

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

УЧЕБНИК

Под редакцией проф. Д. Ш. Михелева

5-е издание, исправленное

*Рекомендовано
Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов высших
учебных заведений*

УДК 528.48(075.8)
ББК 26.1я73
И62

Рецензент —
зав. кафедрой «Геодезия и геоинформатика» Московского
государственного университета путей сообщения
д-р техн. наук, проф. *С. И. Матвеев*

Инженерная геодезия : учебник для вузов / [Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман] ; под ред. Д. Ш. Михелева. — 5-е изд., испр. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 480 с.
ISBN 5-7695-2817-6

Базовый учебник по одноименной дисциплине учебного плана. Написан в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта. Даны общие сведения по геодезии, картографии и топографии; геодезическим приборам, методам геодезических измерений, вычислений и оценки точности их результатов; инженерно-геодезическим работам, выполняемым при изыскании, проектировании и строительстве инженерных сооружений. Изложены методы изысканий, производства разбивочных работ, исполнительных съемок. Приведены сведения по геодезическому обеспечению кадастра, наблюдению за деформациями сооружений, сертификации, лицензированию, организации геодезических работ и технике безопасности при их проведении.

Для студентов негеодезических вузов. Может быть полезен студентам техникумов и колледжей, а также специалистам производства, выполняющим разнообразные инженерно-геодезические работы.

УДК 528.48(075.8)
ББК 26.1я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

ISBN 5-7695-2817-6

© Коллектив авторов, 2004
© Издательский центр «Академия», 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4

РАЗДЕЛ I ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОДЕЗИИ И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Глава 1. Земная поверхность и способы ее изображения	6
1.1. Форма Земли и определение положения точек на земной поверхности	6
1.2. Изображение земной поверхности на плоскости (план, карта, профиль)	9
1.3. Измерения и построения в геодезии	10
1.4. Масштабы изображения на плоскости	13
Глава 2. Ориентирование на местности	16
2.1. Азимуты, румбы, дирекционные углы и зависимости между ними	16
2.2. Приборы для ориентирования на местности	19
Глава 3. Топографические карты и планы	21
3.1. Классификация и номенклатура	21
3.2. Картографическая проекция и система плоских прямоугольных координат	23
3.3. Условные знаки на планах и картах	24
3.4. Определение координат, расстояний и углов на планах и картах	26
Глава 4. Рельеф земной поверхности и его изображение	28
4.1. Формы рельефа и его изображение	28
4.2. Изображение земной поверхности в цифровом виде	31
4.3. Решение задач по картам и планам с горизонталями	32
Глава 5. Общие сведения из теории погрешностей измерений	36
5.1. Погрешности и их виды	36
5.2. Свойства случайных погрешностей	37
5.3. Средняя квадратическая, предельная и относительная погрешности	38
5.4. Оценка точности результатов измерений	40

Глава 6. Измерение длины линий	42
6.1. Измерение длины линий мерными приборами	42
6.2. Измерение длины линий дальномерами	52
Глава 7. Нивелирование	56
7.1. Нивелиры, нивелирные рейки, костыли и башмаки	56
7.2. Способы нивелирования	63
7.3. Поверки и юстировки нивелиров	68
7.4. Проведение геометрического нивелирования	70
Глава 8. Угловые измерения	75
8.1. Принципы измерения углов. Теодолиты	75
8.2. Штативы, визирные цели и эккеры	81
8.3. Поверки и юстировки теодолитов	84
8.4. Измерение горизонтальных и вертикальных углов на местности	88
8.5. Теодолитные ходы	93
Глава 9. Современные геодезические приборы	100
9.1. Лазерные геодезические приборы	100
9.2. Электронные теодолиты и тахеометры	105
9.3. Приборы вертикального проектирования	107
Глава 10. Геодезические сети	109
10.1. Общие сведения о геодезических сетях	109
10.2. Плановые геодезические сети	110
10.3. Высотные геодезические сети	112
10.4. Знаки для закрепления геодезических сетей	113
Глава 11. Топографические съемки	115
11.1. Съемка и съемочное обоснование	115
11.2. Аналитический метод съемки	117
11.3. Тахеометрическая съемка	120
11.4. Нивелирование поверхности	125
11.5. Фототопографическая съемка	126
11.6. Специальные методы съемки	129

РАЗДЕЛ II ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Глава 12. Инженерные изыскания для строительства	130
12.1. Виды и задачи инженерных изысканий	130
12.2. Изыскания площадных сооружений	132
12.3. Изыскания для линейных сооружений	134
12.4. Современные методы инженерных изысканий	137
Глава 13. Инженерно-геодезические опорные сети	138
13.1. Назначение, виды и особенности построения опорных сетей	138

13.2. Принципы проектирования и расчет точности построения опорных сетей	140
13.3. Триангуляционные сети	144
13.4. Трилатерационные сети	148
13.5. Линейно-угловые сети	151
13.6. Полигонометрические сети	153
13.7. Геодезическая строительная сетка	155
13.8. Высотные опорные сети	161
13.9. Особенности закрепления геодезических пунктов на территории городов и промышленных площадок	162
Глава 14. Спутниковые методы измерений в инженерно-геодезических работах	167
14.1. Глобальные системы определения местоположения ГЛОНАСС и NAVSTAR GPS	167
14.2. Системы отсчета времени и координат	172
14.3. Орбитальное движение спутников. Эфемериды	174
14.4. Измерения, выполняемые спутниковыми приемниками	179
14.5. Поправки, вводимые в результаты измерений	184
14.6. Режимы наблюдений	191
14.7. Преобразование координат	193
Глава 15. Общие положения о геодезических разбивочных работах	194
15.1. Назначение и организация разбивочных работ	194
15.2. Нормы и принципы расчета точности разбивочных работ	196
15.3. Вынос в натуру проектных углов и длин линий	199
15.4. Вынос в натуру проектных отметок, линий и плоскостей проектного уклона	203
Глава 16. Способы разбивочных работ	206
16.1. Основные источники погрешностей при разбивочных работах	206
16.2. Способы прямой и обратной угловых засечек	208
16.3. Способ линейной засечки	212
16.4. Способ полярных координат	214
16.5. Способы створной и створно-линейной засечек	216
16.6. Способ прямоугольных координат	219
16.7. Способ бокового нивелирования	221
Глава 17. Общая технология разбивочных работ	223
17.1. Геодезическая подготовка проекта	223
17.2. Основные разбивочные работы	226
17.3. Закрепление осей сооружений	231
Глава 18. Геодезические работы при планировке и застройке городов	233
18.1. Планировка и проектирование городской территории	233

18.2. Составление и расчеты проекта красных линий	237
18.3. Вынесение в натуру и закрепление красных линий, осей проездов, зданий и сооружений	238
18.4. Составление плана организации рельефа	244
18.5. Составление плана земляных масс	248
18.6. Вынесение в натуру проекта организации рельефа	250
Глава 19. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подземных коммуникаций	252
19.1. Общие сведения о подземных коммуникациях	252
19.2. Разбивка подземных коммуникаций и геодезические работы при их укладке	253
19.3. Съёмка подземных коммуникаций	256
19.4. Поиск подземных коммуникаций	258
Глава 20. Геодезические работы при строительстве гражданских зданий	260
20.1. Гражданские здания и состав геодезических работ при их возведении	260
20.2. Геодезические работы при возведении подземной части зданий	263
20.3. Построение базисных осевых систем и разбивка осей на исходном горизонте	272
20.4. Перенос осей и отметок на монтажные горизонты	273
20.5. Геодезические работы при возведении надземной части сборных зданий	278
20.6. Геодезические работы при возведении зданий из монолитного железобетона и кирпичных зданий	286
Глава 21. Геодезические работы при строительстве промышленных сооружений	289
21.1. Разбивка промышленных сооружений	289
21.2. Разбивка и выверка подкрановых путей	295
21.3. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа	300
21.4. Геодезические работы при строительстве атомных электростанций	305
Глава 22. Геодезические работы при монтаже строительных конструкций и технологического оборудования	309
22.1. Принципы геодезического обеспечения монтажа строительных конструкций и технологического оборудования	309
22.2. Способы плановой установки и выверки конструкций и оборудования	311
22.3. Способы выверки прямолинейности	316
22.4. Способы установки и выверки строительных конструкций и оборудования по высоте	320

22.5. Способы установки и выверки конструкций и оборудования по вертикали	324
22.6. Особенности монтажа технологического оборудования повышенной точности	327
22.7. Система обеспечения геометрических параметров в строительстве и порядок расчета их точности	331
Глава 23. Геодезические работы для земельного кадастра	336
23.1. Общее понятие о земельном кадастре	336
23.2. Состав геодезических работ для кадастра	337
23.3. Способы и точность определения площадей земельных участков	339
23.4. Вынос в натуру и определение границ землепользования	346
23.5. Понятие о геоинформационных системах	349
23.6. Геоинформационные системы в кадастре	350
Глава 24. Наблюдения за деформациями сооружений геодезическими методами	351
24.1. Виды деформации и причины их возникновения	351
24.2. Задачи и организация наблюдений	353
24.3. Точность и периодичность наблюдений	354
24.4. Основные типы геодезических знаков и их размещение	355
24.5. Наблюдения за осадками сооружений	357
24.6. Наблюдения за горизонтальными смещениями сооружений	363
24.7. Наблюдения за кренами, трещинами и оползнями	368
24.8. Обработка и анализ результатов наблюдений	371
Глава 25. Геодезические работы при изысканиях и строительстве дорог и мостов	374
25.1. Камеральное трассирование	374
25.2. Полевое трассирование	377
25.3. Восстановление дорожной трассы и разбивка кривых	385
25.4. Разбивка земляного полотна дороги	388
25.5. Разбивка верхнего строения дороги	392
25.6. Построение мостовой разбивочной основы	393
25.7. Разбивочные работы при возведении опор и пролетных строений моста	396
Глава 26. Геодезические работы при строительстве гидротехнических сооружений	399
26.1. Гидротехнические сооружения и состав геодезических работ при их возведении	399
26.2. Вынос в натуру проектного контура водохранилища	401
26.3. Геодезическое обоснование для строительства гидротехнических сооружений	403
26.4. Разбивочные работы на площадке гидроузла	406

26.5. Геодезическое обеспечение монтажных работ на гидроузле	410
26.6. Геодезические работы при гидромелиоративном строительстве	412
Глава 27. Геодезические работы при строительстве тоннелей	414
27.1. Общие сведения о тоннелях и способах их сооружения	414
27.2. Основные элементы трассы тоннеля	418
27.3. Аналитический расчет трассы тоннеля	420
27.4. Схема построения геодезического обоснования трассы тоннеля	425
27.5. Передача координат и ориентирование геодезического обоснования в подземных выработках	430
27.6. Передача отметки в подземные выработки	434
27.7. Геодезическое обоснование в подземных выработках	437
27.8. Геодезические работы при щитовой проходке	439
27.9. Геодезические разбивочные работы при подземном строительстве	440
Глава 28. Вынос в натуру и плано-высотная привязка горных выработок и геофизических точек	442
28.1. Понятие о горных выработках	442
28.2. Вынос в натуру горных выработок	443
28.3. Плано-высотная привязка горных выработок	445
28.4. Геодезические работы при геофизической разведке	445
Глава 29. Геодезическое обеспечение строительства линий электропередачи, связи и магистральных трубопроводов	447
29.1. Воздушные линии электропередачи и связи	447
29.2. Магистральные трубопроводы	450
Глава 30. Исполнительные съемки	452
30.1. Назначение и методы исполнительных съемок	452
30.2. Исполнительные съемки в строительстве	453
30.3. Составление исполнительных генеральных планов	459
Глава 31. Организация инженерно-геодезических работ. Техника безопасности	461
31.1. Организация геодезических работ в строительстве	461
31.2. Лицензирование геодезических работ	463
31.3. Стандартизация в инженерно-геодезических работах	466
31.4. Техника безопасности при выполнении инженерно-геодезических работ	468
Список литературы	473

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник рассчитан на студентов негеодезических вузов, изучающих курс «Инженерная геодезия». Методически учебник построен таким образом, чтобы при изучении раздела I студенты могли ознакомиться с общими сведениями по геодезии, картографии и топографии; геодезическими приборами, включая самые современные; методами геодезических измерений, вычислений и оценки точности их результатов.

Раздел II учебника посвящен инженерно-геодезическим работам, выполняемым при изысканиях, проектировании и строительстве инженерных сооружений. Изложены методы изысканий построения инженерно-геодезических сетей, разбивочных работ, исполнительных съемок, геодезического обеспечения строительства гражданских и промышленных зданий, дорог и мостов, подземных коммуникаций, гидротехнических сооружений, тоннелей метрополитена, линий электропередачи и связи, магистральных трубопроводов. Даны сведения по геодезическому использованию спутниковых технологий, геодезическому обеспечению кадастра, наблюдению за деформациями сооружений, сертификации, лицензированию, организации геодезических работ и технике безопасности при их проведении.

ВВЕДЕНИЕ

Геодезия — одна из древнейших наук. Слово «геодезия» образовано из двух слов — «земля» и «разделяю», а сама наука возникла как результат практической деятельности человека по установлению границ земельных участков, строительству оросительных каналов, осушению земель. Современная геодезия — многогранная наука, решающая сложные научные и практические задачи. Это наука об определении формы и размеров Земли, об измерениях на земной поверхности для отображения ее на планах и картах. Задачи геодезии решаются на основе измерений, выполняемых геодезическими инструментами и приборами. В геодезии используют положения математики, физики, астрономии, картографии, географии и других научных дисциплин.

Геодезия подразделяется на высшую, космическую, топографию, фотограмметрию и инженерную (прикладную) геодезию. Каждый из этих разделов имеет свой предмет изучения, свои задачи и методы их решения, т. е. является самостоятельной научно-технической дисциплиной.

Высшая геодезия изучает фигуру и размеры Земли, методы определения координат точек на поверхности для территории всей страны.

Космическая геодезия решает геодезические задачи с помощью искусственных спутников Земли.

Топография рассматривает способы изучения земной поверхности и изображения ее на картах и планах.

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.

Инженерная геодезия изучает методы геодезического обеспечения при разработке проектов, строительстве и эксплуатации разнообразных сооружений, а также при изучении, освоении и охране природных ресурсов.

Несмотря на многообразие инженерных сооружений при их проектировании и возведении решаются следующие общие задачи: получение геодезических данных при разработке проектов строительства сооружений (инженерно-геодезические изыскания); определение на местности основных осей и границ сооружений в соответствии с проектом строительства (разбивочные работы);

обеспечение в процессе строительства геометрических форм и размеров элементов сооружения в соответствии с его проектом, геометрических условий установки и наладки технологического оборудования; определение отклонений геометрической формы и размеров возведенного сооружения от проектных (исполнительные съемки); изучение деформаций (смещений) земной поверхности под сооружением, самого сооружения или его частей под воздействием природных факторов и в результате деятельности человека.

Для решения каждой из указанных задач применительно к разным видам сооружений существуют свои методы, средства и требования к точности их выполнения. Например, при инженерно-геодезических изысканиях в основном производят измерения для составления карт и планов, на которых изображают то, что есть на местности, а при строительстве здания, наоборот, определяют на местности то место, где здание должно располагаться по проекту. Конструкции здания устанавливают на предусмотренные проектом места с погрешностью 5... 10 мм, детали заводского конвейера — 1...2 мм, а оборудование физических лабораторий (ускорителей ядерных частиц) — 0,2...0,5 мм.

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

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

Решение современных задач геодезии связано с обеспечением и улучшением качества строительных зданий и сооружений, промышленных и жилых комплексов, дорог, линий электропередачи и связи, магистральных трубопроводов, энергетических объектов, объектов агропромышленного комплекса и др. Для этого требуется большое число квалифицированных работников, способных обеспечить строительство важных народно-хозяйственных объектов. Для подготовки таких кадров и предназначен данный учебник.

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОДЕЗИИ
И ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ**

Глава I

**ЗЕМНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ
И СПОСОБЫ ЕЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

**1.1. Форма Земли и определение положения точек
на земной поверхности**

Форма Земли. Мысль о том, что Земля имеет форму шара, впервые высказал в VI в. до н. э. древнегреческий ученый Пифагор, а доказал это и определил радиус Земли египетский математик и географ Эратосфен, живший в III в. до н. э. Впоследствии ученые уточнили, что Земля сплюснута у полюсов. Такая фигура в математике называется *эллипсоидом вращения*, она получается от вращения эллипса вокруг малой оси. В *земном эллипсоиде* (рис. 1.1, а) полярная ось меньше экваториальной.

Земля не является правильным геометрическим телом — ее поверхность представляет собой сочетание возвышенностей и углублений. Большая часть углублений заполнена водой океанов и морей — из 510 млн км² общей площади поверхности Земли 71 % занимает океан. Поверхность воды в нем под действием силы тяжести образует уровенную поверхность, перпендикулярную в каждой точке направлению силы тяжести. Линию, совпадающую с направлением силы тяжести, называют *отвесной линией*. Если уровенную поверхность мысленно продолжить под материками, то образуется фигура, называемая *геоидом* (рис. 1.1, б). Кажется бы, геоид наилучшим образом определяет математическую фигуру

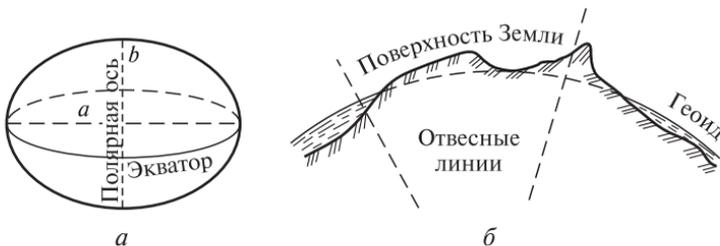


Рис. 1.1. Формы земной поверхности:
а — земной эллипсоид; б — геоид

Земли, так как в каждой точке его поверхности существует одно вполне определенное направление — отвесная линия, составляющая с касательной плоскостью прямой угол. Однако из-за неравномерного распределения масс внутри Земли поверхность геоида имеет сложную, неправильную форму. Поэтому за математическую фигуру для Земли принимают эллипсоид вращения, наиболее приближенный к геоиду. Земной эллипсоид соответствующим образом мысленно располагают (ориентируют) в теле Земли.

Земной эллипсоид с установленными размерами, ориентированный определенным образом, называют *референц-эллипсоидом*. В нашей стране размеры референц-эллипсоида были получены под руководством выдающегося геодезиста Ф. Н. Красовского. Эти размеры утверждены для использования в работах по высшей геодезии и картографии. Референц-эллипсоиду присвоено имя Красовского. Размеры референц-эллипсоида Красовского составляют: большая полуось $a = 6378245$ м, малая полуось $b = 6356863$ м, полярное сжатие $\alpha = (a - b)/a = 1/298,3$.

В инженерной геодезии и работах по топографии условно считают, что Земля имеет форму шара, объем которого равен объему земного эллипсоида, а радиус шара $R = 6371,11$ км.

Определение местоположения точек. Чтобы определить положение точек на земной поверхности, на ней условно проводят линии — меридианы и параллели, которые образуют систему географических координат (рис. 1.2, а).

Меридиан — это воображаемая линия, образованная секущей плоскостью, проходящей через ось PP_1 вращения Земли.

Параллель — это воображаемая линия, образованная на поверхности Земли секущей плоскостью, перпендикулярной оси вращения Земли. Параллель, образованная плоскостью, проходящей через центр Земли, называется *экватором*.

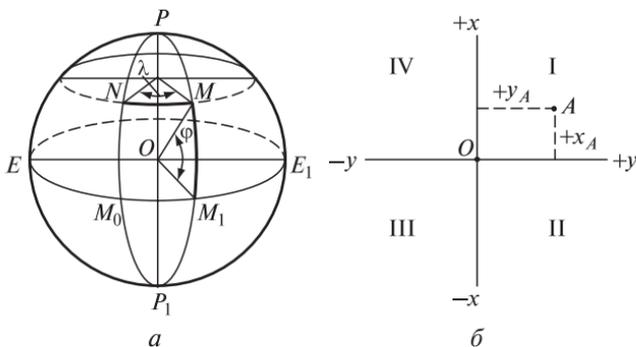


Рис. 1.2. Системы координат:
 а — географических; б — плоских прямоугольных

Один из меридианов, например меридиан PNM_0P_1 , принимают за начальный. Тогда положение меридиана точки M определяется двугранным углом между меридианной плоскостью, проходящей через эту точку, и плоскостью начального меридиана. Этот угол называют *долготой данной точки* и обозначают буквой λ . Положение параллели точки M определяется углом между радиусом OM земного шара и плоскостью экватора. Этот угол называют *широтой данной точки* и обозначают буквой φ . Долготу точки M можно измерить также дугой NM параллели, а широту той же точки — дугой M_1M меридиана. Долгота λ и широта φ называются *географическими координатами данной точки*.

Начальным меридианом на поверхности Земли принято считать меридиан, проходящий через центр меридианного зала старейшей в Европе астрономической обсерватории в Гринвиче, вблизи Лондона. Долготы отсчитывают к востоку и западу от начального меридиана в пределах $0 \dots 180^\circ$ и обозначают, например, так: 62° в. д. (восточной долготы) или 124° з. д. (западной долготы) от Гринвича; широты — $0 \dots 90^\circ$ к северу и югу от экватора, например 56° с. ш. (северной широты) или ю. ш. (южной широты).

Положение любой точки на поверхности Земли можно определить с помощью астрономических наблюдений (астрономические координаты), вычислить по результатам геодезических измерений на местности или по наблюдению спутников (геодезические координаты).

Если геодезические работы ведут на небольшом участке, что позволяет не принимать во внимание сферичность поверхности Земли, для определения положения точки используют систему плоских прямоугольных координат (рис. 1.2, б). Систему образуют две взаимно-перпендикулярные линии (оси), лежащие в горизонтальной плоскости, причем ось абсцисс x , как правило, совмещают с меридианом какой-либо точки. Точка O — начало координат. Положительное направление оси x — на север от экватора, оси y — на восток от меридиана. Оси абсцисс и ординат образуют координатные четверти I...IV, которые нумеруют по ходу часовой стрелки; северо-восточная четверть считается первой.

Например, положение точки A определяется координатами $x_A y_A$. В зависимости от четверти, в которой расположена точка, перед координатами ставят знаки «плюс» или «минус».

Для полной характеристики положения точки на поверхности Земли необходимо знать еще третью координату — высоту. *Высотой точки* называется расстояние по отвесному направлению от этой точки до урвенной поверхности. Числовое значение высоты точки называется ее *отметкой*.

Высоты (рис. 1.3) бывают абсолютные, условные и относительные. *Абсолютные высоты*, например H_A и H_B , отсчитывают от исходной урвенной поверхности — среднего уровня океана или моря (в России это нуль Кронштадтского футштока — горизон-