



*С.В. Смолич  
А.Г. Верхогуров  
И.Н. Юдина*

---



---

*Основы  
геодезии и  
маркшейдерии*

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Забайкальский государственный университет»

**С. В. Смолич**  
**А. Г. Верхотуров**  
**И. Н. Юдина**

# **Основы геодезии и маркшейдерии**

*Учебное пособие*

Чита  
Забайкальский государственный университет  
2016

УДК 528.2/.5:622.1(075)

ББК 26.1:33.12я7

С 512

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом  
Забайкальского государственного университета

**Рецензенты:**

*П. П. Петровский*, канд. геол.-минерал. наук, филиал ТФГИ  
по Сибирскому федеральному округу;

*А. Г. Калинин*, канд. техн. наук, Забайкальский институт  
предпринимательства Сибирского университета потребительской  
кооперации, г. Чита

**Смолич, Сергей Вениаминович**

С 512

Основы геодезии и маркшейдерии : учеб. пособие /  
С. В. Смолич, А. Г. Верхотуров, И. Н. Юдина ; Забайкал. гос.  
ун-т. – Чита : ЗабГУ, 2016. – 143 с.

ISBN 978-5-9293-1795-8

В учебном пособии рассмотрены общие понятия дисциплины, методы геодезических исследований, используемые приборы и оборудование, порядок их поверки и юстировки, а также изложены теоретические основы и приведены примеры практического использования маркшейдерских работ при подземной и открытой разработке месторождений полезных ископаемых.

Учебное издание предназначено для студентов направлений 21.05.02 *Прикладная геология*, 21.05.03 *Технология геологической разведки*, 21.05.04 *Горное дело* горно-геологического профиля.

УДК 528.2/.5:622.1(075)

ББК 26.1:33.12я7

ISBN 978-5-9293-1795-8

© Забайкальский государственный  
университет, 2016

# Оглавление

<b>Предисловие</b> .....	5
<b>Введение</b> .....	6
<b>Глава 1. Общие сведения по геодезии</b> .....	7
1.1. Исторический очерк .....	8
1.2. Форма и размеры Земли .....	9
1.3. Влияние кривизны Земли на измеряемые расстояния и высоты точек .....	11
1.4. Принципы изображения земной поверхности на плоскости .....	13
1.5. Понятие о системах применяемых в геодезии координат .....	15
1.6. Ориентирование линий .....	19
1.7. Прямая и обратная геодезические задачи .....	23
<b>Глава 2. Топографические карты и планы, масштаб, номенклатура карт. Изображение рельефа на картах и планах</b> .....	26
2.1. План .....	26
2.2. Карта .....	26
2.3. Номенклатура карт и планов .....	27
2.4. Изображение рельефа на планах и картах .....	30
<b>Глава 3. Линейные измерения на местности</b> .....	34
3.1. Компарирование мерных лент .....	34
3.2. Измерение мерными лентами и рулетками .....	35
3.3. Вешение линий .....	37
3.4. Приведение к горизонту длин линий, измеренных мерной лентой или рулеткой .....	38
3.5. Точность измерения расстояний мерными лентами .....	39
3.6. Принципы измерения расстояний оптическими дальномерами .....	40
3.7. Принципы измерения расстояний лазерными (квантовыми) дальномерами .....	41
<b>Глава 4. Нивелирование</b> .....	46
4.1. Методы нивелирования .....	46
4.2. Принцип и способы геометрического нивелирования .....	47
4.3. Устройство, поверки и юстировки нивелиров .....	50
4.4. Высотные сети .....	51
4.5. Площадное нивелирование (нивелирование по квадратам) .....	52
4.6. Продольное техническое нивелирование (нивелирование трассы) .....	56
4.7. Построение продольного профиля трассы .....	63
<b>Глава 5. Измерение углов. Теодолит</b> .....	66
5.1. Принцип измерения углов теодолитом .....	66
5.2. Поверки и юстировки теодолита .....	69

5.3. Измерение горизонтального угла .....	69
5.4. Измерение вертикального угла .....	72
<b>Глава 6. Топографические съёмки .....</b>	<b>75</b>
6.1. Виды топографических съёмок .....	75
6.2. Общие правила ведения топографических съёмок .....	76
6.3. Триангуляция, геодезические опорные сети .....	76
6.4. Теодолитная съёмка .....	79
6.4.1. Общие требования .....	79
6.4.2. Съёмка ситуации и обработка результатов теодолитной съёмки .....	81
6.5. Тахеометрическая съёмка .....	84
6.5.1. Производство тахеометрической съёмки .....	85
6.5.2. Метод тригонометрического нивелирования .....	86
6.5.3. Съёмка ситуации и рельефа .....	88
<b>Глава 7. Современное маркшейдерское искусство .....</b>	<b>93</b>
7.1. Историческая справка .....	93
7.2. Маркшейдерское дело в XXI в. ....	97
7.3. Определение местоположения при помощи спутников .....	99
7.4. Системы координат, применяемые в маркшейдерском деле .....	105
7.5. О лицензировании маркшейдерской деятельности .....	110
7.6. Проект производства маркшейдерских работ .....	112
7.7. Использование современных геодезическо-маркшейдерских приборов .....	115
7.8. Применение современного программного обеспечения в маркшейдерской практике .....	119
<b>Глава 8. Математический анализ маркшейдерских измерений .....</b>	<b>122</b>
8.1. Погрешность измерения горизонтального угла полигонометрического хода .....	122
8.2. Погрешность измерения длин сторон полигонометрического хода .....	124
8.3. Погрешность определения координат последней точки свободного полигонометрического хода .....	125
8.4. Предрасчёт погрешности сбойки горных выработок в пределах одной шахты .....	127
8.5. Предрасчёт погрешности сбойки выработок из разных шахт .....	128
<b>Заключение .....</b>	<b>132</b>
<b>Глоссарий .....</b>	<b>133</b>
<b>Библиографический список .....</b>	<b>139</b>

## Предисловие

В основу учебного издания, предназначенного для студентов горно-геологических специальностей вузов, положены курсы лекций, читаемые в Забайкальском государственном университете для студентов направления «Горное дело». Горный инженер должен хорошо разбираться в горно-геологической документации, уметь читать топографические карты и планы, разрабатывать и реализовывать проекты разработки месторождений полезных ископаемых.

Данная дисциплина изучается в нескольких семестрах как на младших (раздел «Основы геодезии»), так и на старших курсах (раздел «Маркшейдерия»), поэтому учебное пособие содержит оба этих раздела, которые тесно между собой взаимосвязаны и не могут изучаться раздельно друг от друга.

В книге рассмотрены не только теоретические основы геодезических работ и измерений, но и приведены примеры практического опыта выполнения работ, связанного с различными видами маркшейдерского обеспечения горно-геологических работ.

Учитывая возросшие современные требования к информационным технологиям (мониторинг различных явлений, происходящих как на поверхности Земли, так и в её недрах), данное учебное издание будет полезно инженерно-техническому персоналу, чья работа требует выполнения различных геодезических измерений на местности и использования маркшейдерской документации.

## Введение

Геодезия как наука занимается изучением формы и размеров Земли в целом и отдельных её частей.

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, её 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 обобщённом 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.

Применение геодезических приборов, методов и техники для изысканий и строительства новых или реконструкции и эксплуатации существующих инженерных сооружений, а также для установки и монтажа сложного оборудования промышленных предприятий составляет предмет геодезии.

## Глава 1. Общие сведения по геодезии

В геодезии как 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 геодезии, которые она решает для горной промышленности, входят: топографическая съёмка территорий, перенесение в натуру проектов объектов горного производства, зданий и сооружений, различные измерения на отдельных стадиях разработки месторождений, строительства объектов горного производства и, наконец, определение деформаций и сдвигов в процессе разработки месторождений полезных ископаемых.

Решение этих задач осуществляется путём:

- измерения линий и углов на поверхности земли, под землёй (в шахтах и других горных выработках), над землёй при аэрофотосъёмке (АФС) и космической съёмке, под водой – для составления планов, профилей и специальных целей;
- вычислительной обработки результатов измерений;
- графических построений и оформления карт, планов и профилей.

Проектирование объектов горного производства требует широкого использования геодезических методов. Горный инженер должен уметь самостоятельно выполнять геодезические измерения на местности с помощью теодолита, нивелира и других приборов. Составленные по результатам этих измерений планы, карты, профили позволяют контролировать ход горных работ. В настоящее время в результате внедрения современных технологий решение многих задач может быть почти полностью автоматизировано.



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

## 1.1. Исторический очерк

Основы геодезических работ возникли за несколько тысячелетий до н. э. в Египте, Китае, Греции и Индии. Пирамиды, каналы, дворцы – возведение этих объектов стало возможным только при разработанных приёмах геодезических измерений. Можно выделить следующие основные вехи в развитии геодезии, в том числе и в России.

В III в. до н. э. впервые 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 вёрст между Керчью и Таманью по льду.

В XVI в. создана одна из первых карт Московского государства «Большой Чертёж». В XVII в. вышла первая русская печатная карта, составленная С. Е. Ремезовым «Чертёж Сибирской земли».

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

В 1739 г. учреждён Географический департамент Петербургской академии наук, которым в 1758–1763 гг. руководил М. В. Ломоносов.

Французские учёные Делабр и Мешен в конце XVIII в. определили примерные размеры земного эллипсоида. Это послужило исходным для установления длины метра как  $1:40\,000\,000$  части парижского меридиана.

В 1822 г. был основан корпус русских военных топографов.

В XIX в. проведены геодезические работы по построению геодезических сетей и градусные измерения по меридиану. Большие геодезические работы, проведённые при генеральном меже-

вании после отмены крепостного права в 1861 г., завершились изготовлением генеральных уездных планов и губернских атласов.

После революции 1917 г. Совет Народных Комиссаров учреждает Высшее геодезическое управление. С 1927 г. начинает использоваться аэрофотосъемка. В начале 60-х гг. XX в. появилась космическая съемка. За советский период вся территория страны была покрыта геодезической съемкой разных масштабов вплоть до 1:25 000.

В 90-е гг. XX столетия 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 РФ от 22 ноября 1995 г. «О геодезии и картографии», с Постановлением Правительства РФ от 28 марта 2000 г. № 273 «Об утверждении Положения о государственном геодезическом надзоре за геодезической и картографической деятельностью», с Постановлением Правительства РФ от 26 августа 1995 г. № 847 «Об утверждении Положения о лицензировании топографо-геодезической и картографической деятельности в Российской Федерации».

## 1.2. 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 км<sup>2</sup>, 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 урвенной* поверхностью или поверхностью *геоида* называется поверхность, совпадающая со средним уровнем воды океанов в спокойном состоянии и продолженная под мате-

риками. Из-за неравномерного распределения масс внутри Земли геоид не имеет правильной геометрической формы (см. рис. 1.1), и его поверхность не может быть выражена математически.

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.

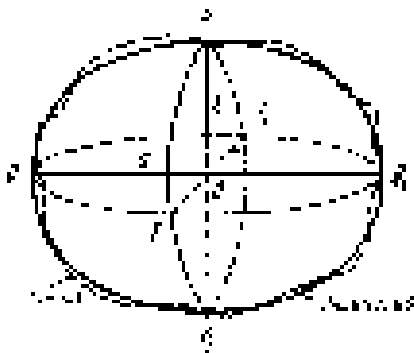


Рис. 1.1. Земной эллипсоид и геоид

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. Величина  $a = (a - b) / a$  называется сжатием сфероида.

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

$$a = 6378245 \text{ м}, b = 6356863 \text{ м}, a - b \approx 21 \text{ км}, a = 1 : 298,3.$$

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

### 1.3. 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 влечёт 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  $R$  (см. рис. 1.2).

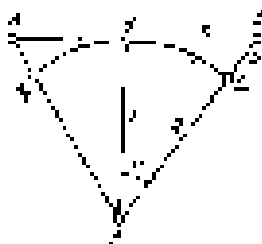


Рис. 1.2. Влияние кривизны Земли на измеряемые расстояния

Заменим участок шара  $A_0B_0C_0$  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  $\alpha$ , отрезок касательной  $BC = l$ , тогда в горизонтальном расстоянии между точками  $B$  ( $B_o$ ) и  $C_o$  возникнет ошибка  $\Delta d = l - d$ . Из рис. 1.2 находим  $l = R \cdot \text{tg} \alpha$  и  $d = R \cdot \alpha$ , где угол  $\alpha$  выражен в радианах  $\alpha = d / R$ , тогда  $\Delta d = R(\text{tg} \alpha - \alpha)$ , а так как значение  $d$  незначительно по сравнению с  $R$ , то угол настолько мал, что приближённо можно принять  $\text{tg} \alpha - \alpha = \alpha^3/3$ . Применив формулу определения угла  $\alpha$ , 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  $OBC$  (1.1)

$$R^2 + l^2 = (R + p)^2, \quad (1.1)$$

откуда (1.2)

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

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 (1.3)

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

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.

## 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

#### 1.4. 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 пересечения с уровенной поверхностью  $P_0$  (см. рис. 1.3). В пересечении получают точки  $a, b, c, d$ , которые называются горизонтальными проекциями соответствующих точек местности.

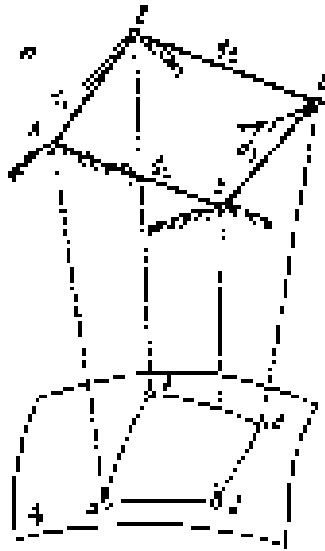


Рис. 1.3. Проектирование точек местности на уровенную поверхность

Таким образом, каждой линии на земной поверхности соответствует её горизонтальная проекция на уровенной поверхности.

Фигура, обозначенная точками  $a, b, c, d$  – проекция четырёхугольника  $ABCD$  на земной поверхности. Так как уровенная поверхность кривая, то проектирующие отвесные линии не параллельны друг другу. Чтобы можно было судить о форме пространственной фигуры  $ABCD$  по её 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  $P$  (см. рис. 1.4), касающейся поверхности  $P_0$  в центре данного участка.

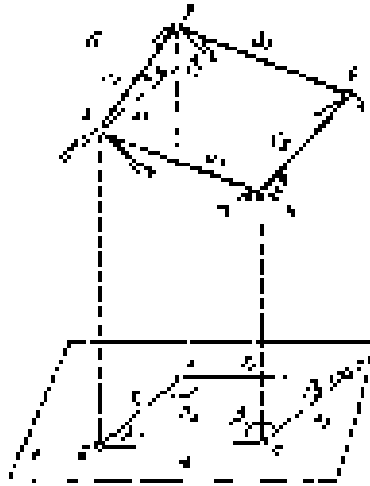


Рис. 1.4. Проектирование точек местности на горизонтальную плоскость

Проектирующие отвесные линии  $Aa, Bb, Cc, Dd$ , перпендикулярные к горизонтальной плоскости  $P$ , будут параллельны между собой. Стороны  $ab, bc, cd, da$  и углы между ними  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  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 исходной уровенной поверхности, принятой за начало отсчёта, называется *абсолютной* (геодезической) высотой данной точки, а её числовое значение *отметкой*. Когда уровенная поверхность выбрана произвольно, отметки являются условными и соответственно высоты точек условны. Если отметки определены относительно уровенной поверхности океана – отметки абсолютные. За начало отсчёта 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 через Обводной канал в Кронштадте – Кронштадтский футшток). Эта система высот носит название *Балтийской* (БС). Разность  $h$  абсолютных или условных высот двух точек называется превышением (1.4)

$$h = H_B - H_A. \quad (1.4)$$

### 1.5. Понятие о системах применяемых в геодезии координат

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  $\phi$  и долготой  $\lambda$  (см. рис. 1.5).

*Географической широтой* точки  $M$  называется угол  $\phi$  ( $МOM_1$ ) между отвесной линией  $MO$ , проходящей через эту точку, и плоскостью экватора. Широты изменяются от  $0^\circ$  на экваторе до  $90^\circ$  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.

*Географической долготой* точки  $M$  называется двугранный угол  $\lambda$  между плоскостью начального меридиана  $P_1M_oP_2$  и плоскостью меридиана  $P_1MM_1P_2$  данной точки. За начальный мери-



диан 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  $180^\circ$  и имеют соответствующие названия – западные или восточные долготы. Система географических координат проста, но неудобна для практического применения, так как географические координаты выражают в угловых величинах, а их линейные значения – в различных частях земного эллипсоида неодинаковы. Поэтому в геодезии широко распространена *система плоских прямоугольных координат*.

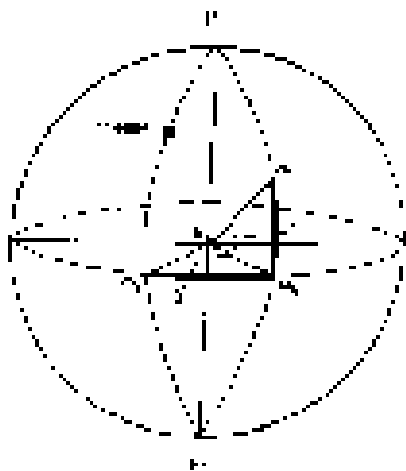


Рис. 1.5. Географические координаты

*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 К. Гауссом в XIX в. специальная картографическая проекция (полное название – кругло-цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера). Суть её заключается в том, что вся уровенная поверхность Земли разделяется на 60 отдельных участков, каждый из которых ограничен двумя

меридианами с разностью долгот между ними в  $6^\circ$ . Такие участки называются зонами (см. рис 1.6), а система координат – *зональной системой плоских прямоугольных координат*.

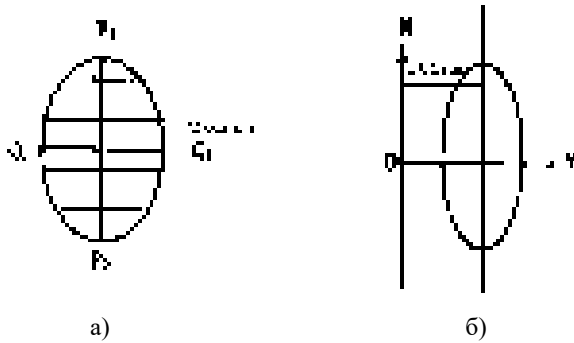


Рис. 1.6. Зональная система координат:  
 а) зона в географической системе координат;  
 б) зона в системе плоских прямоугольных координат

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  $P_1Q_2P_2$  и параллели изобразятся кривыми линиями. 60 таких зон и составляют поверхность сфероида.

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 передают с искажениями, причём они имеют наибольшее значение в краях зон, удалённых 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, причём осевой меридиан каждой зоны проектируется без искажений. Такая проекция называется поперечно-цилиндрической. После проецирования цилиндр разрезается по образующим, и зоны развёртывают 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  $O$  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, так как 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 её пишут 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 определённому расстоянию на местности в зависимости от масштаба карты (для масштабов  $1:10\,000$ – $1:100\,000$  – это  $1$  км).

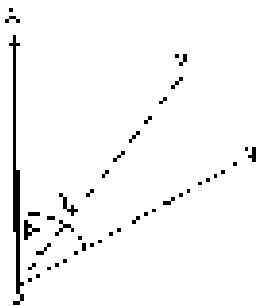


Рис. 1.7. Полярные координаты

*Плоская система полярных координат.* Если на горизонтальной плоскости через произвольно выбранную точку  $O$ , называемую полюсом, провести линию  $OX$  – полярную ось (см. рис. 1.7), то положение любой точки можно определить зная расстояние  $OM = r_1$  (радиус-вектор) и угол  $\beta_1$  между полярной осью и радиусом-вектором. Для другой точки  $N$  полярные координаты будут определяться –  $r_2 = ON$  и углом  $\beta_2$ .

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

### 1.6. 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 (см. рис. 1.8), отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана до данного направления, изменяющийся от 0 до  $360^\circ$ .



Рис. 1.8. Истинные азимуты линии  $BC$

Так как меридианы различных точек одной и той же линии не параллельны, то и азимуты этой линии в каждой её точке имеют разное значение. Например, для линии  $BC$  её азимут ( $A$ ) в точке  $B$  не равен азимуту ( $A^1$ ) в точке  $C$ .

Проведя через точку  $C$  линию  $CN$ , параллельную меридиану  $BN$  точки  $B$ , получим при точке  $C$  угол  $\gamma$ , 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 (1.5)

$$A^1 = A + \gamma \quad \text{и} \quad A_1^1 = A + 180^\circ + \gamma, \quad (1.5)$$

где  $\gamma$  – 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  $360^\circ$  (см. рис. 1.9). Магнитный меридиан совпадает с направлением свободно подвешенной магнитной стрелки.

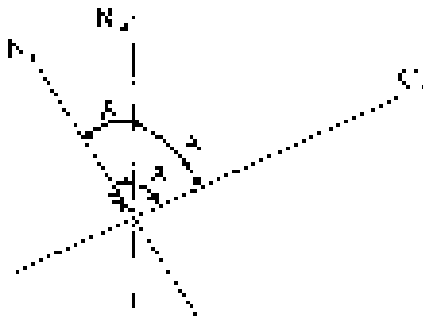


Рис. 1.9. Связь между истинными и магнитными азимутами

Географический и магнитный меридианы в каждой точке земной поверхности между собой образуют угол  $\delta$ , 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. Восточное склонение считается положительным, западное – отрицательным. Географический и магнитный азимуты связаны между собой зависимостью (1.6)

$$A = A_m + (\pm \delta). \quad (1.6)$$

Склонение непостоянно во времени и меняется в разных точках местности. В Забайкалье от  $-7^\circ$  до  $+14^\circ$ , в России от  $+30^\circ$  на северной оконечности Новой Земли до  $-14^\circ$  в районе Верхоянска. 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. Поэтому для ориентирования используют дирекционные углы.

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

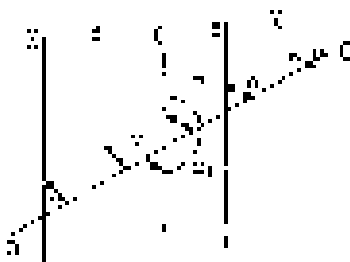


Рис. 1.10. Дирекционный угол

Прямой  $\alpha$  и обратный  $\alpha_l$  дирекционные углы одной и той же линии отличаются друг от друга на  $180^\circ$  (1.7)

$$\alpha_l = \alpha \pm 180^\circ. \quad (1.7)$$

Все ориентирующие углы связаны между собой, что очевидно из рис. 1.11 и приведённых формул (1.8) – (1.10)

$$A = A_m + (\pm \delta), \quad (1.8)$$

$$A = \alpha + (\pm \gamma), \quad (1.9)$$

$$\alpha = A_m + (\pm \delta) - (\pm \gamma). \quad (1.10)$$



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

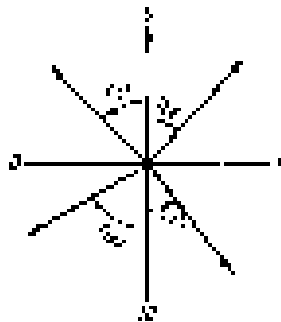


Рис. 1.12. Румбы

Ориентировать план или карту – значит расположить их так, чтобы направления 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 получился отсчёт, равный  $\delta - \gamma$ .

### 1.7. 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  $\alpha_{AB}$  и её горизонтальному проложению  $d_{AB}$  вычисляют координаты другого конца линии этой линии –  $X_B, Y_B$  (см. рис. 1.13).



Рис. 1.13. Прямая геодезическая задача

Из рис. 1.13 следует, что координаты последующей точки равны координате данной точки плюс соответствующее *приращение*, а разность координат последующей и предыдущей точек линии и есть приращение координат. Приращения координат могут также быть вычислены по дирекционному углу и горизонтальному проложению линии  $AB$ .



Таким образом (1.11) – (1.13)

$$X_B = X_A + (X_B - X_A) = X_A + \Delta X_{AB}, \quad (1.11)$$

$$Y_B = Y_A + (Y_B - Y_A) = Y_A + \Delta Y_{AB}; \quad (1.12)$$

$$\begin{aligned} \Delta X_{AB} &= d_{AB} \times \cos \alpha_{AB}, \\ \Delta Y_{AB} &= d_{AB} \times \sin \alpha_{AB}. \end{aligned} \quad (1.13)$$

Приращения координат имеют положительные и отрицательные значения (см. табл. 1.2).

Таблица 1.2

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

Величина дирекционного угла, градусы	Название румба	Знаки приращения координат	
		$\Delta X$	$\Delta Y$
0–90	СВ	+	+
90–180	ЮВ	-	+
180–270	ЮЗ	-	-
270–360	СЗ	+	-

Обратная геодезическая задача состоит в том, что по координатам концов линии  $AB$  вычисляют дирекционный угол и горизонтальное проложение этой линии, т. е. известны  $X_A, Y_A, X_B$  и  $Y_B$ , необходимо найти  $\alpha_{AB}$  и  $d_{AB}$  (1.14), (1.15)

$$\Delta X_{AB} = (X_B - X_A), \Delta Y_{AB} = (Y_B - Y_A), \quad (1.14)$$

$$tg \alpha_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (1.15)$$

Особое внимание уделяют на знаки приращения координат, знаки приращений определяют название румба и, следовательно, величину дирекционного угла. Горизонтальные проложения находят по формулам (1.16)

$$\begin{aligned} d_{AB} &= \frac{\Delta X_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{X_B - X_A}{\cos \alpha_{AB}}, \\ d_{AB} &= \frac{\Delta Y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{Y_B - Y_A}{\sin \alpha_{AB}}. \end{aligned} \quad (1.16)$$

или по формуле (1.17)

$$d_{AB} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}. \quad (1.17)$$

### 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 её азимуту?
13. Что такое магнитный азимут?
14. Что называют магнитным склонением? Постоянно ли оно?
15. Что такое румб? Где он используются?
16. В чём сущность прямой и обратной геодезических задач?

### Рекомендуемая литература

1. Букринский В. А., Орлов Г. В., Самошкин Е. М. Основы геодезии и маркшейдерского дела. М.: Недра, 1989. 382 с.
2. Инженерная геодезия / под ред. С. П. Закатова. М.: Недра, 1976. 583 с.
3. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман. М.: Академия, 2008. 480 с.
4. Новак В. Е. Практикум по инженерной геодезии. М.: Недра, 1986. 273 с.
5. Фельдман В. Д. Основы инженерной геодезии. М.: Высшая школа, 2001. 456 с.

## **Глава 2. Топографические карты и планы, масштаб, номенклатура карт. Изображение рельефа 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 путём 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 водоёмов 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 сфероида не может быть развёрнута на плоскости без искажений. Задача состоит в уменьшении искажений и математическом определении их значений с тем, чтобы по искажённым изображениям можно было вычислить действительные величины. Таким образом, картой называется уменьшенное закономерно искажённое (из-за влияния

кривизны Земли) изображение на плоскости всей земной поверхности или значительной её части.

При создании карты в зависимости от её назначения выбирают определённую картографическую проекцию; этим задаётся 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 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 сдвигаются, а от 76 до 88° учетверяются по долготе.

### 2.3. Номенклатура карт и планов

Определённый порядок разделения и взаимного расположения листов различных масштабов устанавливается единой *разграфкой*, а обозначение отдельных листов карт и планов по определённой системе называется *номенклатурой*.

Вся земная поверхность делится меридианами, проводимыми через 6° на 60 колонн. Колонны нумеруются арабскими цифрами. Счёт колонн ведётся 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. Счёт рядов ведётся от экватора к северному и южному полюсам. Параллели и меридианы, проведённые таким образом, служат рамками отдельных листов карты (см. 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 (см. рис. 2.1).

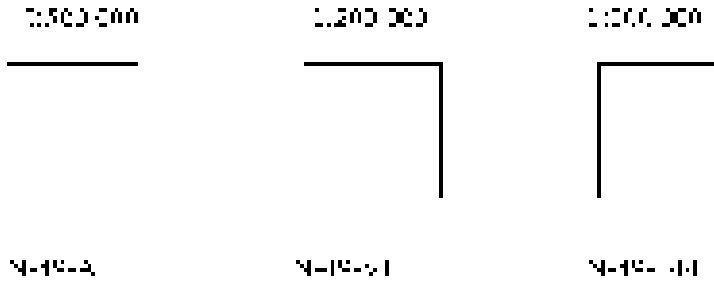


Рис. 2.1. Разграфка карт мелкого и среднего масштабов

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 1:100 000 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 сотысячного листа (см. рис. 2.2).

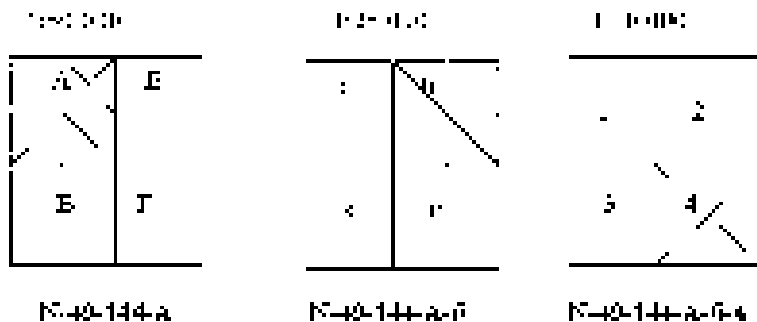


Рис. 2.2. Разграфка карт крупного масштаба

Одному листу масштаба 1:50 000 соответствуют 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, обозначаются они арабскими цифрами, присоединяемыми к номенклатуре листа масштаба 1:25 000.

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.

## 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 масштабе 1:5000	6-Г	50×50
1:1000	4 листа в масштабе 1:2000	6-Г-IV	50×50
1:500	16 листов в масштабе 1:2000	6-Г-16	50×50

## 2.4. Изображение рельефа 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 том числе и в результате деятельности человека на Земле, как планете, рельеф может меняться. Основными формами рельефа являются горы или холмы – возвышающиеся 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 водоток 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 распространён способ изображения рельефа горизонталями. Это след, получающийся от сечения земной поверхности ровной 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, причём её выбор зависит от характера рельефа и масштаба карты (см. 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 Вы знаете виды масштабов?
2. Что называется точностью масштаба? Как она определяется?



3. Для чего применяются масштабы?
4. Как с помощью линейного и поперечного масштабов определить длину линии?
5. Какие две задачи решают с помощью численного масштаба?
6. Зависит ли длина отрезка на плане от его масштаба?
7. Что такое топографический план?
8. Что такое карта? В чём её сходство и различие с планом?
9. Что такое масштаб? Как он выражается?
10. Что называют точностью масштаба? Как её определяют?
11. Расстояние 45,27 м отложите на поперечном масштабе в 1:500, 1:1000, 1:5000, 1:10 000 и 1: 25 000, предварительно округлив это расстояние в соответствии с точностью указанных масштабов.
12. Для чего нужна номенклатура карт и планов?
13. Какой масштаб имеет план или карта с номенклатурой N-30–120?
14. Что называют высотой сечения рельефа?
15. Какими свойствами обладают горизонтали?
16. Как определить отметку точки, лежащей между горизонталями?
17. Что такое уклон? По какой формуле он определяется? Как его выразить в процентах?
18. Как определить уклон либо угол наклона по масштабу заложений?
19. Почему в одних случаях применяют масштабные условные знаки, а в других – внемасштабные?
20. Как определить географические и прямоугольные координаты точки на карте?
21. Как измерить на карте дирекционный угол линии?
22. Что называют бассейном (водосборной площадью) водотока?
23. Что такое цена деления планиметра? От чего она зависит?
24. Почему определение площадей планиметром целесообразно выполнять при двух положениях каретки счётного механизма?
25. Какова точность определения площадей планиметром?

### **Рекомендуемая литература**

1. Верхотуров А. Г. Инженерная геодезия: метод. указ. к лабораторным работам. Чита: ЧитГУ, 2002. Ч. 1. 35 с.
2. Инженерная геодезия / под ред. С. П. Закатова. М.: Недра, 1976. 583 с.
3. Новак В. Е. Практикум по инженерной геодезии. М.: Недра, 1986. 273 с.
4. Смолич С. В., Савельева В. И. Работа с топографической картой: метод. указ. 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 определяют расстояния между заданными точками. За единицу линейных измерений в геодезии принят метр, эталон которого из платино-ридиевого сплава с 1889 г. хранится в Международном бюро мер и весов в Париже. В настоящее время эталоном метра является длина пути, пройденная светом в вакууме за  $1: 299\,792\,458$  долю 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 километров и более.

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, то есть прямым сравнением длины измеряемой линии с длиной мерного прибора.

Измерение линий оптическими и электромагнитными световыми и радиодальномерами производится косвенным путём. 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 зависимости 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 путём сравнения его длины с мерным прибором (эталон), 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,  $l_o$  – номинальная длина рабочей ленты, тогда поправка за компарирование (3.1)

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

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

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

При пользовании полевым компаратором рабочей лентой измеряют длину компаратора, а разность между действительной длиной компаратора  $L$  и результатом его измерения рабочей лентой  $L_o$  делят на число  $n$ , указывающее, сколько раз рабочая лента уложилась в длине компаратора. Полученный результат соответствует поправке  $\Delta l$  за компарирование мерного прибора (3.2)

$$\Delta l = \frac{L - L_o}{n} = \frac{119,963 - 119,870}{6} = +0,016. \quad (3.2)$$

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 счёта ведётся от ручки. Шкаловая лента отличается от штриховой наличием дециметровых шкал с обоих 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 учёта температуры – термометр.

Измерение длины линии  $AB$  производится двумя рабочими в следующей последовательности. Задний совмещает нулевой штрих ленты с началом линии  $IA$  (см. рис. 3.1), отмеченным на кольшке, и направляет переднего рабочего так, чтобы лента легла по направлению измеряемой 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  $AB$

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 больше 200 м, то, уложив ленту 10 раз, задний рабочий передаёт 10 шпилек переднему и измерения продолжают.

Условия, необходимые для производства измерений:

- 1) линия перед измерением её длины должна быть расчищена и подготовлена;
- 2) уклонение переднего конца ленты от створа не более 6–12 см;
- 3) шпильки должны быть прямые, ставить их следует 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. Если длина линии превышает 150–200 м, то её 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 пересечённых чаще, чтобы обеспечить надёжную видимость между соседними вехами. Вешение может производиться на глаз или с помощью теодолита.

1. Если местность ровная и открытая, то после установки вех на концах линии А-В (см. рис. 3.2) один из наблюдателей встанёт 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, так как ближайшие вехи будут закрывать дальние.

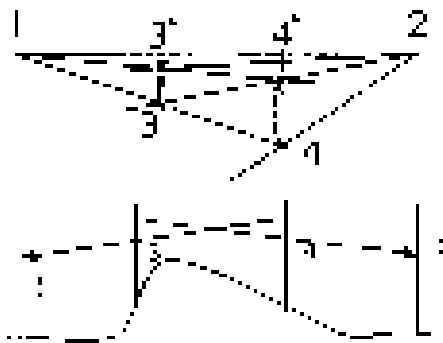


Рис. 3.2. Схема установки вех через возвышенность

2. При вешении через возвышенность, когда видимость между вешками 1 и 2 отсутствует, сначала ставят вешку 3 на произвольном расстоянии от вешек 1 и 2, причём так, чтобы от неё была видна одна вешка, например 2.

Затем в створе вешек 2–3 ставят на произвольном расстоянии от вешки 3 вешку 4, но с таким расчётом, чтобы от неё была видна вешка 1. Далее в створ 4–1 переставляют вешку 3 так, чтобы от неё была видна вешка 2, а затем в створ 3–2 переносят вешку 4. Её устанавливают так, чтобы от неё 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.

3. При вешении через овраги (см. 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.

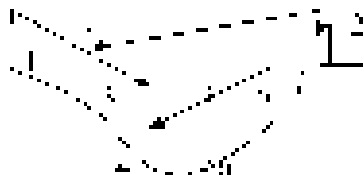


Рис. 3.3. Схема установки вешек через овраг

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

Мерной лентой или рулеткой непосредственно на местности измеряют наклонные расстояния  $D$  (см. рис. 3.4), а для составления планов требуется знать горизонтальные проложения  $d$ . Поэтому возникает необходимость приведения к горизонту расстояний, измеренных лентой или рулеткой. Для решения этой задачи применяют формулу (3.3)

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

где  $v$  — угол наклона линии.



Рис. 3.4. Схема к приведению линии к горизонту

Или вводят поправку  $\Delta d$  в измеренные расстояния (3.4), (3.5)

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

$$\Delta d = 2D \sin^2(\nu/2). \quad (3.5)$$

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

### 3.5. Точность измерения расстояний мерными лентами

Ошибки при измерении лентой возникают из-за:

- неравномерного натяжения ленты;
- непостоянства температуры воздуха;
- неточного фиксирования концов каждой ленты;
- ошибок от искривления или прогиба ленты;
- уклонения ленты от створа;
- ошибок при взятии отсчётов.

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.

Поправка за температуру, если она отличается от температуры, при которой выполнялось компарирование рабочей ленты, определяется по формуле (3.6)

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

где  $l_p$  – длина рабочей ленты;

$l_o$  – номинальная длина ленты;

$\Delta l$  – поправка за компарирование;

$\alpha = 0,000012$  (для стали) – коэффициент расширения на  $1^\circ$  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  $\beta$  – параллактическим углом, величина которого обычно невелика (см. рис. 3.5).

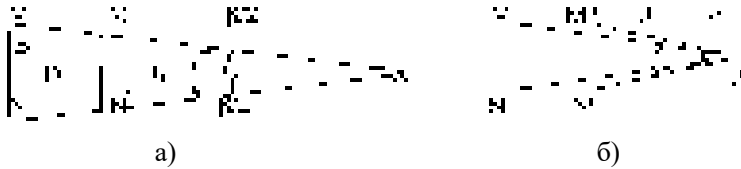


Рис. 3.5. Схема конструкции оптических дальномеров:  
а) с переменной базой; б) с переменным углом

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 (3.7)

$$D = \frac{1}{2} b \cdot ctg \frac{\beta}{2}, \quad (3.7)$$

где  $C$  – постоянная величина, называемая коэффициентом дальномера (3.8)

$$C = \frac{1}{2} ctg \frac{\beta}{2}. \quad (3.8)$$

Для второй группы дальномеров (3.9)

$$D = \frac{\beta}{2} \cdot \frac{1}{tg \frac{\beta}{2}} = \frac{b\rho}{\beta}, \quad (3.9)$$

где  $\rho$  – радиан, выраженный в угловых секундах (206265).

Нитяной дальномер придаётся большинству геодезических приборов. Он представляет собой две дополнительные горизонтальные нити (дальномерные штрихи) сетки, симметричные от-

носителем средней нити. По рейке, разделённой на сантиметры, расстояния определяют следующим образом: из отсчёта по верхней нити в миллиметрах вычитают отсчёт по нижней нити, полученную разность  $b$  переводят в метры, далее по формуле (3.10)

$$D = 100 \cdot b \quad (3.10)$$

определяют длину линии. При измерении наклонных линий необходимо вводить поправку за наклон линии (3.11)

$$D = D_n \cdot \cos^2 \nu, \quad (3.11)$$

где  $D_n$  – длина наклонного расстояния;

$\nu$  – 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 объёмов и площадей помещений, а также 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 (см. рис. 3.6).

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 остаётся неизвестным и не позволяет сразу получить расстояние. Эта неоднозначность разрешается путём многократных 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.

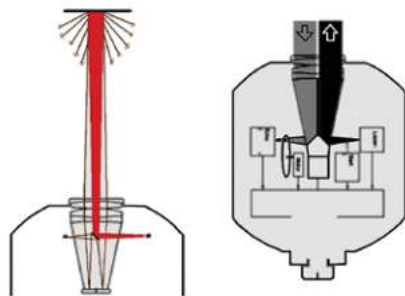


Рис. 3.6. Оптические схемы фазового (слева) и импульсного (справа) дальномеров

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 прибору, 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 прибором. 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.

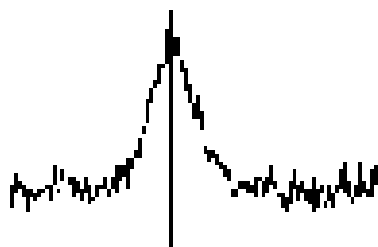


Рис. 3.7. Усреднение импульсов

В ходе измерения делается около 20000 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 визиры 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 объёма, сложение и вычитание – эти функции лазерного прибора стали привычными. Более продвинутые 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 известных торговых марок.

Лазерные дальномеры имеют дальность действия, которое в большей мере зависит от окружающего освещения и отражающей способности визируемой поверхности. Измерения в помещениях обычно не вызывают 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 стороны, отражённый 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, так как 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, снабжённый двумя лазерными излучателями и использующий оба способа измерения расстояний – импульсный и фазовый.



Рис. 3.8. Дальномер, снабжённый 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 чём отличие дальномеров с фазовым и импульсным способом измерения расстояния?
10. В чём преимущества и недостатки лазерных дальномеров?

### **Рекомендуемая литература**

1. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Клюшин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман. М.: Академия, 2008. 480 с.
2. Инженерная геодезия / под ред. С. П. Закатова. М.: Недра, 1976. 583 с.

## Глава 4. Нивелирование

Совокупность геодезических измерений, выполняемых для определения превышений между точками земной поверхности, или высот относительно принятой отсчётной поверхности, называется *нивелированием*. 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 (4.1)

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

где  $l_1$  и  $l_2$  – высоты сосудов;

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

*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 фотоплёнке. Погрешность измерений составляет несколько сантиметров на 1 км.

*Стереофотограмметрическое нивелирование* основано на измерении превышений по стереоскопической модели местности при помощи стереоприбора по двум перекрывающимся АФС одного и того же участка местности. Погрешность определения высот при наземной стереоскопии 0,1–0,3 м, при АФС составляет в среднем 1:1 500 высоты фотографирования ( $H$ ).

*Геометрическое нивелирование* основано на использовании горизонтальной линии визирования прибора, называемого нивелиром. Разность высот точек определяют из отсчётов 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 (см. рис. 4.1, 4.2).



Рис. 4.1. Нивелир с компенсатором АТ-24Д (КНР)



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

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

Разность длин  $AA'$  и  $BB'$ , заключённых между горизонтальным лучом и точками  $A$  и  $B$  местности, равна превышению  $h_{AB}$ , т. е.  $h_{AB} = AA' - BB'$ . Поскольку отсчёты по рейкам  $a$  и  $b$  равны соответствующим длинам  $AA'$  и  $BB'$ , то превышение можно выразить формулой (4.2)

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

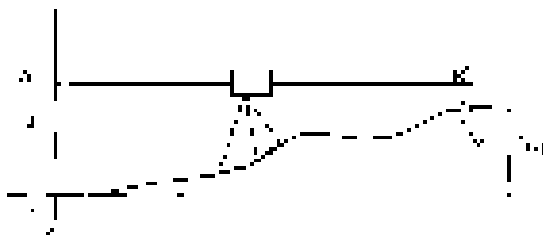


Рис. 4.2. Схема нивелирования из середины

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

*Простое нивелирование* – одна установка нивелира и одна станция. Если организуется несколько станций, образующих ни-

велирный 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, то есть (4.3)

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

Если известна высота начальной точки  $A$  ( $H_A$ ), то высоту конечной точки  $B$  определяют по формуле (4.4) (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, называется продольным нивелированием.

Второй способ геометрического нивелирования – это *нивелирование вперёд* (см. рис. 4.3).

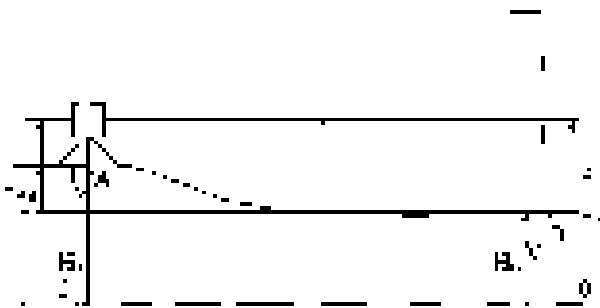


Рис. 4.3. Схема нивелирования вперёд

Нивелир устанавливают в начальной точке  $A$ , а в точке  $B$  вертикально ставят рейку, обращённую чёрной стороной к прибору.

Отсчёты берут только по чёрной стороне рейки. Рулеткой или рейкой измеряют расстояние от верха колышка ( $A$ ) до центра окуляра горизонтально установленной зрительной трубы, называ-

емое высотой прибора  $i$ , и берут отсчёт  $b$  по рейке. Затем вычисляют превышение по формуле (4.5)

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

Таким образом, при нивелировании вперёд превышение равно высоте прибора  $- i$  минус отсчёт по рейке  $- b$ . Нивелирование вперёд 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 (4.6)

$$ГП = H_A + i, \quad (4.6)$$

а затем по формуле (4.7)

$$H_B = ГП - b, \quad (4.7)$$

окончательно находят отметку точки  $B$ .

*Горизонт прибора* – расстояние по отвесной линии от визирной оси нивелира до урвенной поверхности, принятой за начало счёта отметок. Он также численно равен отметке точки, на которой установлена рейка, плюс отсчёт по рейке (4.8)

$$ГП = H_B + b. \quad (4.8)$$

Геометрическое нивелирование точек (способом вперёд), 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 её 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 параллельна оси цилиндрического уровня (для нивелиров с уровнем при трубе).

#### 4.4. Высотные сети

Передачу высот на пункты сгущения и съёмочных сетей осуществляют с помощью технического нивелирования, предельная невязка которого (мм) не должна превышать (4.9)

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

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 съёмок, опирающаяся на нивелирные знаки I и II классов.

Сеть IV класса является сгущением сетей III класса и служит для обоснования топографических съёмок (4.10)

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

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 съёмки. 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 съёмки – составление проектов вертикальной планировки и подсчёт объёмов 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. Каждого 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 составляют абрис. Отметки вершин квадратов и промежуточных точек определяют через горизонт прибора (способ нивелирования вперёд), отсчёты записывают с точностью до 1 мм на схему нивелирования ниже отсчётов по чёрной стороне рейки с этих же точек.

Найденное значение горизонта прибора вписывают на схему нивелирования.

Контроль нивелирования на станции состоит в том, что суммы накрест лежащих взглядов (отсчётов) 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 отсчётов, 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 горизонтали с заданной высотой сечения рельефа.

Горизонтالي интерполируют только между точками на однородном скате. Существуют аналитический (см. рис. 4.4) и графический способы интерполирования.

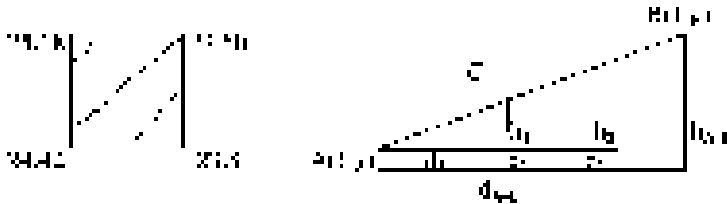


Рис. 4.4. Схема аналитического интерполирования

Из условий подобия имеем (4.11)

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

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

$h_2$  – расстояние до следующей горизонтали.

Далее находим расстояние  $d_1 + d_2$  (4.12)

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

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 соот-

ветствовать рельефу местности. Опытные топографы интерполируют на глаз.

Горизонталы – 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 расчётов, 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 115,35–121,17 м горизонталы должны соединять точки с отметками 115,50, 116,00, 116,50 и т. д.

План вычерчивают тушью в соответствии с условными знаками.

Выполнив нивелирование по квадратам, приступают к подсчёту объёма земляных масс, необходимых для планировки площадки под горизонтальную плоскость. Вначале вычисляют отметку проектной плоскости, которую будет иметь площадка после планировки. Отметку проектной плоскости ( $H_{np}$ ) вычисляют по формуле (4.13)

$$H_{np} = \sum_{i=1}^n \frac{H_{cp.ч.ом.}}{n}, \quad H_{cp.ч.ом.} = \frac{\sum_{i=1}^4 H_i}{4}, \quad (4.13)$$

где  $H_i$  – отметка вершины  $i$ -го квадрата;

$H_{cp.ч.ом.}$  – средняя фактическая отметка квадрата;

$n$  – число квадратов.

Контроль вычислений выполняют по формуле (4.14)

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

где  $H_1$  – отметка, характерная для одной вершины квадрата;

$H_2$  – отметка, характерная для двух вершин квадратов;

$H_4$  – отметка, характерная для четырёх 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 необходимость подсыпки грунта или наоборот срезки 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 (4.15)

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

Для тех сторон квадрата, где рабочие отметки имеют разные знаки, определяют местонахождение точек нулевых работ (4.16)

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

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 – жёлтым. Расстояния до точек нулевых работ записывают синим. Объём земляных работ ( $V$ ) определяется по формуле (4.17)

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

где  $S$  – площадь строительной площадки, м<sup>2</sup>;

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

Высоту вычисляют до тысячных долей метра, результаты заносят в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Ведомость вычисления объёмов земляных работ

Номер фигуры	Площадь	Высота призмы	Объёмы	
			Насыпь	Выемка
1				
2				
3				

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

При производстве планировочных работ объём выемки примерно должен быть равен объёму насыпи (4.18)

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



если баланс нарушен, то находят поправку  $\Delta H$  к отметке проектной плоскости (4.19)

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

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 включает назначение на местности линии заданного направления и заданного уклона; вешение и закрепление этой линии; измерение и разбивку углов поворота трассы, разбивку пикетажа, поперечников и кривых; съёмку 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 определённые 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 съёмка 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 землёй. Для их быстрого отыскания и обозначения 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  $\theta$ . Угол  $\theta$ , составленный воображаемым продолжением прямолинейного участка трассы и её 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* (см. рис. 4.5), называемые *плюсовыми*.



Рис. 4.5. 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 подсчёта объёмов 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 съёмка узкой полосы с помощью прибора или глазомерная съёмка в пределах 25–50 м влево и вправо от оси. Результаты разбивочных и съёмочных 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 неё в принятом масштабе съёмки 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 съёмку 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*), её середина (*СК*) и конец (*КК*) определяют *главные точки кривой*. Для их нахождения необходимо знать следующие элементы круговой кривой:  $\Theta$  – 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  $\Theta$  измерен на местности, а значение радиуса  $R$  выбрано с учётом местности и класса сооружения, то остальные элементы круговой кривой можно вычислить.

Из прямоугольного треугольника  $OAB$  (см. рис. 4.6) находят тангенс (4.20)

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\Theta}{2}. \quad (4.20)$$

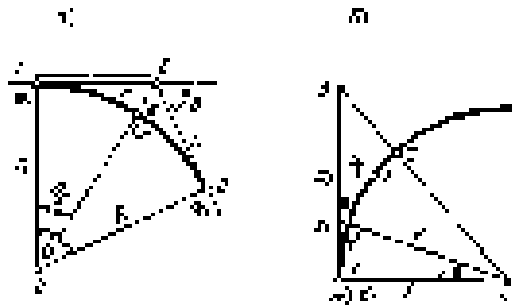


Рис. 4.6. Элементы круговой кривой (а) и способ прямоугольных координат (б)

Длину кривой  $K$  определяют по формуле (4.21)

$$K = \frac{2\pi R}{360^\circ} \Theta = \frac{\pi R}{180^\circ} \Theta. \quad (4.21)$$

Биссектрису кривой находят из выражения (4.22)

$$B = OB - R = R \sec \frac{\Theta}{2} - R = R \left( \sec \frac{\Theta}{2} - 1 \right). \quad (4.22)$$

По найденным значениям тангенса  $T$  и кривой  $K$  вычисляют домер (4.23)

$$D = 2T - K. \quad (4.23)$$

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

Для отыскания середины кривой ( $CK$ ) устанавливают теодолит в вершине угла, находят на местности направление биссектрисы  $BO$ , вдоль которой откладывают её значение  $B$  и фиксируют точку, являющуюся серединой кривой. Пикетажное значение главных точек круговой кривой определяют по формулам (4.24), (4.25)

$$HK = BU - T; \quad CK = HK + (1/2)K; \quad KK = HK + K. \quad (4.24)$$

Контроль:  $KK = BU + T - D,$  (4.25)  
где  $BU$  – пикетажное значение вершины угла поворота.

Закрепив кольшками 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 (трассы)* к государственной сети. Нивелирование связующих точек, как правило, выполняют способом 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°);

- 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 отсчёты выполняют по обеим сторонам рейки. Расхождение двух превышений, вычисленных на станции, не должно превышать 5 мм;

- нивелировать промежуточные точки один раз (без контроля) по чёрным 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 (см. 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 отсчёты по средней нити по чёрной и красной сторонам рейки. Результаты измерений записывают в нивелирный журнал;

- 4) аналогичным образом получают отсчёты по средней нити по чёрной и красной сторонам передней рейки, установленной в точке В. Результаты фиксируют в нивелирном журнале;

- 5) на каждой станции вычисляют превышения, определённые по чёрным и красным сторонам реек.

При допустимых (менее 4 мм) расхождениях в превышениях вычисляют среднее превышение, округлённое 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. Отсчёты берут по чёрной 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 дополнительные 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 надёжный 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, включающей проверку правильности записей и полевых вычислений, выполнение уравнивания нивелирного хода, вычисления 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 подсчёте и записи в нижней части страницы журнала соответствующих суммарных результатов. Вычисления, аналогичные постраничным, выполняют и для всего хода. В случае правильности вычислений присту-

пают к приближенному уравниванию нивелирного хода, т. е. к нахождению наиболее надёжных 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  $H_{з.н.}$  визирной оси прибора. Горизонт прибора равен высоте заднего (или переднего) пикета плюс отсчёт по рейке, установленной на нём (4.26)

$$\begin{aligned} H_{з.н.} &= H_{ПК1} + a \\ H_{з.н.} &= H_{ПК2} + b \end{aligned} \quad (4.26)$$

Высоту любой промежуточной точки получают как разность горизонта прибора и отсчёта по чёрной 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 десять 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 протяжённостью трассы в принятом горизонтальном масштабе.

#### Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы нивелирования?
2. В чём заключается сущность геометрического нивелирования?



3. В чём преимущества нивелирования из середины?
4. Какое различие между высотой и горизонтом прибора?
5. Как вычисляют отметки точек через горизонт прибора?
6. В чём заключается главное условие, которому должны удовлетворять нивелиры с цилиндрическими уровнями?
7. Каково назначение элевационного винта у нивелира НЗ?
8. На чём 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 чём сущность тригонометрического нивелирования?
13. Для чего при тригонометрическом нивелировании стремятся визировать на отсчёт, равный высоте прибора?
14. В чём сущность барометрического, гидростатического, автоматического и аэронивелирования и какова их точность?
15. Какие документы получают в результате нивелирования поверхности?
16. Как вычисляют горизонт прибора?
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, каким цветом?
25. О чём говорят знаки рабочей отметки «плюс» и «минус»?

26. По каким формулам вычисляют горизонтальные расстояния от точки нулевых работ до вершин квадратов?
27. Какое условие должно соблюдаться, если расстояния  $X$  и  $У$  вычислены верно?
28. По какой формуле подсчитывают объём земляных работ?
29. Чему равна высота призмы?
30. При каком условии можно считать, что баланс земляных работ не нарушен?
31. Нужно ли учитывать при подсчёте объёма земляных работ объём грунта, вынимаемого из котлована?

### **Рекомендуемая литература**

1. Инженерная геодезия / под ред. С. П. Закатова. М.: Недра, 1976. 583 с.
2. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман. М.: Академия, 2008. 480 с.
3. Новак В. Е. Практикум по инженерной геодезии. М.: Недра, 1986. 273 с.
4. Фельдман В. Д. Основы инженерной геодезии. М.: Высшая школа, 2001. 456 с.

## Глава 5. Измерение углов. Теодолит

### 5.1. Принцип измерения углов теодолитом

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

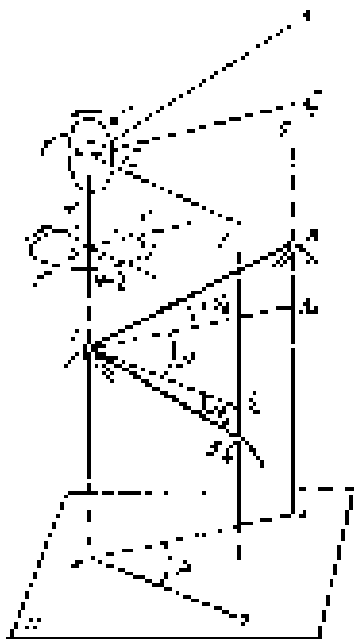


Рис. 5.1. Принципиальная схема измерения горизонтальных и вертикальных углов

Требуется измерить горизонтальную проекцию этого угла на горизонтальную плоскость. Проведём через стороны угла  $OA$  и  $OB$  отвесные плоскости  $Q$  и  $R$ , пересекающие плоскость  $H$  по направлениям  $oa$  и  $ob$ . Угол  $aob$  в плоскости  $H$  и будет горизонтальным углом  $\beta$ , который требуется измерить.

Расположим горизонтально угломерный круг  $\kappa'$  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  $o'v'$ , а образованный между ними угол и будет равен  $\beta$ . Его величина будет равна разности двух значений по кругу  $\kappa'$ , взятых в точках  $v'$  и  $a'$ , т. е. (5.1)

$$\beta = v' - a'. \quad (5.1)$$

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  $o''a_o''$  и  $o''a''$ .

Вертикальный угол  $v_o$  с помощью вертикального круга  $\kappa''$  можно получить как разность двух отсчётов по кругу в точках  $a''$  и  $a_o''$ , т. е. (5.2)

$$v_o = a'' - a_o'', \quad (5.2)$$

где  $a''$  – отсчёты по радиусам  $o''a''$  и  $o''a_o''$ .

Последовательно совмещая по таким же правилам круг  $\kappa''$  с отвесными проектирующими плоскостями, проходящими через другие линии местности, можно измерять углы наклона этих линий.

Таким образом, для измерения горизонтальных и вертикальных углов необходим прибор, имеющий горизонтальные или вертикальные угломерные круги с отсчётными 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*. Он является наиболее точным и распространённым прибором для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Основными частями теодолита (см. рис. 5.2) являются горизонтальный круг (лимб); отсчётное устройство лимба, расположенное на алидаде; вертикальный лимб и зрительная труба, поддерживаемая вертикальными стойками; алидада вертикального круга; цилиндрический уровень горизонтального круга; три подъёмных винта, связанные с подставкой прибора; второй цилиндрический уровень на алидаде вертикального круга.

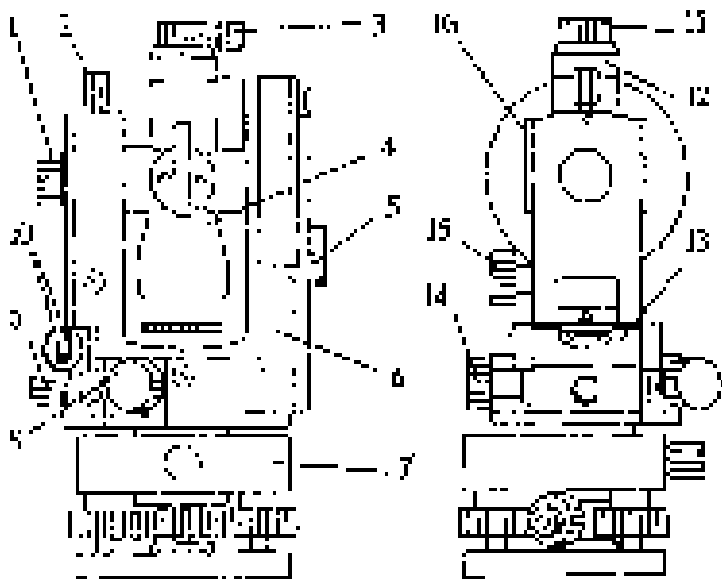


Рис. 5.2. Теодолит 4Т30П:

- 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 отсчётными устройствами, обеспечивающими взятие отсчётов по лимбу с определённой 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 отсчётного микроскопа, помеченной буквой *B*, даётся изображение штрихов вертикального круга. В нижней, помеченной буквой *Г*, – штрихи горизонтального круга. Отсчёты берутся с точностью до 1'.

## 5.2. Поверки и юстировки теодолита

Независимо от типа теодолита взаимное расположение его частей должно удовлетворять ряду геометрических условий. Соблюдение их устанавливают, выполняя определённые 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 теодолита.

3. Горизонтальная ось теодолита (ось вращения зрительной трубы) должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения трубы 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 направлениями *ОА* и *ОВ*. Вершина угла точка *О*. Заранее знают, какой угол необходимо измерить, левый или правый по ходу. Для направления от точки *А* к точке *В* левым по ходу является  $\beta$ , а правым  $\lambda$ , получаемый как дополнение  $\lambda = 360^\circ - \beta$  (см. рис. 5.3).

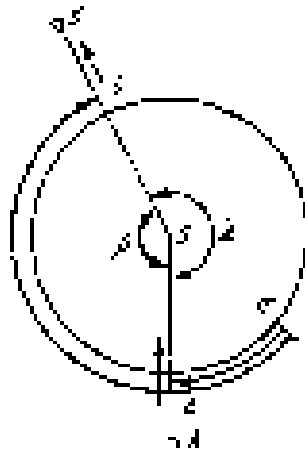


Рис. 5.3. Измерение горизонтального угла способом приёмов

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 нитяного отвеса, подвешенного к верхней части штатива, на который укрепляется теодолит, или оптического центрира. Далее приводят теодолит в рабочее положение, используя уровень при алидаде горизонтального круга.

Существует ряд способов измерения горизонтальных углов теодолитом. Наиболее простой *способ приёмов* – 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, марки). Приём измерения состоит из двух независимых полуприёмов, выполняемых при КЛ и КП. Рассмотрим измерение левого по ходу угла  $\beta$ . Закрепляют неподвижно лимб теодолита, открепляют алидаду, наводят зрительную трубу при КЛ на заднюю точку  $A$ , берут отсчёт (1) и записывают в журнал (см. табл. 5.1).

Таблица 5.1

Журнал измерения горизонтальных углов

Номер приёма	Точка стояния	Визуруемая точка	КЛ КП	Отсчёт по горизонтальному кругу	Значение угла из полуприёма	Среднее значение угла из приёма	Окончательное значение угла
1	0	A	КЛ	0°04' (1)	172°44' (3)	172°44,5' (2)	172°45,2' (15)
		B		172°48' (2)			
		A	КП	180°05' (4)	172°45' (6)		
		B		352°50' (5)			
2	0	A	КЛ	90°08' (8)	172°45' (10)	172°486 (14)	
		B		262°53' (9)			
		A	КП	270°10' (11)	172°47' (13)		
		B		82°57' (12)			



Затем открепляют алидаду, наводят зрительную трубу при том же круге на переднюю точку  $B$  и берут отсчёт (2). Вычисляют значение (3) левого по ходу угла (отсчёт на переднюю точку минус отсчёт на заднюю точку — первый полуприём). Приступают к выполнению второго полуприёма 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 заднюю точку  $A$  и переднюю точку  $B$ . Взятые отсчёты (4) и (5) заносят в журнал (см. табл. 5.1).

Вычисляют значение угла (6) из второго полуприёма при КП отсчёт (5) – отсчёт (4). Если расхождение  $\beta_{кл}$  и  $\beta_{кп}$  из полу-приёмов не превышает двойной точности отсчётного устройства, то вычисляют значение угла из полного приёма как среднее  $\beta = (\beta_{кл} + \beta_{кп}) / 2$ .

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

#### 5.4. Измерение вертикального угла

Вертикальный круг теодолита предназначен для измерения вертикальных углов. Началом отсчёта этих углов является горизонтальная линия в теодолитах, предназначенная для измерения углов. Лимб вертикального круга теодолита наглухо скреплён со зрительной трубой. Алидада вертикального круга несёт на себе отсчётное устройство, причём нулевой диаметр его должен быть горизонтален. Если это требование не выполнено, то при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы отсчёт по вертикальному кругу будет отличен от  $0^\circ$  или  $90^\circ$ . Такой отсчёт называется *местом нуля вертикального круга* (МО).

Измерение вертикального угла теодолитом сводится к отсчитыванию по вертикальному кругу при визировании на наблюдательную точку при КЛ и КП. Для вычисления угла наклона  $v$  вначале определяют значение  $МО$  по формуле для теодолита 4Т30П (5.3)

$$MO = (KL + KP) / 2, \quad (5.3)$$

а затем вычисляют угол наклона по формуле (5.4)

$$v = KL - MO. \quad (5.4)$$

Так как конструкции вертикальных кругов в различных марках теодолитов могут значительно отличаться, мы рекомендуем формулы для вычисления  $MO$  и измеренного угла  $v$  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 прибора 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 расхождение допускается между двумя значениями угла в полуприёмах?
12. Каково назначение цилиндрического уровня при алидаде вертикального круга?
13. Что называют местом нуля вертикального круга, как его определяют? Какой допуск характеризует постоянство места нуля? Как привести значение места нуля к нулю?
14. Какие теодолиты называют оптическими? Какие отсчётные устройства применяются в оптических теодолитах?

### **Рекомендуемая литература**

1. Инженерная геодезия / под ред. С. П. Закатова. М.: Недра, 1976. 583 с.
2. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман. М.: Академия, 2008. 480 с.
3. Новак В. Е. Практикум по инженерной геодезии. М.: Недра, 1986. 273 с.
4. Фельдман В. Д. Основы инженерной геодезии. М.: Высшая школа, 2001. 456 с.

## Глава 6. Топографические съёмки

### 6.1. Виды топографических съёмок

Совокупность действий, выполняемых на местности для получения плана, называется *съёмкой*. Если она производится для получения плана без изображения рельефа, то её называют *контурной*. Если план отображает рельеф, то съёмку называют *топографической* или *высотной*. Различают несколько видов съёмок.

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

*Тахеометрическая* съёмка выполняется тахеометрами (теодолитами) для получения плана с изображением рельефа горизонталями, при такой съёмке углы измеряют в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Расстояния определяют по дальномеру.

*Мензольная* съёмка производится с использованием двух приборов: мензулы и кипрегеля, при помощи которых непосредственно на местности получают план с изображением рельефа. Достоинство мензольной съёмки в том, что она позволяет в процессе съёмки сопоставлять изображение, получаемое на плане, с изображаемой местностью.

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

*Аэрофотосъёмка* – съёмка, которая выполняется специальным фотоаппаратом АФА с самолёта. Она производится в сочетании с наземными геодезическими действиями, необходимыми для привязки снимков (контурная, комбинированная, стереофотограмметрическая).

*Нивелирование* – геометрическое нивелирование по квадратам, один из видов съёмки, позволяющей получить топографические планы равнинных участков местности.

*Глазомерная, буссольная и эккерная съёмки* позволяют получить ориентировочные планы территории, имеющие очень низкую точность.

## **6.2. Общие правила ведения топографических съёмок**

Чтобы ослабить влияние ошибок измерений 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 съёмке подробностей. Такие точки называют *опорными*. Они служат основой для съёмки всех объектов и контуров местности и 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 даёт 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 опорные сети**

Триангуляция служит основным методом создания государственной геодезической сети как для топографических съёмок, так и для других геодезических измерений. Посредством геодезических измерений и математической обработки результатов координаты исходных точек передаются на все пункты триангуляции, трилатерации и полигонометрии. Высоты пунктов определяются

нивелированием. Геодезическая опорная сеть ограничивает накопление при съёмке 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 трёх соседних. Выбранные точки надёжно закрепляют подземными сооружениями – центрами и обозначают особыми знаками или сигналами. Опорные точки связаны между собой в сеть треугольников. Чтобы определить расположение этих точек в горизонтальной проекции, достаточно знать горизонтальную проекцию только одной какой-либо стороны и измерить горизонтальные проекции углов всех треугольников сети.

Таким образом, действия при построении триангуляции (см. 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.

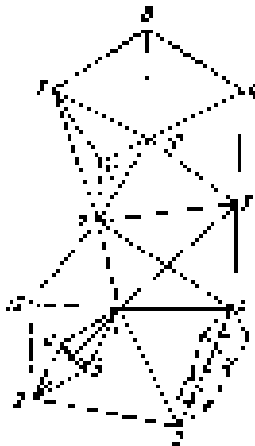


Рис. 6.1. Инженерно-геодезические сети триангуляции

Сторона 1–2, служащая исходной для вычислений, называется *выходной*. Иногда вместо её измерения определяют корот-

кий базис  $ab$  и связывают его с выходной стороной при помощи вспомогательной триангуляции, называемой *базисной сетью* (угол против базиса не менее  $36^\circ$ ). 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 находят истинные азимуты направлений на смежные пункты триангуляции. Пользуясь этими измерениями, находят координаты всех вершин треугольника. Высоты 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 к 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 вычисляются и прямоугольные координаты.

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

*Сети местного значения* строят путём 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.

*Съёмочные 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 съёмочных сетей 1:3 000.

*Высотная* съёмочная сеть прокладывается в виде ходов и полигонов нивелирования с ошибками не более 0,1–0,2.

## **6.4. Теодолитная съёмка**

### **6.4.1. Общие требования**

Теодолитная съёмка позволяет получить план с изображением или без изображения рельефа. Основным прибором является теодолит, которым измеряют горизонтальные и вертикальные углы. Опорой при теодолитной съёмке служат теодолитные ходы, представляющие собой системы ломаных линий, в которых углы измеряются одним полным приёмом, а стороны – стальной 20-метровой лентой или дальномером с точностью 1:2 000. Концами этих линий должны быть пункты опорной геодезической сети. Обычно съёмочная сеть при теодолитной съёмке представляет собой:

- 1) сеть треугольников;
- 2) сеть полигонов;
- 3) просто теодолитных ходов.

Формы теодолитных ходов зависят от характера снимаемой территории. При съёмке полосы будущей дороги прокладывают разомкнутые ходы, которые, по возможности, должны быть вытянутыми с углами поворота, близкими к  $180^\circ$ . На участке строительства предприятия обычно прокладывают сомкнутый полигон. Точки теодолитных ходов выбирают так, чтобы длины сторон при измерении лентой были в среднем 250 м (400 – max, 50 – min), а углы наклона не превышали  $5^\circ$ . Перед производством измерений все вершины полигона закрепляют (обозначают) на местности, вехами и т. п. Не реже чем через 1 км закладывают центры. Таким образом, теодолитная съёмка включает:

- подготовительные работы;
- закрепление точек на местности;



- измерение линий и углов в полигонах и ходах;
- съёмку подробностей;
- вычислительные работы;
- графические работы.

При проложении теодолитного хода измеряют горизонтальные углы в вершинах углов хода и длины линий между этими вершинами. Углы, правые по ходу, измеряют одним полным приёмом. При измерении углов во втором полуприёме измеряют по вертикальному кругу теодолита угол наклона, если он больше  $1^\circ$ . 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 направлениях (нитяной дальномер непригоден).

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

Чтобы определить недоступное расстояние, когда его нельзя измерить непосредственно, его определяют косвенным путём из решения  $\Delta ABC$ . Выбирают базис  $AC = b$ , чтобы треугольник был равносторонним (6.1)

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

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*. Чаще 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  $\alpha_N, \alpha_K$ . Привязка хода заключается в измерении *примычных* углов, правых по ходу  $\beta_N$  и  $\beta_K$  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, иногда этот процесс совмещают с проложением теодолитных ходов. Результаты съёмки заносят в абрис – чертёж, составляемый 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 ( $\beta$ ), дирекционные углы сторон ( $\alpha$ ), румбы ( $r$ ).

Обычно из непосредственных измерений на местности получают для каждой стороны полигона  $d$  и  $\beta$  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 расчёты всегда расходятся с теоретической суммой. Эта разность называется *невязкой*. Одна из задач – распределить невязку между результатами измерений, т. е. ввести поправки. Процесс распределения невязок называется *увязкой* (уравниванием). Таким образом, по результатам теодолитной съёмки должны быть выполнены следующие действия:

- обработка угловых измерений и вычисление дирекционных углов и румбов;
- вычисление горизонтальных проекций сторон;
- вычисление координат вершин полигонов.

Теоретическая сумма  $S_m$  углов многоугольника равна (6.2)

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

где  $n$  – число углов многоугольника.

Практическая сумма  $S_n = \Sigma\beta$ . Разность  $S_n - S_m$  – *угловая невязка*  $f(\epsilon)$  (6.3)

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

Получив угловую невязку, определяют, допустима ли она. Для теодолита 30-секундной точности принимают предельную угловую невязку, равную (6.4)

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

где  $n$  – число измеренных углов.

Если  $f(\epsilon) \leq \text{пред. } f(\epsilon)$ , то её 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  $\alpha_0$  исходной стороны теодолитного хода  $AB$ .  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  – углы, правые по ходу, измеренные теодолитом. Найдём дирекционные углы  $\alpha_1 \dots \alpha_n$  остальных сторон хода. На основании зависимости между прямыми и обратными дирекционными углами можно записать (6.5)

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

Дирекционный угол последующей линии равен предыдущему дирекционному углу плюс  $180^\circ$  минус угол, лежащий вправо по ходу. Контроль выполняют по формуле (6.6)

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

Угловая невязка теодолитного хода (6.7)

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

Дирекционные углы в сомкнутом многоугольнике продолжают вычислять до тех пор, пока получают исходный дирек-

ционный угол линии  $AB$ , что служит контролем правильности вычислений. Если при вычислении углов уменьшаемое меньше вычитаемого, то к уменьшаемому прибавляют  $360^\circ$ , если больше, то вычитают  $360^\circ$ .

По результатам измерения расстояний и углов наклона в одолитном ходе находят горизонтальные проекции сторон. Далее, решая прямые геодезические задачи, вычисляют приращения координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  по формулам (6.8).

Известно, что теоретическая сумма проекций сторон сомкнутого многоугольника на любую ось равна 0, практическая сумма, как правило, отличается на величину невязки (6.8)

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta X &= 0 \text{ и } \Sigma \Delta Y = 0, \\ \Sigma \Delta X &= f_x \text{ и } \Sigma \Delta Y = f_y, \end{aligned} \quad (6.8)$$

где  $f_x$  и  $f_y$  – невязки в приращениях координат.

Под влиянием ошибок измерений получаем как бы разомкнутый полигон на величину  $A, A = f$  – невязка в периметре полигона (6.9)

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (6.9)$$

Если  $P$  – периметр полигона, то  $f/P$  – относительная невязка.

Допустимая невязка от 1:2 000 до 1:1 000 в среднем 1:1 500,  $f \leq 1:1 500$  длины 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 чертёжной бумаги координатной 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 точности её построения будет зависеть точность плана. Построенную и проверенную сетку (неравенство диагоналей 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 съёмка

Одновременная съёмка 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 греческого *тахеометрия* означает «быстрое измерение».

Тахеометрическая съёмка выполняется по принципу от общего к частному. Первоначально создают планово-высотную основу, а затем ведут съёмку рельефа и подробностей, по результатам которой в камеральных условиях составляется топографический план. Тахеометрическую съёмку 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 направлениями 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 съёмки используют пункты государственной геодезической сети, теодолитные и нивелирные ходы, прокладываемые

между пунктами геодезических сетей. Точки съёмочного обоснования определяют проложением тахеометрических ходов. Одновременно ведут съёмку ситуации и рельефа, параллельно составляется абрис снимаемого участка.

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

### **6.5.1. Производство тахеометрической съёмки**

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

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

*Таблица 6.1*

**Зависимость параметров тахеометрического хода от масштаба съёмки**

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

При проложении тахеометрического хода соблюдается следующий порядок действий:

1) устанавливают прибор (центрируют) тахеометр над вершиной измеряемого угла, горизонтируют прибор и подготов-

ливают зрительную трубу для наблюдений. Погрешность центрирования 3 мм. Чем короче сторона, тем точнее должно быть центрирование прибора станции;

2) измеряют высоту прибора;

3) наводят трубу на рейку, установленную на заднюю точку хода, и выполняют отсчёты по дальномерным нитям. При этом рекомендуется установить меньший отсчёт по дальномерной нити, равный целому числу метров (например, 1000 мм). Разность отсчётов по дальномерным нитям, умноженная на коэффициент дальномера, даст значение длины линии. Для контроля длину 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 и приводят пузырёк уровня при вертикальном круге в нуль-пункт, далее отсчитывают по вертикальному кругу.

Затем операции 3, 4, 5 повторяют, установив рейку на передней точке тахеометрического хода. Комплекс выполненных таким образом операций составляет полуприём (при этом будет измерен левый по ходу угол). После перевода зрительной трубы через зенит выполняют второй полуприём. Расхождение углов по результатам измерений в двух полуприёмах не должно превышать двойной точности отсчётного 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 (6.10)

$$D = d \cdot \cos^2 v; \Delta D = d \cdot \sin^2 v. \quad (6.10)$$

Определение превышений при тахеометрической съёмке осуществляется методом тригонометрического нивелирования.

### **6.5.2. Метод тригонометрического нивелирования**

Это нивелирование производится наклонным визирным лучом тахеометра или теодолита. Допустим, требуется определить

превышение  $h=BB_1$  точки  $B$  над точкой  $A$  (см. рис. 6.2). Вначале определяется высота оси вращения зрительной трубы над точкой  $A$  (высота прибора –  $i$ ). В точке  $B$  вертикально установлена веха или рейка высотой  $V$ . Направим визирную ось трубы на верх вехи  $M$  и измерим вертикальный угол  $v$ .

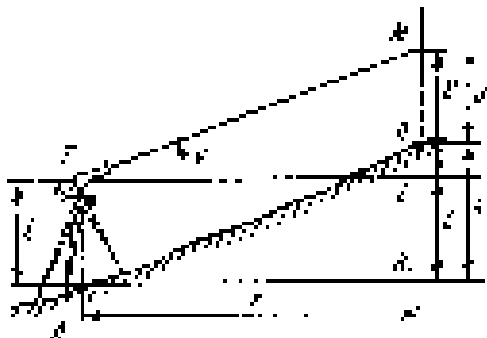


Рис. 6.2. Схема тригонометрического нивелирования

Так как  $AB_1 = TE = s$ , тогда (6.11)–(6.13)

$$ME = h' = s \cdot \operatorname{tg} v, \quad (6.11)$$

$$h + V = s \cdot \operatorname{tg} v + i; \quad (6.12)$$

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

Вычисляют  $s \cdot \operatorname{tg} v$  по таблицам (таблицы высот или превышений) или с помощью калькулятора. Если на рейке обозначить отрезок от низа, равный  $i$ , и направить визирную ось на точку, находящуюся на высоте прибора, то  $i = V$  и формула примет вид (6.14)

$$h = s \cdot \operatorname{tg} v, \quad (6.14)$$

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

При расстояниях более 300 м вводят поправки на кривизну Земли и рефракцию (поправка за преломление световых лучей) (6.15)

$$h = s \cdot \operatorname{tg} v + i - V + f, \quad (6.15)$$

где  $f = 0,43 \frac{s^2}{R}$ ;

$R$  – радиус Земли, км.



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

### 6.5.3. Съёмка ситуации и рельефа

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

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

- 1) устанавливают прибор и измеряют его высоту;
- 2) определяют *МО*, визируя на какую-либо чётко видимую точку местности, если *МО* не требует исправлений, то приступают к дальнейшим операциям;
- 3) ориентируют нуль лимба горизонтального круга теодолита (тахеометра) по одной из прилегающих сторон тахеометрического хода. Для этого на горизонтальном круге устанавливают отсчёт  $0^{\circ}00'$ . Закрепляют алидаду и, открепив лимб, наводят зрительную трубу на точку съёмочной сети, выбранную в качестве ориентировочной. После этого лимб закрепляют и не меняют его положение до окончания съёмки 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 отсчёты по дальномерным нитям. При сечении рельефа 1 м максимальное расстояние от прибора до рейки принимается по табл. 6.2;
- 5) устанавливают средний штрих сетки нитей на отсчёт, равный целому числу метров рейки, или на отсчёт, равный высоте прибора, и берут отсчёт по вертикальному кругу;

6) отсчитывают по горизонтальному кругу. Отсчёт берётся при положении «круг лево» (КЛ) при работе с теодолитом 2Т30 или 4Т30П.

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

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

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

Таблица 6.3

**Журнал тахеометрической съёмки**

Номер точки	Отсчёт по горизонтальному кругу, градусы	Дальномерное расстояние, м	Отсчёт по вертикальному кругу (КЛ)	Угол наклона $\nu$ , градусы	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°01'	5°02'	12,45	1.09	151,16	Край леса

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

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

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

Процедура уравнивания тахеометрического хода подобна увязке теодолитного хода. Предельные невязки определяют по формулам (6.16), (6.17)

$$\text{угловая невязка } f = 1' \cdot \sqrt{n}, \quad (6.16)$$

$$\text{линейная невязка } f_l = 1' \cdot \frac{1}{400 \cdot \sqrt{n}}, \quad (6.17)$$

где  $N$  – число измеренных линий в ходе.

Для вычисления высот хода тригонометрического нивелирования выполняют его уравнивание. Высотную невязку  $f_h$  определяют по формуле (6.18)

$$f_h = \Sigma h_{cp} - (H_{кон} - H_{нач}), \quad (6.18)$$

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

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

Предельные невязки вычисляют по формулам (6.19), (6.20)

$$f_{пред.} = \pm 0,04 P_{100} \cdot \sqrt{n} \quad \text{– при угле наклона до } 6^\circ, \quad (6.19)$$

$$f_{пред.} = \pm 0,06 P_{100} \cdot \sqrt{n} \quad \text{– при угле наклона } > 6^\circ. \quad (6.20)$$

### Контрольные вопросы

1. Как вычисляют горизонтальный угол?
2. Как распределяется угловая невязка, если она находится в допустимых пределах?

3. Какая существует зависимость между румбами и дирекционными углами по четвертям?
4. Что называется приращениями координат? Как определить знаки приращений координат?
5. Как распределяют линейные невязки в приращениях координат?
6. Как можно определить площадь снимаемого участка?
7. В чём сущность триангуляции?
8. В чём сущность полигонометрии?
9. Какой из методов построения плановых геодезических сетей выгоднее применять в открытой всхолмленной местности?
10. Какой из методов построения плановых геодезических сетей целесообразно применять в условиях плотной городской застройки?
11. Что такое нивелирование?
12. Что называют съёмочным обоснованием?
13. Как закрепляют на местности пункты съёмочного обоснования?
14. Опишите состав работ при проложении теодолитных ходов.
15. Как измеряют углы и линии в теодолитных ходах?
16. Какова последовательность камеральной обработки результатов измерений в теодолитных ходах?
17. Как находят теоретическую сумму углов в замкнутом и разомкнутом теодолитных ходах?
18. Как вычисляют теоретическую сумму приращений координат в замкнутом и разомкнутом теодолитных ходах?
19. Как увязывают нивелирные ходы съёмочного обоснования?
20. Каковы основные этапы работ при топографических съёмках?
21. Чем руководствуются при выборе масштаба съёмки и высоты сечения рельефа?
22. Какие способы применяют при съёмке элементов ситуации?
23. В чём заключается сущность теодолитной съёмки?

24. Какой вид съёмочного обоснования применяют при теодолитной съёмке?
25. В чём сущность тахеометрической съёмки?
26. Какие приборы применяют при тахеометрической съёмке?
27. Каков состав и порядок полевых работ при тахеометрической съёмке?
28. Каков порядок работы на станции?
29. Какая документация ведётся при тахеометрической съёмке?
30. Что такое абрис?
31. Какие имеются способы нивелирования поверхности?
32. Какие способы нивелирования поверхности целесообразно применять в условиях строительной площадки?
33. Как снимают ситуацию при нивелировании поверхности способом квадратов?

#### **Рекомендуемая литература**

1. Инженерная геодезия / под ред. С. П. Закатова. М.: Недра, 1976. 583 с.
2. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман. М.: Академия, 2004. 480 с.
3. Новак В. Е. Практикум по инженерной геодезии. М.: Недра, 1986. 273 с.
4. Фельдман В. Д. Основы инженерной геодезии. М.: Высшая школа, 2001. 456 с.

## Глава 7. Современное маркшейдерское искусство

### 7.1. Историческая справка

Маркшейдерия – одна из наиболее сложных специальностей горного дела. В интернете и специальной литературе мы можем найти следующее определение понятия «маркшейдерия» (маркшейдерское дело): это область горной науки и техники, которая включает совокупность методов, способов и средств, применяемых при разведке месторождений полезных ископаемых, проектировании, строительстве и эксплуатации горных предприятий и других объектов. Почему же до сих пор о маркшейдерии говорят как об искусстве? Маркшейдерия (от нем. *Markscheidenkunst*) – в дословном переводе «*марки устанавливать искусство*», или в русской транскрипции «*искусство устанавливать границы*».

Маркшейдерия возникла одновременно с горным делом. Задачи, связанные с измерениями в рудниках, решались в глубокой древности. Ещё в XVI–XIV вв. до н. э. в Египте строили на плоскости уменьшенные масштабные изображения горных выработок.

Г. Александрийский (предположительно I век до н. э.) (см. рис. 7.1) впервые в труде «О диоптре» описал способ подземной съёмки и её ориентирования при помощи двух отвесов. Также он предложил формулу вычисления площади треугольника

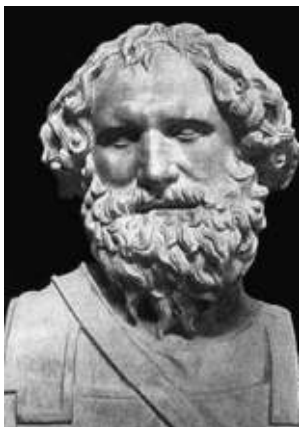
$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)},$$

где  $p$  – полупериметр треугольника  $p = (a + b + c)/2$ ;

$a, b, c$  – стороны треугольника.

Диоптра, изобретённая Героном, была прообразом современного теодолита (см. рис. 7.2).

Вот как Герон приводит пример использования изобретённой им диоптры для постройки тоннеля Эвпалина (см. рис. 7.3). Следует обратить внимание, что ломаная линия на чертеже представляет собой современный теодолитный ход.



*Рис. 7.1.* Герон Александрийский



*Рис. 7.2.* Диоптра. Прибор для измерения угловых величин на местности



*Рис. 7.3.* Построение тоннеля Эвпалина сквозь сопку

Краткую сводку способов решения маркшейдерских задач дал немецкий учёный в области горного дела и металлургии Г. Агрикола – настоящая фамилия Бауэр (Bauer); лат. *agricola* – «земледелец» (см. рис. 7.4).

Главный труд Г. Агриколы «De re metallica» (русское название «О горном деле и металлургии в 12 книгах»), законченный в 1550 г. и опубликованный в 1556 г. Пятая книга его посвящена маркшейдерским приборам и съёмкам, проводимым в те времена на рудниках (см. рис. 7.5).



Рис. 7.4. Георг Агрикола



Рис. 7.5. Сбойка штольни и шахты (гравюра из книги Г. Агриколы)

Первые печатные сведения о маркшейдерском деле в России относятся к временам царствования Петра I. Вот что, например, говорилось в первом русском горном законодательстве, составленном в 1734–1737 г. В. Н. Татищевым, в котором были отражены вопросы маркшейдерского дела:

- 1) иметь плоские разрезные чертежи каждой рудокопи с указанием на них условий залегания и всех особенностей рудника;
- 2) пополнять и исправлять общие карты данного округа по правилам, изложенным в особой инструкции Академии наук, куда и должны представляться копии готовых карт целого уезда или провинции.

В 1763 г. М. В. Ломоносовым издана книга «Об измерении рудников» – первая в нашей стране работа, в которой обстоятельно излагались все вопросы маркшейдерского дела того времени. Эта книга стала частью его сочинения «Первые основания металлургии или рудных дел».



В 1847 г. профессор Петербургского горного института П. А. Олышев опубликовал книгу «Маркшейдерское искусство», где впервые предложил использовать для подземных съёмок горный теодолит, заложил основы горно-геометрического представления горных работ.

В 1903 г. опубликовано первое «Практическое руководство Маркшейдерского искусства» О. Братгуна (см. рис. 7.6).

Начало XX в. характеризуется возникновением новой науки горной геометрии, основоположниками которой считаются П. М. Леонтовский, В. И. Бауман, П. К. Соболевский.

По предложениям I Всероссийского маркшейдерского съезда (1921) началась планомерная подготовка горных инженеров-маркшейдеров. Были организованы маркшейдерские специальности: 1921 г. – в Ленинградском; 1925 г. – в Днепропетровском; 1929 г. – в Свердловском горных институтах, в Томском и Новочеркасском политехнических институтах.



Рис. 7.6. Титульный лист «Практического руководства маркшейдерского искусства» О. Братгуна с предисловием Г. А. Тиме

## 7.2. Маркшейдерское дело в XXI в.

На первый взгляд, работа маркшейдера достаточно проста – это выставление точек, ограничивающих контуры каких-либо будущих строящихся объектов, располагаемых на земной поверхности или под землёй, и съёмка любых объектов, расположенных на земной поверхности или под землёй, с последующим изображением их на карте или плане. Но за этой простотой и кроется вся сложность данной профессии. В первую очередь, это громадная ответственность за выполненную работу. Ведь если маркшейдер неправильно вынесет границы будущего объекта или с ошибками выполнит съёмки, все дальнейшие работы на объекте будут выполнены неправильно. А если это ещё и так называемые «опасные объекты» – горные предприятия, гидросооружения, атомные электростанции и т. п., то последствия таких неправильно выполненных работ могут быть катастрофическими.

Ошибка в работе маркшейдера может привести не только к потере материальных ресурсов, но повлечь за собой и людские жертвы. Вот почему, например, добычу полезных ископаемых разрешают только тем предприятиям и организациям, где в штате есть высококвалифицированный маркшейдер, имеющий государственную лицензию на производство маркшейдерских работ.

Это требует от маркшейдера глубоких фундаментальных знаний в различных отраслях производств, а не только в области своей специальности. В силу специфики своей специальности маркшейдер фактически руководит работой всего производства. На горных предприятиях есть даже специальная книга «геолого-маркшейдерских предписаний», куда маркшейдер записывает свои замечания и указания, и все службы предприятия обязаны их выполнять. Почему маркшейдеру даются такие полномочия? Объясняется это просто. Маркшейдер выполняет все измерения на горном предприятии, и он точно знает, где в какой момент находится фронт работ и его состояние. Например, как далеко ведутся горные работы от каких-либо опасных объектов: карстовые полости, крупные тектонические разломы и т. п. И он обязан предупредить все службы об опасных проявлениях в окружающем пространстве, чтобы избежать аварийных ситуаций. А это очень

сложная и ответственная работа, требующая не только большого объёма знаний, но особого характера и склада ума. Работа, требующая не только большого объёма различных расчётов, но и умения анализировать возникающие ситуации, предвидеть и прогнозировать их появление.

Специфичность профессии маркшейдера заключается и в том, что он должен владеть знаниями обо всех видах производств. Он должен разбираться в технологиях:

- подземной разработки месторождений полезных ископаемых;

- всех видах открытой разработки;

- строительстве промышленных и гражданских объектов;

- поиска и разведки месторождений полезных ископаемых.

Уметь:

- определять и анализировать причины подвижки земной поверхности и объектов, расположенных на ней;

- работать с применением большого числа различных измерительных приборов: теодолитов, гиротеодолитов, нивелиров, тахеометров, сканеров, фотокамер и фототеодолитов, GPS аппаратурой.

Большая часть этих приборов имеет электронную начинку с встроенным специальным программным обеспечением. В чём же заключается сложность? Сейчас почти все телефоны снабжены GPS-модулями. Но мало кто знает, что координата местоположения, даже профессиональными приборами определяется с точностью всего лишь  $\pm 5$  м, а высота не точнее  $\pm 13$  м. Для бытовых нужд это вполне достаточно, маркшейдеру же измерения необходимо выполнять с точностью до сантиметров и даже миллиметров. Для этого следует помнить, что все измерения производятся в воздушном криволинейном пространстве, пронизанном магнитными и гравитационными полями, ведь Земля не плоскость и даже не шар. Это требует значительного уровня знаний поведения этих сред. Иными словами, маркшейдеру требуются глубокие знания в области физики, геофизики, оптики, фотографии, сферической геометрии, математики, статистики, информатики и ещё многих технических и фундаментальных наук.

Однако мало выполнить измерения, полученные результаты необходимо преобразовать в удобную для понимания форму, а для этого надо все измерения, выполненные в пространстве, привести к плоскости проекции и изобразить на бумаге – построить план или карту. Сегодня вся эта работа выполняется с применением персональных компьютеров и требует умения работать с большим количеством программного обеспечения.

Отметим, что маркшейдер это тот же геодезист, но обладающий значительными знаниями технологий в смежных отраслях различных производств: горном деле, геологии, строительстве и т. п.

В чём ещё особенность данной специальности? Дело в том, что хотя существуют различные инструкции и ГОСТ, определяющие правила проведения различных измерений, все измерения маркшейдером производятся каждый раз на другом участке земли или при других условиях, ведь природная среда не постоянна. Поэтому, прежде чем приступить к измерениям, маркшейдер должен выполнить предрасчёт своих будущих измерений, чтобы правильно выбрать приборы и методы измерения. Иначе работа может быть выполнена не на должном уровне и не с той степенью точности. Фактически, маркшейдер перед каждым видом работ должен составить проект выполнения этих работ с оценкой их точности.

### **7.3. Определение местоположения при помощи спутников**

В качестве примера рассмотрим, как кажется, простую задачу по определению координат точки стояния с помощью «Глобальной навигационной спутниковой системы» ГНСС (GNSS). Совсем недавно эта аббревиатура звучала иначе – «Глобальная система позиционирования» GPS и на сегодня ещё осталась в бытовых выражениях. Эту задачу маркшейдеру приходится выполнять достаточно часто при съёмках земной поверхности, карьеров и промышленных объектов.

Использование спутников для навигации и определения своего местоположения в бытовом понимании очень простая задача. Многие смартфоны (даже простые) снабжены модулями GPS-приёмников. Кстати, многие под термином GPS понимают Американскую спутниковую навигационную систему. На самом деле она

называется «Navstar» – от сокращённого «навигационная звезда». Рассмотрим это подробнее (см. рис. 7.7).

Для определения всех трёх координат точки  $A(X, Y, H)$  по данным со спутников, в принципе достаточно видеть всего три спутника и знать координаты их положения на небосводе. Для определения координат GPS-приёмнику, находящемуся в точке  $A$ , достаточно измерить расстояния  $R1, R2$  и  $R3$ . Так как расстояния  $S1, S2$  и  $S3$  могут быть вычислены из координат самих спутников через обратную геодезическую задачу (см. п. 1.7), мы получаем жёсткую перевернутую пирамиду с вершиной в искомой точке  $A$  и основанием с тремя спутниками.

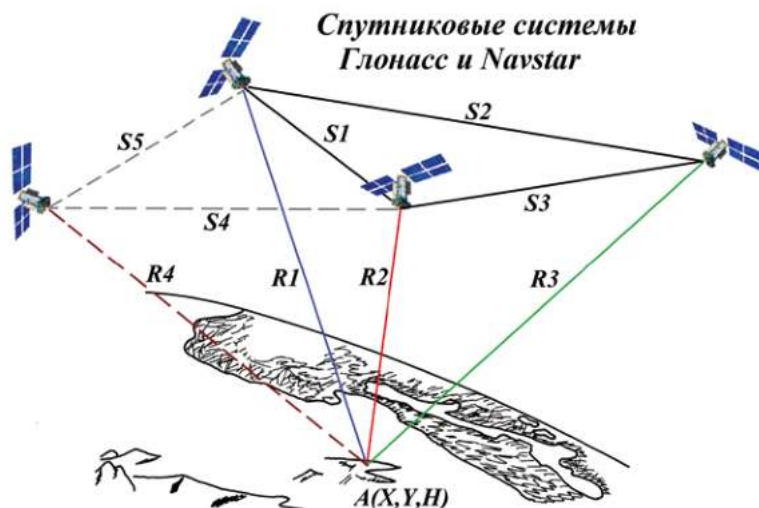


Рис. 7.7. Схема определения координат  $(X, Y, H)$  точки  $A$  с помощью спутниковых систем Глонасс и Navstar

Задача определения координат точки  $A$  решается при помощи элементарных формул тригонометрии. Четвёртый спутник (расстояния  $R4, S4$  и  $S5$  – показаны пунктиром) обычно используется для проверки результатов выполненных вычислений. На таком принципе и работают все навигационные системы. Однако на практике всё не так просто. Во-первых, все спутники постоянно движутся и с достаточно большой скоростью (около 14000 км/ч),

т. е. их координаты очень быстро меняются. Измерить расстояние до спутников тоже непросто. Радиолуч, при помощи которого выполняют измерение расстояния от приёмника до спутника, движется по криволинейной траектории, так как он проходит через слои ионосферы и атмосферы различной плотности, а расстояние не маленькое 19–20 тыс. км, это если спутник расположен над головой, а если в стороне (см. рис. 7.8). А ведь приёмник ГНСС может принять не прямой сигнал от спутника, а отражённый от какого-либо препятствия (гора, здание и т. п.).

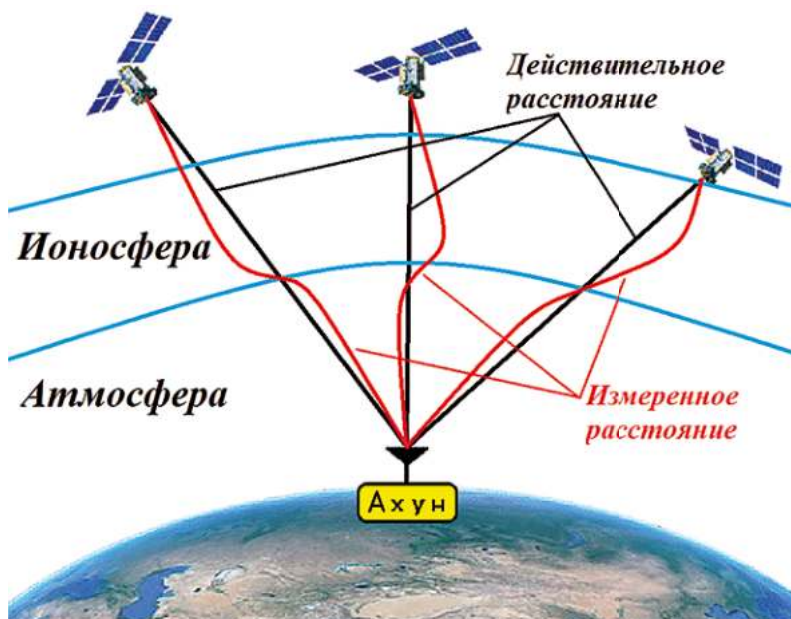


Рис. 7.8. Схема определения расстояний до спутников

Чтобы исключить большинство ошибок измерений, применяют специальные методики измерений:

- 1) измерения выполняются большое количество раз (продолжительность измерений);
- 2) измерения выполняются на двух частотах;
- 3) в измерениях участвует 4–16 спутников (как правило, не менее 6–8);

4) используют базовые (эталонные) станции, где определяются поправки, вводимые в измеряемые расстояния.

В результате получают серию координат искомой точки (см. рис. 7.9).

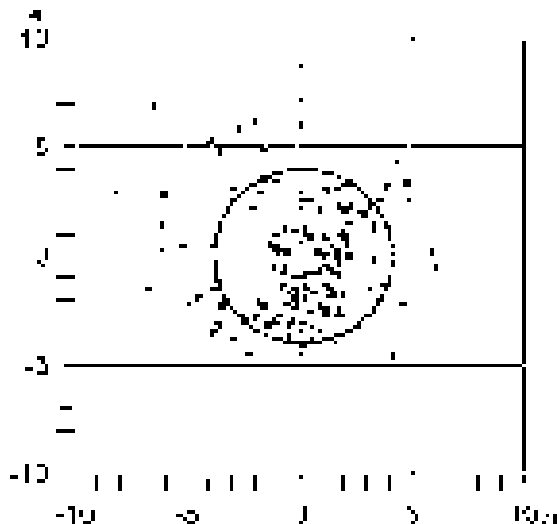


Рис. 7.9. Погрешность определения плановых координат точки по данным одного измерения, м

Как видно из рис. 7.9, погрешности отдельных определений координат могут превышать  $\pm 5$  м. Однако среднее из большого числа измерений может дать достаточно хорошие результаты. Однако высотные отметки определяются в 2,0–3,0 раза хуже по сравнению с плановыми координатами.

Для получения 10-сантиметровой точности необходимо применение хотя бы одной базовой станции, а для получения миллиметровой точности, кроме измерительного приёмника, называемого ровером, требуется не менее четырёх базовых станций.

Почему возникают такие сложности? В разделах, посвящённых геодезии, мы уже упоминали, что Земля имеет форму «геоида». Это очень сложная поверхность, форма которой определяется гравитационным полем Земли, с которой неудобно работать (см. рис. 7.10).

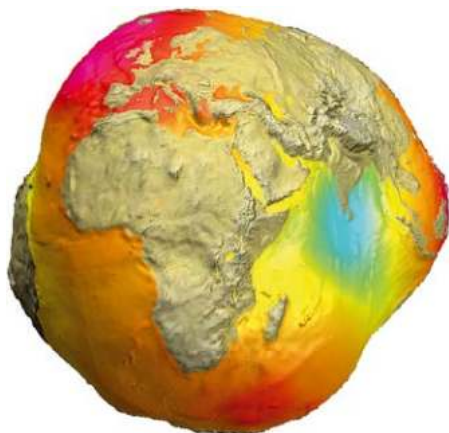


Рис. 7.10. Поверхность геоида, построенная по данным гравиметрической съёмки

Если построить разрез Земного шара, можно увидеть, как отличаются существующие поверхности друг от друга (см. рис. 7.11).



$h_1$  - высота относительно уровенной поверхности  
 $h_2$  - высота относительно поверхности референц-эллипсоида  
 $h_3$  - высота относительно геоцентрической системы координат (WGS-84, ПЗ-90.02)

Рис. 7.11. Схема соотношения поверхностей Земли

Обратите внимание, что «Геоид» или уровенная поверхность – «поверхность морей и океанов в спокойном состоянии,



*продолженная под материками*», имеет очень сложную форму. Поэтому советским учёным М. С. Молоденским в 1950-х гг. было предложено в качестве формы Земли использовать «*Квазигеоид*», форма которого определяется на основе гравиметрических измерений.

Отклонения поверхностей квазигеоида и геоида могут достигать 2 м. Отметим, что М. С. Молоденским разработаны формулы пересчёта координат из одной системы координат в другую.

Все картографические материалы строятся путём проектирования физической поверхности Земли на поверхность «*Референц-эллипсоида – эллипсоида Красовского 1942 г.*» – математически правильной фигуры эллипсоида вращения, размеры которого подобраны по специальным критериям (минимальные отклонения от физической поверхности Земли на территории РФ). Из рис. 7.11 видно, что высоты точки  $A(h_1, h_2 \text{ и } h_3)$  будут различны в зависимости от метода измерения.

По классической методике измерения высоты точки над уровнем моря (в РФ за нуль по высоте принят средний уровень Балтийского моря) выполняют геометрическим нивелированием. Особенность геометрического нивелирования заключается в том, что визирный луч прибора – нивелира всегда располагается перпендикулярно отвесной линии или параллельно уровенной поверхности геоида. Таким образом, все высоты точек Земли принято определять относительно уровенной поверхности, а в спутниковых системах координат (геоцентрическая система координат) высоты определяются относительно центра Земли, и пересчитываются на высоты от референц-эллипсоида. Так как разница между поверхностью референц-эллипсоида и уровенной поверхностью неизвестна (она в разных точках Земли различна), определение высотной отметки точки требует применения специальных методик измерений. На рис. 7.12 показаны соотношения различных определений высотной отметки точки  $M$ .

Для полной компенсации всех погрешностей в геодезической и маркшейдерской практике необходимо применение не только специальных профессиональных спутниковых приёмников, но и знание многих методик измерения, применение которых возможно только при определённых условиях. Результаты

измерений должны обрабатываться на специализированном программном обеспечении.

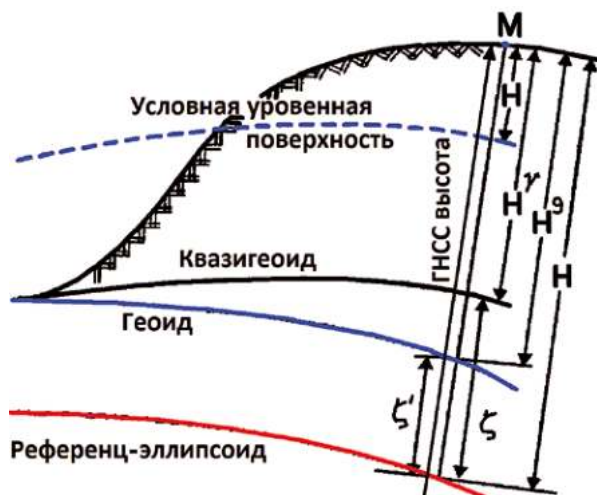


Рис. 7.12. Соотношение систем высот точки  $M$ , применяемых в геодезии и маркшейдерском деле

#### 7.4. Системы координат, применяемые в маркшейдерском деле

Ранее было дано описание применяемой в РФ и других странах «Зональной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса-Крюгера», иногда называемой «Проекцией Меркатора». Однако это классическое представление системы координат, применяемой в геодезии и картографии. На самом деле система координат, применяемая в том или ином государстве, определяется постановлениями правительства и другими законодательными актами. В частности, в РФ Постановлением Правительства РФ от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат», начиная с 1 января 2017 г., для использования в РФ принимаются две системы государственных координат:

1) геодезическая система координат 2011 г. (ГСК-2011) – для использования при осуществлении геодезических и картографических работ;

2) общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 г.» (ПЗ-90.11) – для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полётов и решения навигационных задач.

Этим же постановлением с 1 января 2017 г. отменяются:

1) система геодезических координат 1995 г. (СК-95), установленная Постановлением Правительства РФ от 28 июля 2000 г. № 568 в качестве единой государственной системы координат;

2) единая система геодезических координат 1942 г. (СК-42), введённая Постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. № 760.

Поясним сказанное. В разные времена, начиная с древних времён, для изображения поверхности Земли и различных объектов на ней применялись различные системы координат. Изменение применяемых систем координат связано с развитием технологий измерения и вычисления этих величин и точностью определения непосредственно размеров Земли (следует понимать, что размеры Земли со временем тоже могут изменяться), поэтому мы не будем перечислять их все, а назовём только некоторые из последних.

Началом истории построения в нашей стране единой геодезической системы координат можно считать 1816 г. С этого года, под руководством академика Петербургской академии наук, основателя и первого директора Пулковской обсерватории В. Я. Струве и генерала от инфантерии, почётного члена Петербургской академии наук К. И. Теннера, начались работы по проложению триангуляционного ряда по территории России от устья Дуная до Северного Ледовитого океана через Финляндию с включением территорий Швеции и Норвегии. Этот ряд триангуляции протяжённостью  $25^{\circ}20'$  получил впоследствии название дуги Струве (см. рис. 7.13).

В нашей стране до 1940 г. координаты пунктов получали в нескольких, несвязанных между собой системах координат. В Пулковской системе координат 1932 г. вычислялись координаты точек на земной поверхности в Европейской части страны, в Западной Сибири и Казахстане. Для определения координат пунктов Восточной Сибири и Дальнего Востока использовалась Свободненская система, в Средней Азии – Ташкентская, на Камчатке – Петропавловская СК 1936 г., в Колымо- Индигирском районе – Магаданская система координат 1932 г.



Рис. 7.13. Геодезическая дуга Струве-Теннера – мировое наследие ЮНЕСКО

Во всех перечисленных системах координат был принят эллипсоид Бесселя (1841), основные параметры которого: большая полуось  $a = 6\,377\,397$  м, полярное сжатие  $\alpha = 1:299.15$ .

Абсолютные высоты точек определялись от разных уровней поверхностей, совпадающих с уровнем Балтийского, Чёрного, Каспийского, Охотского и Японского морей. В связи с этим, возникали некоторые проблемы при производстве всех видов геодезических работ.

Однако в 1940 г. академиком Ф. Красовским впервые для СССР предложен трёхосный эллипсоид размеров Земли. Поэтому в 1946 г. в СССР была введена система координат 1942 г. (СК-42), иногда называемая Пулковской (*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук*). Она располагается в 19 км к югу от центра Санкт-Петербурга на Пулковских высотах.

Необходимость ввода такой системы координат вызвана острой необходимостью военного времени. В 1941 г. советские войска столкнулись с проблемой отсутствия точных топографических карт на большую территорию нашей страны, знаменитой двухверстки. Благодаря самоотверженному труду геодезистов, такие карты были созданы, а в 1943 г. геодезисты получили задание на построение карты Берлина. Так появились карты системы координат СК-42 (Пулковской 1942 г.). Окончательно эта система координат была введена только в 1946 г. Постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. № 760 на основе результатов выполненного уравнивания геодезических координат и высот на территории СССР. Так как сегодня эти карты не являются секретными, их можно свободно найти в сети Интернет.

На рубеже 1950–1960-х гг., в период ядерного противостояния, чтобы запутать противника, в СССР была введена специальная секретная система координат 1963 г. (СК-63). Карты в этой системе координат строились по 3-градусным зонам. Кроме того, они получали искусственное смещение центра координат на определённое расстояние по оси X и Y (разные расстояния) и поворот координатных осей на небольшой угол. Такие преобразования могли быть выполнены по-разному даже в пределах одной зоны. Поэтому система координат 1963 г. является чисто условной. В пределах области карты пронумерованы двумя цифрами – номер горизонтального ряда (нумерация снизу вверх) и номер вертикальной колонки (нумерация слева направо), которые и записываются в номенклатурный номер после буквы, что и составляет номенклатуру 1:100 000 карт. Для карт производных масштабов далее следует остальная часть номенклатурного номера, которая строится так же, как в СК-42. Топографические карты СК-63 легко отличить от карт СК-42: на их полях нет никаких надписей, кроме

номеров смежных листов. Номенклатурный номер на карте может выглядеть так: Р-47–083-Бв1. Проекция топографических карт масштаба 1:10000 в СК-63 использует 3-градусные зоны вместо стандартных 6-градусных. Соответственно искусственный сдвиг начала координат на запад имеет величину 250 км, а не 500 км, как при 6-градусных зонах. А вот система высот в СК-63 используется нормальная Балтийская. Высота в СК-63 равна высоте в СК-42.

Система координат СК-63 отменена Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР от 25 марта 1987 г. № 378–85. Однако параметры пересчёта до сих пор остаются секретными, хотя при наличии такой карты и современных инструментальных и программных средств определение их с достаточной точностью не составляет труда.

В 2000 г. с 1 июля Постановлением Правительства РФ от 28 июля 2000 г. № 568 «Об установлении единых государственных систем координат» введена система геодезических координат 1995 г. (СК-95), с «Параметрами Земли 1990 г.» (ПЗ-90).

Появление новой системы координат было вызвано тем, что проведённые современные исследования показали низкую точность определения координат исходных пунктов (пунктов Лапласа). Расхождения в координатах отдельных пунктов достигали 12,8 м, что недопустимо в современных условиях. Кроме того, возникла необходимость введения ещё и геоцентрической системы координат ПЗ-90 (аналог американской WGS-84), систем координат, широко используемых в области космической навигации. Однако и эти системы координат оказались неокончательными. Поэтому, как отмечалось ранее, с 1 января 2017 г. в РФ принимаются геодезическая система координат 2011 г. (ГСК-2011) и общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 г.» (ПЗ-90.11). Последняя система координат практически соответствует американской WGS-84 и международной земной системе координат – International Terrestrial Reference System (ITRF).

На территориях субъектов РФ Постановлением Правительства РФ от 3 марта 2007 г. № 139 «Об утверждении правил установления местных систем координат» разрешено введение местных условных систем координат.

Например, на территории Забайкальского края применяется система координат МСК-75 (по номеру региона). На самом деле эта старая система координат 1963 г., возможно, с внесёнными корректировками после очередного уравнивания государственных геодезических сетей.

Следует отметить, что специалисту-маркшейдеру, возможно, придётся работать со всеми этими системами координат. Это вызвано тем, что за многолетний период накоплен огромный картографический материал, который невозможно переделать в силу экономических соображений. Поэтому, работая с материалами прошлых лет, результаты своей работы придётся сдавать по требованиям современности. Для этого следует хорошо знать историю картографирования, нормативные документы и правовые акты, уметь выполнять преобразования из одной системы координат в другую. Надо чётко понимать порядок таких преобразований. Например, нельзя напрямую преобразовать координаты пунктов из системы координат WGS-84 в координаты системы СК-95. Необходимо сначала выполнить преобразования в систему координат СК-42, а затем из координат системы СК-42 получить координаты в системе СК-95, иначе ошибки преобразований будут значительны. Это связано с тем, что ключи перехода между системами существуют только для связей: (WGS-84 → СК-42) и (СК-42 → СК-95). Хотя при выполнении специальных методов калибровки возможны вычисления и (WGS-84 → СК-95), но точность таких преобразований будет ниже.

Сказанное относится только к плановым координатам X и Y. Для пересчёта высотных отметок требуются другие алгоритмы и не менее сложные.

## **7.5. О лицензировании маркшейдерской деятельности**

Особенность работы маркшейдера регламентируется не только инструкциями по производству маркшейдерских работ и т. п., но и постановлениями Правительства РФ, например: Постановление Правительства РФ от 28 марта 2012 г. № 257 «О лицензировании производства маркшейдерских работ». Чем вызвано такое отношение к данной профессии? Оказывается, хотя маркшейдер, работая на предприятии, и подчиняется непосредственно глав-

ному инженеру, он несёт и государственную ответственность. Дело в том, что все работы, выполняемые на горном предприятии, направляются и фиксируются непосредственно маркшейдером. Он выполняет разбивочные работы, т. е. указывает направление и объёмы выполнения большинства работ, которые должны полностью соответствовать проекту производства горных работ на данном предприятии. В процессе их выполнения маркшейдер обязан проверять правильность выполнения данных работ, фиксировать все отклонения от проекта производства работ, браковать их и даже имеет право остановить работы при возникновении опасной (чрезвычайной) ситуации. На каждом горном предприятии имеется книга геолого-маркшейдерских замечаний, в которой маркшейдер обязан фиксировать все отмеченные недостатки в производстве работ, а мастера и начальники участков обязаны их исправить. Маркшейдер обязан постоянно следить за состоянием ведения горных работ. Он должен заранее предупредить руководство предприятия о начале работ на особо опасных участках, которые он сам же и должен найти и указать. А так как все измерения на горном предприятии выполняет непосредственно маркшейдер, то и отчётность перед различными государственными органами приходится заполнять ему. Фактически, маркшейдер руководит горным производством наравне с главным инженером и директором горного предприятия.

Это накладывает на маркшейдера особый статус, а именно: работа по добыче полезных ископаемых разрешается только тем предприятиям, которые в своём штате имеют высококвалифицированного маркшейдера, имеющего высшее образование, стаж работы не менее двух лет и лицензию на ведение маркшейдерских работ, выданную Госгортехнадзором (с мая 2004 г. – Ростехнадзор).

Объясняется это тем, что ошибки, допущенные маркшейдером в работе, могут привести не только к материальным и финансовым потерям, но и к людским жертвам, если произойдет авария, связанная с неправильным ведением горных работ.

Поэтому маркшейдеры должны владеть большим объёмом знаний, обладать твёрдым требовательным характером, умением управлять большим коллективом людей, независимо от их ранга и статуса.



## 7.6. Проект производства маркшейдерских работ

Следует назвать ещё одну особенность работы маркшейдера – это составление *«Проекта производства маркшейдерских работ»*. Известно, что на каждом производстве существует *«проект производства работ»*, который определяет все технологические процессы, выполняемые на данном производстве, и регламенты их выполнения. Почему же требуется отдельный документ для работы именно маркшейдера? Дело в том, что как уже отмечалось ранее, работа маркшейдера связана с измерениями всех параметров и процессов горного производства. Измерения выполняются с помощью различных геодезических и маркшейдерских приборов, а также могут выполняться по разным методикам измерения и с разной точностью измерения. Поэтому маркшейдер перед каждым видом (способом) измерений должен выбрать приборы и методы измерения, исходя из требуемой точности получения конечных результатов. Конечно, многое имеется в инструкциях, однако месторождения полезных ископаемых уникальны, и нельзя предусмотреть все ситуации. Поэтому маркшейдер постоянно, перед выполнением каких-либо работ, должен проводить предрасчёт погрешности их выполнения. При этом он должен обосновать выбранную методику измерений и выбрать измерительные приборы. Вот почему для каждого горного предприятия на основные особо сложные виды маркшейдерских работ составляют проект производства маркшейдерских работ. Отметим, что такое положение существует и в строительных отраслях. Например, при строительстве жилого здания высотой более 15 этажей или строительстве уникальных сооружений необходимо составлять *«проект производства геодезических работ»*.

Приведём примерный перечень разделов такого проекта.

1. Общие положения.
2. Организация и проектирование маркшейдерских работ.
3. Маркшейдерские опорные и съёмочные сети на поверхности.
  - 3.1. Маркшейдерские опорные сети на поверхности.
  - 3.2. Маркшейдерские съёмочные сети на поверхности.
  - 3.3. Съёмочные работы на поверхности и в карьерах.

- 3.4. Съёмка земной поверхности.
- 3.5. Съёмка открытых горных выработок (карьеров).
- 3.6. Маркшейдерское обеспечение буровзрывных работ на карьерах.
- 3.7. Маркшейдерское обеспечение отвальных работ на карьерах.
- 3.8. Маркшейдерское обеспечение строительства и эксплуатации технологического транспорта на карьерах.
4. Маркшейдерский учёт объёмов горных работ на карьерах.
  - 4.1. Общие положения.
  - 4.2. Определение объёмов вынутых горных пород по маркшейдерской съёмке.
  - 4.3. Маркшейдерский контроль учёта объёмов вынутых горных пород.
5. Маркшейдерские съёмки при подземной разработке месторождения.
  - 5.1. Подземные маркшейдерские опорные сети.
  - 5.2. Подземные маркшейдерские съёмочные сети.
  - 5.3. Подземные маркшейдерские съёмочные работы.
  - 5.4. Задание направлений подземным горным выработкам.
  - 5.5. Маркшейдерское обеспечение проведения горных выработок встречными забоями.
  - 5.6. Маркшейдерский учёт движения запасов и нормирование потерь.
6. Маркшейдерское обеспечение горных работ в опасных зонах.
  - 6.1. Общие положения.
  - 6.2. Мероприятия по обеспечению безопасного ведения горных работ в опасных зонах на рудниках открытой разработки месторождения.
  - 6.3. Мероприятия по обеспечению безопасного ведения горных работ в опасных зонах на рудниках подземной разработки месторождения.
7. Маркшейдерское обеспечение составления планов развития горных работ.
  - 7.1. Общие положения.
  - 7.2. Разработка планов развития горных работ.

7.3. Маркшейдерские работы при эксплуатации стационарных установок.

7.4. Проверка подъёмных комплексов.

7.5. Маркшейдерские работы при эксплуатации кранов.

7.6. Проверка магистральных конвейеров.

8. Маркшейдерская документация.

8.1. Общие положения.

8.2. Журналы измерений и вычислительная документация.

8.3. Графическая документация.

8.4. Документация, подлежащая хранению.

9. ПРИЛОЖЕНИЯ:

1. Требования к помещениям маркшейдерской службы.

2. Маркшейдерско-геодезические инструменты и приборы.

3. Методика определения численности маркшейдерской службы на подземных и открытых горных работах.

4. Общие положения по метрологическому обеспечению маркшейдерских средств измерений.

5. Методика определения координат пунктов с использованием спутниковой аппаратуры.

6. Типы знаков для закрепления пунктов съёмочной сети.

7. Примеры решения геодезических засечек.

8. Оценка точности положения пунктов съёмочной сети.

9. Поправки за кривизну Земли и рефракцию.

10. Основные требования к топографическим планам.

11. Способы разбивки и съёмки траншей и съездов без буровзрывных работ.

12. Вычисление элементов кривых и способы их летальной разбивки.

13. Точность определения коэффициента разрыхления горных пород.

14. Рекомендуемые конструкции центров пунктов и реперов подземной маркшейдерской опорной и съёмочной сетей.

15. Проект построения (реконструкции) подземной маркшейдерской опорной сети.

16. Поправки в измеренную рулеткой длину линий.

17. Журнал вычисления координат пунктов полигонометрических ходов.

18. Съёмка подземных горных выработок фотопланиметрическим методом.
  19. Предварительная оценка точности смыкания забоев.
  20. Расчёт оптимального числа гиросторон и выбор мест их расположения при проведении сбоек.
  21. Методика маркшейдерской проверки многоканатной подъёмной установки.
  22. Предельные величины отклонений подкранового пути от проектного положения в плане и в профиле (ПБ 10–382–00).
  23. Маркшейдерский контроль состояния подкрановых путей при эксплуатации.
  24. Контроль прямолинейности стационарного конвейера.
  25. Оформление планшетов.
  26. Создание, ведение и хранение маркшейдерской горной графической документации в цифровом формате.
10. Литература.

В каждом пункте кратко описывается суть выполняемой работы, даются ссылки на номера нормативных документов и предрасчёт необходимой точности маркшейдерских работ с выбором типа приборов и методик измерения.

### **7.7. Использование современных геодезическо-маркшейдерских приборов**

Практически все маркшейдерские отделы повсеместно применяют современное электронное оборудование. Кажется, что можно только приветствовать такое положение дел. Однако первое, с чем сталкивается маркшейдер, это отсутствие инструктивных материалов по использованию этого оборудования. Торгующие организации постоянно хвалят тот или иной прибор, представляя его технические характеристики. Давайте подробнее рассмотрим некоторые ситуации.

Сейчас повсеместно начали применять электронные тахеометры. Они обладают высокой угловой точностью отсчитывания, как правило, имеют безотражательный дальномер и указатель направления дальностью работы до 500 м. Многие маркшейдеры и геодезисты такими приборами начинают выполнять работы технической точности, например, прокладывать обычный теодо-

литный ход. Сразу возникает противоречие: проложение теодолитного хода требует измерения длин линий стальной лентой с относительной точностью 1:2000 (что соответствует погрешности измерения 0,5 м на 1 км хода), в связи с чем инструкция разрешает максимальную длину такого хода не более 0,9 км при съёмке масштаба 1:500 и точности измерения длин сторон 1:3000 (что очень мало по современным меркам), а лазерный дальномер тахеометра измеряет длины сторон хода с точностью 2–4 мм на 1 км хода, давая относительную точность не менее 1:25000. Возникает желание увеличить длину теодолитного хода.

Для этого существует письмо Главного управления геодезии и картографии № 1–1075 от 11 ноября 1987 г., которое разрешает увеличить не длину хода, а количество сторон в теодолитном ходе до 10 между узловыми и даже до 20 сторон между исходными точками. При этом в письме не поясняется, какой длины может быть теодолитный ход. Выходит, если маркшейдер длины сторон возьмёт по 5 км, а это позволяют современные тахеометры, то длина хода может составить 100 км.

Вот тут и начинается маркшейдерское искусство. Маркшейдер должен рассчитать все возможные погрешности при измерениях и определить оптимальные значения расстояний, углов и количество сторон. Перечислим основные моменты:

- длины сторон нельзя брать менее 100 м. При коротких сторонах теодолитного хода падает точность измерения углов в теодолитном ходе;

- длины сторон не должны быть очень большими (хотя тут ограничений нет), так как с увеличением длины сторон возникает необходимость введения дополнительных поправок за кривизну Земли и рефракцию. А эти поправки зависят от температуры воздуха на измеряемом участке, давления и влажности воздуха, абсолютной высоты и перепада высот точек, между которыми измеряют расстояние.

С точки зрения профессионального решения лучше отказаться от теодолитного хода и перейти к построению полигонометрического хода 1-го или 2-го разряда, тем более, что электронный тахеометр это позволяет. Однако и тут не всё так просто. Все проводимые измерения должны опираться на исходные точки более

высокого класса (это золотое правило геодезии). А если их нет на этом участке?

Мы принципиально не приводим формулы (они достаточно сложны и требуют специальной математической подготовки), по которым выполняют такие расчёты. Данные расчёты изучают в специальных курсах геодезии и маркшейдерского дела, но об особенностях проводимых измерений маркшейдер и геодезист должен помнить всегда.

Повсеместно электронные тахеометры используются и для определения координат точки стояния методом обратной засечки. Однако в современных инструкциях формул определения погрешности решения такой задачи нет. Дело в том, что изменилась методика измерения, по которой стало достаточно двух исходных точек вместо трёх, так как дополнительно стали измерять и расстояния до исходных точек.

Проведённые натурные эксперименты и математическое моделирование показали, что при расстояниях до исходных точек около 1 км и перепаде высот 80–100 м, что типично для измерений на карьере средней мощности, погрешность определения координат искомой точки составит 6–10 см.

Маркшейдеру следует подумать, устроит ли его такая точность измерений или необходимо применить другую методику измерения.

В качестве ещё одного примера можно привести широко рекламируемые аэрофотосъёмки, выполняемые с беспилотников. Они действительно позволяют быстро получить съёмку больших участков местности. Но прежде чем соглашаться на такие услуги, следует внимательно ознакомиться с техническими характеристиками, причём не летательного аппарата, а фотокамеры, установленной на нём, так как именно она определяет точность выполненных измерений. Вот тут маркшейдер опять сталкивается с проблемой точности измерений.

Однако на находящиеся в широкой продаже беспилотники или вертолёты устанавливаются бытовые фотокамеры. Да, мы получим хорошую красивую картинку, именно картинку, так как в фотокамеры бытового уровня устанавливаются короткофокусные объективы с большим количеством линз. Вспомним школь-

ную физику, раздел оптики: луч света, проходя через среды различной плотности, преломляется.

В объективах бытового уровня присутствуют значительные искажения, а исправляются они современным программным обеспечением того же фотоаппарата. Поэтому наши глаза видят достаточно хорошую картинку, но это не даёт никакой гарантии о точности полученного материала. Насколько была откорректирована данная фотография, мы можем только догадываться.

В аэрофотосъёмке (на профессиональном уровне), как правило, должны использоваться длиннофокусные объективы с постоянным фокусным расстоянием. Такие объективы до сих пор применяются в так называемых профессиональных зеркальных фотоаппаратах. И такие фотокамеры имеют значительную стоимость. Поэтому быстрое выполнение работы не означает её высокое качество.

Используя современное электронное, зачастую высококачественное и дорогое оборудование, маркшейдер всегда должен помнить о правильности его применения и использованных методиках измерения. Он должен думать о точности выполненных измерений и не связывать эту точность только с технической точностью используемого оборудования. Следует помнить, что все измерения выполняются не в безвоздушном пространстве. На точность измерений влияет окружающая среда с её особенностями: наличие воздушной оболочки Земли, гравитационного и магнитного поля.

Например, как уже отмечалось, ошибки измерения ГНСС приёмников могут достигать значительных размеров, хотя координаты они всегда выдают с точностью до миллиметров. Нам приходилось сталкиваться со случаем, когда координата, определённая прибором, отличалась от действительной на 15 м.

Данная ошибка была вызвана близким расположением рядом с прибором двух вышек сотовой связи. Находясь на расстоянии около 50 м от GPS-приёмника, они искажали приём сигналов от спутников.

## **7.8. Применение современного программного обеспечения в маркшейдерской практике**

Решение маркшейдерских задач в XXI в. немыслимо без применения компьютерных технологий. Мы постепенно уходим от карт и планов, выполненных на бумажной основе. Нам уже привычно видеть карту местности или технический чертёж на экране монитора. Нам не нужны линейка, карандаш, транспортир и циркуль, чтобы выполнить какие-либо измерения на карте или плане. Это выполняется другими средствами и часто одним кликом компьютерной мыши. Компьютер и специальное программное обеспечение позволяют нам в несколько раз быстрее выполнять различные задачи, подсчитывать объёмы различных объектов, легко выполнять математические действия не только с числами, но и со сложными поверхностями, строить 3D модели реальных объектов.

Однако за этой простотой кроется и много подводных камней. Например, если оператор работает с картой местности масштаба 1:2000, в наиболее распространённой программе AutoCAD, то все координаты точек программа, в зависимости от настроек, выдаёт с точностью до одного миллиметра. Однако, как известно из теории геодезических съёмок, точность такой карты составляет всего 0,2 м. Это вызвано тем, что съёмка местности производится всегда дискретно, измеряемые точки берутся по сетке в среднем 30х30 м. Более мелкие детали, например рельефа, сглаживаются или просто теряются. В геодезии существует правило: нельзя из карты мелкого масштаба получить карту более крупного масштаба, например, из карты масштаба 1:1000 нельзя получить карту масштаба 1:500 (наоборот можно). На самом деле, трансформировать карту можно, но точность карты масштаба 1:500 будет ниже необходимой, т. е. останется такой же, как карты масштаба 1:1000, что недопустимо. Электронные же варианты карты нам никак об этом ни сообщают. Об этой особенности картографической продукции маркшейдер должен помнить всегда. Помнить, что точность изображённых на карте объектов зависит от исходной точности выполненной съёмки, а не от тех чисел, которые нам выдаёт компьютерная программа.



Поэтому, проводя обработку маркшейдерских измерений и используя современные средства программного обеспечения, следует помнить о точности вводимых исходных данных. Необходимо знать, что компьютерной программе безразлично, какие значения вы вводите в поля исходной формы. Как правило, программа проглотит всё, и только от специалиста (оператора) зависит, что и как она посчитает.

Ещё одна особенность использования специальных программ – это незнание алгоритма, по которому программа выполняет вычисления. Даже если к программе прилагается подробная инструкция, это не является гарантией того, что в ней подробно излагается алгоритм её работы. Это тоже важная часть работы маркшейдера. Он должен точно знать метод обработки исходной информации, так как от этого зависит точность конечных результатов. В России часто используются иные методы вычислений, чем принятые в других странах. И пока нам приходится использовать зарубежные программные средства вычислений, что следует учитывать.

### **Контрольные вопросы**

1. Каким первым документом регламентировались работы маркшейдера в Российской империи?
2. В чём состоит специфика работы маркшейдера на горном предприятии?
3. В чём заключается сложность определения координат точки стояния методом ГНСС?
4. Какова точность определения координат по результатам измерения ГНСС?
5. Почему сложно определить высоту точки по результатам ГНСС?
6. Какие системы координат применяются в РФ?
7. Какие системы координат вводятся с января 2017 г. в РФ?
8. В чём заключается сложность работы с системами координат в РФ?
9. Какими документами регламентируется работа маркшейдера в РФ?

10. Что такое проект производства маркшейдерских работ (ППМР)?

11. Из каких частей состоит проект производства маркшейдерских работ?

12. На что необходимо обращать внимание при работе на современных маркшейдерских приборах?

13. Как применять программное обеспечение и компьютерную технику при решении маркшедерских задач?

### **Рекомендуемая литература**

1. Агрикола Г. О горном деле и металлургии в двенадцати книгах (главах) / под. ред. С. В. Шухардина. М.: Недра, 1986. 294 с.

2. ГКИНП-02–033–82. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. М.: Недра, 1982. 160 с.

3. История маркшейдерии: учебное пособие / В. А. Букринский, М. Е. Певзнер, В. Н. Попов, П. В. Яковлев; под ред. М. Е. Певзнера. М.: Горная книга, 2007. 291 с.

4. Маркшейдерская энциклопедия / гл. ред. Л. А. Пучков. М.: Мир горной книги, 2006. 605 с.

5. Письмо Главного управления геодезии и картографии от 11 ноября 1987 г. № 1–1075. М.: ГУГК СССР, 1987. 8 с.

6. Постановление Правительства РФ «О единых государственных системах координат» от 28 декабря 2012 г. № 1463.

7. Постановление Правительства РФ «О лицензировании производства маркшейдерских работ» от 28 марта 2012 г. № 257.

8. РД 07–603–03. Инструкция по производству маркшейдерских работ / Госгортехнадзор России, 2004. 60 с.

9. РД 07–408–01. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр / Госгортехнадзор России, 2001. 7 с.

10. РД 07–604–03. Инструкция по маркшейдерскому учёту объёмов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом / Госгортехнадзор России, 2003. 13 с.

## Глава 8. Математический анализ маркшейдерских измерений

Прежде чем начать рассматривать этот вопрос, отметим, что среднеквадратические погрешности измерения от  $n$  параметров складываются квадратично

$$m_{об}^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_i^2 + \dots + m_n^2,$$

где  $m_{об}$  – общая (суммарная) погрешность измерения от  $n$  измеряемых параметров;

$m_1, m_2, m_i, m_n$  – среднеквадратические погрешности измерения отдельного параметра  $1, 2, \dots, i, n$ .

В дальнейшем все формулы будут приводиться в окончательном виде без их подробного вывода, который можно найти в специальной литературе.

### 8.1. Погрешность измерения горизонтального угла полигонометрического хода

Погрешность измерения горизонтального угла включает инструментальную ошибку и ошибку от эксцентриситета теодолита и сигналов. Инструментальная погрешность  $m_i$  (погрешность собственно измерения угла) зависит от качества используемых приборов и способов, применяемых при измерении угла.

При измерении угла способом «полных приёмов», погрешность его измерения составит (8.1)

$$m_i^2 = \frac{m_o^2 + m_v^2}{n}, \quad (8.1)$$

При измерении угла способом «повторений» (8.2)

$$m_i^2 = \frac{m_o^2}{2n^2} + \frac{m_v^2}{n}, \quad (8.2)$$

где  $m_o$  – среднеквадратическая погрешность отсчёта по теодолиту;

$m_v$  – среднеквадратическая погрешность визирования на сигнал;

$n$  – число полных приёмов или повторений.

С учётом длин сторон полигонометрического хода, погрешности эксцентриситета сигналов и погрешности центрирования теодолита (см. рис. 8.1) полная среднеквадратическая погрешность измерения угла примет вид (8.3)

$$m_{\beta}^2 = m_i^2 + \frac{\rho^2}{2a^2b^2} [e^2(a^2 + b^2) + e_c^2(a^2 + b^2 - 2ab\cos\beta)], \quad (8.3)$$

где  $m_{\beta}$  – общая (суммарная) погрешность измерения угла;

$m_i$  – инструментальная погрешность;

$e, e_c$  – эксцентриситет сигналов и теодолита (точность центрирования);

$a, b$  – длины сторон полигонометрического хода;

$\beta$  – значение измеряемого угла;

$\rho$  – значение радиана, выраженное в минутах (3437.74677) или секундах (206264.806).

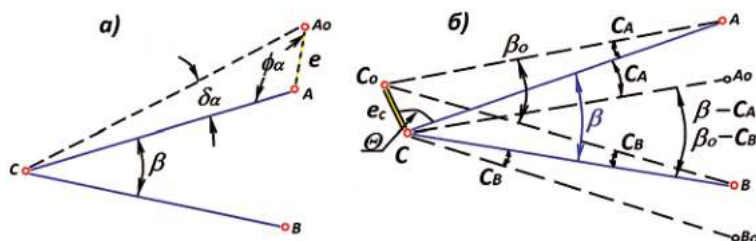


Рис. 8.1. Погрешности измерения угла:

а) от эксцентриситета сигнала; б) от центрирования теодолита

Анализ формулы показывает, что в подземных полигонометрических ходах преобладают наиболее неблагоприятные условия измерения горизонтальных углов (углы по величине близки к  $180^\circ$ , стороны часто сильно отличаются по длине), что заставляет маркшейдера особо тщательно центрировать теодолит и сигнал или применять трёхштативную систему измерения горизонтальных углов.

## 8.2. Погрешность измерения длин сторон полигонометрического хода

Длины сторон в ходах подземной полигонометрии измеряют стальной рулеткой, длинномером, мерной проволокой или лазерными рулетками.

Согласно инструкции, каждая сторона полигонометрического хода должна быть измерена независимо дважды – в прямом и обратном направлениях. Расхождение между двумя независимыми измерениями линии светодальномерами (электронными тахеометрами) – не более 10 мм, стальными рулетками – 1:3000 длины стороны.

Источники ошибок измерения длин сторон:

- 1) неправильность меры длины рулетки (ошибка компарирования);
- 2) температура в момент измерения;
- 3) неточный учёт провеса рулетки;
- 4) разница в натяжении рулетки рабочим и натяжением при компарировании;
- 5) неправильное провешивание сторон;
- 6) неточность в измерении угла наклона;
- 7) неточность проектирования на рулетку конечных точек;
- 8) неточность отсчётов по рулетке.

Кроме перечисленных восьми источников ошибок может оказаться ещё один-два каких-то неучтённых, поэтому для большей надёжности будем принимать количество источников за десять.

Так как величина расхождения двух измерений не должна быть более 1:3000, то длины должны измеряться с точностью не менее

$$1: 3000 \cdot \sqrt{2} = 1: 4300.$$

Чтобы гарантировать такую точность, необходимо допускать долю влияния каждого из источников не более

$$1: \frac{4300}{\sqrt{10}} = 1: 14000 \approx 1: 15000,$$

так как согласно инструкции мерные приборы должны быть прокомпарированы с ошибкой не более 1:15000.

Общую погрешность измерения стороны  $m_L$  можно определить по формуле (8.4)

$$m_L^2 = \mu^2 L + \lambda^2 L^2, \quad (8.4)$$

где  $m_L$  – общая погрешность измерения длины стороны полигонометрического хода;

$L$  – длина стороны полигонометрического хода;

$\mu, \lambda$  – безразмерные коэффициенты.

Коэффициенты  $\mu$  и  $\lambda$  находятся опытным путём и зависят:

– от принятого способа измерения длин;

– от условий, в которых проводились измерения.

Найденные коэффициенты должны относиться только к определённым конкретным условиям. Коэффициенты  $\mu$  и  $\lambda$  могут быть взяты из технической инструкции (см. табл. 8.1).

Таблица 8.1

Значения безразмерных коэффициентов для определения погрешности измерения длин линий полигонометрического хода

Средняя ошибка измерения угла, м	Выработки с углом наклона < 15°		Выработки с углом наклона > 15°	
	$\mu$	$\lambda$	$\mu$	$\lambda$
±20»	0,0005	0,00005	0,0015	0,00010

### 8.3. Погрешность определения координат последней точки свободного полигонометрического хода

Общую погрешность положения последней точки полигонометрического хода определяют согласно рис. 8.2.

Погрешность определяют из выражения (8.5), (8.6)

$$M_X^2 = M_{X\beta}^2 + M_{XL}^2 + M_{X\alpha}^2, \quad (8.5)$$

$$M_Y^2 = M_{Y\beta}^2 + M_{YL}^2 + M_{Y\alpha}^2, \quad (8.6)$$

где  $M_X, M_Y$  – общие погрешности положения последней точки по осям X и Y;

$M_{X\beta}, M_{Y\beta}$  – погрешности положения последней точки от погрешности измерения углов;

$M_{XL}, M_{YL}$  – погрешности положения последней точки от погрешности измерения длин;

$M_{Xa}, M_{Ya}$  – погрешности положения последней точки от погрешности дирекционного угла начальной стороны.

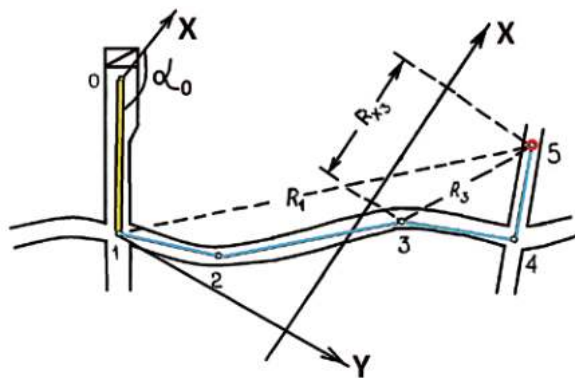


Рис. 8.2. Схема полигонометрического хода:

$R_l$  – длина замыкающей начальной 1 и конечной 5 точек хода;

$R_{x3}$  – приращение по оси X от конечной точки 5 до 3-й точки хода

Данные погрешности определяются из выражений (8.7)- (8.12):

$$M_{X\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Yi}^2 \cdot m_{\beta i}^2, \quad (8.7)$$

$$M_{Y\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Xi}^2 \cdot m_{\beta i}^2, \quad (8.8)$$

$$M_{XL}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^n L_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 R_1^2, \quad (8.9)$$

$$M_{YL}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^n L_i \sin^2 \alpha_i + \lambda^2 R_1^2, \quad (8.10)$$

$$M_{Xa}^2 = \frac{1}{\rho^2} R_{Y1}^2 \cdot m_{\alpha 0}^2, \quad (8.11)$$

$$M_{Ya}^2 = \frac{1}{\rho^2} R_{X1}^2 \cdot m_{\alpha 0}^2, \quad (8.12)$$

где  $R_{X_i}$ ,  $R_{Y_i}$  – приращения координат по осям X и Y от определяемой (последней) точки до остальных вершин полигонометрического хода;

$m\beta_i$  – погрешность измерения  $i$ -го угла;

$L_i$  – длина  $i$ -й стороны полигонометрического хода;

$\mu$ ,  $\lambda$  – безразмерные коэффициенты;

$\alpha_i$  – дирекционный угол  $i$ -й стороны полигонометрического хода;

$R_l$  – длина замыкающей начальной и конечной точек хода;

$R_{X_l}$ ,  $R_{Y_l}$  – приращения координат по осям X и Y от определяемой (последней) точки до начальной вершины полигонометрического хода;

$m\alpha_0$  – погрешность определения дирекционного угла начальной (исходной) стороны полигонометрического хода.

Если, согласно инструкции, для контроля и повышения точности свободный полигонометрический ход прокладывают два раза (в прямом и обратном направлениях), погрешности непосредственно измеренных величин (длины сторон, углы) следует уменьшить в  $\sqrt{2}$  раз.

#### 8.4. Предрасчёт погрешности сбойки горных выработок в пределах одной шахты

Предрасчёт погрешности смыкания забоев в плане выполняется по тем же формулам, что и в п. 8.3. На рис. 8.3 приведён план горных работ, на котором проведена ось будущей выработки (сбойки). Для выполнения предрасчёта выбирается условная система координат – продольная ось Y' и поперечная X'. Намечается точка встречи забоев 0. Так как основным направлением несмыкания забоев является ось X', погрешность смыкания встречных забоев вычисляется только для этой оси. Поперечная погрешность – по оси X' в зависимости от погрешностей измерения углов определится по формуле (8.13)

$$M_{X\beta}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Y_i}^2 \cdot m_{\beta_i}^2. \quad (8.13)$$

Погрешность смыкания встречных забоев, обусловленная погрешностями измерения длин сторон, находится по формуле (8.14)



$$M_{XL}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^n L_i \cos^2 \alpha_i. \quad (8.14)$$

Второе слагаемое определяет долю систематических погрешностей, так как замыкающая замкнутого полигонометрического хода равна нулю. Если измерение длин в ходе производится одним мерным прибором, то систематические ошибки не влияют на точность сбойки.

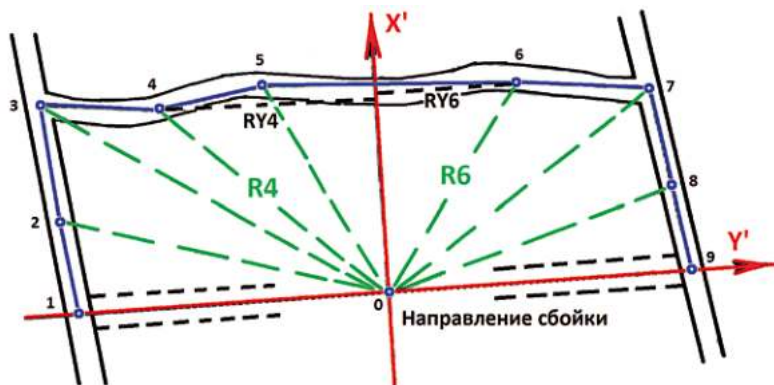


Рис. 8.3. Схема сбойки встречными забоями:  
RY4, RY6 – приращение по оси Y' от точки сбойки до 4 и 6-й точки хода

Общая погрешность смыкания встречных забоев (погрешность сбойки) вычисляют по формуле (8.15)

$$M_X^2 = M_{X\beta}^2 + M_{XL}^2. \quad (8.15)$$

### 8.5. Предрасчёт погрешности сбойки выработок из разных шахт

Предрасчёт погрешности сбойки выработок из разных шахт приведён на рис. 8.4, на котром показан план горных выработок двух разных шахт и ось проектной выработки, принятая за ось Y'. Проектное положение точки встречи забоев определено точкой 0.

На поверхности от подходного пункта проложены полигонометрические ходы *Ход1* и *Ход2* к стволам шахт Шх.-1 и Шх.-2. По каждому стволу произведена ориентировка, а далее по горным выработкам проложены ходы подземной полигонометрии *Ход3* и *Ход4*.

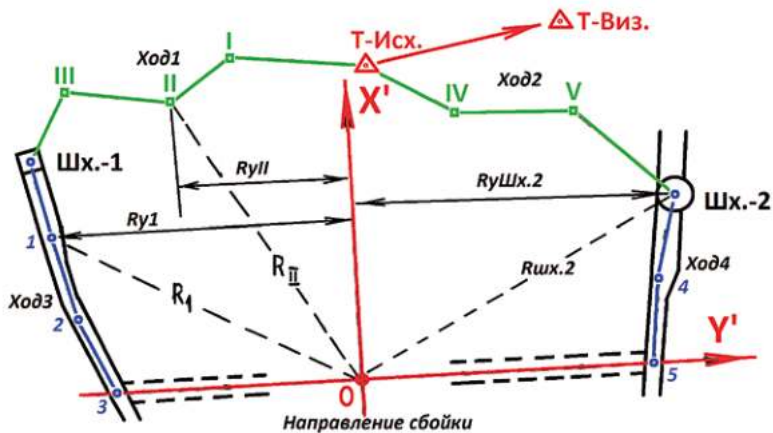


Рис. 8.4. Схема сбойки встречными забоями из разных шахт:  
 $R_{yI}$ ,  $R_{yII}$  – приращение по оси  $Y'$  от точки сбойки до 1-й и II точки хода

На точность сбойки в этом случае окажут влияние ошибки измерения углов и длин на поверхности и в шахте, а также ошибка ориентирования по тому и другому стволу (обычно это является наибольшей погрешностью).

Оценка точности сбойки производится отдельно по каждому из источников погрешностей, как и в предыдущем примере, относительно оси  $X'$ .

От погрешности измерения углов и длин линий на поверхности: Ход-1 (8.16)

$$M_{X\beta(1)}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Yi}^2 \cdot m_{\beta i}^2, \quad (8.16)$$

$$M_{XL(1)}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^n L_i \cos^2 \alpha_i,$$

Ход-2 (8.17)

$$M_{X\beta(2)}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Yi}^2 \cdot m_{\beta i}^2, \quad (8.17)$$

$$M_{XL(2)}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^n L_i \cos^2 \alpha_i.$$

От погрешности ориентирования шахт 1 и 2 (8.18)

$$M_{Xa(1)}^2 = \frac{1}{\rho^2} R_{Y1}^2 \cdot m_{\alpha(1)}^2, \quad (8.18)$$

$$M_{Xa(2)}^2 = \frac{1}{\rho^2} R_{Y2}^2 \cdot m_{\alpha(2)}^2.$$

От погрешности измерения углов и длин линий в горных выработках шахт:

Ход-3 (8.19)

$$M_{X\beta(3)}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Yi}^2 \cdot m_{\beta i}^2, \quad (8.19)$$

$$M_{XL(3)}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^n L_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 R_1^2,$$

Ход-4 (8.20)

$$M_{X\beta(4)}^2 = \frac{1}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{Yi}^2 \cdot m_{\beta i}^2, \quad (8.20)$$

$$M_{XL(4)}^2 = \mu^2 \sum_{i=1}^n L_i \cos^2 \alpha_i + \lambda^2 R_1^2.$$

Погрешность дирекционного угла (Т-Исх.-Т-Виз.) исходной стороны на поверхности не оказывает влияние на точность сбойки, так как она для обеих шахт является одинаково направленной.

Общая погрешность сбойки определяется как (8.21)

$$M_{X(Общ.)}^2 = M_{X\beta(1)}^2 + M_{XL(1)}^2 + M_{X\beta(2)}^2 + M_{XL(2)}^2 + M_{Xa(1)}^2 +$$

$$+ M_{Xa(2)}^2 + M_{X\beta(3)}^2 + M_{XL(3)}^2 + M_{X\beta(4)}^2 + M_{XL(4)}^2. \quad (8.21)$$

Учитывая, что все работы производятся минимум дважды, найденную погрешность необходимо разделить на  $\sqrt{2}$ . Так мы получим среднюю погрешность сбойки. В качестве предельной погрешности принимается утроенное значение средней погрешности (8.22)

$$M_{X(Пред.)} = \frac{3}{\sqrt{2}} M_{X(Общ.)}. \quad (8.22)$$

Предрасчёт погрешности смыкания забоев по высоте можно произвести упрощённым способом.

Погрешность нивелирования на поверхности (8.23)

$$M_{H(\text{пов.})} = \frac{20\sqrt{L_{\text{ход1}} + L_{\text{ход2}}}}{2}. \quad (8.23)$$

В числителе приведена предельная допустимая погрешность нивелирования IV класса, которая разделена на два, так как все допуски в инструкции взяты в виде двойных средних ошибок ( $L_{\text{ход1}} + L_{\text{ход2}}$  – суммарная длина нивелирного хода на поверхности в км).

Погрешности передачи высотной отметки в шахту (8.24)

$$M_{H(\text{Шах.1})} = \frac{10+0.2H_1}{2\sqrt{2}}; \quad M_{H(\text{Шах.2})} = \frac{10+0.2H_2}{2\sqrt{2}}. \quad (8.24)$$

Погрешности технического нивелирования в шахтах (8.25)

$$M_{HT(\text{Шах.1})} = \frac{50\sqrt{L_{\text{ход3}}}}{2}; \quad M_{HT(\text{Шах.2})} = \frac{50\sqrt{L_{\text{ход4}}}}{2}. \quad (8.25)$$

Общая средняя погрешность несмыкания забоев по высоте (8.26)

$$M_H = \sqrt{M_{H(\text{пов.})}^2 + M_{H(\text{Шах.1})}^2 + M_{H(\text{Шах.2})}^2 + M_{HT(\text{Шах.1})}^2 + M_{HT(\text{Шах.2})}^2}. \quad (8.26)$$

### Контрольные вопросы

1. Какими факторами определяется точность измерения горизонтального угла?
2. От чего зависит точность измерения длин линий?
3. Из чего складывается погрешность определения координат последней точки полигонометрического хода?
4. Почему общую погрешность измерения уменьшают в корень из двух, а затем утраивают её значение?
5. Из каких погрешностей измерений складывается ошибка несмыкания забоев?

### Рекомендуемая литература

1. ГКИНП (ГНТА)-03–010–02. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: ЦНИИГАиК, 2003. – 135 с.
2. Маркшейдерия: учебник для вузов / под ред. М. Е. Певзнера, В. Н. Попова. М.: Изд-во Московского гос. горного ун-та, 2003. 419 с.
3. РД 07–603–03. Инструкция по производству маркшейдерских работ / Госгортехнадзор России, 2004. 60 с.

## Заключение

В учебном пособии дана историческая справка о возникновении геодезических и маркшейдерских измерений, рассмотрены примеры современных методов измерения, проводимых как на земной поверхности, так и её недрах. Подробно изложены основы геодезических измерений, необходимых маркшейдеру в процессе обеспечения строительства горных предприятий и проведении предпроектных изысканий.

В своей жизни многие очень часто пользуются теми или иными геодезическими материалами и, не сознавая этого, выполняют работы, относящиеся по содержанию к геодезии. Все привыкли пользоваться географическими, историческими картами местности, различными туристскими схемами и т. п., выполнять на местности измерения расстояний, углов, направлений, площадей. Но ведь перечисленные работы и выполняют геодезисты и маркшейдеры. Знание основных приёмов геодезических измерений и методов построения карт и планов земной поверхности способствует более эффективному и правильному их использованию в повседневной жизни.

В заключительных главах книги рассмотрены особенности применения современных методик XXI в. маркшейдерских и геодезических измерений и съёмки, с которыми может столкнуться маркшейдер в практической деятельности; названы основные причины возникновения погрешностей измерений; приведены методы устранения или существенного их уменьшения. Также уделено внимание методам предварительной оценки погрешностей измерений, которая необходима при составлении проектов производства как геодезических, так и маркшейдерских работ. В учебном издании даны ссылки на нормативные источники, выполнение которых обязательно при производстве маркшейдерских работ.

Данное учебное пособие может быть рекомендовано для инженерно-технических работников маркшейдерских служб горных предприятий.

## Глоссарий

- Астрономия** – обеспечивает необходимые в геодезии исходные данные.
- Абрис** – схематический чертёж 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 уровенными поверхностями при изображении рельефа горизонталями.
- Географические координаты** – обобщённое понятие об астрономических и геодезических координатах, когда уклонения отвесных линий не учитывают.
- Географический (истинный) азимут** – горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана до заданного направления и изменяющийся от 0 до 360°.
- 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 закреплённых 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. Геодезические ходы классифицируют по виду применяемых приборов (например, тахеометрический ход, нивелирный ход); по геометрическим особенностям (например, замкнутый ход).

**Геодезия** – наука об определении формы, размеров Земли и изменениях 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.

**Глонасс** – глобальная навигационная спутниковая система РФ (ГНСС).

**ГНСС (GNSS)** – глобальная навигационная спутниковая система (ранее GPS – глобальная система позиционирования).

**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.

- Детальная разбивка кривой** – вынос точек кривой на местность через заданные интервалы.
- Дирекционный угол** – горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана данной зоны, или линии, параллельной ему до заданного направления.
- Дирекционный угол** – угол между проходящим через данную точку направлением и линией, параллельной оси абсцисс, отсчитываемый от северного направления оси абсцисс по ходу часовой стрелки.
- 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.
- Кадастр** – систематизированный свод сведений, составляемый периодически или путём непрерывных наблюдений над соответствующим объектом.
- Картография** – изучает методы и процессы отображения поверхности Земли и протекающих на ней процессов в виде различных, в том числе цифровых и электронных карт.
- Космическая геодезия** – рассматривает теорию и методы решения научных и практических задач на земной поверхности по наблюдениям небесных тел (Луна, Солнце, ИСЗ) и по наблюдениям Земли из космоса.
- Круговая кривая трассы** – часть оси трассы проектируемого сооружения, представляющая собой дугу окружности.
- Крутизна ската** – угол, образуемый направлением ската с горизонтальной плоскостью в данной точке.
- Магнитный азимут** – горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнит-



ного 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 её начальной и конечной точек.

**Обратная засечка** – засечка, выполняемая на определяемой точке.

**Ориентирование шахты** – вид соединительной съёмки. Передача направления (дирекционного угла) с дневной поверхности в шахту.

**Осевой меридиан** – меридиан, принятый за ось какой-либо системы координат на поверхности.

**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 определённому математическому закону поверхность земного эллипсоида.

**Плоскость геодезического меридиана** – плоскость, проходящая через нормаль к поверхности земного эллипсоида в данной точке и параллельная его малой оси.

**Плоскость начального меридиана** – плоскость меридиана, от которой ведётся счёт долгот.

**Погрешность измерения** – отклонение измеренной величины от её истинного значения.

**Полигонометрия** – метод построения геодезической сети путём измерения расстояний и углов между пунктами хода.

**Превышение** – разность высот точек.

- Продольный профиль трассы** – профиль местности по оси трассы проектируемого сооружения.
- Проектная отметка** – высота точки относительно исходного уровня, заданная проектом.
- Прямая геодезическая задача** – определение координат конечной точки линии по её длине, направлению и координатам начальной точки.
- Прямая засечка** – засечка, выполняемая с исходных пунктов.
- Разбивочный чертёж** – чертёж, 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 её меридианом и линией, параллельной оси абсцисс или осевому меридиану.
- Сбойка** – горные выработки, проходка которых осуществляется навстречу друг другу или последовательно вдогонку.
- 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 съёмка** – топографическая съёмка, выполняемая при помощи тахеометра.
- Топографическая съёмка** – комплекс работ, выполняемых с целью получения съёмочного оригинала топографической

карты или плана, а также получение топографической информации в другой форме.

**Топография** – изучает небольшие участки земной поверхности, которые без ущерба для точности можно проектировать на плоскость без учёта 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.

**Фактическая отметка** – существующая высота точки относительно исходного уровня.

**Фотограмметрия** – решает задачи измерений по аэрофото- и космическим снимкам для различных целей, в том числе для получения карт и планов, обмеров зданий и сооружений и т. п.

**Центр геодезического пункта** – устройство, являющееся носителем координат геодезического пункта.

## Библиографический список

1. Агрикола, Г. О горном деле и металлургии в двенадцати книгах (главах) / Г. Агрикола; под. ред. С. В. Шухардина. – Москва: Недра, 1986. – 294 с.
2. Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: в 2 т. / К. М. Антонович. – Москва: Картогеоцентр, 2006.
3. Багратуни, Г. В. Инженерная геодезия / Г. В. Багратуни. – Москва: Недра, 1984. – 344 с.
4. Борщ-Компониец, В. И. Геодезия, основы аэрофотосъёмки и маркшейдерского дела / В. И. Борщ-Компониец: учебник для вузов. – Москва: Недра, 1984. – 448 с.
5. Брайт, П. И. Геодезические методы измерения деформаций оснований сооружений / П. И. Брайт. – Москва: Наука, 1965. – 464 с.
6. Букринский, В. А. История маркшейдерии: учебное пособие для вузов / В. А. Букринский, М. Е. Певзнер, В. Н. Попов, П. В. Яковлев; под ред. М. Е. Певзнера. – Москва: Горная книга, 2007. – 291 с.
7. Верхотуров, А. Г. Инженерная геодезия: метод. указ. к лабораторным работам / А. Г. Верхотуров. – Чита: ЧитГУ, 2002. Ч. 1. – 35 с.
8. ВСН 5–81. Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений. Минавтодор. РСФСР. – Москва: Транспорт, 1983. – 104 с.
9. ВСН-208–89. Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог. – Москва: Минтранс СССР, 1989. – 60 с.
10. Генике, А. А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и её применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский. – Москва: Картоцентр, 1999. – 272 с.
11. ГКИНП (ГНТА)-03-010-02. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – Москва: ЦНИИГАиК, 2003. – 135 с.
12. ГКИНП-02-033-82. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – Москва: Недра, 1982. – 160 с.
13. Гладкий, В. А. Городской кадастр и его картографо-геодезическое обеспечение / В. А. Гладкий, В. А. Спиридонов. – Москва: Недра, 1992. – 280 с.

14. ГОСТ 21.508-93. Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. – Москва: Стандарты, 1993. – 16 с.
15. ГОСТ 22268-76. Геодезия. Термины и определения. – Москва: Госстандарт СССР, 1976. – 32 с.
16. ГОСТ 24846-81. Грунты: методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений. – Москва: Стандарты, 1981. – 26 с.
17. ГОСТ 26433.2-94. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений параметров зданий и сооружений. – Москва: Стандарты, 1981. – 17 с.
18. ГОСТ Р 51872-2002. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения. – Москва: Стандарты, 2002. – 12 с.
19. Инженерная геодезия / под ред. А. С. Кучко. – Москва: Высшая школа, 2000. – 420 с.
20. Инженерная геодезия / под ред. С. П. Закатова. – Москва: Недра, 1976. – 583 с.
21. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Е. Б. Ключин, Киселев М. И., Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман. – Москва: Академия, 2004. – 480 с.
22. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – Москва: Недра, 2004. – 244 с.
23. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – Москва: Недра, 1985. – 152 с.
24. Левчук, Г. П. Прикладная геодезия / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, Н. Н. Лебедев. – Москва: Недра, 1981. – 438 с.
25. Маслов, А. В. Геодезические работы при землеустройстве / А. В. Маслов, А. Г. Юнусов, Г. И. Горохов. – Москва: Недра, 1990. – 287 с.
26. Маркшейдерская энциклопедия / гл. ред. Л. А. Пучков. – Москва: Мир горной книги, 2006. – 605 с.
27. Маркшейдерия: учебник для вузов / под ред. М. Е. Певзнера, В. Н. Попова. – Москва: Изд-во Московского государственного горного университета, 2003. – 419 с.
28. Митин, Н. А. Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах / Н. А. Митин. – Москва: Недра, 1973. – 469 с.
29. Михилев, Д. Ш. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений / Д. Ш. Михилев, И. В. Рунов, А. И. Голубцов. – Москва: Недра, 1977. – 152 с.

30. Новак, В. Е. Практикум по инженерной геодезии / В. Е. Новак. – Москва: Недра, 1986. – 273 с.
31. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации. ГКИНТП (ГНТА)-01-006-03. – Москва: Федеральная служба геодезии и картографии России, 2004. – 28 с.
32. Письмо Главного управления геодезии и картографии № 1–1075 от 11 ноября 1987. – Москва: ГУГК СССР, 1987. – 8 с.
33. Постановление Правительства РФ «О единых государственных системах координат» от 28 декабря 2012 г. № 1463.
34. Постановление Правительства РФ «О лицензировании производства маркшейдерских работ» от 28 марта 2012 г. № 257.
35. Практикум по прикладной геодезии: геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений / Е. Б. Ключин [и др.]. – Москва: Недра, 1993. – 368 с.
36. Приказ ФГУГК от 5 августа 2002 г. № 114-пр. (зарегистрировано в Минюсте РФ 20 августа 2002 г. № 3713). Приложение – Инструкция о порядке предоставления в пользование и использования материалов и данных федерального картографо-геодезического фонда.
37. РД 07-408-01. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр / Госгортехнадзор России, 2001. – 7 с.
38. РД 07-603-03. Инструкция по производству маркшейдерских работ / Госгортехнадзор России, 2004. – 60 с.
39. РД 07-604-03. Инструкция по маркшейдерскому учёту объёмов горных работ при добыче полезных ископаемых открытым способом / Госгортехнадзор России, 2003. – 13 с.
40. РСН 73-88. Инженерные изыскания для строительства. НПО «Стройизыскания» Госстроя РСФСР. – Москва, 1986. – 18 с.
41. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. – Москва: Стройиздат, 1981. – 60 с.
42. Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами. – Москва: Энергия, 1980. – 200 с.
43. Седун, А. В. Практические работы по геодезии и разбивочным работам при строительстве автомобильных дорог / А. В. Седун, В. И. Лиманов: учебное пособие. – Москва: Недра, 1991. – 205 с.
44. Смолич, С. В. Работа с топографической картой: метод. указ. / С. В. Смолич, В. И. Савельева. – Чита: ЧитГУ, 1999. – 30 с.

45. СН-212-73. Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства. – Москва: Стройиздат, 1974. – 152 с.
46. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. – Москва: Стройиздат, 1985. – 40 с.
47. СНиП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве. – Москва: ЦИТЛ Госстроя СССР, 1985. – 28 с.
48. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги. – Москва: ЦИТЛ Госстроя СССР, 1986. – 85 с.
49. СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства: основные положения. – Москва, 1996. – 53 с.
50. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / В. Д. Большаков. – Москва: Недра, 1980. – 781 с.
51. Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения: руководящий технический материал. – Москва: ЦНИИГАиК, 2001. – 28 с.

Учебное издание

**Смолич** Сергей Вениаминович  
**Верхотуров** Алексей Геннадьевич  
**Юдина** Ирина Никитична

## ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ И МАРКШЕЙДЕРИИ

Редактор А. А. Рыжкова  
Вёрстка С. Я. Непомнящих

Подписано в печать \_\_.12.2016.  
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.  
Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman.  
Уч.-изд. л. 5,8. Усл. печ. л. 8,4.  
Тираж 100 экз. Заказ № 16345.

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»  
672039, Чита, ул. Александрово-Заводская, 30