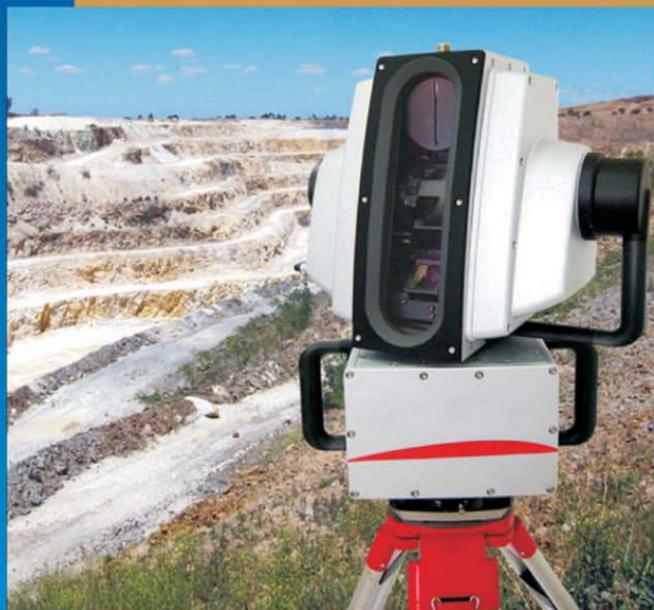


ВУЗ

студентам
учреждений
высшего
образования

М.С. Нестеренок

ГЕОДЕЗИЯ



М.С. Нестеренок

ГЕОДЕЗИЯ

Допущено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальности «Разработка месторождений
полезных ископаемых»



Минск
«Вышэйшая школа»
2012

УДК 528 (075.8)
ББК 26.1я73
Н56

Рецензенты: кафедра прикладной геодезии и фотограмметрии УО «Полоцкий государственный университет» (доктор технических наук, профессор *В.И. Мицкевич*); кандидат технических наук, доцент *М.М. Иванова*

Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.

Нестеренок, М. С.
Н56 Геодезия : учеб. пособие / М. С. Нестеренок. – Минск :
Выш. шк., 2012. – 288 с. : ил.
ISBN 978-985-06-2199-3.

Рассматриваются основы теории и практики инженерно-геодезических работ и наземных маркшейдерских съемок, необходимых для освоения практики и получения базовой подготовки. Даны сведения о современных средствах измерений, применяемых в геодезии (электронных тахеометрах, лазерных рулетках, спутниковых приборах, сканерах).

Для студентов учреждений высшего образования.

УДК 528(075.8)
ББК 26.1я73

Учебное издание
Нестеренок Маргарита Сергеевна

ГЕОДЕЗИЯ

Учебное пособие

Редактор *Ю.А. Мисюль*. Художественный редактор *В.А. Ярошевич*.
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*.
Корректоры *Т.В. Кульнис*, *О.В. Ракицкая*.
Компьютерная верстка *И.В. Войцехович*.

Подписано в печать 21.11.2012. Формат 84×108/32. Бумага офсетная. Гарнитура «Ньютон».
Офсетная печать. Усл. печ. л. 15,12. Уч.-изд. л.16,2. Тираж 900 экз. Заказ 384.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Вышэйшая школа”».
ЛИ № 02330/0494062 от 03.02.2009. Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
<http://vshph.com> e-mail: info@vshph.com

Открытое акционерное общество «Полиграфкомбинат им. Я. Коласа».
ЛП № 02330/0150496 от 11.03.2009. Ул. Корженевского, 20, 220024, Минск.

ISBN 978-985-06-2199-3

© Нестеренок М.С., 2012
© Оформление. УП «Издательство
“Вышэйшая школа”», 2012

ОТ АВТОРА

Для подготовки инженеров по специальности «Разработка месторождений полезных ископаемых» предусмотрено изучение дисциплины «Геодезия, маркшейдерское дело и геометризация недр», которая включает три раздела: «Геодезия»; «Маркшейдерское дело и геометризация недр. Горные работы в открытых выработках»; «Маркшейдерское дело и геометризация недр при ведении подземных горных работ».

В настоящем учебном пособии, представляющем раздел «Геодезия», рассматриваются основы теории и практики инженерно-геодезических работ и маркшейдерско-геодезических съемок на земной поверхности. Знания и умения, полученные при освоении данного материала, необходимы в дальнейшем при изучении последующих двух разделов названной дисциплины.

В предлагаемом учебном пособии маркшейдерско-геодезические работы рассмотрены с применением как традиционной, так и современной геодезической техники (электронных тахеометров, лазерных рулеток, спутниковых приборов, сканеров).

Учебное пособие написано в соответствии с учебной программой «Геодезия, маркшейдерское дело и геометризация недр» для студентов высших учебных заведений. Будет полезно учащимся средних специальных учебных заведений.

Автор выражает искреннюю благодарность рецензентам: доктору технических наук, профессору В.И. Мицкевичу и кандидату технических наук, доценту М.М. Ивановой за внимательное рассмотрение рукописи, замечания и рекомендации которых полностью учтены.

Пожелания и предложения по настоящему изданию просим присылать по адресу: УП «Издательство “Вышэйшая школа”», пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

ВВЕДЕНИЕ

Краткие сведения о развитии геодезии и маркшейдерского дела

Геодезия возникла в древние времена, когда появилась необходимость межевать землевладения и вычислять их площади, выполнять измерения, необходимые при строительстве различных сооружений и придании им определенных геометрических форм и размеров, задавать уклоны искусственных водотоков, составлять чертежи участков земной поверхности и сооружений и др. Сохранился папирус с картой Персии, составленной 4,5 тыс. лет назад, на нем приведены расчеты площади изображенной территории. В Китае в XI–XIII вв. до н.э. были проведены большие работы по картографированию «всей Земли». В Древнем Египте, в античной Греции в III–II вв. до н.э. для измерений на местности и в строительстве использовались различные технические средства: меры длины, отвесы, угольники, водяные уровни, угломерные устройства – диоптры. На такой практической основе оформилась наука *геометрия* (землеизмерение). Термин *геодезия* (землеразделение) впервые встречается в трудах Аристотеля (384–322 гг. до н.э.) для обозначения выделившейся из геометрии того времени науки о межевании земель, включающей расчеты их площадей и описание средств измерений на местности. Научные основы геодезии того времени отражены в трудах Герона Александрийского «О диоптрах», «Измерение площадей». Эратосфен (276–194 гг. до н.э.) наблюдениями с горы определил на горизонте место видимого совпадения сферической поверхности моря с практически прямой береговой линией и, измерив длину береговой дуги между точкой совпадения и точкой берега у горы, рассчитал близкий к действительному радиус Земли (≈ 6 тыс. км).

Маркшейдерское дело зародилось в древние времена как искусство геодезических измерений при добыче полезных ископаемых через довольно сложные подземные выработки. Изначально в маркшейдерских работах и в геодезии использовались практически одинаковые средства измерения и об-

щие теоретические основы их применения, например, направления прямых линий и углы между ними определяются в проекции на горизонтальную плоскость, вертикаль обозначается отвесом, ориентирование подземных выработок осуществляется построением сети геометрически связанных геодезических фигур на поверхности и под землей и др.

Термин «маркшейдерское дело» (в прошлом — «маркшейдерское искусство») произошел от нем. *Markscheidenkunst* (*Mark* — граница, межа; *scheiden* — разделять, различать; *Kunst* — искусство), дословно переводится как искусство устанавливать границы, возник в процессе развития горного дела и в частности в связи с необходимостью устанавливать границы между горными выработками частных предпринимателей. Научно-практические основы маркшейдерского дела развиваются в неразрывной связи с общим становлением геодезии и геодезического приборостроения. Например, в исторически длительном процессе постепенного усовершенствования методов геодезических измерений по изучению и картографированию земной поверхности в 1616 г. голландский ученый Снеллиус предложил определять большие расстояния методом триангуляции, т.е. при помощи цепочки треугольных фигур, в которых измерены все горизонтальные углы и не менее двух базисных сторон.

Для экспериментальной проверки открытого И. Ньютоном закона всемирного тяготения и подтверждения его теоретических выводов о полярном сжатии Земли, определения размеров ее геометрической модели — земного эллипсоида — ученые международных научно-геодезических экспедиций в 1792–1797 гг. методом триангуляции измерили длину отрезка дуги меридиана вдоль экватора (Перуанские градусные измерения) и длину отрезка дуги в северных широтах (около 60–66° с. ш. — Лапландские градусные измерения). Они впервые достаточно точно для того времени определили размеры земного эллипсоида и существование научно предсказанного сжатия планеты. Затем градусные измерения легли в основу определения единицы длины: метр был принят равным $1 : 10\,000\,000$ четверти длины дуги «парижского меридиана» (протяженностью от экватора до Северного полюса).

Первые научно обоснованные геодезические работы на территории современной Беларуси начались в 1816–1821 гг., когда корпусом военных топографов была создана первая в России Виленская опорная сеть триангуляции и на ее основе

получены точные топографические карты. В годы существования СССР территория республики была обеспечена геодезическими опорными сетями (в виде составной части геодезической сети СССР). На их основе создавались необходимые для народного хозяйства и обороны страны топографические карты масштаба 1 : 10 000 и 1 : 25 000, крупномасштабные планы городов, промышленных и горных предприятий, сельскохозяйственных и лесных земель.

После 1960-х гг. оптико-механические и механические геодезические приборы для измерений на местности и относительно простые вычислительные устройства стали вытесняться автоматизированными средствами измерения расстояний, превышений, углов и средствами компьютерной обработки информации для получения различных конечных видов геодезической и маркшейдерской продукции. Спутниковые методы в геодезии получили эффективное развитие с 1990-х гг. и обеспечили высокую точность геодезических работ, снижение их стоимости, совершенствование технологий наземных и воздушных съемок и др.

Начало маркшейдерско-геодезических работ на территории Беларуси можно отнести ко времени осуществления промышленной разработки торфяных месторождений (1930-е гг.). Сложный комплекс маркшейдерских работ выполняется на Солигорском калийном комбинате с 1960 гг. и будет производиться на новых предприятиях по добыче калийных солей. В настоящее время наблюдения за движением земной поверхности над соляными выработками производятся наземными геодезическими и спутниковыми методами.

Современное маркшейдерско-геодезическое сопровождение добычи полезных ископаемых открытым способом должно выполняться с помощью электронных тахеометров и сканеров с компьютерной обработкой текущей и накопленной информации. В таких маркшейдерских съемках эффективное применение должны получить и геодезические приборы спутникового определения координат опорных наземных точек.

Высокую геометрическую точность строительства Минского метрополитена обеспечивает его маркшейдерско-геодезическая служба, которая применяет современные высокоточные теодолиты, цифровые нивелиры, лазерные светодальномеры, электронные тахеометры.

ГЛАВА 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГЕОДЕЗИИ

1.1. Предмет геодезии и его применение в маркшейдерских работах

В процессе развития геодезии выделился ряд связанных между собой научных дисциплин. Среди них следует назвать те, которые в определенной мере учитываются или используются в маркшейдерских работах:

- *космическая (спутниковая) геодезия*, рассматривающая методы координатных описаний движения искусственных навигационных спутников Земли в режиме реального времени для решения геодезических задач методами, основанными на определении расстояний от наземных приемников до спутников, излучающих специальные радиосигналы;

- *высшая геодезия*, изучающая методы определения формы и размеров планеты Земля, методы координатных определений на ее поверхности, современные движения земной коры и их прогнозирование с использованием астрономических, гравиметрических, геодезических измерений и спутниковых систем позиционирования;

- *топография* (греч. *topos* – поверхность, *grafos* – рисую), рассматривающая методы производства измерений на земной поверхности, аэрокосмические методы зондирования земной поверхности, обработки их результатов и представления для создания топографических карт и планов;

- *фотограмметрия*, рассматривающая методы расчета параметров аэрофотосъемки и спутниковой съемки для получения стереографического изображения и пространственной модели участков земной поверхности, на основе которого аналитическими методами создаются топографические карты; в настоящее время внедряются технологии цифровой фотограмметрии на основе сканерных съемок местности;

- *картография*, изучающая теоретические основы картографических проекций и технологию создания карт и планов земной поверхности различного назначения в графических и цифровых представлениях для отображения на них различных

природных и техногенных объектов, иллюстрирования разнообразных показателей природной среды и человеческой деятельности, разработки с их помощью рациональных методов природопользования и др.;

- *инженерная геодезия*, развивающая методы геодезических измерений в инженерных и прикладных исследовательских и народнохозяйственных задачах, например при строительстве всех видов сооружений, монтаже и наладке сложных машин, технологических линий, изысканиях для строительства, при разведке, разработке и охране природных ресурсов, землеустройстве, лесоустройстве и др.;

- *маркшейдерское дело*, рассматривающее применение геодезии в горнодобывающей промышленности, строительстве тоннелей и других подземных сооружений. Маркшейдерское дело как наука развивает вопросы картографирования территории горного предприятия, методы измерений на земной поверхности, в наземных и подземных выработках, проводимых при выполнении горнопроходческих работ, установке горного оборудования и машин, отображении на планах и профилях (маркшейдерских чертежах) контуров залежей полезного ископаемого, очертаний горных выработок и др. Многие виды маркшейдерских работ, производимых на земной поверхности, по содержанию и методам выполнения не отличаются от геодезических и поэтому их называют также *маркшейдерско-геодезическими*.

Традиционные методы геодезических и маркшейдерских работ основаны на измерениях углов, расстояний и превышений. Для выполнения таких работ применяются угломерные приборы (теодолиты), стальные рулетки, светодальномеры, нивелиры, электронные тахеометры (автоматизированные угломерно-дальномерные приборы). Вычислительная обработка данных измерений производится при помощи компьютеров. Конечные результаты съемок (пространственные координаты точек, планы и профили подземных выработок, объемы добытых и подлежащих извлечению полезных ископаемых и др.) выдаются в цифровой и графической формах.

На участках земной поверхности, на которых и под которыми извлекают полезные ископаемые, и сопредельных площадях происходят изменения режима подземных и поверхностных вод и другие, часто чрезмерные, нарушения сложившегося химико-биологического состояния природной среды. К причинам экологических нарушений относятся также осе-

дание земной поверхности и размывание остатков соли из отвалов горных пород. Экологический мониторинг последствий извлечения полезных ископаемых и эффективности мероприятий по восстановлению среды обитания человека, животного и растительного мира включает различного вида маркшейдерско-геодезические исследования, среди которых геодезические измерения осадки и деформаций земной поверхности, смещений сооружений. Производятся маркшейдерско-геодезические съемки для проектирования и осуществления мер по рекультивации нарушенных земель и др.

1.2. Понятие о форме и размерах Земли, метод ортогональной проекции

Фигуры Земли. Размеры и форму реальной физической поверхности планеты Земля относят к той или иной ее геометрически правильной модели, поверхность которой используется в качестве основы для установления систем глобальных, региональных или же частных координат для выполнения геодезических работ и картографирования.

Реальная поверхность земной коры представляет собой сочетание неровностей различной величины и формы. Воды Мирового океана покрывают 71% твердой поверхности Земли, поэтому поверхность его послужила основой геометрического тела, представляющего фигуру нашей планеты в определенном приближении. Фигура Земли, образованная поверхностью Мирового океана в состоянии полного покоя и равновесия, мысленно продолженная под сушей, называется *геоидом*. Поверхность геоида в каждой своей точке перпендикулярна направлению силы тяжести (отвесной линии), т.е. повсюду горизонтальна и представляет одну из множества уровненных поверхностей — *основную уровненную поверхность*.

Вследствие неравномерного распределения плотности масс в земной коре поверхность геоида не является правильной сферической: имеют место нерегулярные плавные «понижения» и «повышения» этой повсюду выпуклой фигуры. Нерегулярная поверхность геоида чрезмерно сложна для решения на ней точных задач спутниковой и высшей геодезии. Поэтому в научных целях поверхность геоида заменяют поверхностью геометрически правильной фигуры — поверхно-

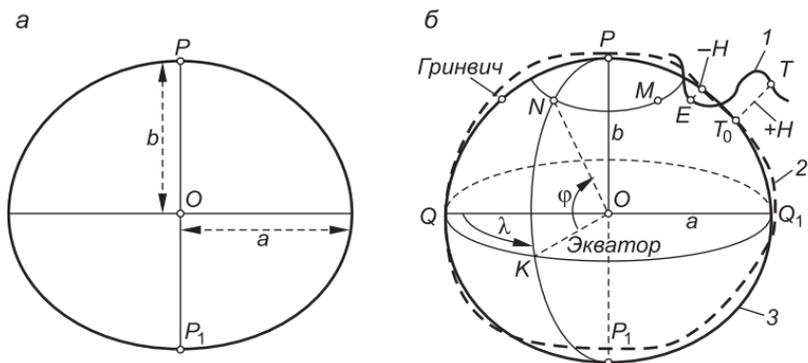


Рис. 1.1. Земной эллипсоид:

a – эллипсоид вращения; b – географические координаты; изучаемые поверхности Земли (1); геоида (2); земного эллипсоида (3)

стью *общего земного эллипсоида*, полученного вращением эллипса вокруг его малой (полярной) оси b (рис. 1.1, а).

После первого достаточно достоверного определения размеров и формы Земли (при проверке закона всемирного тяготения Ньютона) параметры земного эллипсоида уточнялись учеными многих стран. В 1940 г. советские геодезисты под научным руководством профессора Ф.Н. Красовского на основе триангуляции, развитой на территории СССР и в ряде других стран, определили наиболее точные для того времени параметры общего земного эллипсоида: размеры его большой (экваториальной) полуоси $a = 6\,378\,245$ м, малой полуоси b и относительное сжатие вдоль полярной оси $\alpha = (a - b)/a = 1/298,3$.

Общий земной эллипсоид был ориентирован в теле реальной Земли под условием максимального приближения его поверхности на территории СССР к соответствующей части поверхности геоида, ему присвоено наименование «референц-эллипсоид* Ф.Н. Красовского». На его математически выражаемую поверхность проецируют соответствующими расчетными методами геодезические пункты в *системе координат СК-42* (система координат 1942 г.). Современные параметры общего земного эллипсоида, приведенные в табл. 1.1, были определены высокоточными спутниковыми методами (см. далее п. 1.2, 1.3).

**Референц-эллипсоид* – это эллипсоид, ориентированный в теле Земли для отнесения к его поверхности геодезических координат территории государства или группы государств.

Высотная координата H точки T земной поверхности в маркшейдерско-геодезических работах определяется вдоль отвесной линии TT_0 относительно поверхности геоида (рис. 1.1, б).

Таблица 1.1

Параметры основных земных эллипсоидов

Референц-эллипсоид	Экваториальная полуось a , м	Погрешность Δa , м	Сжатие α
WGS–84	6 378 137	+ (0,6 – 0,9)	1/298,2572
ПЗ–90	6 378 136	– (0,1 – 0,4)	1/298,2578
Красовского (СК–42)	6 378 245	+ 109	1/298,3

Во многих практических маркшейдерско-геодезических расчетах общий земной эллипсоид и референц-эллипсоид заменяются их более простой моделью – земным шаром радиуса $R = 6371$ км (объем земного шара равен объему земного эллипсоида). Длина экватора L на эллипсоиде Ф. Н. Красовского равна $2\pi a$, или 40 075 км, на земном шаре $2\pi R$, или 40 030 км ($\approx 40\,000$ км).

Учет кривизны земной поверхности в маркшейдерско-геодезических работах. Фактор кривизны Земли учитывается при картографировании ее поверхности и в ряде маркшейдерско-геодезических задач, например при измерении высот точек и расчете размеров участков на сфере, которые на практике можно принимать плоскими. При рассмотрении фактора кривизны используем шаровую модель Земли.

Учет кривизны Земли при измерении высот. Пусть точки T_0 и C_0 – вертикальные проекции точек T и C поверхности Земли на сферу по радиусам $R = TO$ и $R = CO$ (рис. 1.2, а). В точке T_0 проведем горизонтальную линию T_0C_1 – касательную к сфере. Точка C_1 представляет вертикальную проекцию точки C на касательную T_0C_1 , а вертикальное расстояние $C_0C_1 = \Delta h$ выражает влияние фактора кривизны на измерения высот точек, определяемых относительно горизонтальных линий:

$$\Delta h = C_1O - C_0O = \sqrt{R^2 + d^2} - R,$$

или

$$\Delta h = d^2 / 2R. \tag{1.1}$$

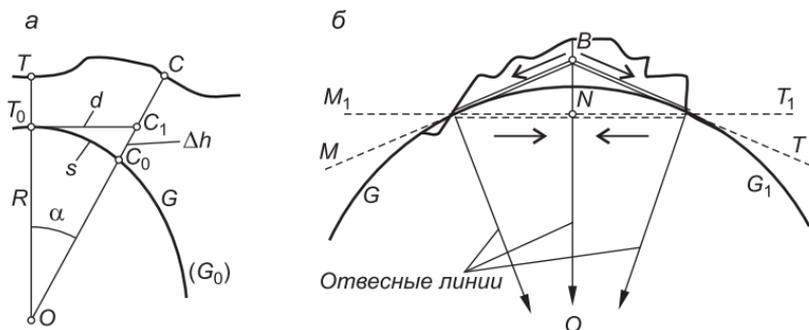


Рис. 1.2. Учет кривизны уровенной поверхности:

a – при измерении расстояний и превышений; *б* – при строительстве тоннеля; $\rightarrow N \leftarrow$ направления вод внутрь прямолинейного тоннеля M_1T_1 ; $\rightarrow B \leftarrow$ сток вод от возвышенной средней части тоннеля MBT

Для различных расстояний d при $R = 6371$ км по формуле (1.1) вычислим значения Δh и получим следующие результаты (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Величины поправок Δh в зависимости от расстояния D

D , км	0,1	0,2	0,3	1	2	10
Δh , мм	0,78	3,1	7	78	314	7800

Величина Δh учитывается как поправка при расчете высоты точки C_1 относительно поверхности G сферы или практически относительно основной уровенной поверхности G_0 . Несовпадение между уровенной поверхностью G_0 и горизонтальной плоскостью T_0C_1 необходимо учитывать при выполнении многих маркшейдерско-геодезических измерений и строительстве ряда сооружений, например тоннелей (рис. 1.2, б). Если тоннель проектировать в вертикальном разрезе прямолинейным по оси M_1T_1 , то после его строительства подземные и дождевые воды будут стекать относительно уровенной поверхности GG_1 (и отвесных линий) к средней его зоне N . Во избежание затопления тоннели строят с подъемом их средней части, например по профилю MBT .

Учет фактора кривизны Земли при измерении расстояний.

Согласно рис. 1.2, *a* расстояния d и s между проекциями точек T и C на плоскость (точки T_0 и C_1) и на сферу (точки T_0

и C_0) различаются за счет фактора кривизны Земли на абсолютную величину

$$\Delta d = d - s = R \operatorname{tg} \alpha - s,$$

где угол $\alpha = s / R$ и выражен в радианах.

Значение Δd вычисляется и по приближенной формуле

$$\Delta d = d^3 / 3R^2. \quad (1.2)$$

Относительная величина $\Delta d / d$ разности длин d и s получается из формулы (1.2):

$$\Delta d / d = d^2 / 3R^2. \quad (1.3)$$

Определим на сферической поверхности размеры участка, в пределах которого можно не учитывать влияние фактора кривизны при условии, что допускается относительная величина искажения длины $\Delta d / d = 1 / 1\,000\,000$ (1 мм / 1 км). Решив уравнение (1.3), получаем $d = 11$ км – радиус участка, который отвечает поставленному условию. Если принять иную величину допуска, например $\Delta d / d = 1 / 200\,000$ (5 мм / 1 км), то плоским можно считать участок на сферической и уральной поверхности радиусом 25 км.

Метод ортогональной проекции на горизонтальную плоскость. Иначе этот метод называется *методом горизонтальной проекции* и применяется при выполнении геодезических и маркшейдерско-геодезических работ для отображения их данных на горизонтальной плоскости в виде числовых величин и картографических чертежей. Точки контура $ABCM$ земной поверхности (рис. 1.3, а) проецируют на уральную поверхность P_y отвесными линиями. На уральной поверхности точки a', b', c', m' ; линии $m'a', m'c', a'b', \dots$, а также контур $a'b'c'm'$ представляют *отвесные проекции* соответствующих элементов контура $ABCM$. Для ограниченной территории на горизонтальной плоскости P_r ортогональная проекция осуществляется практически параллельными вертикальными лучами: получаются точки a, b, c, m ; линии ma, mc, ab, \dots , а также контур $abcm$. В инженерной практике горизонтальную плоскость P_r приближают к уральной поверхности на территории города, горного предприятия.

Отрезок прямой линии MA длиной D (см. рис. 1.3, а) принадлежит вертикальной плоскости $m'MAa'$. Угол наклона прямого отрезка MA измеряется относительно горизонтальной

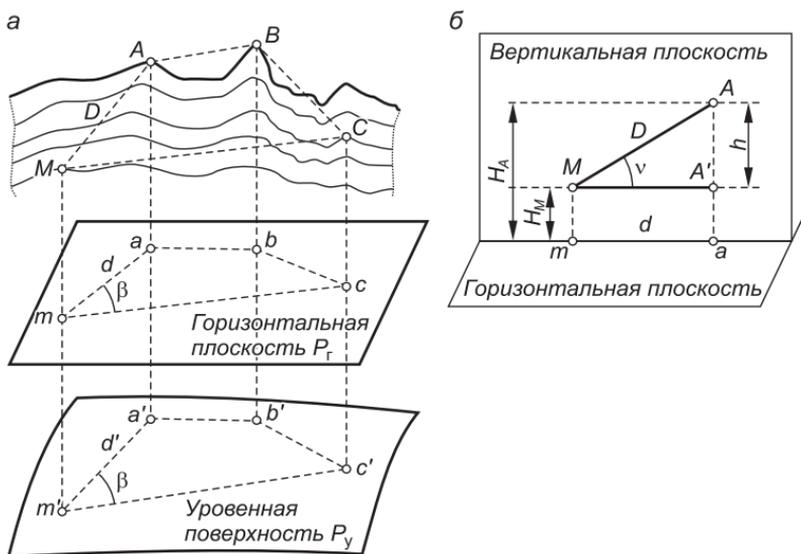


Рис. 1.3. Ортогональные проекции:

a – на горизонтальную плоскость и уровенную поверхность; *б* – горизонтальное проложение

плоскости или параллельной ей прямой линии MA' (рис. 1.3, б). Длина d проекции ma отрезка MA на горизонтальную плоскость называется *горизонтальным проложением* наклонной прямой линии и вычисляется по формуле

$$d = D \cos \nu. \quad (1.4)$$

Исходя из формулы (1.4), можно рассчитать, на какую величину преуменьшена площадь наклонного участка земной поверхности в проекции на горизонтальную поверхность.

В соответствии с методом ортогональной проекции на горизонтальную плоскость (горизонтальной проекции) в геодезии измеряют *горизонтальный угол* между направлениями MA и MC (см. рис. 1.3, а), который определяется как двугранный угол β между вертикальными плоскостями $AMm'a'$ и $CMm'c'$, проходящими через общую отвесную линию Mm' и заданные точки местности A и C . Поскольку горизонтальная плоскость P_G и уровенная поверхность P_U в точках m и m' перпендикулярны отвесной линии Mmm' , то горизонтальный угол β будет одинаков на малых площадках уровенной поверхности и горизонтальной плоскости.

1.3. Основные системы геодезических координат

Глобальные координаты. В зависимости от содержания геодезических задач и применяемой измерительной техники используются несколько различающиеся системы глобальных координат: географические, геодезические, астрономические, геоцентрические и др.

Географические координаты используются, когда в практике маркшейдерско-геодезических работ нет необходимости учитывать различия между названными системами координат. Положение точек земной поверхности в проекции на поверхность земного эллипсоида определяется угловыми величинами географических координат, которые отсчитываются относительно исходных (начальных) плоскостей – плоскости экватора и плоскости Гринвичского меридиана. Плоскость меридиана совпадает с осью вращения PP_1 земного эллипсоида и данной точкой N на его поверхности (см. рис. 1.1, б).

Меридиан точки N – это линия PNP_1 пересечения сфероидической поверхности эллипсоида плоскостью, совпадающей с осью его вращения. Такой меридиан имеет вид эллипса.

Плоскость экватора проходит через центр O эллипсоида перпендикулярно его оси вращения PP_1 . **Экватор** представляет окружность – линию пересечения поверхности эллипсоида плоскостью экватора.

Географическая параллель MN является окружностью (см. рис. 1.1, б), которая образуется при пересечении эллипсоида плоскостью, параллельной плоскости экватора.

Географическая широта φ – это угол между нормалью к поверхности эллипсоида (или между отвесной линией – перпендикуляром к поверхности геоида) и плоскостью экватора. Широты, которые отсчитываются от экватора к Северному полюсу, учитываются со знаком «плюс», а к югу – со знаком «минус». Широта экватора равна 0° , широта Северного полюса равна $+90^\circ$.

Географическая долгота λ представляет собой двугранный угол между плоскостью географического меридиана точки N и плоскостью начального географического меридиана. Долготу отсчитывают от Гринвичского меридиана на восток от 0 до 360° , или же на восток от 0 до 180° с указанием «восточная долгота», или на запад от 0 до 180° с указанием «западная долгота».

Астрономическую широту φ_A и астрономическую долготу λ_A (на рис. 1.1, б не показаны) определяют при помощи астрономических приборов с использованием радиосигналов точного

времени. Астрономические угломерные приборы устанавливаются на земной поверхности и горизонтируются относительно отвесной линии. Поэтому измеренные величины φ_A и λ_A относятся к поверхности геоида.

От рассмотренных двух видов географических координат, отнесенных к поверхности общего земного эллипсоида и геоида, отличаются **геодезические координаты** (геодезическая широта B , геодезическая долгота L). Геодезические координаты относят к поверхности референц-эллипсоида, они близки к географическим координатам φ и λ (на рис. 1.1, б отдельно не показаны). Значения геодезических координат B и L вычисляют по **астрономическим координатам** с учетом поправок на уклонения отвесных линий. В маркшейдерско-геодезических работах не учитывают различие между названными тремя видами глобальных координат и пользуются их обобщающим наименованием «географические координаты».

Всемирная геоцентрическая система координат WGS-84 (World Geodetic System, 1984 г.), рекомендованная к практическому применению Международным союзом геодезии и геофизики, представляет одну из глобальных координатных систем, используемых в спутниковых технологиях определения координат неподвижных объектов (статическое позиционирование, или местоопределение) и находящихся в движении (кинематическое местоопределение) на земной поверхности и в пространстве. Пространственные прямоугольные координаты x, y, z точки N определяют относительно центра масс Земли M и координатных осей X, Y, Z (рис. 1.4).

Ось Z совмещена со средним положением оси вращения Земли, положительное направление оси – северное. Ось X на-

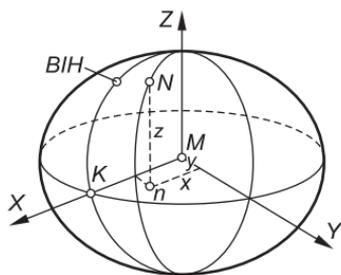


Рис. 1.4. Схема прямоугольной геоцентрической системы координат WGS-84

правлена от центра масс к точке K пересечения плоскости экватора с плоскостью нулевого меридиана $BИH$, положение которого определено Международным бюро времени (Bureau International de l'Heure – BИH) в пункте закрепления Гринвичского меридиана. Ось Y расположена в плоскости экватора под углом 90° к востоку от оси X , этим установлена правосторонняя ориентация геоцентрической системы координат.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора	3
Введение. Краткие сведения о развитии геодезии и маркшейдерского дела.	4
ГЛАВА 1. Основные понятия геодезии.	7
1.1. Предмет геодезии и его применение в маркшейдерских работах	7
1.2. Понятие о форме и размерах Земли, метод ортогональной проекции.	9
1.3. Основные системы геодезических координат	15
1.4. Ориентирование	21
1.5. Прямая и обратная геодезические задачи.	26
1.6. Понятие о государственной геодезической сети и съёмочных сетях	28
1.7. Понятие о спутниковых системах местоопределения и современных геодезических опорных сетях	33
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>45</i>
ГЛАВА 2. Топографические карты, планы и чертежи	46
2.1. Понятие о картах и планах. Масштабы	46
2.2. Номенклатура топографических карт и планов	50
2.3. Условные знаки топографических карт и планов	54
2.4. Решение инженерно-геодезических задач по картам и планам.	62
2.5. Ориентирование карты на местности	68
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>71</i>
ГЛАВА 3. Элементы теории погрешностей и контроля точности результатов измерений.	72
3.1. Маркшейдерско-геодезические измерения и оценка их точности	72
3.2. Статистические характеристики погрешностей результатов равноточных измерений.	78
3.3. Средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин.	81
3.4. Элементы математической обработки результатов неравноточных измерений	86
3.5. Технические средства и правила вычислений	88
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>90</i>

ГЛАВА 4. Измерения углов	90
4.1. Горизонтальные и вертикальные углы и устройство теодолитов	90
4.2. Типы теодолитов	104
4.3. Поверки и юстировки теодолитов	107
4.4. Измерение горизонтальных углов	112
4.5. Измерение вертикальных углов	118
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	122
ГЛАВА 5. Измерения расстояний.	122
5.1. Механические приборы для измерения расстояний	123
5.2. Светодальномеры.	132
5.3. Оптические дальномеры.	138
5.4. Учет значимости погрешностей измерения углов и расстояний при обосновании точности маркшейдерско- геодезических работ	143
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	145
ГЛАВА 6. Нивелирование	146
6.1. Геометрическое нивелирование	147
6.2. Приборы для геометрического нивелирования	151
6.3. Поверки и юстировки нивелиров	157
6.4. Тригонометрическое нивелирование	161
6.5. Сведения об электронных и физических приборах для измерения превышений	165
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	170
ГЛАВА 7. Топографические съемки	171
7.1. Плановое съемочное обоснование. Теодолитные ходы	172
7.2. Высотное съемочное обоснование, техническое нивелирование, теодолитно-тахеометрические ходы.	186
7.3. Теодолитная съемка	194
7.4. Тахеометрическая съемка	197
7.5. Составление топографического плана	203
7.6. Определение площадей	211
7.7. Фототопографическая съемка	220
7.7.1. Космические съемки	220
7.7.2. Аэрофотосъемка	222
7.8. Понятие о цифровых моделях местности.	236
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	240

Г Л А В А 8. Начальные сведения о маркшейдерско-геодезических работах241
8.1. Маркшейдерские съемки при изысканиях поверхностных месторождений241
8.2. Вертикальная планировка просевших земель252
8.3. Элементы разбивочных работ при строительстве сооружений и проведении горных выработок258
8.3.1. Элементы разбивочных работ260
8.4. Начальные сведения о специальных геодезических и маркшейдерских приборах и элементах маркшейдерских съемок.265
8.5. Буссольная съемка281
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>.284</i>
Л и т е р а т у р а285