрические ходы прокладывают в виде замкнутых ходов с опорой на пункты геодезической сети более высокого разряда. Характеристика ходов представлена в табл. 6.1.

При проложении тахеометрического хода соблюдается следующий порядок действий:

- 1) устанавливают прибор (центрируют) тахеометр над вершиной измеряемого угла, горизонтируют прибор и подготавливают зрительную трубу для наблюдений. Погрешность центрирования 3 мм. Чем короче сторона, тем точнее должно быть центрирование прибора станции;

- 2) измеряют высоту прибора;

3) находят трубу на рейку, установленную на заднюю точку хода и выполняют отсчеты по дальномерным нитям. При этом рекомендуется установить меньший отсчет по дальномерной нити, равный целому числу метров (например 1 000 мм). Разность отсчетов по дальномерным нитям, умноженная на коэффициент дальномера, даст значение длины линии. Для контроля стороны хода вторично измеряют по красной стороне;

4) визируют на низ задней рейки и отсчитывают по горизонтальному кругу;

5) наводят зрительную трубу на верх рейки приводят пузырек уровня при вертикальном круге в нуль-пункт и отсчитывают по вертикальному кругу.

Таблица 6.1

Зависимость параметров тахеометрического хода от масштаба съемки

Масштаб съемки	Максимальная длина хода, м	Максимальная длина стороны, м	Максимальное число сторон хода
1:5000	1200	300	6
1:2000	600	200	5
1:1000	300	150	3
1:500	200	100	2

Далее операции 3, 4, 5 повторяют, установив рейку на передней точке тахеометрического хода. Комплекс выполняющих таким образом операций составляет полуприем (при этом будет измерен левый по ходу угол). После перевода зрительной трубы через зенит выполняют второй полуприем. Расхождение углов по результатам измерений в двух полуприемах не должно превышать двойной точности отсчетного устройства оптического прибора, например 1' при измерении углов 30'' теодолитом.

Угол наклона линии визирования определяют по вертикальному

кругу теодолита. Контроль измерения углов наклона – постоянство места нуля MO вертикального круга в пределах удвоенной точности отсчитывания по нему. Горизонтальное проложение d наклонных расстояний D , измеряемых дальномером вычисляют по формуле

$$d = D \cdot \cos^2 v; \quad \Delta D = D \cdot \sin^2 v. \quad (6.11)$$

Определение превышений при тахеометрической съемке осуществляется методом тригонометрического нивелирования.

6.5.2. Метод тригонометрического нивелирования

Это нивелирование производится наклонным визирным лучом. Допустим для определения превышения h точки B под точкой A требуется определить превышение $h = BC$ точки B над точкой A (рис. 6.2)

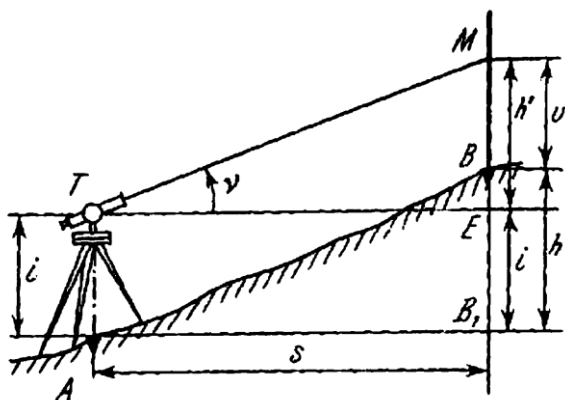


Рис. 6.2. Схема тригонометрического нивелирования

Вначале определяется высота оси вращения зрительной трубы над точкой A (высота инструмента – i). В точке B вертикально установлена вежа или рейка высотой l . Направим визирную ось трубы на точку M (высота визирования – V) и измерим вертикальный угол v . $AB_1 = TE = s$, тогда

$$ME = h' = s \cdot \operatorname{tg} v, \quad (6.12)$$

$$h + v = s \cdot \operatorname{tg} v + i; \quad (6.13)$$

$$h = s \cdot \operatorname{tg} v + i - V. \quad (6.14)$$

$s \cdot \operatorname{tg} v$ вычисляют по таблицам (таблицы высот или превышений) или с помощью калькулятора. Если на вехе обозначить отрезок от низа рейки равный i и направить визирную ось на точку, находящуюся на высоте инструмента, то $i = V$ и формула примет вид

$$h = s \cdot \operatorname{tg} v, \quad (6.15)$$

на практике так и поступают. Только в условиях плохой видимости визируют на верх вехи.

При расстояниях более 300 м вводят поправки на кривизну Земли и рефракцию (поправка за преломление световых лучей)

$$h = s \cdot \operatorname{tg} v + i - V + f, \quad (6.16)$$

где $f = 0,43 \frac{s^2}{R}$ – поправка;
 R – радиус Земли, км.

Превышения при тригонометрическом нивелировании определяют в прямом и обратном направлении. При этом расхождение допустимо, если оно не превышает 4 см на каждые 100 м расстояния. Очевидно, что точность измерений ниже, чем при геометрическом нивелировании.

6.5.3. Съёмка ситуации и рельефа

Получив по результатам измерения прямоугольные координаты и высоты точки съёмочного обоснования, приступают непосредственно к съёмке ситуации и рельефа местности, т.е. определяют пространственное расположение точек местности, называемых *пикетами*, по которым в дальнейшем составляют топографический план.

Тахеометрическую съёмку выполняют с точек съёмочной сетки (станций) при одном положении вертикального круга в следующем порядке:

- 1) устанавливают прибор и измеряют его высоту;
- 2) определяют *МО* визируя на какую-либо четко видимую точку местности, если *МО* не требует исправлений, то приступают к дальнейшим операциям;
- 3) ориентируют лимб одной из прилегающих сторон тахеометрического хода. Для этого на горизонтальном круге устанавливают отсчет $0^{\circ}00'$. Закрепляют алидаду и открепив лимб, наводят на точку съемочной сети, выбранную в качестве ориентировочной. После этого лимб закрепляют и не меняют его положение до окончания съемки на станции. Открепив алидаду визируют на рейку, поставленную на снимаемую точку. Пикеты следует выбирать на наиболее характерных точках местности, совмещая контурные точки с рельефными. В целях контроля на каждой станции определяют несколько пикетов, полученных с соседних станций;
- 4) измеряют расстояния до пикетов, выполняют отсчеты по дальномерным нитям. При сечении рельефа 1 м максимальное расстояние от прибора до рейки принимается по табл. 6.2;

Таблица 6.2

Максимальное расстояние от прибора до рейки в зависимости от масштаба и характера рельефа

Масштаб	Максимальное расстояние между пикетами, м	Максимальное расстояние при съемке рельефа, м	Максимальное расстояние при съемке контуров, м
1:5000	80	300	150
1:2000	40	250	100
1:1000	30	200	80
1:500	16	150	60

- 5) устанавливают средних штрих сетки нитей на отсчет, равный целому числу метров рейки или на отсчет, равный высоте прибора и отсчитывают по вертикальному кругу;

6) отсчитывают по горизонтальному кругу. Отсчет берется при положении круг лево (КЛ) при работе с теодолитом 2Т30 или 4Т30П.

Аналогичным образом определяют положение всех пикетов. Работу заканчивают наведением зрительной трубы на начальную ориентировочную точку. Изменение ориентирования допускается не более 1,5'. В противном случае измерения повторяют.

Результаты заносят в журнал тахеометрической съемки (табл. 6.3). Вычисляют горизонтальные проложения и высоты точек.

Таблица 6.3

Журнал тахеометрической съемки

Номер точки	Отсчет по горизонтальному кругу, град.	Дальномерное расстояние, м	Отсчет по вертикальному кругу (КЛ)	Угол наклона ν , град.	Горизонтальное проложение d , м	Превышение h , м	Высота, H , м	Примечание
Ст. № 1; $H=150,07$ м; $i=1,37$ м; $MO=0^{\circ}01'$ Теодолит 2Т30П Нуль лимба ориентирован на станцию 2								
1	30°	12,5	$5^{\circ}01'$	$5^{\circ}02'$	12,45	1.09	151,16	Край леса

На каждой станции одновременно с определением масштабов составляют от руки в произвольном масштабе абрис. Элементы сопровождают записями, реечные точки обозначают арабскими цифрами. Абрис служит основой для построения плана.

Камеральные работы проводятся непосредственно после полевых. Данные, полученные при съемке, наносят на план. Процесс составления топографических планов включает следующие виды работ:

- 1) построение координатной сетки;
- 2) вычисления координат и высот точек съемного обоснования и нанесение их на план.

Процедура уравнивания тахеометрического хода подобна уста-

новлению теодолитного хода. Предельные невязки определяют по формулам:

$$\text{угловая невязка } - f = 1' \sqrt{n}, \text{ где } n - \text{число углов} \quad (6.17)$$

$$\text{линейная невязка } - f_l = \frac{1}{400 \sqrt{n}}, \text{ где } n - \text{число сторон} \quad (6.18)$$

Для вычисления высот хода тригонометрического нивелирования выполняют его уравнивание. Высотную невязку f_h определяют по формуле

$$f_h = \sum h_{cp} - (H_{кон} - H_{нач}), \quad (6.19)$$

где $\sum h_{cp}$ – алгебраическая сумма средних превышений для каждой линии;

$H_{нач}$ и $H_{кон}$ – известные начальные и конечные высоты.

Предельные невязки вычисляют по формулам

$$f_{пред.} = \pm 0,04 P_{100} \cdot \sqrt{n}, \text{ - при угле наклона до } 6^\circ \quad (6.20)$$

$$f_{пред.} = \pm 0,06 P_{100} \cdot \sqrt{n}, \text{ - при угле наклона свыше } 6^\circ \quad (6.21)$$

где P_{100} – средняя длина линий выраженная в сотнях метров;

n – число линий хода.

Контрольные вопросы

1. Как вычисляют горизонтальный угол?
2. Запишите формулы, по которым вычисляют угловую и допустимую угловую невязки?
3. Как распределяется угловая невязка, если она находится в допустимых пределах?
4. Запишите формулы определения дирекционного угла последующей стороны, если измерены правые (левые) углы полигона и известен дирекционный угол предыдущей стороны?

5. В чем заключается контроль вычисления дирекционных углов в замкнутом и разомкнутом ходах?
6. Какая существует зависимость между румбами и дирекционными углами по четвертям?
7. Что называется приращениями координат? Как определить знаки приращений координат?
8. Как вычисляют горизонтальное проложение?
9. Как вычисляют линейные невязки в приращениях координат для замкнутого и разомкнутого теодолитных ходов и определяют их допустимое значение?
10. Как можно определить площадь снимаемого участка?
11. Как определить координаты последующей точки?
12. Можно ли при теодолитной съемке определить расстояния между точками теодолитного хода по нитяному дальномеру? Если можно, то почему?
13. В чем состоит отличие топографической съемки от горизонтальной?
14. Какие существуют способы построения сетки координат?
15. Какие величины измеряют в геодезии?
16. В чем сущность триангуляции?
17. В чем сущность полигонометрии?
18. Какой из методов построения плановых геодезических сетей выгоднее применять в открытой всхолмленной местности?
19. Какой из методов построения плановых геодезических сетей целесообразно применять в условиях плотной городской застройки?
20. Что такое нивелирование?
21. Что называют съемочным обоснованием?
22. Как классифицируются геодезические измерения по точно-

сти?

23. Как вычислить дирекционный угол стороны хода, если известен дирекционный угол предыдущей стороны и вправо по ходу лежащий угол между этими сторонами?

24. Чем определяется выбор метода создания планового съмочного обоснования?

25. Как закрепляются на местности пункты съемочного обоснования?

26. Опишите состав работ при проложении теодолитных ходов.

27. Как измеряются углы и линии в теодолитных ходах?

28. Какова последовательность камеральной обработки результатов измерений в теодолитных ходах?

29. Как находят теоретическую сумму углов в замкнутом и разомкнутом теодолитных ходах?

30. Как вводят поправки в значения углов хода?

31. Как вычисляют теоретическую сумму приращений координат в замкнутом и разомкнутом теодолитных ходах?

32. Как вводят поправки в приращения координат?

33. Что называют аналитической сетью?

34. Чем определяется выбор метода создания высотного съемочного обоснования?

35. Как увязывают нивелирные ходы съемочного обоснования?

36. Что в геодезии называется съемкой?

37. Каковы основные этапы работ при топографических съемках?

38. Чем руководствуются при выборе масштаба съемки и высоты сечения рельефа?

39. Какие способы применяют при съемке элементов ситуации?

40. В чем заключается сущность теодолитной съемки?
41. Можно ли при теодолитной съемке определять расстояния по нитяному дальномеру?
42. Какая документация составляется при теодолитной съемке?
43. Какой вид съемочного обоснования применяют при теодолитной съемке?
44. Каковы особенности съемки застроенной территории?
45. В чем сущность тахеометрической съемки?
46. Какие инструменты применяют при тахеометрической съемке?
47. Какие виды съемочного обоснования применяют при тахеометрической съемке?
48. Каков состав и порядок полевых работ при тахеометрической съемке?
49. Каков порядок работы на станции?
50. Как ориентируют лимб при тахеометрической съемке?
51. Какая документация ведется при тахеометрической съемке?
52. Чем отличаются кроки от абриса?
53. В чем заключается обработка журнала тахеометрической съемки?
54. По каким формулам вычисляют горизонтальные проложения линий и превышения?
55. Какие имеются способы нивелирования поверхности?
56. Какой метод нивелирования применяют при съемке рельефа?
57. Какие способы нивелирования поверхности целесообразно применять в условиях строительной площадки?
58. Как снимают ситуацию при нивелировании поверхности

способом квадратов?

59. В чем состоит сущность мензульной съемки?

60. В чем сходство и различие мензульной и тахеометрической съемок?

61. В чем преимущества и недостатки мензульной съемки?

Рекомендуемая литература

1. Инженерная геодезия / под ред. С.П. Закатова. – М.: Недра, 1976. – 583 с.

2. Инженерная геодезия / Е.Б. Ключин [и др.] / под ред. Д.Ш. Михелева: учебник для вузов – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 480 с.

3. Новак В.Е. Практикум по инженерной геодезии / В.Е. Новак – М.: Недра, 1986. – 273 с.

4. Фельдман В.Д. Основы инженерной геодезии / В.Д. Фельдман. – М.: Изд-во Высшая школа, 2001. – 456 с.

ГЛАВА 7. ОСНОВЫ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

7.1. Общие положения

Геодезическое обеспечение является неотъемлемой частью любого строительного процесса. Это может быть непосредственное строительство инженерных сооружений, проведение изысканий для будущего строительства или наблюдения за поведением уже построенных объектов.

Так как геодезическое сопровождение – это инженерный вид деятельности, то он должен выполняться по определенным инструкциям и правилам, которые обычно изложены в таких документах как: ГОСТ – (государственный стандарт), СНиП – (строительные нормы и правила), РСН – (республиканские строительные нормы), ВСН – (ведомственные строительные нормы), СП – (свод правил), МДС – (методическая документация в строительстве), РД – (руководящие документы) и т.п.

В настоящее время много говорят об отмене многих норм и в частности СНиП и это, скорее всего правильно. Однако это не означает, что ими не будут пользоваться. Просто исполнителю будет дана большая возможность в выборе той или иной методики измерений или расчетов, возможности применения новых методик, ранее не внесенных в инструкции, но всегда любой вид работ будет выполняться согласно определенных правил, принятых на соответствующий период времени и в соответствии с окружающими условиями.

7.2. Положение о геодезической службе

Так как строительство и проектирование инженерных сооружений сопровождается различными измерениями, они также должны быть регламентированы. Поэтому во всех организациях, имеющих разрешения на такой вид работ, должен иметься определенный перечень документов, и в первую очередь это «Положение о геодезической службе». Данный документ должен быть даже в тех организациях, где нет такой службы. Однако, приказом руководителя предприятия, такие обязанности должны быть возложены на одного из работников предприятия. Так как геодезическая служба подчиняется непосредственно главному инженеру, на маленьких предприятиях за это может отвечать и сам главный инженер.

«Положение о геодезической службе» составляется в соответствии и по подобию такого же отраслевого положения, т.к. министерства, агентства и другие, выше стоящие организации, тоже должны иметь соответствующие положения. Вот приблизительный перечень вопросов, которые должны быть освещены в «Положении о геодезической службе».

- общие положения;
- задачи и функции геодезической службы;
- обязанности, права и ответственность работников геодезической службы;
- порядок производства работ по геодезическому контролю;
- приложения.

В приложениях, как правило, приводятся образцы отчетной геодезической документации: акта передачи ГРО (геодезической разбивочной основы); формы геодезических журналов (нивелирования, тахеометрической съемки, оперативного журнала геодезических ра-

бот); образцы чертежей исполнительных съемок; приводятся сроки службы геодезических инструментов и график их поверок; примерные схемы закрепления и конструкции знаков геодезических разбивочных элементов; приводится рекомендуемый перечень исполнительной и руководящей документации.

Таким образом «Положение о геодезической службе» является непосредственным документом регламентирующим работу работников, отвечающих за этот участок работы на предприятии. Однако независимо от наличия такого положения все виды геодезических работ должны выполняться в соответствии с нормами, регламентируемыми специальными инструкциями и СНиП. И таким основным документом на сегодняшний день является СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве».

В данном СНиП четко определены цели и задачи геодезической службы, то что геодезические работы являются неотъемлемой частью технологического процесса строительного производства, и их следует осуществлять по единому для данной строительной площадки графику, увязанному со сроками выполнения общестроительных, монтажных и специальных работ, приведен перечень геодезических работ:

- а) создание геодезической разбивочной основы для строительства, включающей построение разбивочной сети строительной площадки и вынос в натуру основных или главных разбивочных осей зданий и сооружений, магистральных и внеплощадочных линейных сооружений;

- б) создание внутренней разбивочной сети здания (сооружения) на исходном и монтажном горизонтах;

- в) создание разбивочной сети для монтажа технологического

оборудования, если это предусмотрено в проекте производства геодезических работ, а также производство детальных разбивочных работ;

г) геодезический контроль точности геометрических параметров зданий (сооружений) и исполнительные съемки с составлением исполнительной геодезической документации;

д) геодезические измерения деформаций оснований, конструкций зданий (сооружений) и их частей, если это предусмотрено проектной документацией, установлено авторским надзором или органами государственного надзора.

В СНиП также указывается, что при строительстве крупных и сложных объектов, а также зданий выше 9 этажей следует разрабатывать проекты производства геодезических работ в порядке, установленном для разработки проектов производства работ.

7.3. Проект производства геодезических работ

Проект производства геодезических работ (ППГР), как и проект производства работ (ППР), как правило, разрабатывается организацией, осуществляющей проектирование данного инженерного объекта. ППГР представляет собой детальную инструкцию выполнения геодезических работ на данном объекте.

Вот примерный перечень разделов:

1) топографо-геодезическая изученность района размещения объекта (здания);

2) расчет точности построения геодезической разбивочной основы;

3) схема разбивки главных осей сооружения (и контура котлована), способы закрепления геодезических пунктов;

4) расчет точности и схема создания внутренней разбивочной сети на исходном горизонте (проект переноса осей на дно котлована и разбивка фундаментной плиты);

5) обоснование погрешности и схема передачи внутренней разбивочной основы на монтажный горизонт;

6) детальные разбивочные работы на монтажном горизонте;

7) высотная разбивочная основа (расчет точности и схемы ее создания и передачи на монтажный горизонт);

8) исполнительные съемки порядок их выполнения и график их представления;

9) наблюдения за деформациями объекта (здания):

9.1) геодезические работы при измерении кренов здания;

9.2) геодезические работы по определению осадок здания:

9.2.1) исходная нивелирная основа;

9.2.2) проект размещения осадочных марок;

9.2.3) нивелирование при наблюдении осадок;

9.2.4) оценка точности проекта нивелирной сети;

10) метрологическое обеспечение средств измерений;

11) техника безопасности при ведении геодезических работ;

12) приложения (выдержки из нормативных документов регламентирующих строительные допуски и точности геодезических измерений).

Основные геодезические работы на объекте должны выполняться организацией, осуществляющей строительство. Однако вынос на местность пунктов геодезической разбивочной основы входит в обязанности заказчика строительства, по заданию которого чаще всего эту функцию выполняет проектная организация. Необходимо отметить, что в процессе строительства заказчик обязан осуществлять вы-

борочный контроль за процессом строительства и соблюдением всех технологических регламентов. В свою очередь, проектная организация также должна осуществлять так называемый авторский надзор. Часто для этого в проектной организации создаются группы сопровождения строительства. Для выполнения наиболее ответственных геодезических работ могут привлекаться сторонние организации на основании соответствующих договоров.

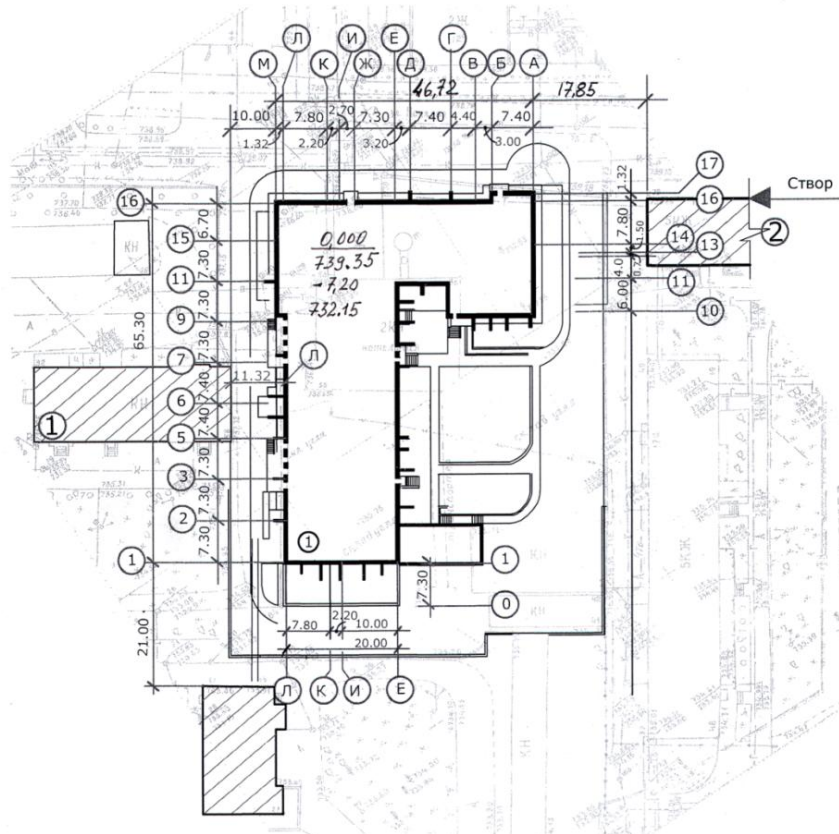
7.4. Краткая справка из СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве»

Для того чтобы правильно вести геодезическое сопровождение строительных работ и изысканий, следует четко понимать и помнить основные положения СНиП 3.01.03-84.

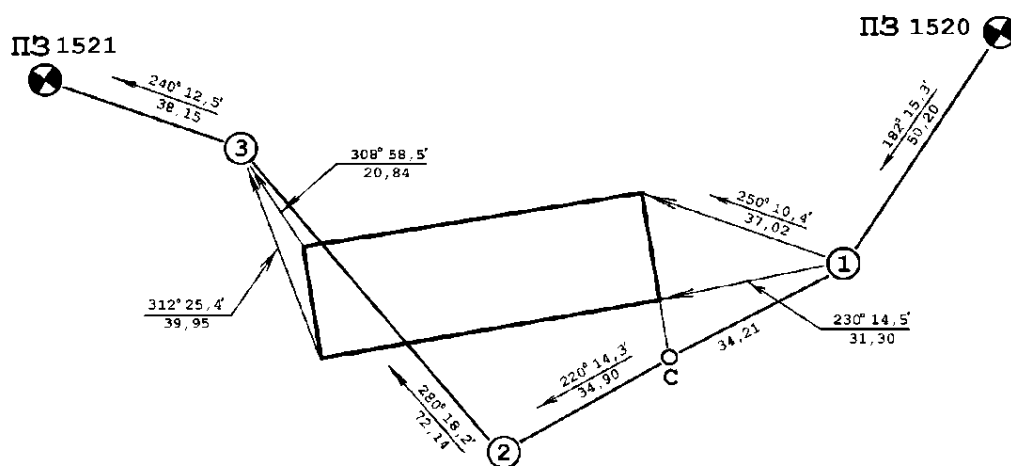
Так как строительство начинается с разбивки ГРО, проектная организация должна представить разбивочный чертеж (входит в состав проекта) рис.7.1 – 7.2. К разбивочному чертежу должны быть представлены каталоги координат и отметок исходных пунктов и каталоги (ведомости) проектных координат и отметок, определяющих положение здания (сооружения) на местности относительно других объектов местности и коммуникаций, чертежи геодезических знаков, пояснительная записка с обоснованием точности построения геодезической разбивочной основы для строительства.

Саму геодезическую разбивочную основу для строительства следует создавать с учетом:

- проектного и существующего размещения зданий (сооружений) и инженерных сетей на строительной площадке;



**Рис. 7.1. Разбивочный чертеж строящегося здания.
Показаны расстояния от соседних зданий
до главных осей сооружения**



**Рис. 7.2. Пример разбивочного чертежа с указанием
направления (дирекционных углов) и расстояний
(1, 2, ... 3 – пункты теодолитного хода;
ПЗ – полигонометрические знаки)**

В дальнейшем за сохранность, сгущение сети ГРО, ее восстановление отвечает подрядная организация осуществляющая строительство объекта. Точность выполнения всех геодезических работ должна соответствовать требованиям СНиП 3.01.03-84.

Дополнительное сгущение разбивочной основы и создание геодезических знаков внутренней разбивочной основы входит в обязанности подрядчика. Например: репера высотной основы при строительстве автомобильных и железных дорог, устанавливаются заказчиком через 2 км и передаются по акту подрядной организации, а она должна выполнить сгущение реперной сети до расстояния 0,5 км, а также установить репера около мест строительства искусственных сооружений, около глубоких (свыше 3 м) выемок и высоких насыпей.

Принятые знаки геодезической разбивочной основы в процессе строительства должны находиться под наблюдением за сохранностью и устойчивостью и проверяться инструментально не реже двух раз в год (в весенний и осенне-зимний периоды). Для этого должно издаваться соответствующее распоряжение руководителя организации. Этот пункт тоже очень важен, особенно для территорий Сибири. Например: в Забайкальском крае, где глубина сезонного промерзания грунтов достигает 3,5 – 4,0 м пучение дневной поверхности в зимний период может достигать 160-270 мм.

Необходимо также помнить, что ГРО должна создаваться из условия избыточности. Например: понятно, что любую ось сооружения можно задать с помощью 2-х точек. Однако СНиП требует установки 4-х точек, по две с каждой стороны створа линии. Дело в том, что меньшее количество точек не позволяет осуществлять контроль за положением створа линии. Так как при утере одной из точек, гарантировать истинное положение створа линии можно только по 3-м точ-

кам. Высотные репера должны задаваться в виде куста по 3 штуки. Так как высоту репера можно контролировать только превышением по отношению к другому реперу, для контроля необходим еще третий репер (контроль осуществляется по двум превышениям). Если в разбивочных элементах участвуют угловые элементы, необходимо помнить, что точность выставления или измерения угла зависит от длин сторон этого угла, чем длиннее сторона, тем точнее измерение угловых величин. Поэтому створные знаки необходимо устанавливать как можно дальше друг от друга.

7.5. Основные элементы разбивочных работ

Комплекс геодезических работ, выполненных для определения положения осей сооружения и его элементов в соответствии с рабочими чертежами проекта, называется *разбивкой или перенесением проекта в натуру*.

Основными способами разбивки элементов сооружений являются способы прямоугольных или полярных координат. Могут применяться также способы прямой или обратной угловой засечки, линейной или створной засечки и др. Так как не существует приборов для точного измерения угловых величин на картах и планах, все разбивочные элементы вычисляются на основе прямоугольных координат опорных геодезических пунктов и координат углов строящегося объекта определенных из условия его расположения и геометрических размеров. При этом в качестве направления исходных координатных осей выбирается условная система координат: часто за одно из направлений выбирается красная линия застройки либо строительная сетка. Угловые и линейные же элементы разбивки, определяются пу-

тем решения обратной геодезической задачи. Если проект объекта выполняется с помощью специализированных программ, например AutoCAD, то разбивочные элементы могут быть определены непосредственно в этих программах.

Основными элементами разбивочных работ являются вынесение на местность: проектного направления линии или проектного угла, проектной линии заданной длины, планово-высотного положения проектной точки, линии заданного уклона и проектной плоскости. Все работы выполняются с контролем.

7.6. Построение проектного угла

Проектный угол откладывают при двух положениях круга теодолита, сначала при круге лево, затем при круге право (рис. 7.4.)

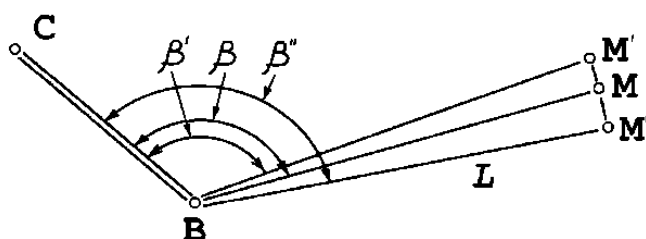


Рис. 7.4. Схема, вынесения на местность проектного угла CBM , равного β

Разрешается ориентировать нуль лимба теодолита на начальное, жесткое направление BC . Однако точность построения угла при этом снижается, лучше брать отсчет по лимбу на направление BC и добавлять к нему проектное значение угла β . Последовательность работ, при отложении проектного угла, заключается в следующем:

- откладывают проектный угол при круге лево и на проектном или большем расстоянии забивают колышек M' ;

- откладывают проектный угол при круге право и на проектном или большем расстоянии забивают колышек M'' ;
- делят расстояние между точками M' и M'' пополам и забивают колышек M ;
- измеряют отложенный угол CBM одним полным приемом и сравнивают его с проектным значением;
- если проектное и фактическое значения угла отклоняются на недопустимую величину, выполняют редуцирование.

Редуцирование или исправление точки M выполняют путем ее смещения в сторону уменьшения или увеличения угла соответственно на величину Δd , которую вычисляют из решения треугольника

$$\Delta d = L \cdot \operatorname{tg} \Delta \beta, \quad (7.1)$$

где Δd – величина необходимого смещения точки M , мм;

L – расстояние от точки B до точки M , мм;

$\Delta \beta$ – величина поправки в отложенный угол, градусы.

Отложение поправки Δd выполняют с помощью линейки с миллиметровыми делениями. Отложение поправки с помощью теодолита не допускается, т.к. она, как правило, бывает соизмерима с точностью отсчитывания инструмента. После выполнения редуцирования проводят повторное измерение угла одним полным приемом и результат опять сравнивают с проектным значением. Если возникает необходимость, редуцирование повторяют, но всегда по окончании должно выполняться контрольное измерение.

7.7. Перенесение проектных расстояний

От начальной точки A в заданном направлении откладывают с необходимой точностью расстояние, близкое к проектному мерными

лентами или дальномерами. Мерная лента должна укладываться точно в створ. Отклонение мерной ленты от створа допускается на величину не более 10 см. Конечную точку закрепляют временным знаком. Затем определяют точное значение l_{AB} длины линии AB с учетом поправок за компарирование Δl_k , температуру Δl_t и наклон местности Δl_h . Сравнивая его с проектным расстоянием l_{np} вычисляют линейную поправку $\Delta l = l_{np} - l_{AB}$ и откладывают ее согласно знаку от конечной точки B . После выноса в натуру производят контрольное измерение расстояния.

7.8. Перенесение на местность планового положения проектной точки

Определение на местности планового положения точки производится способами прямоугольных, полярных, биполярных координат и створов.

Способ прямоугольных координат (перпендикуляров) применяется для определения планового положения проектной точки, расположенной вблизи опорной линии (рис. 7.5).

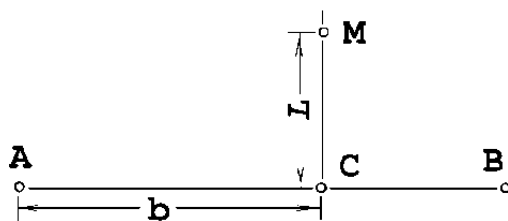


Рис. 7.5. Схема для определения планового положения точки M способом прямоугольных координат

Последовательность работ: от исходной точки A вдоль опорной линии AB (принимаемой за ось абсцисс) откладывают проектное рас-

стояние b и получают основание перпендикуляра – точку C ; в полученной точке восстанавливают перпендикуляр. По перпендикуляру, принимаемому за ось ординат, откладывают проектное расстояние l и отмечают положение проектной точки M .

Способ полярных координат применяют для определения планового положения точек, удаленных на значительное расстояние от опорных линий. Последовательность работ (рис. 7.6): в точке A откладывают проектный угол β , а на полученном направлении AM откладывают проектное расстояние d и получают плановое положение проектной точки M .

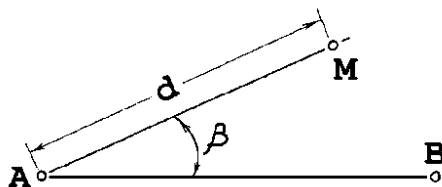


Рис. 7.6. Схема для определения планового положения точки M способом полярных координат

Значения величин β и d находят из решения обратной задачи. При этом координаты пункта A и дирекционный угол a_{AB} известны из построения разбивочной основы, а координаты точки M в той же системе координат заданы в проекте.

Способ прямой угловой засечки (случай биполярных координат) выгодно применять, для определения планового положения проектных точек, удаленных на значительное расстояние от опорных точек или расположенных за естественными препятствиями. Последовательность работ (рис. 7.7): в опорных точках A и B одновременно двумя теодолитами строят проектные углы β_1 и β_2 ; в пересечении направлений линий визирования ставят веху. Углы откладывают оптическими теодолитами при двух положениях круга, получая точки M' и

M'' . Сторона AB служит базисом засечки. Она является стороной геодезической основы или специально измеряется. Плановое положение проектной точки M находят как среднее расстояние между точками M' и M'' . Разбивочные углы β_1 и β_2 вычисляют, как разность дирекционных углов сторон AM и AB , BA и BM . Последние находят из решения обратной задачи по проектным координатам точки M и известным координатам пунктов A и B . Засечка считается надежной, если $30^\circ \leq \gamma \leq 150^\circ$.

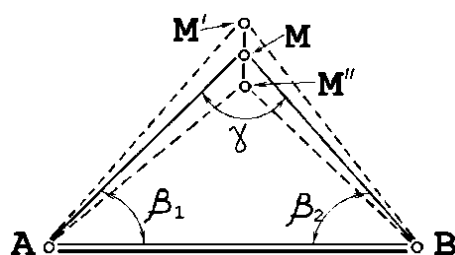


Рис. 7.7. Схема для определения планового положения точки M способом прямой угловой засечки (случай биполярных координат)

Способом линейной засечки (случай биполярных координат) (рис. 7.8) от опорных точек A и B одновременно откладывают (с помощью стальных лент, мерного троса, рулеток) проектные расстояния (радиусы) a и b . Пересечение радиусов определяет плановое положение проектной точки M . Работа производится дважды. Среднее положение точки M считается наиболее надежным.

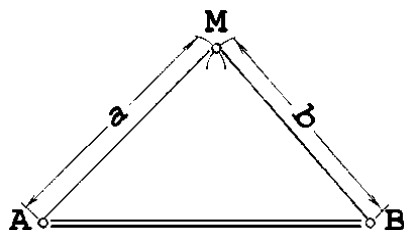


Рис. 7.8. Схема для определения планового положения точки M способом линейной засечки (случай биполярных координат)

Способ створов. Последовательность работ (рис. 7.9): от опорной точки A , створа AB , откладывают проектное расстояние a , получают начальную точку C створа CMD . От нее откладывают расстояние b и получают плановое положение проектной точки M .

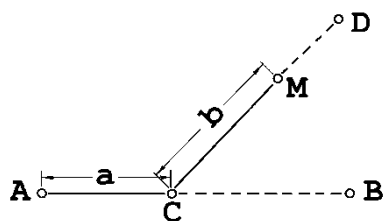


Рис. 7.9. Схема для определения планового положения точки M способом створа

7.9. Перенесение на местность высотного положения проектной точки

Определение на местности высотного положения проектной точки производится методом нивелирования из середины (рис. 7.10).

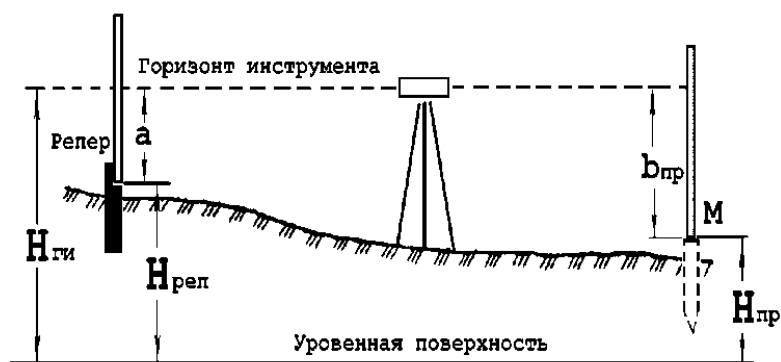


Рис. 7.10. Схема для определения высотного положения точки

Для этого устанавливают нивелир в рабочее положение между репером (связующей точкой) и проектной точкой M , плановое положение которой известно. Производят отсчет a по рейке, установленной на репере (связующей точке), и вычисляют горизонт инструмента $H_{ги} = H_{рен} + a$. Определяют отсчет на проектную точку (разность между

горизонтом инструмента H_{zu} и высотой проектной точки) $b_{np} = H_{zu} - H_{np}$. В проектной точке M забивают кол так, чтобы отсчет по установленной на него рейке был равен вычисленному отсчету b_{np} .

В необходимых случаях разрешается обозначать высотное положение проектной точки горизонтальной чертой на стенах существующих зданий, сооружений, на деревьях и пр. В этом случае рейку ставят на землю рядом со стеной и начинают медленно ее перемещать вверх вдоль стены, пока по рейке не будет получен требуемый отсчет b_{np} , после чего под пяткой рейки проводят черту, соответствующую проектной отметки.

Допускается на крутых склонах высотное положение проектных точек определять при помощи тригонометрического нивелирования или методом ватерпасовки склона надлежащей точности. Если проектное значение находится ниже уровня земли, то колышек забивается вровень с землей. Определяется его фактическая отметка, а рядом забивается сторожок и на нем выписывается число со знаком минус равное разности фактической отметки колышка и проектной отметки, т.е. указывается глубина до проектной отметки относительно верха колышка (поверхности земли).

7.9.1. Построение на местности линий и плоскостей заданного уклона

Для построения линии с заданным уклоном необходимо на концах линии в точках A и B выставить проектные отметки способом, рассмотренным ранее (рис. 7.10). Для сгущения точек линии заданного уклона допускается использование визирок. В этом случае для разбивки положения этой линии по высоте между ее конечными точками

A и *B* (рис. 7.11) ставят ряд промежуточных 1, 2 и т.д. В соответствии с этим в точках *A* и *B* устанавливают визирки, а в точках 1, 2 забивают колы так, чтобы визирки, поставленные на них, оказались на уровне взгляда между визирками в точках *A* и *B*.

Для перенесения на местность наклонной проектной плоскости необходимо вынести четыре проектные точки расположенные в крайних углах прямоугольника оконтуривающего данную площадь. Промежуточные точки выставляются тоже либо с помощью нивелира (рис. 7.10), либо с помощью визирок (рис. 7.11).

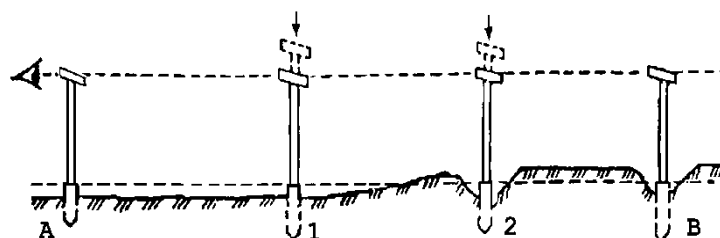


Рис. 7.11. Схема сгущения точек линии заданного уклона визирками

7.10. Пределы точности геодезических разбивочных работ

Закрепление пунктов геодезической разбивочной основы для строительства надлежит выполнять в соответствии с требованиями нормативных документов по геодезическому обеспечению строительства СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве». В данном СНиПе приведены таблицы, по которым определяют необходимую точность всех разбивочных работ. Там же приведены таблицы для выбора необходимого геодезического оборудования (теодолитов и нивелиров). При этом непосредственно перед выполнением разбивочных работ исполнитель должен проверить неизменность положе-

ния знаков разбивочной сети здания (сооружения) путем повторных измерений элементов сети.

7.11. Геодезические разбивочные работы при строительстве зданий и сооружений

7.11.1. Создание внутренней разбивочной сети на исходном горизонте

Внутренняя разбивочная основа создается на исходном горизонте путем выноса точек способом полярных координат от точек внешней геодезической разбивочной основы (ГРО), принятых от заказчика по акту «Приема-передачи геодезических работ».

Исходным горизонтом считается плоскость, проходящая через опорные площадки последних по высоте несущих конструкций подземной части перекрытия подвала, бетонная подготовка или блоки фундамента.

Вынос базовых точек на исходный горизонт выполняют от внешней геодезической разбивочной основы, в соответствии с схемой, представленной на рис. 7.12. Все оси маркируются соответствующим образом. Допускается использование в качестве марки дюбеля с кернением положения оси на его головке. Правильность переноса главных осей проверяется линейными промерами между соседними осями с помощью компарированной рулетки. Так как вынос оси на исходный горизонт выполняется простым вешением (проецированием при малых углах наклона визирной оси), и контролируется линейными измерениями с помощью компарированной рулетки, среднеквадратическая ошибка положения осевой марки на исходном горизонте может быть принята равной 1,0 мм.

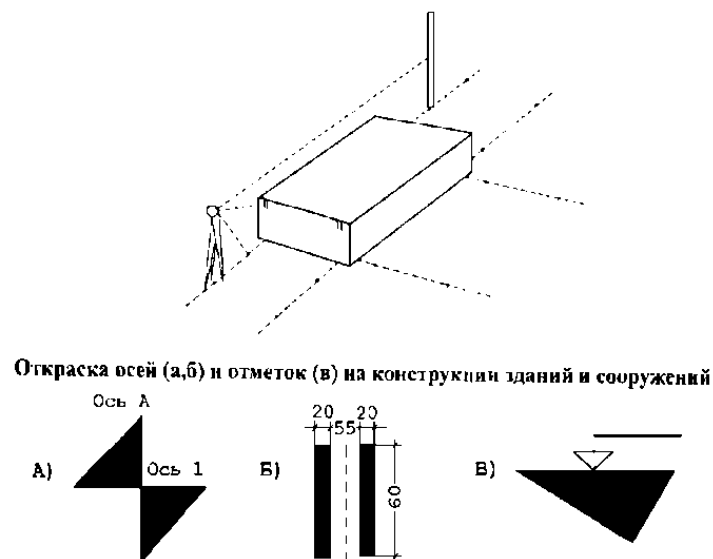


Рис. 7.12. Схема переноса главных осей сооружения на исходный горизонт

7.11.2. Передача внутренней разбивочной сети на монтажный горизонт

Передачу точек внутренней разбивочной основы на монтажный горизонт выполняют теодолитом, в соответствии со схемой, представленной на рис. 7.13.

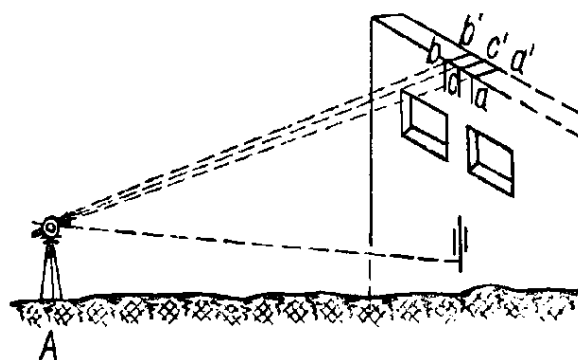


Рис. 7.13. Схема переноса монтажных осей на верхние ярусы (монтажный горизонт) сооружения

Чтобы избежать накопления ошибок, каждый раз независимо

переносят проектные оси с уровня исходного горизонта (уровня первого этажа) на монтажный горизонт. Теодолит устанавливают на створную точку *A*, тщательно нивелируют и центрируют его. Проецирование выполняют при двух положениях трубы (КП и КЛ). Измерив линейкой с миллиметровыми делениями расстояние между точками проекций, полученных при КП и КЛ (*a* и *b*), расстояние делят пополам и отмечают среднюю точку *C*. При этом необходимо учитывать, что влияние внешней среды на точность выноса вертикальных осей сооружений может оказаться существенным, если визирный луч проходит вдоль обогреваемых солнцем или нагревательными приборами стен и конструкций.

В связи с работой пристегнутых к зданию башенных кранов, будет присутствовать короткопериодический крен, зависящий от поворота стрелы крана и массы, поднимаемого груза. Поэтому для исключения указанного источника ошибок, все работы по передаче точек внутренней разбивочной основы на монтажный горизонт должны производиться при остановленных кранах, со стрелой, повернутой на центр здания.

Не смотря на указанные меры по предотвращению влияния кренов, этот фактор может оказывать существенное влияние. Поэтому все точки, вынесенные на текущий монтажный горизонт должны обязательно проверяться на соответствие с точками предыдущего монтажного горизонта. Особенно это важно при возведении высотных зданий (свыше 16 этажей) и сооружений.

Окончательно, точность передачи точек плановой основы контролируют путем сравнения измеренного расстояния между полученными точками на монтажном горизонте с проектным значением расстояния между этими осями.

7.11.3. Детальные разбивочные работы на монтажном горизонте

Детальные разбивочные работы на монтажном горизонте выполняются от точек переданной на монтажный горизонт плановой сети, с помощью теодолита и линейных промеров рулеткой.

Детальные разбивочные работы на монтажном горизонте заключаются в нанесении разбивочных осей, монтажных рисков на смонтированные опорные конструкции, в определении отметок опорных поверхностей.

При установке на монтажном горизонте сборных колонн их вертикальность следует проверять теодолитом с точек внешней разбивочной основы методом проецирования меток исходного горизонта на монтажный горизонт и верхнюю часть колонны.

7.11.4. Высотная разбивочная основа

Высотная геодезическая сеть при возведении создаётся из трёх нивелирных реперов, закреплённых в местах удобных для переноса их на монтажные горизонты. Репера выносятся с репера, принятого у заказчика по акту «приема-передачи геодезических работ».

При этом должны быть учтены результаты наблюдений за осадками различных частей здания.

Опорные репера закрепляются дюбелями в стенах здания или соответствующих предметах местности. Производные репера закрепляются краской на боковой части стены в грунте.

Перенесение отметок с исходного горизонта на монтажный, как правило, следует выполнять методом геометрического нивелирования или другим методом обеспечивающим соответствующую точность от реперов разбивочной сети здания.

Перенос осуществляется согласно СНиП 3.01.03-84 прил.1, нивелиром, имеющему погрешность 2 мм на 1 км двойного хода.

Для исключения накопления ошибок, переносить отметки на монтажный горизонт следует только с реперов исходного горизонта. Это позволяет исключить влияние осадок сооружения на межгоризонтные превышения в процессе его строительства. Перенос отметок выполняют методом геометрического нивелирования и подвешенной рулетки в соответствии с рис. 7.14.

Отметку рабочего репера вычисляют по формуле:

$$H_2 = H_1 + a + (c-b) - d, \quad (7.2)$$

где H_2 – отметка репера на монтажном горизонте;

H_1 – отметка репера на исходном горизонте;

a – отсчет по рейке на исходном горизонте;

b – отсчет по рулетке на исходном горизонте;

c – отсчет по рулетке на монтажном горизонте;

d – отсчет по рейке на монтажном горизонте.

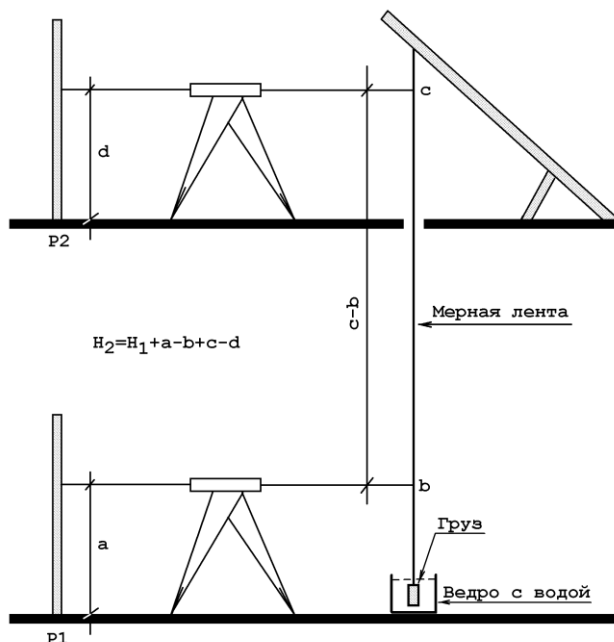


Рис. 7.14. Схема передачи отметки на монтажный горизонт

К рулетке подвешивают груз массой до 10 кг и опускают в ведро с водой для уменьшения ее качания. Наблюдения ведут при равенстве плеч от прибора до рейки и рулетки.

В результате измерений вводят поправки на компарирование рулетки, растяжение и температуру. Поправку на растяжение от подвешенного груза вычисляют по формуле

$$\Delta p = P * L / (E * s), \quad (7.3)$$

где P – вес груза;

L – длина рулетки $L = c - b$;

E – модуль упругости (для стали $E = 20 * 10^7$ Па);

s – площадь поперечного сечения рулетки.

Поправка на температуру определяется из выражения:

$$\Delta t = \alpha (t - t_0) L, \quad (7.4)$$

где α – коэффициент термического расширения рулетки (для стали $\alpha = 0,0000125$);

t – температура рулетки;

t_0 – температура компарирования рулетки;

L – длина рулетки $L = c - b$.

7.12. Геодезические разбивочные работы при строительстве автомобильных дорог и линейных сооружений

Целью разбивочных работ является перенос на местность всех элементов строящейся автомобильной дороги, мостового перехода и их сооружений в полном соответствии с проектными данными. Технология разбивочных работ должна обеспечивать заданную точность, надежность, простоту исполнения и максимальную производитель-

ность труда.

Разбивочные работы при строительстве и реконструкции дорог и искусственных сооружений проводят в такой последовательности: подготовительные работы; восстановление трассы и осей сооружений; создание опорных сетей строительства и перенесение на местность основных осей запроектированных инженерных сооружений; детальные разбивочные работы; геодезическое управление работой строительных машин; геодезический контроль за работами; исполнительные съемки и приемка инженерных сооружений в эксплуатации.

Детальной разбивке подлежат все основные элементы земляного полотна, искусственных сооружений (мостов, виадуков, путепроводов, тоннелей) и их подмостей, временных эстакад и аванбеков, регуляционных и берегоукрепительных сооружений, водоотводных сооружений (нагорных канав, перепадов быстотоков, водобойных колодцев, спрямляемых русел и пр.); оснований и покрытий, дорожной одежды, виражей и их отгонов и уширений на кривых, съездов и пересечений, автобусных остановок, площадок под автопавильоны, здания эксплуатационной и автотранспортной служб, АБЗ и ЦБЗ (вынос на местность их проектов вертикальной планировки и проектов зданий, сооружений и служб), специальных инженерных сооружений (подпорных стен, банкетов, барражей, сооружений противоселевой и противолавинной защиты, балконов, галерей и полутоннелей), трасс подключаемых линий электро-, водо- и теплоснабжения, канализации, газификации, телефона, водосточной сети.

7.12.1. Закрепление трассы, осей и опорных сетей инженерных сооружений

Плановое положение точек и линий восстановленных трасс, осей мостовых переходов, подходов к ним и точек опорных сетей всех искусственных сооружений надежно закрепляется на местности столбами или деревянными кольями с соответствующей маркировкой всех закрепительных знаков.

Углы поворота трассы закрепляют четырьмя знаками: в вершине угла (на месте установки теодолита) забивают потайной колышек вровень с поверхностью земли и вокруг него выкапывают канаву глубиной 10 – 15 см, радиусом 0,7 м (рис. 7.15). На расстоянии 2 м по направлению наружной биссектрисы угла закапывают угловой опознавательный столб. На продолжении сторон угла, за пределами предстоящих земляных работ, закапывают еще два опознавательных столба (рис. 7.16). Вершину угла поворота привязывают к двум-трем постоянным предметам местности.

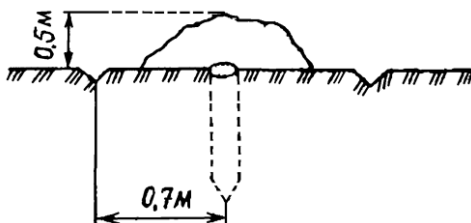


Рис. 7.15. Вид оформления потайного колышка на углу поворота трассы

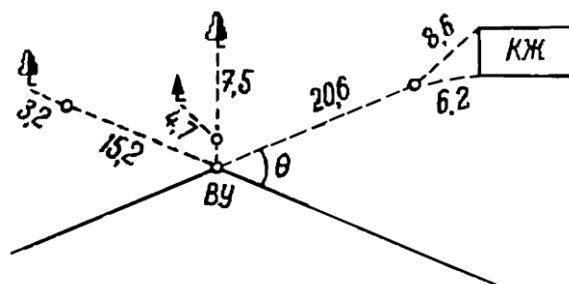


Рис. 7.16. Схема закрепления угла поворота трассы

Разрешается закреплять углы поворота с помощью четырех створных столбов (рис. 7.17). При этом каждые два столба ставят на продолжении сторон угла за пределами земляных работ. Если вершина угла поворота трассы размещается за пределами строительных работ, то ее закрепляют насыпным конусом земли высотой 0,5 м и диаметром 1,3 м (рис. 7.18). Кол, в вершине угла, забивают вровень с землей, вокруг него выкапывают канавку глубиной 10-15 см радиусом 0,7-0,8 м. На расстоянии 15-20 см от кола ставят сторожок с обозначением номера угла поворота и его пикетажного положения.

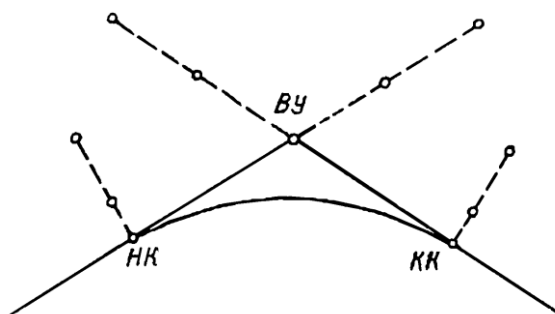


Рис. 7.17. Схема закрепления поворота створными столбами

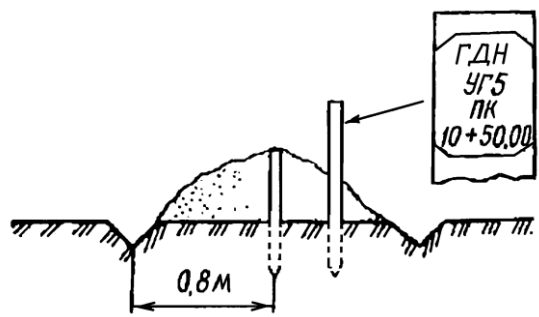


Рис. 7.18. Схема закрепления угла поворота, размещенного за пределами строительных работ

Точки опорных сетей искусственных сооружений, оси мостовых переходов и подходы к ним закрепляют осевыми и угловыми (опознавательными) столбами.

Пикеты и плюсовые точки трассы, начало и конец каждой кри-

вой закрепляют кольшками со сторожками (рис. 7.19). Сторожки забивают впереди кольшков по ходу трассы.

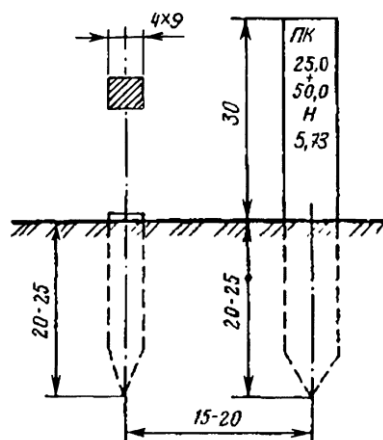


Рис. 7.19. Вид оформления пикетов, плюсовых точек, главных точек кривой

Все основные точки трассы закрепляют за зоной работ по поперечникам выносными кольями. Знаки устанавливают перпендикулярно к трассе за бровкой кювета существующей дороги. В горной, холмистой и таежной местностях такие выносные столбы (колья) устанавливают вблизи границ отвода по створу поперечников не реже чем через 100 м. При установке выносных столбов и кольев в одну сторону расстояние между створными столбами каждого поперечника должно быть не менее 20 м (рис. 7. 20) между кольями 10 м.

Реперы при закреплении трасс автомобильных дорог устанавливают двух типов: постоянные и временные. В качестве постоянных реперов используют незыблемые во времени точки, вделанные в цоколи каменных зданий капитального типа, в устои мостов или выступы слабыветривающихся скал. Для установки временных реперов используют точки, расположенные на выступах различных зданий и сооружений, а также точки в виде металлических труб, рельсов или деревянных столбов, устанавливаемых в грунте.

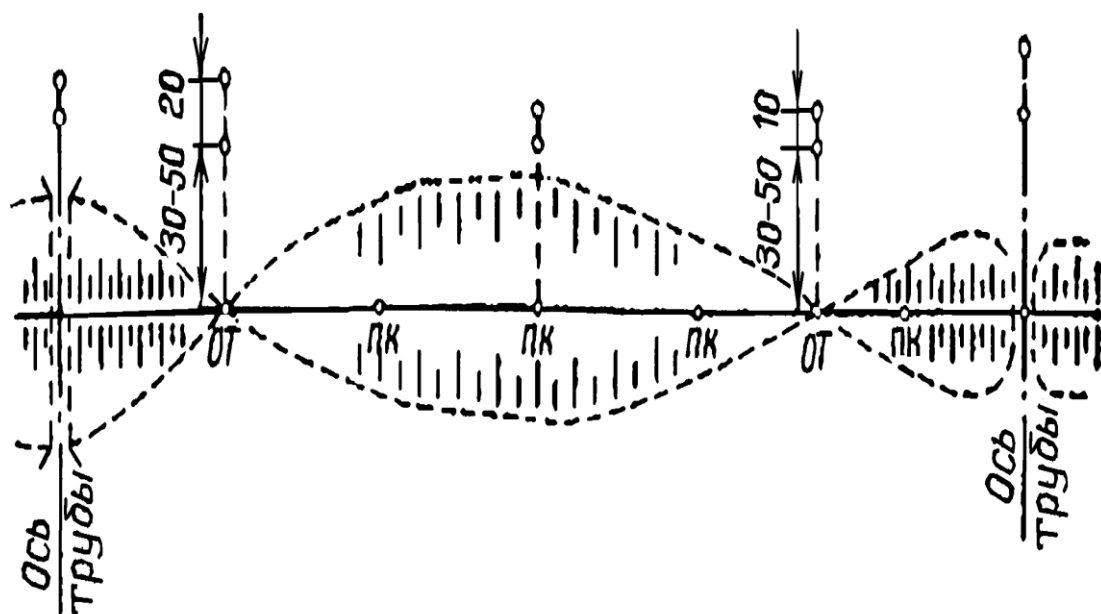


Рис. 7.20. Схема закрепления основных точек трассы за зоной строительных работ

Грунтовые реперы (рис.7.21-7.25) в виде деревянных столбов, отрезков рельсов или пней деревьев должны быть закопаны на глубину ниже наибольшего промерзания грунта. Расстояние между реперами должно быть не более 3 км в равнинной и 1 км в пересеченной и горной местностях.

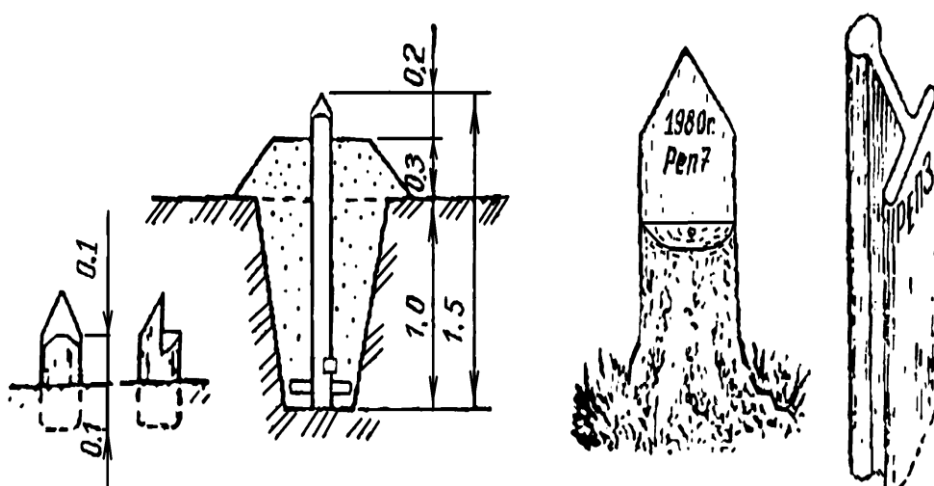
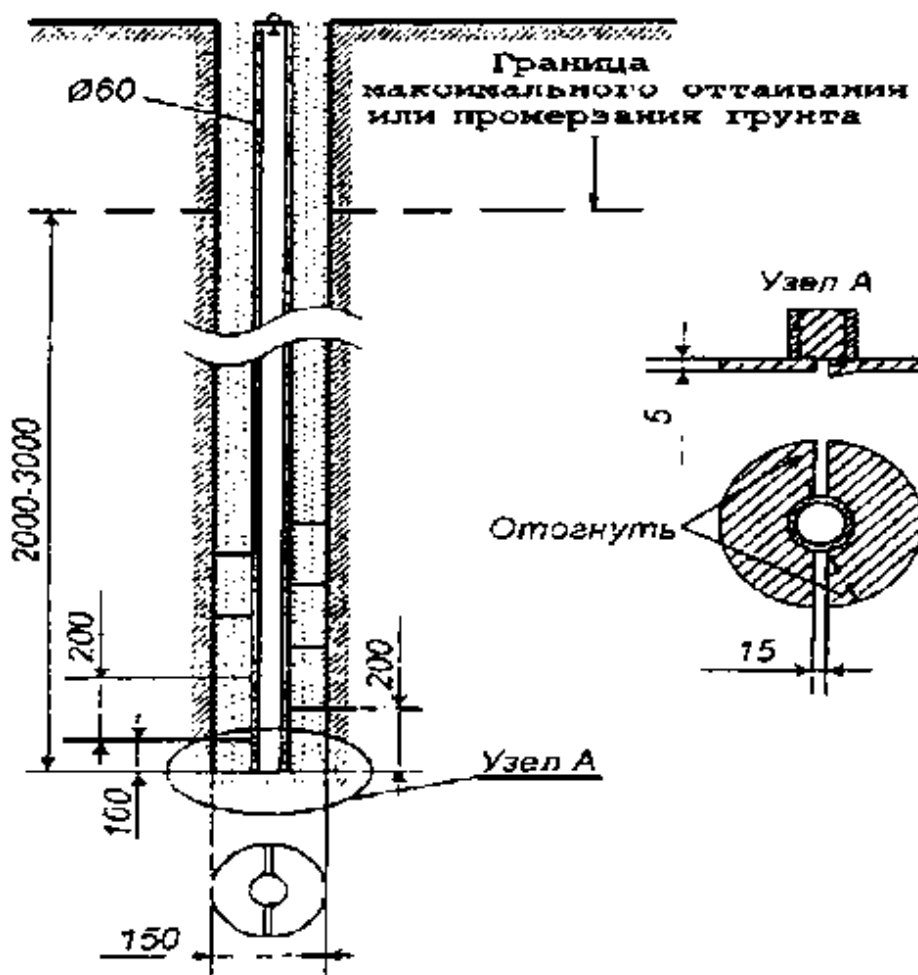


Рис. 7.21. Грунтовые реперы



**Рис. 7.22. Фото грунтового репера ГДН
(установленный институтом ГипроДорНИИ)**



**Рис. 7.23. Конструкция капитального грунтового репера ГДН
(установленный институтом ГипроДорНИИ)**



Рис. 7.24. Фото репера расположенного на шкафной стенке



Рис. 7.25. Фото государственного грунтового репера, установленного в горной местности

Для высотной привязки трасс, мостов и дорожных сооружений использую постоянные стенные реперы *а* и марки *б* (рис.7.26-7.27). Положение знаков закрепления таких нивелирных точек подробно описывают в проекте с приложением эскизного чертежа здания и указанием планового и высотного местоположения знака относительно цоколя и углов здания.

Стенными реперами и марками закрепляют линии нивелирова-

ния через каждые 5-7 км, а в малонаселенных местах – через 10-15 км.

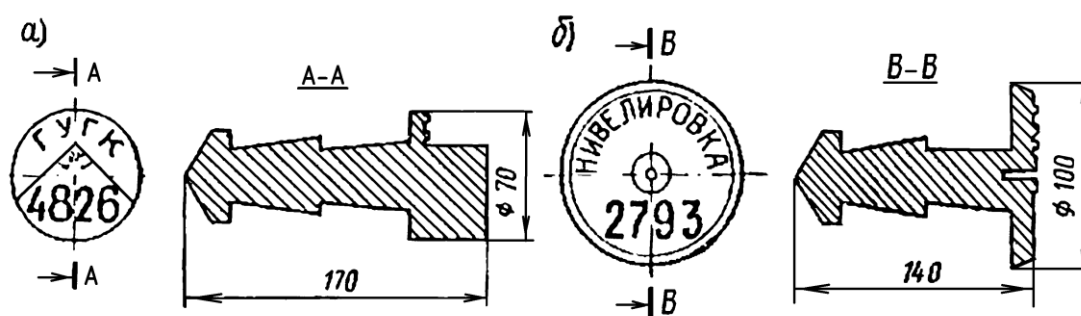


Рис. 7.26. Конструкция стенных репера и марки



Рис. 7.27. Фото стенного репера и марки

7.12.2. Детальная разбивка земляного полотна и проезжей части дороги

Все разбивочные работы на трассе дороги или линейного сооружения должны выполняться в соответствии с СНиП и ВСН.

Исходными материалами для разбивочных работ служат: разбивочные чертеж и журналы разбивки сооружений, составленные на основе проектной документации (плана трассы; продольного и попе-

речного профилей; ведомости восстановления и закрепления трассы, полосы отвода земли под дорогу, осей инженерных сооружений; рабочих чертежей сооружений и их элементов и т.д.), которую предварительно детально изучают.

Измерение и отложение углов при разбивочных работах производятся теодолитами различных конструкций, выбор которых определяется необходимой точностью угловых измерений, надежностью и удобством выполнения работ.

Для высотного обоснования разбивочных работ используются нивелиры различных конструкций. Выбор нивелиров следует производить в соответствии с точностью выполняемых работ и с технической характеристикой прибора.

Для уменьшения влияния инструментальных погрешностей и погодных условий на результаты измерений рекомендуется: все измерительные работы выполнять дважды разными методами, приемами или на различных частях измерительных шкал; не работать на неустойчивом основании и при сильном порывистом ветре; пользоваться зонтом, чтобы исключить влияние неравномерного нагрева зрительной трубы и уровней прибора; устанавливать прибор так, чтобы визирный луч проходил от земли на расстоянии свыше 1,0 м и не менее 2-3 м от боковых нагретых поверхностей.

Детальная разбивка земляного полотна производится закреплением трассы на основе размещившихся на ней пунктов плановой и высотной основы.

Разбивка ведется в соответствии с существующей проектной документацией (план, продольный профиль, типовые и индивидуальные поперечные профили и др.) и документацией по восстановлению и закреплению трассы (журнал выносок, ведомость закрепления трас-

сы, ведомость реперов и т.д.).

Детальную разбивку земляного полотна ведут в следующей последовательности: вдоль восстановленной трассы выделяют основные проектные участки между смежными переломами, плана и продольного профиля трассы; в характерных переломах профиля земной поверхности восстанавливают поперечники или нормали к кривым и устанавливают границы земляного полотна с выделением его бровок; производят зачистку или пропашку границ откосов насыпей и выемок, расстановку и закрепление разбивочных знаков (вех, вех-визирок, откосников и др.) для производства основных земляных работ; их разбивочные знаки устанавливают отдельно для каждого проектного участка за пределами работ; одновременно устанавливают места размещения приборов (лазеров, механических копиров и др.) для геодезического управления работой рабочих органов строительных машин после достижения в процессе строительства основного очертания поверхности земляного полотна на каждом участке производят детальную разбивку всех его элементов для окончательной планировки поверхностей полотна и откосов.

Работы по устройству нагорных канав, валов, водосборных колодцев и других сооружений, предназначенных для перехвата и отвода от дорожной полосы ливневых, паводковых и талых вод, необходимо выполнять до начала основных работ по сооружению земляного полотна. Строительство водоотводных сооружений следует выполнять, начиная с пониженных мест рельефа.

Рабочая разбивка контуров насыпей и выемок, других сооружений, высотных отметок, линий уклонов поверхности откосов и т.д. производится от установленных знаков пикетов и реперов не реже чем через 50 м на прямых и 10-20 м на кривых непосредственно перед вы-

полнением соответствующих технологических операций (рис. 7.28).



Рис. 7.28. Разбивка оси дороги и бровок земляного полотна через 50 м.

Разбивка границ откосов земляного полотна (подошв насыпей и бровок выемок) производится отдельно на каждом проектном участке вдоль поперечников или нормалей к кривым, продолженным во всех основных переломных точках местности. Размещение створов и визирных поверхностей ведется из расчета непрерывной их видимости водителем строительной машины. Направление створа движения машины устанавливают двумя и более вехами, постоянно видимыми водителем со своего места. Направление визирной плоскости, составляемой несколькими горизонтальными планками вех-визирок, установленных на местности, и ходовой визиркой, установленной на рабочем органе машины, должно быть приподнято относительно заданной проектной плоскости на высоту глаза водителя машины (рис. 7.29-7.30). Все виды разбивочных работ производятся при постоянном контроле на основании повторных измерений. При этом стремятся выполнять повторения иными приборами, приемами и методами чем при основных измерениях.

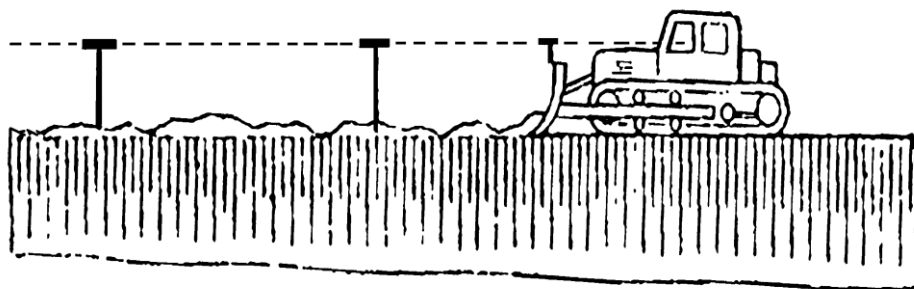


Рис. 7.29. Схема к использованию вех-визирок при земляных механизированных работах



Рис. 7.30. Установленные высотные визирки для отсыпки слоя земляного полотна толщиной 0,3 м.

Вехи, визирки, вехи-визирки, геодезические приборы и другие разбивочные устройства расставляют с таким расчетом, чтобы они не попадали в зону перемещения основных механизмов, участвующих в строительстве, но при этом постоянно показывали водителю положение органа механизма в пределах его работы на данном проектом участке.

В местах сопряжения смежных прямолинейных проектных участков продольного профиля трассы, кроме рабочих разбивочных знаков и приборов устанавливают дополнительно контрольные створные визирки и откосники на уровне проектных высот. Между этими точками разбивают линию проектной уклона и в соответствии с ней оценивают результаты выполненных строительных работ. Откосники устанавливают по специальным шаблонам (рис.7.31-7.32).

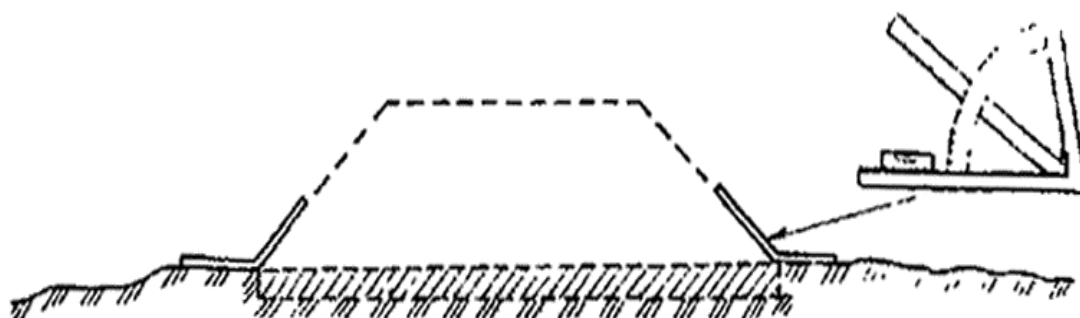


Рис. 7.31. Схема установки откосников по границе земляного полотна



Рис. 7.32. Откосник, установленный по границе верхней бровки выемки

Если точки сопряжения проектных участков имеют большие рабочие отметки, то между ними в соответствии с рельефом местности разбивают ряд линий, параллельных проектной, и отстоящих от нее на некоторые величины Δh . При расстановке створных визирок в каждой точке таких линий учитывают эти величины.

На участках вертикальных кривых в высотное размещение визирок вносят поправки, равные ординатам разбивки горизонтальных кривых малых радиусов вводят поправки, связанные с отгоном виража.

7.12.3. Детальная разбивка горизонтальных и вертикальных кривых

Детальная разбивка каждой кривой дорожного закругления выполняется после разбивки трассы. Разбивку круговых кривых ведут от их конечных точек (начала или конца кривой) к середине кривой. Переходные кривые (клотоидные и др.) разбивают от точки начала кривой к ее середине. Детальную разбивку кривых можно выполнять любым способом, обеспечивающим необходимую точность.

Перед разбивкой кривой назначают, находят или рассчитывают все исходные данные для разбивочных работ, составляют разбивочный чертеж и таблицу разбивки.

При разбивке каждого криволинейного участка автомобильной дороги сначала (в соответствии с интервалом разбивки) устанавливают положение всех точек на кривой, размещенных по оси дороги (вдоль трассы). В полученных точках находят направления нормалей к кривой, а затем от оси дороги вдоль каждой нормали устанавливают положение всех точек поперечного профиля дорожного полотна в

данном месте.

Способ прямоугольных координат:

Разбивка (рис.7.33) производится от точки начала (конца) круговой кривой (НKK) или от точки начала переходной (клотоидной) кривой (ННК) до середины круговой кривой. Прямоугольные координаты точек рассчитывают на микрокалькуляторе или берут из таблиц Митина. Однако мы рекомендуем все расчеты выполнять на компьютере с помощью электронных таблиц MS Office Excel и формул из этого пособия (следует помнить, что значения угла в тригонометрические функции необходимо подставлять в радианах).

Исходными величинами разбивки являются:

S_n – длина дуги кривой до точки разбивки ($S_n = K_0 n$), м;

K_0 – интервал расстановки точек на кривой (обычно принимается равной 20 м), м;

n – число интервалов разбивки (порядковый номер точки разбивки на кривой);

R – радиус круговой кривой, м;

$\varphi_n = S_n / R = K_0 n / R$ – центральный угол между радиусами кривой, проведенными из точки начала (конца) кривой и из точки разбивки, радианы;

L – параметр клотоиды (длина переходной кривой), м;

$\varphi_m = S^2 n / (2L^2)$ – угол между касательными клотоиды, проведенными в начале кривой и в точке разбивки, радианы.

Прямоугольные координаты точек круговой кривой устанавливают по формулам

$$X_n = R \cdot \sin \varphi_n ; \quad Y_n = R - R \cdot \cos \varphi_n. \quad (7.5)$$

При необходимости пересчета градусов в радианы и наоборот используют формулы

$$\varphi_{\text{градусы}} = \frac{180 \cdot \varphi_{\text{радианы}}}{\pi}; \quad \varphi_{\text{радианы}} = \frac{\pi \cdot \varphi_{\text{градусы}}}{180}. \quad (7.6)$$

В случае, если применение способа прямоугольных координат не представляется возможным (наличие высоких косоголов, заболоченная местность и т.п.), применяют другие способы разбивки. Мы рекомендуем в этом случае основной расчет проводить по способу прямоугольных координат, а разбивочные элементы для других способов получать решая обратную геодезическую задачу.

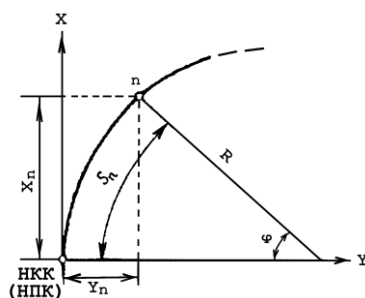


Рис. 7.33. Схема определения положения точки на кривой способом прямоугольных координат

Способ полярных координат:

Разбивочные элементы (рис. 7.34): полярный угол β_n и длину хорды l_n получают из решения обратной геодезической задачи по формулам

$$\beta_n = \arctg\left(\frac{Y_n}{X_n}\right); \quad l_n = \sqrt{X_n^2 + Y_n^2}. \quad (7.7)$$

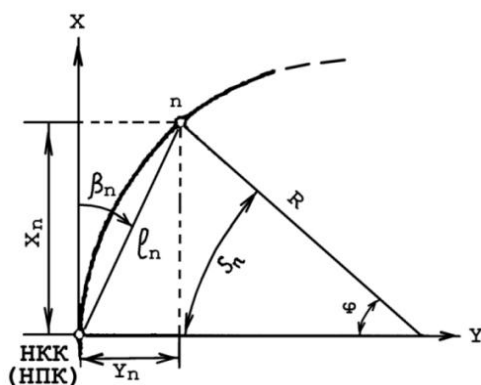


Рис. 7.34. Схема определения положения точки на кривой способом полярных координат

Способ вписанного многоугольника:

Данный способ предполагает последовательное построение пикетных точек с отложением угла и хорды (рис. 7.35). Этот способ применяется в стесненных условиях, например при проходке тоннелей

$$\beta_1 = \arctg\left(\frac{Y_1}{X_1}\right); \quad l_1 = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2}; \quad \gamma = \frac{180-\varphi}{2}. \quad (7.8)$$

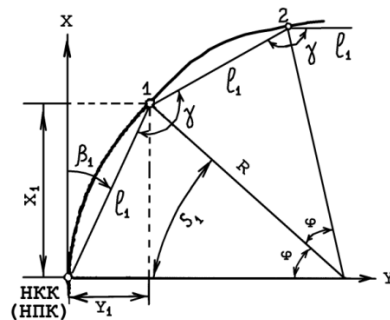


Рис. 7.35. Схема определения положения точки на кривой способом вписанного многоугольника

Способ продолженных хорд:

Данный способ является комбинацией предыдущих и может применяться в стесненных условиях при отсутствии угломерных инструментов (рис. 7.36). Для вычисления разбивочных элементов по этому способу используют формулы предыдущих способов. Положение пикетных точек 2, 3, 4, ... находят методом линейной засечки.

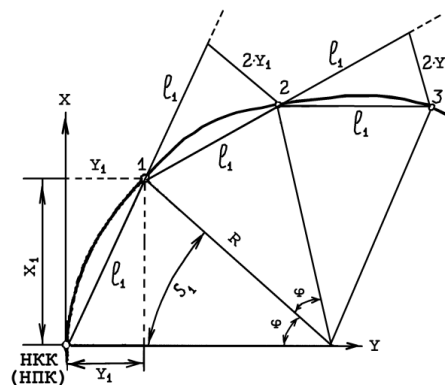


Рис. 7.36. Схема определения положения точки на кривой способом продолженных хорд

Детальная разбивка переходных кривых:

Разбивка переходной кривой (клотоиды) выполняется теми же способами, что и кривой. Основным способом разбивки также является способ прямоугольных координат (рис. 7.37). Так как клотоида имеет переменный радиус, все вычисления ведутся через разложение исходных формул в ряд Тейлора. При расчете следует четко понимать геометрический смысл вписывания переходной кривой в круговую кривую, т.к. при этом происходит смещение круговой кривой по линии радиуса на величину ΔB , начало кривой (НК) и конец кривой (КК) смещаются на величину ΔT , а длина непосредственно круговой кривой становится короче на величину равную длине переходной кривой L . Для разбивки клотоиды применяют следующие формулы:

– постоянные ряда Тейлора

$$\rho = \frac{L^2}{24 \cdot R} - \frac{L^4}{2688 \cdot R^3} + \frac{L^6}{506880 \cdot R^5}; \quad m = \frac{L}{2} - \frac{L^3}{240 \cdot R^2} + \frac{L^5}{34560 \cdot R^4}; \quad (7.9)$$

– удлинение тангенса $\Delta T = \rho \cdot tg \frac{\theta}{2} + m;$ (7.10)

– удлинение биссектрисы $\Delta B = \rho \cdot \frac{1}{\cos \frac{\theta}{2}};$ (7.11)

– главные элементы закругления

$$T = T_K + \Delta T; \quad B = B_K + \Delta B; \quad K = K_K + L; \quad D = 2T - K; \quad (7.12)$$

– прямоугольные координаты на участке переходной кривой

$$S_n = K_0 \cdot n; \quad (7.13)$$

$$X_n = S_n - \frac{S_n^5}{40 \cdot R^2 \cdot L^2}; \quad (7.14)$$

$$Y_n = \frac{S_n^3}{6 \cdot R \cdot L} - \frac{S_n^7}{336 \cdot R^3 \cdot L^3}; \quad (7.15)$$

– координаты конца переходной кривой

$$X_{\Pi} = L - \frac{L^3}{40 \cdot R^2}; \quad Y_{\Pi} = \frac{L^2}{6 \cdot R} - \frac{L^4}{336 \cdot R^3}; \quad (7.16)$$

– прямоугольные координаты на участке круговой кривой

$$l_k = S_n - L; \quad (7.17)$$

$$a = 2 \cdot R \cdot \sin \left(\frac{90 \cdot l_k}{\pi \cdot R} \right); \quad (7.18)$$

$$X_n = X_{\Pi} + a \cdot \cos \left[\frac{90}{\pi \cdot R} (L + l_k) \right]; \quad (7.19)$$

$$Y_n = Y_{\Pi} + a \cdot \sin \left[\frac{90}{\pi \cdot R} (L + l_k) \right]; \quad (7.20)$$

– прямоугольные координаты для середины круговой кривой

$$X_{CP} = X_{\Pi} + a \cdot \cos \left[\frac{90}{\pi \cdot R} \left(\frac{K}{2} \right) \right]; \quad (7.21)$$

$$Y_{CP} = Y_{\Pi} + a \cdot \sin \left[\frac{90}{\pi \cdot R} \left(\frac{K}{2} \right) \right]. \quad (7.22)$$

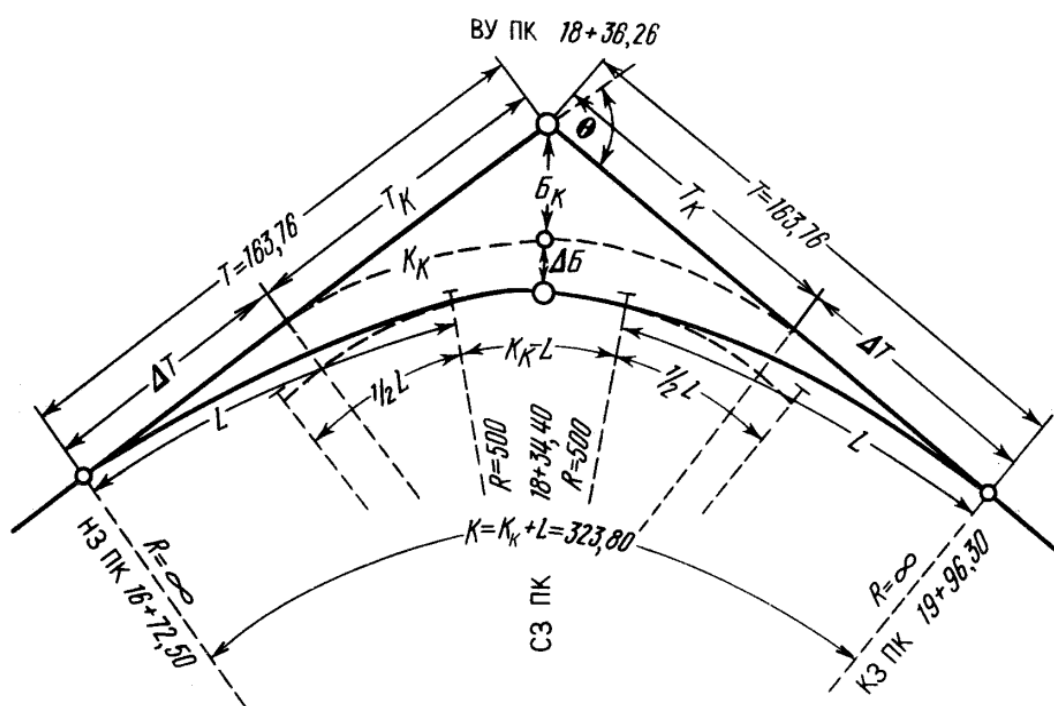


Рис. 7.37. Схема определения положения точки на переходной кривой способом прямоугольных координат

Следует еще раз напомнить, что при детальной разбивке круговых кривых с переходными кривыми, расчет координат ведется по разным формулам для переходной кривой и круговой кривой. Вынос пикетных точек на местность может выполняться любым из ранее изложенных способов с пересчетом прямоугольных координат в разби-

вочные элементы.

Разбивка вертикальных кривых:

Вертикальные кривые рассчитываются по тем же формулам что и горизонтальные кривые. Однако, т.к. радиусы вертикальных кривых значительны, а углы поворота малы, при расчетах могут применяться упрощенные формулы: - по заданной величине абсциссы X (горизонтальное расстояние от начала кривой НК) вычисляют значение ординаты (превышение)

$$Y = \frac{X^2}{2R}. \quad (7.23)$$

7.13. Исполнительные съемки

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, расстояний между ними и других данных. Исполнительные съемки ведутся в процессе строительства по мере окончания его отдельных элементов и завершаются окончательной съемкой готового сооружения. В первом случае выполняются текущие исполнительные съемки, во втором – съемки для составления исполнительного генерального плана.

Текущие исполнительные съемки отражают результаты последовательного процесса возведения отдельного здания или сооружения, начиная с котлована и заканчивая этажами гражданских и технологическим оборудованием промышленных зданий. Результаты этих съе-

мок содержат данные для корректирования 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 изменений (забетонированы, засыпаны грунтом и т.п.). На рис. 7.38 приведен пример исполнительной съемки котлована.

Окончательная исполнительная съемка выполняется для всего объекта в целом и используется при решении 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.

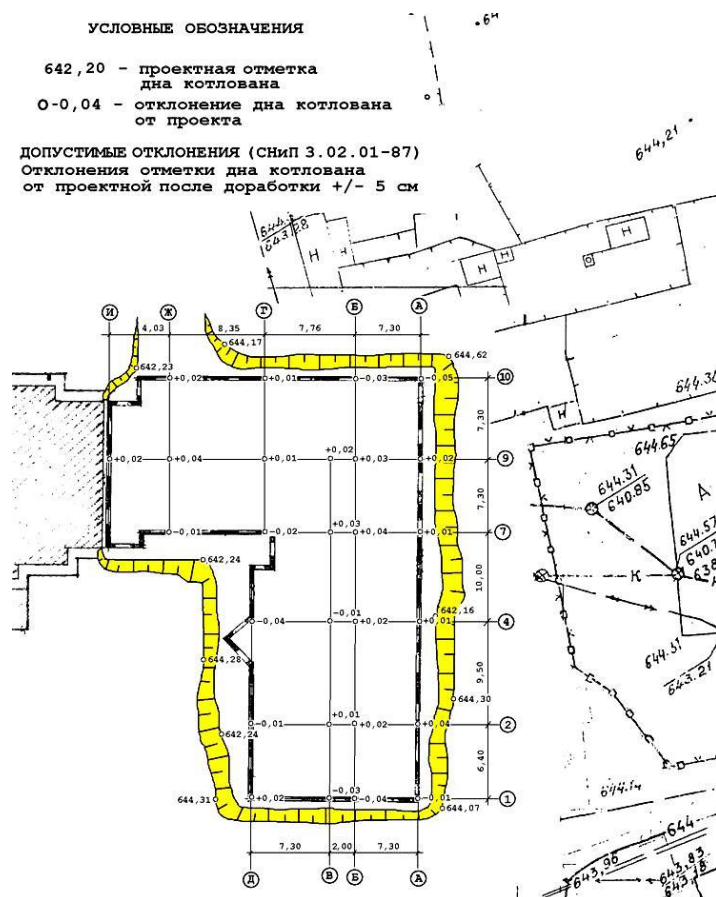


Рис. 7.38. Исполнительная съемка дна котлована под строительство здания

Исходной геодезической основой для текущей исполнительной съемки служат пункты геодезической разбивочной основы, знаки и створы закрепления осей здания или сооружения. Высотной основой служат реперы строительной площадки и отметки, фиксированные на строительных конструкциях. Геодезическая основа и способы съемок должны обеспечить на промышленных и городских площадках составление исполнительного плана в масштабе 1:500, на площадках гидроузлов, аэродромов, мостовых переходов – в масштабе 1:1 000 – 1:2 000.

Методы измерений при исполнительной съемке, как правило, те же, что и при выполнении разбивочных и строительных работ. Так, для съемки положения строительных конструкций в плане применяют способы прямоугольных координат, линейных и створных засечек, линейные промеры то створов и т.п., по высоте – геометрическое нивелирование. Отклонение конструкций от вертикали проверяют с помощью отвесов, теодолитов, приборов вертикального проектирования. Применяют также фототеодолитную съемку. На рис. 7.39 – 7.40 приведены примеры съемки опирания подкрановых балок и прогибов ферм перекрытия.

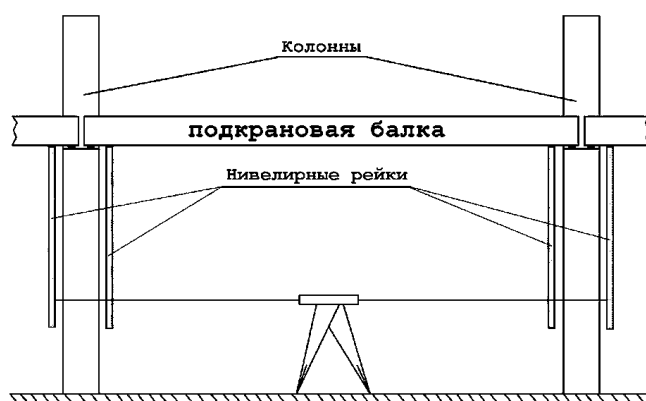


Рис. 7.39. Исполнительная съемка опирания подкрановых балок методом геометрического нивелирования

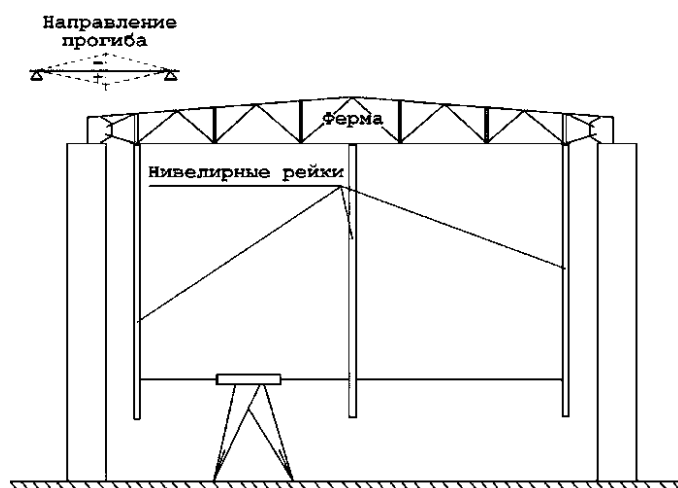


Рис. 7.40. Исполнительная съемка фактических прогибов ферм перекрытия методом геометрического нивелирования

Исполнительные съемки входят в состав технологического процесса строительства, поэтому очередность и способ их выполнения, технические средства и требуемая точность измерений зависят от этапов строительно-монтажного производства. Исполнительной съемке подлежат части зданий и конструктивные элементы, от точности положения которых, зависит точность выполнения работ на последующих циклах, а также прочность и устойчивость зданий в целом.

Методы съемки для исполнительного генплана зависят от масштаба его составления и вида снимаемого объекта. В большинстве случаев применяют аналитический и тахеометрический методы съемок, иногда мензульную съемку. Текущие съемки выполняют с точностью, обеспечивающей надежное определение положения строительных конструкций и технологического оборудования. Для этого среднеквадратическая ошибка m контрольных измерений должна быть не более 0,2 величины отклонений δ допускаемых нормативными документами или проектом, т.е. $m \leq 0,2\delta$. Методы съемки исполнительного генплана должны обеспечивать также графическую точность соответствующего масштаба.

7.13.1. Исполнительная документация

Перечень исполнительной геодезической документации (ИГД) регламентируется нормативами. ИГД 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.

Основой ИГД являются рабочие чертежи проектной документации. Проектные размеры (габариты) сопровождаются буквой [П], действительные – буквой [Д], отклонения от проектного значения буквой [В] или [Н] (В – для верхнего сечения, Н – для нижнего сечения). Буквы помещаются в прямоугольные рамки. Если необходимо указать оба размера, то в числителе пишется проектный, а в знаменателе – действительный размеры (рис. 7.41).

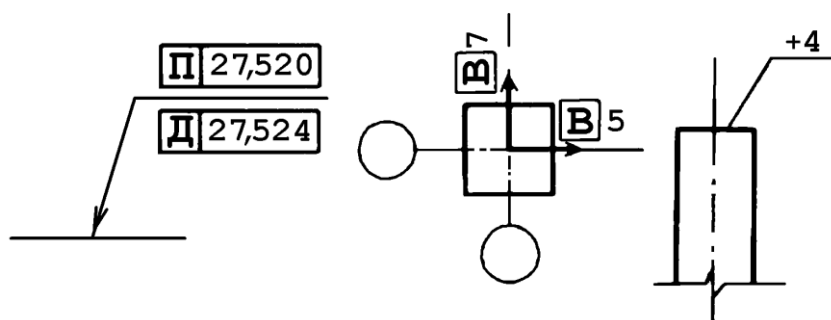


Рис. 7.41. Обозначение отклонений от проекта на чертежах исполнительной съемки

Действительные отклонения от проектных отметок показываются числовым значением в см для грунтовых и других поверхностей рельефа и в мм – для других элементов со знаком «плюс» в случае превышения или «минус» в случае занижения. Уклоны поверхностей показывают стрелками, над которыми указывается их величина в промиллях (‰), а под стрелками – расстояние.

Точность положения в плане характеризуется 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.

ИГД подписываются геодезистом, ответственным производителем работ, и руководителем строительной (монтажной) организации.

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. Исполнительные чертежи составляются на топографических планах, использованных для разработки проектов

При соответствии действительных размеров, отметок, уклонов, сечений, (диаметров), привязок и других геометрических параметров проектным значениям (в пределах допустимых отклонений) на документах делается надпись «Отклонений от проекта по геометрическим параметрам нет».

Контрольные вопросы

1. Какие геодезические работы называют разбивочными?
2. Какими способами производят разбивку точек сооружений?
3. Как построить на местности линию заданной длины?
4. Как построить в натуре горизонтальный угол заданной величины?
5. Как вынести на местность точку с заданной отметкой?
6. Как построить линию заданного уклона?
7. Каким образом закрепляют в натуре разбивочные оси?

8. В чем состоят геодезические работы при устройстве фундаментов?
9. Каким образом выверяют вертикальность колонн?
10. Каковы состав и последовательность геодезических работ при монтаже подкрановых балок?
11. Какими способами передают разбивочные оси на верх сооружения?
12. Как передать отметку наверх сооружения?
13. Что такое проект производства геодезических работ?
14. Что такое геодезическая разбивочная основа ГРО?
15. Как передаются отметки и оси на рабочий горизонт?
16. Какие способы применяют для детальной разбивки круговых кривых?
17. Что такое клотоида?
18. Зачем нужно положение о геодезической службе?
19. На каких циклах возведения сооружений и с какой целью производят исполнительные съемки?
20. В чем сущность индукционных методов отыскания подземных коммуникаций?
21. Где берутся нормативные допуски для сравнения в исполнительных съемках?
22. Какие приборы применяют при исполнительных съемках?

Рекомендуемая литература

1. СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве – М.: ЦИТЛ Госстроя СССР, 1985. – 28 с.

2. ВСН 5-81 Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений – М.: Транспорт, 1983. – 104 с.

3. СНиП 3.06.03-85 Автомобильные дороги – М.: ЦИТЛ Госстроя СССР, 1986. – 85 с.

4. Митин Н.А. Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах / Н.А. Митин – М.: Недра, 1973. – 469 с.

5. ГОСТ Р 51872-2002. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения. – М.: Стандарты, 2002. – 12 с.

ГЛАВА 8. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ СООРУЖЕНИЙ

8.1. Виды деформаций и причины их возникновения

В геодезической практике принято рассматривать деформацию как изменение положения объекта относительно какого-либо его первоначального расположения. После, а иногда и во время строительства в результате уплотнения (сжатия) грунтов под действием давления массы сооружения, происходит смещение в вертикальной плоскости или осадка сооружения. Иногда, при коренной перестройке структуры грунта, например в лессах при замачивании, происходит быстро протекающая во времени деформация, называемая просадкой.

В том случае, когда грунты под фундаментом сооружения сжимаются неодинаково или нагрузка на грунт различная, осадка имеет неравномерный характер. В этом случае деформации могут иметь вид: горизонтального смещения, сдвига, перекоса, прогиба, которые внешне проявляются в виде трещин, сколов, разрывов.

Смещение сооружений в горизонтальной плоскости может быть вызвано боковым давлением грунта, воды, ветра, оползневыми процессами и т.п.

Высокие сооружения башенного типа (дымовые трубы, телебашни, высокие опоры) испытывают кручение или 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 начальные.

Для определения абсолютных или полных осадок S фиксированных на сооружении точек периодически определяют их отметки относительно исходного репера, расположенного в стороне от сооружения и принимаемого за неподвижный. Очевидно, чтобы определить осадку точки на текущий момент времени ($H_{тек}$) относительно начала наблюдений ($H_{нач}$), необходимо вычислить разность отметок, полученных на эти моменты, т.е.

$$S = H_{тек} - H_{нач} . \quad (8.1)$$

Средняя осадка $S_{ср}$ всего сооружения или отдельных его частей вычисляется как среднее арифметическое из суммы осадок всех n его точек

$$S_{ср} = \frac{1}{n} \sum_1^n S . \quad (8.2)$$

Одновременно для полноты характеристики указывают наибольшую и наименьшую осадки точек сооружения. Неравномерность осадки может быть определена по разности осадок ΔS каких либо двух точек

$$\Delta S = S_2 - S_1 . \quad (8.3)$$

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 между двумя точками l , называется относительным креном K или наклоном сооружения.

$$K = \frac{S_2 - S_1}{l} . \quad (8.4)$$

Горизонтальное смещение q отдельной точки сооружения характеризуется разностью ее координат $x_{тек}$, $y_{тек}$ и $x_{нач}$, $y_{нач}$, полученных в начальном и конечном циклах наблюдений. Положение осей координат, как правило, совпадает с главными осями сооружения. Смеще-

ния вычисляют по формулам

$$q_x = x_{\text{тек}} - x_{\text{нач}}, \quad (8.5)$$

$$q_y = y_{\text{тек}} - y_{\text{нач}}. \quad (8.6)$$

Аналогично можно вычислит смещения между предыдущим и последующим циклами наблюдений.

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 будет равна

$$v_{\text{ср}} = \frac{s_2 - s_1}{t}. \quad (8.7)$$

Различают среднемесячную скорость, когда время t выражается числом месяцев, среднегодовую и т.д.

8.2. Задачи и организация наблюдений

Наблюдения за деформациями сооружений представляют собой комплекс измерительных и описательных мероприятий по выявлению величин деформаций и причин их возникновения. Они выполняются с целью оценки устойчивости сооружения и принятия своевременных профилактических мер, обеспечивающих его нормальную работу.

Для сложных и ответственных сооружений (плотины, АЭС и др.) систематические наблюдения за деформациями начинают с момента их возведения и продолжают в течение всего строительства и

эксплуатации по календарному плану (через определенные промежутки времени). Возможно также проведение срочных наблюдений, например, после землетрясения, или параллельных специальных наблюдений за изменением метеоусловий, температуры грунтов, строительной нагрузки и т.д.

Проект для производства наблюдений должен включать:

- 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 обработке результатов измерений и оценке состояния сооружения;
- календарный план (график) наблюдений;
- состав исполнителей, объемы работ и смету.

8.3. Точность и периодичность наблюдений

В нормативных документах точность определения осадок или горизонтальных смещений характеризуются среднеквадратической ошибкой:

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 среднеквадратической ошибкой 30 мм, горизонтальные смещения – 10 мм. Крены дымовых труб, мачт, высоких башен и др. измеряются с точностью, зависящей от высоты H сооружения и характеризуемой величиной $0,0005 \cdot H$.

Установить необходимую точность измерения деформаций расчетным путем довольно сложно, однако для многих практических задач (Е. Б. Ключин и др., 2000) можно пользоваться формулой

$$m \leq 0,2\Delta S, \quad (8.8)$$

где m – среднеквадратическая ошибка измерения деформации;

ΔS – величина деформации за промежуток времени между двумя парами измерений.

Выбор времени между циклами измерений зависит от вида сооружения, периода его работы, скорости изменения деформации и других факторов. В строительной практике систематические измерения выполняют 1-2 раза в квартал в период строительства и 1-2 раза в год в период эксплуатации. При срочных наблюдениях их выполняют до и после появления фактора резко изменяющего обычный ход деформации.

8.4. Основные типы геодезических знаков и их размещение

От правильного выбора конструкции и мест размещения в значительной мере зависит и качество результатов наблюдений. Применяемые для наблюдений геодезические знаки различают по назначе-

нию на: опорные, вспомогательные 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 применяют трубчатые конструкции. Основной деталью знака является стальная труба диаметром от 100 до 300 мм, заглубленная и бетонируемая в грунте не менее чем на 1 м ниже верхней границы твердых коренных пород или сезонной глубины промерзания (оттаивания). 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 (рис. 8.1).

В то же время для учета изменения длины репера вследствие изменения температуры используют две трубы из разного материала, например, стальную и дюралюминиевую. Репер подобной конструкции называется биметаллическим (рис. 8.2).

Для изучения деформаций промышленных и гражданских зданий в качестве опорных применяют свайные знаки и реперы с поперечным сечением 180-250 мм. Опорные знаки необходимо размещать вне зоны возможных деформаций, но поближе к сооружению. Чтобы

обеспечить взаимный контроль за устойчивостью опорных знаков, их число должно быть не менее трех для высотных и четырех для створных измерений.

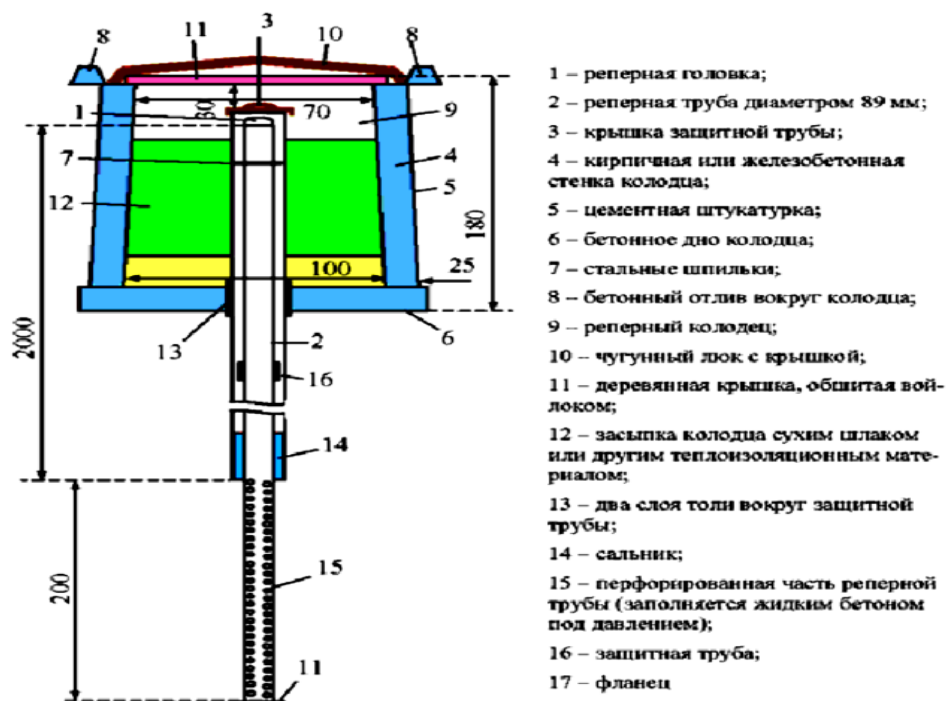


Рис. 8.1. Конструкции опорных знаков (реперов)

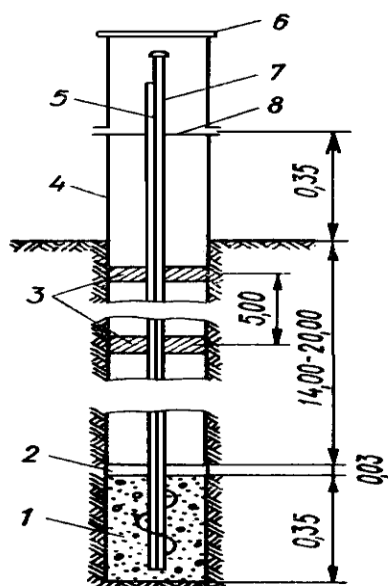


Рис. 8.2. Биметаллический репер системы Брайта:

1 – Бетон; 2 – зазор; 3 – кольцо из джута или веревки; 4 – обсадная труба; 5 – медный стержень; 6 – защитная крышка; 7 – железный стержень; 8 – резиновая мембрана.

Деформационные знаки, применяемые для наблюдений за горизонтальными смещениями, – это в основном визирные цели, закрепляемые непосредственно на конструкциях (рис. 8.3). Деформационные знаки размещаются по периметру, но не реже, чем через 15-20 м, по углам и по обе стороны осадочных швов, а также в местах расположения несущих стен. На плотинах гидроузлов знаки устанавливают в галереях и по гребню (верх плотины) не менее двух марок на секцию.

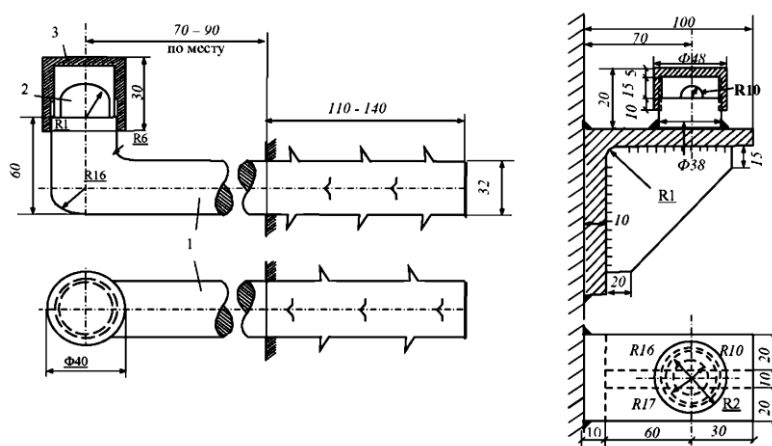


Рис. 8.3. Варианты деформационных марок

8.5. Наблюдения за осадками сооружений

Наблюдения за осадками сооружения выполняют способами геометрического и тригонометрического нивелирования, гидронивелирования, микронивелирования, а также фото- и стереофотограмметрическим способом.

Наиболее распространен способ геометрического нивелирования, с помощью которого можно определять разности высот точек, расположенных на расстоянии 5 – 10 м, с ошибкой 0,05 – 0,1 мм, а на несколько сотен метров с ошибкой 0,5 мм.

В зависимости от требуемой точности применяют различные классы нивелирования. При определении осадок бетонных плотин применяют I и II классы, которые характеризуются среднеквадратической ошибкой измерения превышения на одной станции соответственно 0,3 – 0,4 мм. При определении осадок промышленных и гражданских зданий чаще всего применяют II и III классы нивелирования, для которых среднеквадратические ошибки измерения превышения на станции соответственно равны 0,4 и 0,9 мм. Отметки деформационных точек в цикле измерений определяют относительно исходного опорного репера. Отметку репера чаще всего принимают условно, например, 100,000 м, но она постоянна на весь период наблюдений. Для передачи отметки от исходного репера на все деформационные реперы разрабатывают специальную схему нивелирования с учетом ее уравнивания и получения минимальных погрешностей измерений.

При нивелировании высокой точности используют штриховые инварные или специальные малогабаритные рейки. Нивелир устанавливают строго посередине между наблюдаемыми точками, отсчеты берут по основной и дополнительной рейкам.

Нивелирование выполняют при двух горизонтах прибора, в прямом и обратном направлениях. Длина визирного луча допускается до 25 м, его высота над поверхностью земли – не менее 0,5 м.

Полученные результаты тщательно обрабатывают: оценивают фактическую точность и сравнивают ее с заданной, уравнивают, вычисляют отметки, а по разности их в циклах – осадки, строят графики осадок.

Способ тригонометрического нивелирования позволяет определять осадки точек, расположенных на существенно разных высотах, в труднодоступных местах. Такие случаи возникают при наблюдении за

высокими башнями, плотинами при производстве измерений через препятствия.

Наиболее высокая точность 0,1 мм обеспечивается при коротких (до 100 м) лучах визирования с применением высокоточных теодолитов типа 3Т2 и специальной методики измерений, позволяющей измерять зенитные расстояния с ошибкой порядка 5". Кроме того, методика предусматривает однообразную во всех циклах установку теодолита и его тщательное исследование, строгую вертикальность реек, ослабление действия различных источников ошибок. Расстояния до определяемых точек должны измеряться с ошибкой 3-5 мм. Возможно применение современных кодовых теодолитов, снабженных лазерными дальномерами. В этом случае к угловым измерениям добавляются линейные, что существенно повышает точность измерений.

8.6. 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 прямой и обратный 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 фор-

мы, требуемой точности, применяемых приборов и условий измерений.

Угловую и линейные 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. Для всех видов линейно-угловых построений характерным является постоянство схемы измерений и необходимость получения в конечном итоге не самих координат деформационных точек, а их изменение во времени, т.е. разностей координат в двух циклах.

Для специальной триангуляции характерна высокая точность измерения углов ($0,5-2,0''$) при коротких сторонах.

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 (рис. 8.4), из которых наиболее распространенным являются методы подвижной марки и малых углов.

В *методе подвижной марки* величина нестворности Δ опреде-

ляется непосредственно. Для этого в точке K устанавливается оптический прибор коллимационная плоскость которого ориентируется по марке в точке J и задает створную линию. Подвижная марка, установленная в точке i , вводится в створ. Положение подвижной марки, когда мишень ее находится в створе, фиксируется по отсчетному устройству марки.

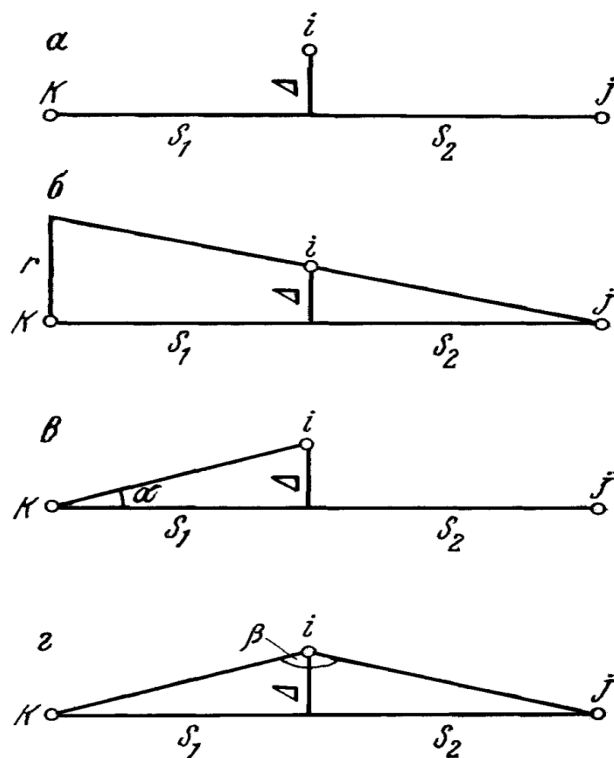


Рис. 8.4. Определение величины нестворности методами:
подвижной марки (а), подвижного источника света (б), малых углов (в), полигонометрии (г).

Если известен отсчет, когда ось мишени совпадает с точкой i , то нестворность Δ может быть вычислена как разность отсчетов при положении марки в точке i и в створе KJ .

В методе подвижного приемника света нестворность Δ определяют измерением величины r на точке K и расстояний S_1 и S_2 . Величину r измеряют с помощью алиниометра. Вычисления производят по формуле

$$\Delta = r \frac{S_2}{S_1 + S_2}. \quad (8.9)$$

В *методе малых углов* нестворность Δ определяется путем измерения малого угла α (рис. 8.4 в) между линией створа и направлением на точку i и расстояния S_1 . Величина нестворности при малых углах вычисляется по формуле

$$\Delta = \frac{\alpha \cdot S_1}{\rho}, \quad (8.10)$$

где ρ – радиан в секундах = 206265.

В *методе полигонометрии* нестворность Δ определяется путем измерения малого угла β и расстояния S_1 и S_2 . Нестворность вычисляют по формуле

$$\Delta = \frac{S_1 \cdot S_2 (180^\circ - \beta)}{(S_1 + S_2) \cdot \rho}. \quad (8.11)$$

8.7. Наблюдения за кренами, трещинами и оползнями

Крен – 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.

Наиболее просто крен определяется с помощью отвеса или прибора вертикального проектирования (оптического или лазерного). В сложных условиях, особенно для сооружений большой высоты, для определения крена применяют способы вертикального проектирования, координат, углов и др. (рис. 8.5).

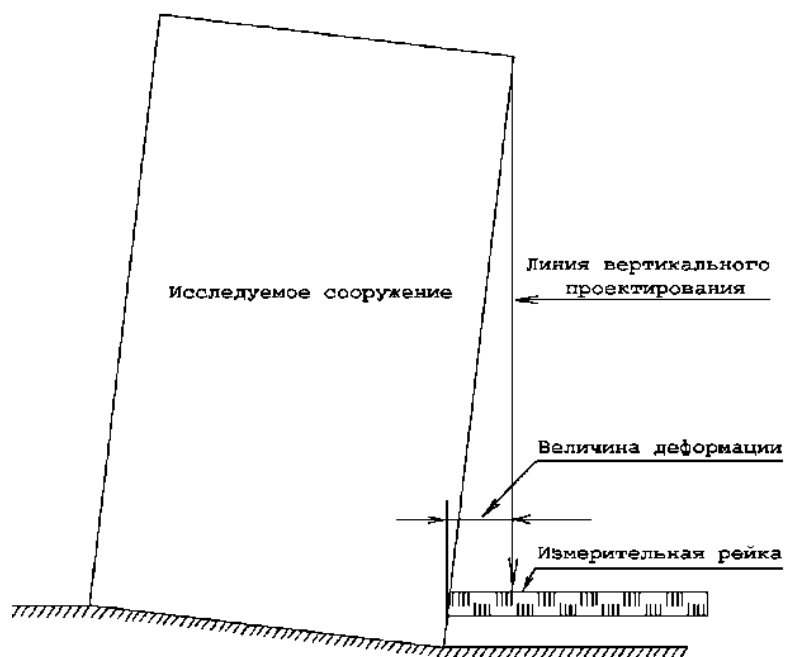


Рис. 8.5. Схема наблюдений за креном башенного сооружения способом вертикального проектирования

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.

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 проводятся в плоскости конструкций, на которых они появляются.

Для выявления трещин применяют специальные маяки (рис. 8.6), 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.

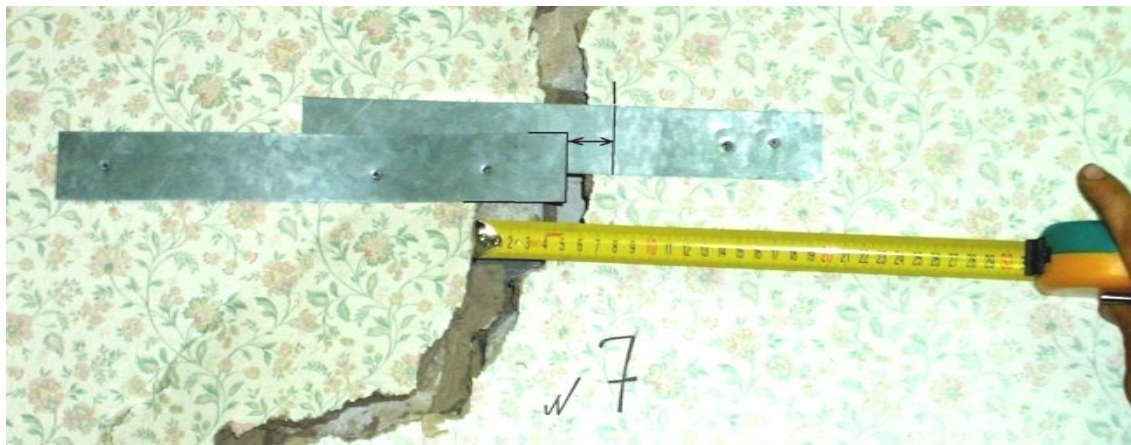


Рис. 8.6. Фото маяка для наблюдения за трещинами

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), когда смещения фиксированных на оползне точек определяют по отношению к заданной линии или оси;
- плановые (двумерные), когда смещения оползневых точек наблюдают по двум координатам в горизонтальной плоскости;
- высотные — для определения только вертикальных смещений;
- пространственные (трехмерные), когда находят полное смещение точек в пространстве по трем координатам.

Осевые методы применяют в тех случаях, когда направление движения оползня известно.

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 т.ч. и оползневых, определяется из соображений обеспечения качественной схемы измерений и выявления всех характеристик происходящего процесса.

Наблюдения за оползнями производятся не реже одного раза в год. Периодичность корректируется в зависимости от колебаний скорости движения оползня: она должна увеличиваться в периоды активизации и уменьшаться в период угасания.

8.8. Обработка и анализ результатов наблюдений

По окончании очередного цикла измерений выполняют оценку точности полученных результатов. Поскольку в основу всех точностных расчетов закладывают величину среднеквадратической ошибки превышения на станции m , удовлетворяющую для данной схемы исходным требованиям по точности определения осадок, то для сравнения ее определяют непосредственно из результатов измерений.

С этой целью используют следующие формулы

$$m = \sqrt{\frac{[d^2]_1^n}{0,5 \cdot n}}, \quad (8.12)$$

где d – разность значений превышений в ходах прямом и обратном

или при двух горизонтах прибора;

n – число разностей.

По невязкам замкнутых полигонов

$$m = \sqrt{\frac{[\omega^2]_1^K}{K \cdot n}}, \quad (8.13)$$

где ω – невязка замкнутого полигона;

K – число полигонов;

n – общее число превышений во всех полигонах.

Из уравнивания нивелирных ходов

$$m = \sqrt{\frac{[pv^2]}{r}}, \quad (8.14)$$

где $[pv^2]$ – величина, получаемая из уравнения;

r – число избыточных измерений.

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 точности), приступают к анализу результатов наблюдений. При большом объеме наблюдений результаты лучше представлять в графическом виде. Традиционно графики представляют в виде, показанном на рис. 8.7.

Для большей наглядности составляют графики в виде изолиний равных осадок, иногда в трехмерной проекции (рис. 8.8).

Получаемая информация является исходной для анализа происходящего процесса деформаций. Для анализа используют также материалы по геологии, гидрогеологии, климатологии и др.

По результатам работ составляют технический отчет с подробным анализом и обобщающими выводами о характере, величинах и причинах деформаций.

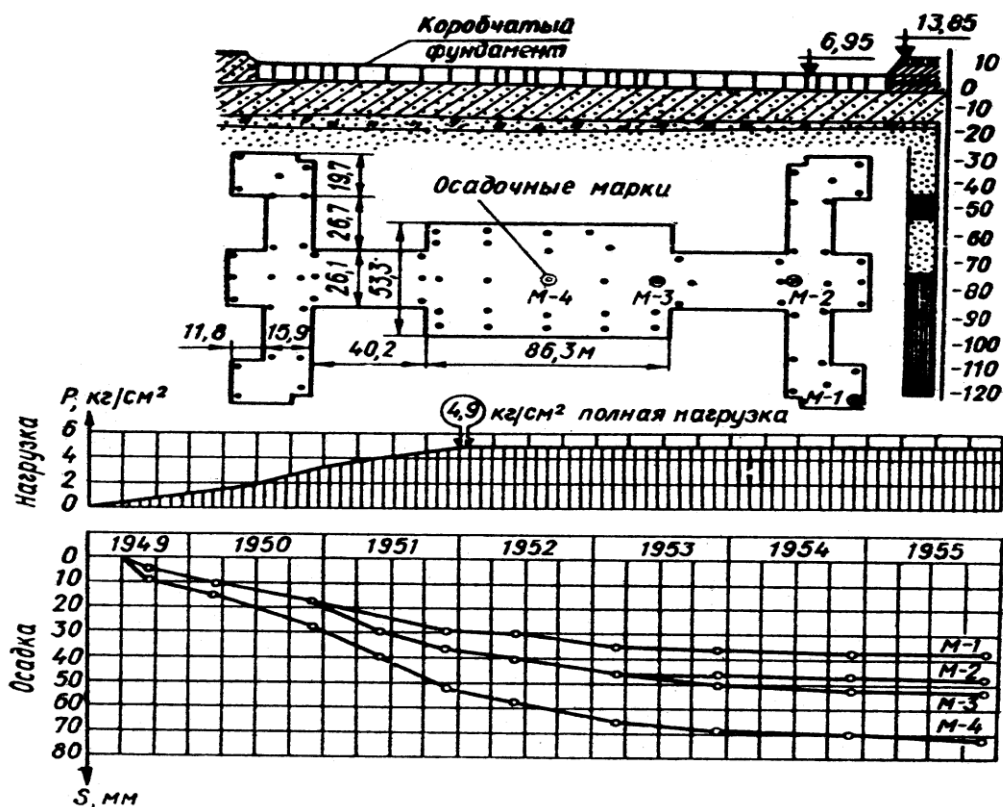


Рис. 8.7. График осадок нивелирных марок во времени

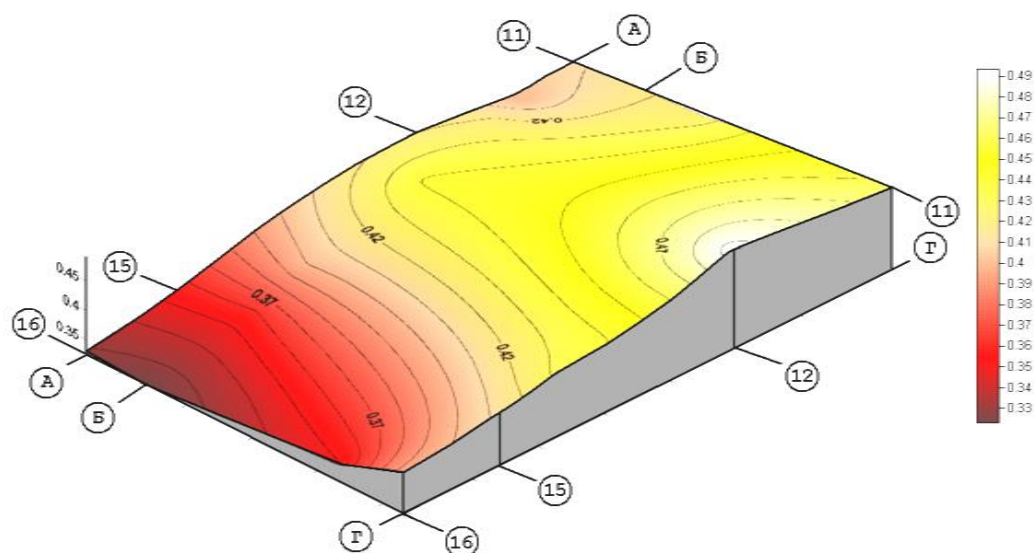


Рис. 8.8. Пространственный график осадок фундамента здания

Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы наблюдений за горизонтальными смещениями сооружений?
2. В чем сущность наблюдений за осадкой сооружений?
3. Какими способами производят наблюдения за креном сооружений?
4. Что собой представляют деформационные марки?
5. Что такое биметаллические репера?
6. Какое количество опорных реперов необходимо устанавливать?

Рекомендуемая литература

1. Брайт П.И. Геодезические методы измерения деформаций оснований сооружений / П.И. Брайт. – М.: Наука, 1965. – 464 с.
2. ГОСТ 24846-81. ГРУНТЫ: методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений. – М.: Стандарты, 1981. – 26 с.
3. Михилев Д.Ш. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений / Д. Ш. Михилев [и др.] – М.: Недра, 1977. – 152 с.
4. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами. – М.: Энергия, 1980. – 200 с.

Глоссарий

Астрономия – обеспечивает необходимые в геодезии исходные данные.

Абрис – схематический чертеж участка местности.

Барометрическое нивелирование – нивелирование, основанное на зависимости между высотой и атмосферным давлением.

Биссектриса кривой – отрезок прямой, соединяющий вершину угла поворота трассы с серединой кривой

Высота сечения рельефа – заданное расстояние между соседними секущими уровнями поверхностями при изображении рельефа горизонталями.

Географические координаты – обобщенное понятие об астрономических и геодезических координатах, когда отклонения отвесных линий не учитывают.

Географический азимут – двугранный угол между плоскостью меридиана данной точки и вертикальной плоскостью, проходящей в данном направлении, отсчитываемый от направления на север по ходу часовой стрелки.

Геодезическая высота – высота точки над поверхностью земного эллипсоида.

Геодезическая долгота – двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического меридиана.

Геодезическая засечка – определение координат точки по элементам, измеренным или построенным на ней или на исходных пунктах.

Геодезическая сеть – сеть закрепленных точек земной поверхности, положение которых определено в общей для них системе геодезических координат.

Геодезическая широта – угол, образованный нормалью к поверхности земного эллипсоида в данной точке и плоскостью его экватора.

Геодезические координаты – три величины, две из которых характеризуют направление нормали к поверхности земного эллипсоида в данной точке пространства относительно плоскостей его экватора и начального меридиана, а третья является высотой точки над поверхностью земного эллипсоида.

Геодезический азимут – двугранный угол между плоскостью геодезического меридиана данной точки и плоскостью, проходящей через нормаль в ней и содержащей данное направление, отсчитываемый от направления на север по ходу часовой стрелки.

Геодезический ход – геодезическое построение в виде ломаной линии.

Примечание. Геодезические ходы классифицируют по виду применяемых приборов (например, тахеометрический ход, нивелирный ход); по геометрическим особенностям (например, замкнутый, разомкнутый ход).

Геодезия – наука об определении формы, размеров Земли и измерениях на земной поверхности.

Геоид – фигура Земли, образованная уровенной поверхностью, совпадающей с поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия и продолженной под материками.

Геометрическое нивелирование – нивелирование при помощи геодезического прибора с горизонтальной визирной осью.

Главные точки кривой – точки начала, конца и середины кривой трассы.

Горизонталь – линия равных высот на карте.

Горизонтальное проложение – длина проекции линии на горизонтальную плоскость.

Государственная геодезическая сеть – геодезическая сеть, обеспечивающая распространение координат на территорию государства и являющаяся исходной для построения других геодезических сетей.

Дирекционный угол – горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана данной зоны, или линии параллельной ему до заданного направления.

Заложение – расстояние на карте между двумя последовательными горизонталями по заданному направлению.

Земной эллипсоид – эллипсоид, который характеризует фигуру и размеры Земли.

Инженерная геодезия – изучает методы геодезического обеспечения при разработке проектов, строительстве и эксплуатации разнообразных сооружений, а также при изучении, освоении и охране природных ресурсов.

Исходный геодезический пункт – геодезический пункт, относительно которого определяются соответствующие характеристики положения других геодезических пунктов.

Картография – изучает методы и процессы отображения поверхности Земли и протекающих на ней процессов в виде различных, в том числе цифровых и электронных карт.

Круговая кривая трассы – часть оси трассы проектируемого сооружения, представляющая собой дугу окружности.

Крутизна ската – угол, образуемый направлением ската с го-

горизонтальной плоскостью в данной точке.

Магнитный азимут – горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана до заданного направления и изменяющийся от 0 до 360°.

Нивелирная сеть – геодезическая сеть, высоты пунктов которой над уровнем моря определены геометрическим нивелированием.

Нивелирный репер – геодезический знак, закрепляющий пункт нивелирной сети.

Нивелирование – определение превышений

Обратная геодезическая задача – определение длины и направления линии по данным координатам ее начальной и конечной точек.

Обратная засечка – засечка, выполняемая на определяемой точке.

Осевой меридиан – меридиан, принятый за ось какой-либо системы координат на поверхности.

Отметка – существующая высота точки относительно исходного уровня.

Переходная кривая трассы – часть оси трассы проектируемого сооружения, представляющая собой кривую переменного радиуса.

Пикетаж трассы – система обозначения и закрепления точек трассы.

Плоские прямоугольные геодезические координаты – прямоугольные координаты на плоскости, на которой отображена по определенному математическому закону поверхность земного эллипсоида.

Плоскость начального меридиана – плоскость меридиана, от которой ведется счет долгот (Гринвичский меридиан).

Полигонометрия – метод построения геодезической сети путем измерения расстояний и углов между пунктами хода.

Превышение – разность высот точек.

Проектная отметка – высота точки относительно исходного уровня, заданная проектом.

Прямая геодезическая задача – определение координат конечной точки линии по ее длине, направлению и координатам начальной точки.

Разбивочный чертеж – чертеж, содержащий все необходимые данные для перенесения отдельных элементов сооружения в натуру.

Референц-эллипсоид – земной эллипсоид, принятый для обработки геодезических измерений и установления системы геодезических координат.

Румб – острый угол, отсчитываемый от ближайшего конца северного или южного меридиана до заданного направления. Иногда

называют табличным углом.

Сближение меридианов – угол в данной точке между ее меридианом и линией, параллельной оси абсцисс или осевому меридиану.

Створ – вертикальная плоскость, проходящая через две данные точки.

Створные наблюдения – метод определения горизонтальных смещений точек по уклонениям контрольных пунктов от створа.

Строительная геодезическая сетка – геодезическая сеть в виде системы квадратов или прямоугольников, ориентированных параллельно большинству разбивочных осей сооружений.

Тангенс кривой – отрезок прямой, соединяющий вершину угла поворота трассы с началом или концом кривой.

Тахеометрическая съемка – топографическая съемка, выполняемая при помощи тахеометра.

Топография – изучает небольшие участки земной поверхности, которые без ущерба для точности можно проектировать на плоскость без учета кривизны Земли.

Точка нулевых работ – точка, в которой проектная и фактическая отметки равны.

Триангуляция – метод построения геодезической сети в виде треугольников, в которых измерены их углы и некоторые из сторон.

Тригонометрическое нивелирование – нивелирование при помощи геодезического прибора с наклонной визирной осью.

Трилатерация – метод построения геодезической сети в виде треугольников, в которых измерены все их стороны.

Уклон местности – тангенс угла наклона линии местности к горизонтальной плоскости в данной точке.

Библиографический список

1. Багратуни Г.В. Инженерная геодезия / Г.В. Багратуни. – М.: Недра, 1984. – 344 с.
2. Борщ-Компониец В.И. Геодезия, основы аэрофотосъемки и маркшейдерского дела / В.И. Борщ-Компониец: учебник для вузов. – М.: Недра, 1984. – 448 с.
3. Брайт П.И. Геодезические методы измерения деформаций оснований сооружений / П.И. Брайт. – М.: Наука, 1965. – 464 с.
4. Верхотуров А.Г. Инженерная геодезия. Ч I: метод. указания к лабораторным работам / А.Г. Верхотуров. – Чита: Изд-во ЧитГУ, 2002. – 35 с.
5. ВСН 5-81. Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений. Минавтодор.РСФСР. – М.: Транспорт, 1983. – 104 с.
6. ВСН-208–89. Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог. – М.: Минтранс СССР, 1989. – 60 с.
7. ГОСТ 21.508-93. Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. – М.: Стандарты, 1993. – 16 с.
8. ГОСТ 22268–76. Геодезия. Термины и определения. – М.: Госстандарт СССР, 1976. – 32 с.
9. ГОСТ 24846-81. ГРУНТЫ: методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений. – М.: Стандарты, 1981. – 26 с.
10. ГОСТ Р 51872-2002. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения. – М.: Стандарты, 2002. – 12 с.
11. Инженерная геодезия / под ред. А.С. Кучко. – М.: Изд-во Высшая школа, 2000. – 420 с.

12. Инженерная геодезия / под ред. С.П. Закатова. – М.: Недра, 1976. – 583 с.
13. Инженерная геодезия / Е.Б. Ключин [и др.] / под ред. Д.Ш. Михелева: учебник для вузов. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 480 с.
14. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 2004. – 244 с.
15. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: Недра, 1985. – 152 с.
16. Ключин Е.Б. Практикум по прикладной геодезии: геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений / Е.Б. Ключин [и др.]. – М.: Недра, 1993. – 275 с.
17. Левчук Г.П. Прикладная геодезия / Г.П. Левчук [и др.]. – М.: Недра, 1981. – 438 с.
18. Митин Н.А. Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах / Н.А. Митин. – М.: Недра, 1973. – 469 с.
19. Михилев Д.Ш. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений / Д.Ш. Михилев [и др.]. – М.: Недра, 1977. – 152 с.
20. Новак В.Е. Практикум по инженерной геодезии / В.Е. Новак. – М.: Недра, 1986. – 273 с.
21. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. ГКИНТП (ГНТА) -01-006-03. – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 2004. – 28 с.
22. РСН 73-88. Инженерные изыскания для строительства. НПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР. – М., 1986. – 18 с.
23. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1981. – 60 с.
24. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями

гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами. – М.: Энергия, 1980. – 200 с.

25. Седун А.В. Практические работы по геодезии и разбивочным работам при строительстве автомобильных дорог / А.В. Седун, В.И. Лиманов: учебное пособие. – М.: Недра, 1991. – 205 с.

26. Смолич С.В. Работа с топографической картой / С.В. Смолич, В.И. Савельева: метод. указания. – Чита: ЧитГУ, 1999. – 30 с.

27. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.

28. СНиП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве. – М.: ЦИТЛ Госстроя СССР, 1985. – 28 с.

29. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. – М.: ЦИТЛ Госстроя СССР, 1986. – 85 с.

30. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства основные положения. – М.: 1996. – 53 с.

31. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / В.Д. Большаков. – М.: Недра, 1980. – 781 с.

32. Субботин И.Е. Справочник строителя по инженерной геодезии / И.Е. Субботин, А.С. Мазницкий. – Киев: «Будівельник», 1972. – 307 с.

33. Фельдман В.Д. Основы инженерной геодезии / В.Д. Фельдман. – М.: Изд-во Высшая школа, 2001. – 456 с.

Оглавление

Предисловие	3
Введение	4
Глава 1. Задачи геодезии, история развития, форма и размеры земли. Системы координат, применяемые в геодезии	5
1.1. Задачи геодезии	5
1.2. Исторический очерк	6
1.3. Форма и размеры Земли	8
1.4. Влияние кривизны Земли на измеряемые расстояния и высоты точек	10
1.5. Принципы изображения земной поверхности на плоскости	12
1.6. Понятие о системах координат, используемых в геодезии	14
1.7. Ориентирование линий	18
1.8. Прямая и обратная геодезические задачи	23
Контрольные вопросы	24
Рекомендуемая литература	25
Глава 2. Топографические карты и планы, масштаб, номенклатура карт. Рельеф и его изображение на картах и планах	26
2.1. План	26
2.2. Карта	26
2.3. Номенклатура карт и планов	27
2.4. Рельеф и его изображение на планах и картах	30
Контрольные вопросы	32

Рекомендуемая литература	33
Глава 3. Линейные измерения на местности	34
3.1. Компарирование мерных лент	35
3.2. Измерение мерными лентами и рулетками	36
3.3. Вешение линий	37
3.4. Приведение к горизонту длин линий, измеренных мерной лентой или рулеткой	39
3.5. Точность измерений расстояний мерными лентами	40
3.6. Принципы измерения расстояний оптическими дальномерами	41
3.7. Принципы измерения расстояний лазерными (квантовыми) дальномерами	43
Контрольные вопросы	47
Рекомендуемая литература	47
Глава 4. Нивелирование	48
4.1. Методы нивелирования	48
4.2. Принцип и способы геометрического нивелирования	50
4.3. Устройство, поверки и юстировки нивелиров	53
4.4. Высотные сети	54
4.5. Площадное нивелирование (нивелирование по квадратам)	55
4.6. Продольное техническое нивелирование (нивелирование трассы)	59
4.7. Построение продольного профиля трассы	68
Контрольные вопросы	69
Рекомендуемая литература	70
Глава 5. Измерение углов. Теодолит	71

5.1. Принцип измерения углов теодолитом	71
5.2. Поверки и юстировка теодолита	74
5.3. Измерение горизонтального угла	75
5.4. Измерение вертикального угла	77
Контрольные вопросы	78
Рекомендуемая литература	79
Глава 6. Топографические съемки	80
6.1. Виды топографических съемок	80
6.2. Общие правила ведения топографических съемок ..	81
6.3. Триангуляция, геодезические сети	82
6.4. Теодолитная съемка	85
6.4.1. Общие требования	85
6.4.2. Съемка ситуации и обработка результатов теодолитной съемки	87
6.5. Тахеометрическая съемка	91
6.5.1. Производство тахеометрической съемки	92
6.5.2. Метод тригонометрического нивелирования	94
6.5.3. Съемка ситуации и рельефа	95
Контрольные вопросы	98
Рекомендуемая литература	102
Глава 7. Основы разбивочных работ	103
7.1. Общие положения	103
7.2. Положение о геодезической службе	104
7.3. Проект производства геодезических работ	106
7.4. Краткая справка из СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве»	108
7.5. Основные элементы разбивочных работ	112
7.6. Построение проектного угла	113

7.7. Перенесение проектных расстояний	114
7.8. Перенесение на местность планового положения проектной точки	115
7.9. Перенесение на местность высотного положения проектной точки	118
7.9.1. Построение на местности линий и плоскостей заданного уклона	119
7.10. Пределы точности геодезических разбивочных работ	120
7.11. Геодезические разбивочные работы при строительстве зданий и сооружений	121
7.11.1. Создание внутренней разбивочной сети на исходном горизонте	121
7.11.2. Передача внутренней разбивочной сети на монтажный горизонт	122
7.11.3 Детальные разбивочные работы на монтажном горизонте	124
7.11.4. Высотная разбивочная основа	124
7.12. Геодезические разбивочные работы при строительстве автомобильных дорог и линейных сооружений	126
7.12.1. Закрепление трасс, осей и опорных сетей инженерных сооружений	128
7.12.2. Детальная разбивка земляного полотна и проезжей части дороги	134
7.12.3. Детальная разбивка горизонтальных и вертикальных кривых	140
7.13. Исполнительные съемки	146

7.13.1. Исполнительная документация	150
Контрольные вопросы	151
Рекомендуемая литература	152
Глава 8. Наблюдения за деформациями сооружений	154
8.1. Виды деформаций и причины их возникновения ...	154
8.2. Задачи и организация наблюдений	156
8.3. Точность и периодичность наблюдений	157
8.4. Основные типы геодезических знаков и их размещение	158
8.5. Наблюдения за осадками сооружений	161
8.6. Наблюдения за горизонтальными смещениями сооружений	163
8.7. Наблюдения за кренами, трещинами и оползнями ..	166
8.8. Обработка и анализ результатов наблюдений	169
Контрольные вопросы	172
Рекомендуемая литература	172
Глоссарий	173
Библиографический список	177
Оглавление	180

Сергей Вениаминович Смолич
Алексей Геннадьевич Верхотуров
Валентина Ивановна Савельева

Инженерная геодезия

Учебное пособие

Редактор А.И. Михайлова

Сдано в производство 30.06.2009

Форм. бум. 60 x 84 1/16

Бум. тип. № 2

Печать офсетная

Гарнитура литературная

Уч.-изд. л. 8,1

Усл. -печ. л. 8,0

Тираж 300 экз.

Заказ №

Читинский государственный университет
672039, Чита, ул. Александрово-Заводская, 30

РИК ЧитГУ