

В.П. Подшивалов М.С. Нестеренок

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ



В.П. Подшивалов М.С. Нестеренок

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Утверждено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов
учреждений высшего образования
по строительным специальностям

2-е издание, исправленное



Минск
«Вышэйшая школа»

УДК 528.48(075.8)
ББК 26.1я73
П56

Рецензенты: кафедра «Изыскания и проектирования дорог» Белорусского государственного университета транспорта (кандидат технических наук, доцент *М.М. Иванова*); кандидат технических наук, доцент *Л.Ф. Зуева*

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

Подшивалов, В. П.

П56 Инженерная геодезия : учебник / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – 2-е изд., испр. – Минск : Вышэйшая школа, 2014. – 463 с. : ил.
ISBN 978-985-06-2429-1.

Рассматриваются основы теории и практики инженерно-геодезических работ в промышленном и гражданском строительстве в объеме, необходимом для усвоения значения геодезического обеспечения геометрической точности строительства. Даны сведения о современных средствах измерений, применяемых в геодезии (электронных тахеометрах, лазерных рулетках, спутниковых приборах, сканерах).

Первое издание вышло в 2011 г.

Для студентов учреждений высшего образования по строительным специальностям. Будет полезен учащимся УССО, преподавателям, практическим работникам строительной отрасли.

УДК 528.48(075.8)
ББК 26.1я73

ISBN 978-985-06-2429-1

- © Подшивалов В.П., Нестеренок М.С., 2011
- © Подшивалов В.П., Нестеренок М.С., 2014, с изменениями
- © Оформление. УП «Издательство “Вышэйшая школа”», 2014

ОТ АВТОРОВ

Инженер-строитель *должен знать* назначение и методы производства геодезических работ на всех этапах строительства, а также при эксплуатации различных сооружений; технологию топографо-геодезических съемок, представляющих неотъемлемую часть комплекса инженерных изысканий, использование топографических планов и цифровых моделей местности при проектировании и размещении на местности зданий, сооружений и инженерных сетей.

Инженер-строитель *обязан уметь* выполнять доступные типичные разбивочные работы в процессе текущих строительно-монтажных операций на строительной площадке, производить исполнительные съемки, документально отражающие соответствие геометрической точности монтажа конструкций проектным требованиям.

Теоретические знания и практические умения по инженерной геодезии необходимы строителям всех специальностей для взаимодействия с работниками геодезической службы, обеспечивающими выполнение основного комплекса работ по геодезическому обеспечению строительства.

Учебник написан в соответствии с типовой учебной программой курса «Инженерная геодезия», утвержденной Министерством образования Республики Беларусь 15.06.2009 г. (регистрационный номер ТД–J.021/тип.) для студентов вузов специальностей строительного профиля:

1-70 01 01 Производство строительных изделий и конструкций;

1-70 02 01 Промышленное и гражданское строительство;

1-70 02 02 Экспертиза и управление недвижимостью;

1-70 04 01 Водохозяйственное строительство;

1-70 04 02 Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна;

1-70 04 03 Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов;

1-70 07 01 Строительство тепловых и атомных станций;

1-08 01 01-05 Профессиональное обучение (строительство).

В учебнике содержится информация по новым приборам и современным технологиям производства геодезических измерений на строительной площадке, их обработке и представления в цифровом виде.

Замечания и предложения по настоящему изданию просим присылать по адресу: издательство «Вышэйшая школа», пр. Победителей, 11, 220048, Минск.

ВВЕДЕНИЕ

Краткие сведения о развитии геодезии

Геодезия возникла в глубокой древности, когда появилась необходимость ориентирования на местности, межевания объектов землевладений и измерения их площадей. Для решения этих задач, а также при строительстве различных сооружений определенных геометрических форм и размеров выполнялись специальные измерения на местности. По их результатам задавали уклоны искусственных водотоков, составляли чертежи участков земной поверхности и сооружений на ней. В Древнем Египте, в античной Греции в IV–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 различия между теоретическими и практическими задачами единой того времени науки о межевании земель, включающей расчеты их площадей и описание средств измерений на местности. Основные теоремы, формирующие научные основы геометрии, имели практический смысл. Например, Пифагоров треугольник служил для построения прямого угла на местности, число π – для расчета радиуса окружности заданной длины и др. Научные основы геодезии того времени отражены в трудах Герона Александрийского «О диоптрах», «Измерение площадей». Эратосфен (276–194 гг. до н.э.) из определений длины отрезка сферической прибрежной полосы поверхности моря рассчитал близкий к действительному радиусу Земли (≈ 6 тыс. км).

В древние времена зародились принципы практического применения геометрических понятий к созданию и применению простейших измерительных устройств (мерных шнуров, отвесов, угольников, угломеров, водяных уровней) для придания заданной геометрии различным видам возводимых сооружений (зданиям, башням, пирамидам, водопроводам и др.).

В исторически длительном процессе постепенного совершенствования методов геодезических измерений по изучению

и картографированию земной поверхности в 1616 г. голландский ученый Снеллиус предложил определять большие расстояния методом триангуляции, из решения цепочки треугольных фигур, в которых измерены все горизонтальные углы и не менее двух базисных сторон.

Для подтверждения закона всемирного тяготения И. Ньютона и его теоретических выводов о полярном сжатии Земли использовались астрономо-геодезические измерения. Ученые Французской академии наук в 1735–1736 гг. методом триангуляции определили длину и разность широт отрезка дуги меридиана вблизи экватора (Перуанские градусные измерения) и вдоль границы Финляндии и Швеции (Лапландские градусные измерения). В результате было подтверждено существование полярного сжатия планеты и впервые достаточно точно для того времени были определены размеры земного эллипсоида. По мере накопления результатов градусных измерений по определению формы и размеров Земли к 1795 г. во Франции была установлена единица длины *метр*, равная 1 : 40 000 000 длины дуги «парижского меридиана».

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 пунктами опорных геодезических сетей (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 предприятий, сельскохозяйственных и лесных земель.

После 1960-х гг. оптико-механические геодезические приборы и относительно простые вычислительные устройства стали активно заменяться высокоавтоматизированными электронно-цифровыми измерительными комплексами и компьютерными технологиями обработки результатов измерений для получения баз картографо-геодезических данных. Спутниковые методы позиционирования и дистанционного зондирования получили эффективное применение для решения задач геодезии и картографии с 1990-х гг., обеспечивая высокую точность, производительность и снижение трудоемкости.

Высокую геометрическую точность строительства и установки технологического оборудования энергетических объектов, уникальных зданий и сооружений строители обеспечивают в сотрудничестве с работниками геодезической службы строительных и специализированных геодезических организаций. В геодезическом обеспечении строительства применяются современные высокоточные теодолиты, цифровые нивелиры, лазерные светодальномеры, электронные тахеометры.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГЕОДЕЗИИ

1.1. Предмет геодезии и его применение в строительстве

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

- *космическая (спутниковая) геодезия*, рассматривающая методы координатных описаний движения искусственных 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*, рассматривающая методы производства измерений на земной поверхности, аэрокосмические методы дистанционного зондирования земной поверхности, их обработки и представления для создания топографических карт и планов;

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

- *картография*, изучающая теоретические основы картографических проекций и технологию создания карт различных масштабов и назначения для отображения земной поверхности, различных природных и техногенных объектов на ней, обеспечения рациональных методов природопользования; в настоящее время развиваются методы создания и практического использования цифровых и электронных карт;

- *маркшейдерское дело*, рассматривающее применение методов геодезии при строительстве подземных сооружений (например, тоннелей) и для обеспечения геометрических задач горнодобывающей промышленности, решаемых при разведке и съемке залежей полезных ископаемых, строительстве горных сооружений, проходке и съемке горных выработок, определении их объема и положения и др.;

- *инженерная геодезия*, рассматривающая методы производства геодезических измерений в условиях строительства различных объектов. Основными задачами инженерной геодезии являются:

- топографо-геодезические изыскания, в ходе которых выполняется создание на объекте работ съемочной геодезической сети, топографическая съемка, геодезическая (координатная) привязка точек инженерно-геологических, гидрологических и других изысканий;
- инженерно-геодезическое проектирование, включающее разработку генеральных планов сооружений и их цифровых моделей; геодезическую подготовку проекта по выносу сооружений в натуру в плане и по высоте, расчеты по горизонтальной и вертикальной планировке территории застройки, определению площадей, объемов земляных работ и др.;
- геодезические разбивочные работы, включающие создание на объекте геодезической разбивочной сети и последующий вынос от нее в натуру плановых и высотных опорных точек сооружения, необходимых для придания объекту заданной геометрической формы;
- геодезическая выверка конструкций и технологического оборудования при установке их в проектное положение;
- наблюдения за деформациями сооружений в виде определения неравномерности их осадки и плановых смещений, а также крена.

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

Фигуры Земли. Размеры и форму физической поверхности планеты Земля относят к той или иной ее геометрически правильной модели, поверхность которой используется в ка-

честве основы для установления глобальных, региональных или же частных систем координат для выполнения геодезических работ и картографирования.

Реальная поверхность земной коры представляет собой рельеф, выраженный сочетаниями неровностей различной величины и формы. Воды Мирового океана покрывают более 71% твердой поверхности Земли, поэтому поверхность его послужила основой для создания физической модели Земли, представляющей фигуру нашей планеты. Гладкая, всюду выпуклая поверхность, образованная уровнем воды 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 *основную уровенную поверхность*, относительно которой отсчитывают высоты точек на земной поверхности в принятой системе. В связи с тем что в различных странах положение геоида определяется от уровня воды в ближайшем море или океане, принимаются различные системы высот. Например, у нас в Беларуси принята Балтийская система высот, за отсчетную поверхность в которой взята поверхность геоида, проходящая через нуль Кронштадтского футштока, фиксирующего средний уровень поверхности воды Финского залива Балтийского моря. Из-за неравномерного распределения плотности в земной коре и рельефа поверхность геоида имеет глобальные и локальные волны и не имеет строгого геометрического описания, поэтому невозможно решение на ней задач вычисления и передачи координат точек земной поверхности. Для решения этих задач в геодезии используют математическую модель – общий земной эллипсоид, представленный эллипсоидом вращения, сжатым у полюсов, ось вращения которого и геометрический центр совпадают с осью вращения и центром масс Земли на определенную эпоху (рис. 1.1, а).

Системы геодезических (географических) координат (широт φ , долгот λ), отнесенные к поверхности такого эллипсоида, называют *общеземными геоцентрическими*.

В 1940 г. на основе градусных измерений, выполненных на территории СССР и в ряде других стран, под научным руководством профессора Ф.Н. Красовского были получены наиболее точные для того времени параметры общего земного эллипсоида: размеры его большой полуоси $a = 6\,378\,245$ м и полярное сжатие $\alpha = (a - b) / a = 1/298,3$. Данный эллипсоид был

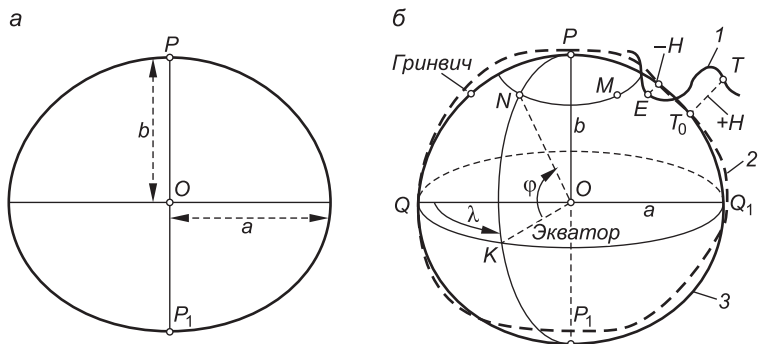


Рис. 1.1. Земной эллипсоид:

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

ориентирован относительно геоида под условием минимальных отклонений их поверхностей только на территории СССР. Эллипсоиду с указанными параметрами и ориентировкой в теле Земли присвоено наименование «референц-эллипсоид Красовского». Этот термин указывает на то, что данный эллипсоид является наиболее подходящим к геоиду не на всей поверхности Земли, а только на ее части. На его поверхность проецировали центры геодезических пунктов полигонов триангуляции 1-го класса Государственной геодезической сети СССР, вычислили их координаты, используя геометрию и параметры этого эллипсоида. Таким образом была закреплена на территории СССР система координат СК-42, которая до настоящего времени используется на территории Республики Беларусь. После совместной математической обработки сплошной астрономо-геодезической сети 1–2-го классов на территории СССР, выполненной к 1990-м гг., а также с использованием данных спутниковых определений, накопленных к тому времени, на поверхности эллипсоида Красовского была закреплена референцная система геодезических координат СК-95. К настоящему времени с бурным развитием спутниковых методов в геодезии получены современные общеземные геоцентрические системы координат. Примерами таких систем служат WGS-84 (США), ПЗ-90 (Россия).

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

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 инженерно-геодезических работах. Фактор кривизны Земли учитывается при картографировании ее поверхности и в ряде инженерно-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).

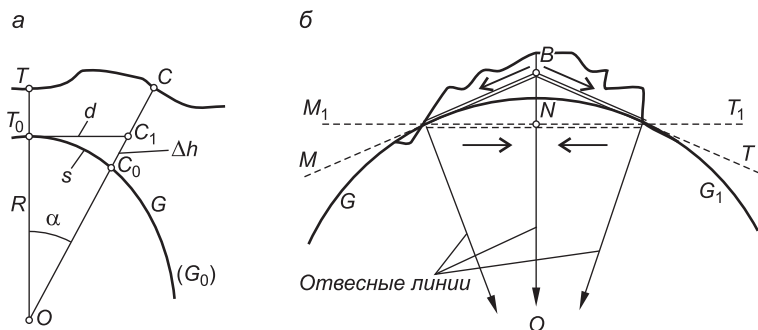


Рис. 1.2. Учет кривизны уровенной поверхности:

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

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:

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

или

$$\Delta h = d^2 / 2R. \quad (1.1)$$

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

Таблица 1.1

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 уроченной поверхности G_0 . Несовпадение между уроченной поверхностью G_0 и горизонтальной плоскостью T_0C_1 необходимо учитывать при 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 уроченной поверхности GG_1 (и отвесных линий) к средней его зоне N . Для обеспечения естественного стока тоннели строят с подъемом их средней части, например по профилю *МВТ*.

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):

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

Из формулы (1.3) рассчитываются 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 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 урную поверхность P_y отвесными линиями. На урной 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 ортого-

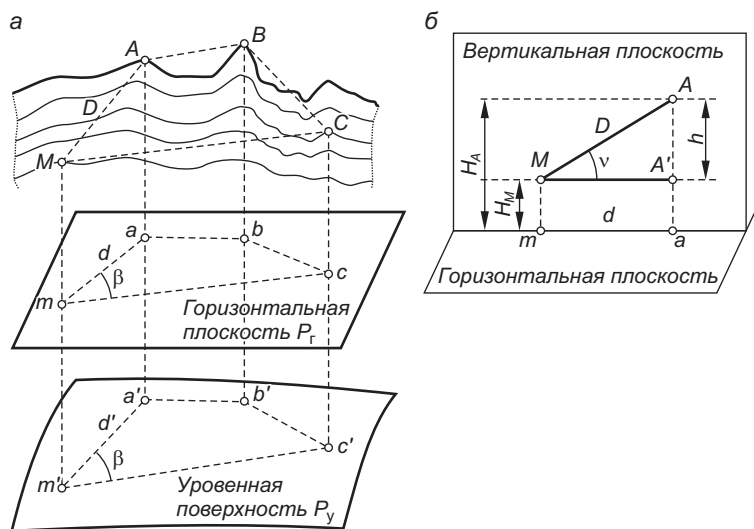


Рис. 1.3. Ортогональные проекции:

а – на горизонтальную плоскость и урную поверхность; б – горизонтальное проложение

нальная 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_{Γ} приближают к уровенной поверхности на территории города, промышленного 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 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

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

Горизонтальные углы. 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_{Γ} и уровенная поверхность P_{γ} в точках m и m' перпендикулярны отвесной линии Mmm' , то горизонтальный угол β будет одинаков на малых площадках уровенной поверхности и горизонтальной плоскости.

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

1.3. Основные системы геодезических координат

Глобальные координаты. Для решения геодезических задач в глобальном масштабе используются различные системы глобальных координат: географические, геодезические, астрономические, геоцентрические, пространственные прямоугольные и др.

Географические координаты используются, когда нет необходимости учитывать сжатие земного эллипсоида, что вполне допустимо для создания географических карт мелких масштабов. Положение точек земной поверхности в проекции на поверхность земного эллипсоида определяется угловыми вели-

чинами 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».

Астрономические широту φ_A и *долготу* λ_A (на рис. 1.1, б не показаны) определяют с помощью астрономических приборов с использованием радиосигналов точного времени. Астрономические угломерные приборы устанавливают на земной поверхности и горизонтируют относительно отвесной линии. Поэтому измеренные величины φ_A и λ_A относятся к поверхности геоида и отсчитываются по отвесным линиям.

Геодезические координаты – геодезические широта B и долгота L по смыслу и величине близки к географическим; отличие в том, что они отсчитываются по нормальям к поверхности референц-эллипсоида. Значения геодезических координат B и L вычисляют по астрономическим координатам с учетом поправок за отклонения отвесных линий и высот. Следует отметить, что геодезические широты и долготы являются наиболее точными и служат для координирования центров пунктов

государственных геодезических сетей 1-го класса. В инженерно-геодезических работах перечисленные системы координат не используют, поэтому можно применить общее для них название «географические координаты».

Всемирная геоцентрическая система координат WGS-84 (World Geodetic System, 1984 г.) поддерживается созвездием спутников GPS-NAVSTAR и рекомендована 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 направлена от центра масс к точке K пересечения плоскости экватора с плоскостью нулевого меридиана ВИН, положение которого определено Международным бюро времени (Bureau International de l'Heure – ВИН) 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.

Российская геоцентрическая система ПЗ-90 (параметры Земли, 1990 г.) поддерживается созвездием спутников ГЛОНАСС, является аналогом системы WGS-84 (см. рис. 1.4), но ориентирована с максимальным приближением к геоиду на территории бывшего СССР.

Параметры земного эллипсоида в основных современных системах координат приведены в табл. 1.2.

СК-42 (см. п. 1.1) не потеряла значения, поскольку на практике используется большой объем соответствующих ей картографо-геодезических материалов и в этой системе могут выполняться отдельные геодезические съемки.

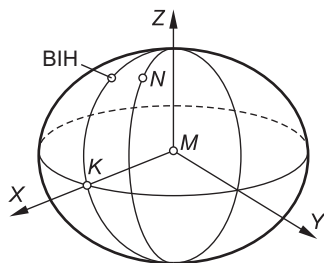


Рис. 1.4. Схема прямоугольной геоцентрической системы координат WGS-84

ОГЛАВЛЕНИЕ

От авторов	3
Введение	5
Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГЕОДЕЗИИ	8
1.1. Предмет геодезии и его применение в строительстве	8
1.2. Понятие о форме и размерах Земли, метод ортогональной проекции	9
1.3. Основные системы геодезических координат	15
1.4. Ориентирование	23
1.5. Прямая и обратная геодезические задачи	27
1.6. Понятие о государственной геодезической сети и съёмочных сетях	29
1.7. Понятие о спутниковых системах местоопределения и современных геодезических опорных сетях	34
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	45
Глава 2. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ, ПЛАНЫ И ЧЕРТЕЖИ	47
2.1. Понятие о картах и планах. Масштабы	47
2.2. Номенклатура топографических карт и планов	51
2.3. Условные знаки топографических карт и планов	55
2.4. Решение инженерно-геодезических задач по картам и планам	63
2.5. Ориентирование карты на местности	69
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	72
Глава 3. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ И КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ	73
3.1. Геодезические измерения и оценка их точности	73
3.2. Статистические характеристики погрешностей результатов равнооточных измерений	78
3.3. Средняя квадратическая погрешность функции измеренных величин	81
3.4. Элементы математической обработки результатов неравнооточных измерений	87
3.5. Технические средства и правила вычислений	89
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	91
Глава 4. ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ	92
4.1. Горизонтальные и вертикальные углы и устройство теодолитов	92
4.2. Типы теодолитов	105
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	123
5.1. Механические приборы для измерения расстояний	123
5.2. Светодальномеры	133
5.3. Оптические дальномеры	139
5.4. Учет значимости погрешностей измерения углов и расстояний при обосновании точности геодезических работ	143
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	146
Глава 6. ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЙ	147
6.1. Геометрическое нивелирование	147
6.2. Приборы для геометрического нивелирования	152
6.3. Поверки и юстировки нивелиров	157
6.4. Тригонометрическое нивелирование	162
6.5. Сведения о современных нивелирах и видах нивелирования ..	164
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	168
Глава 7. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ	169
7.1. Плановое съёмочное обоснование. Теодолитные ходы	169
7.2. Высотное съёмочное обоснование, техническое нивелирование, теодолитно-тахеометрические ходы	182
7.3. Теодолитная съёмка	190
7.4. Тахеометрическая съёмка, понятие о сканерной съёмке	194
7.5. Нивелирование поверхности	203
7.6. Составление топографического плана	208
7.7. Определение площади	216
7.8. Фототопографическая съёмка	224
7.8.1. Космические съёмки	224
7.8.2. Аэрофотосъёмка	225
7.9. Понятие о цифровых моделях местности и программном комплексе CREDO	238
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	242
Глава 8. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ...	244
8.1. Геодезические изыскания для строительства зданий и сооружений	244
8.2. Геодезические работы при изысканиях трассы	246
8.3. Геодезические расчеты при вертикальной планировке участков территории	261
8.4. Геодезическая основа строительных разбивочных работ	268
8.5. Геодезические приборы, применяемые в строительстве	275
8.6. Элементы геодезических разбивочных работ	279
8.6.1. Построение проектного горизонтального угла	279

8.6.2. Построение проектного отрезка прямой линии	281
8.6.3. Вынос точки на проектную отметку	282
8.6.4. Совмещение точек со створом	283
8.6.5. Построение вертикальной створной плоскости (вертикальное проецирование осевых точек наклонным лучом)	284
8.6.6. Построение линии заданного уклона	285
8.6.7. Построение наклонной плоскости	285
8.6.8. Передача отметок в котлован и на монтажный горизонт ...	286
8.7. Точность разбивочных работ	289
8.8. Способы разбивки главных и основных осей	293
8.9. Геодезические работы при строительстве фундаментов	305
8.10. Геодезические работы при строительстве надфундаментных частей зданий	309
8.11. Геодезический контроль строительства объектов башенного типа	321
8.12. Исполнительные съемки. Общие сведения	325
8.13. Геодезические измерения смещений и деформаций зданий и сооружений	334
8.14. Геодезические методы обмеров архитектурных и строительных объектов	346
8.14.1. Общие сведения	346
8.14.2. Нанесение нулевой линии на фасады и в интерьерах зданий	350
8.14.3. Плано-высотная основа для выполнения архитектурных обмеров	351
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	<i>355</i>

Глава 9. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ИЗЫСКАНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

9.1. Особенности инженерных изысканий для проектирования подземных коммуникаций	357
9.2. Схемы устройства сетей водоснабжения, канализации и газоснабжения	359
9.3. Трасса трубопровода. Колодцы	361
9.4. Сведения о выборе рабочих уклонов самотечных трубопроводов	364
9.5. Глубина заложения трубопроводов	365
9.6. Увязка взаимного положения подземных коммуникаций	368
9.7. Съемки подземных коммуникаций индукционными приборами. Обмеры	370
9.8. Требования к точности геодезической основы для изысканий и строительства подземных коммуникаций	373
9.9. Камеральное трассирование на плане. Продольный профиль трассы	378
9.10. Геодезические работы при полевом трассировании подземного трубопровода	382
9.11. Геодезические расчеты при проектировании продольного профиля трубопровода канализации	385

9.12. Геодезический вынос в натуру оси трубопроводов	389
9.13. Геодезические работы при строительстве трубопроводов	393
9.14. Инженерно-геодезические работы при проектировании и устройстве переходов трубопроводов через препятствия	401
9.15. Исполнительные съемки	405
9.16. Определение высоты сооружений вблизи трассы трубопровода	408
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	409
Глава 10. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ И МЕЛИОРАТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	411
10.1. Состав и содержание инженерно-геодезических работ при строительстве гидроэлектростанций	411
10.2. Геодезическая основа стройплощадки гидроузла, вынос в натуру главных осей сооружений	419
10.3. Геодезические работы при возведении ГЭС, монтаже гидротехнических агрегатов и наблюдениях за деформациями сооружений	425
10.4. Особенности геодезического обеспечения строительства атомных и тепловых электростанций	429
10.5. Геодезические работы при мелиоративном строительстве ...	433
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	451
Глава 11. БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ	453
11.1. Охрана труда при выполнении геодезических работ на строительных объектах	453
11.2. Правила хранения, транспортировки и эксплуатации геодезических приборов	456
<i>Вопросы и задания для самопроверки</i>	457
Литература	458

Учебное издание

Подшивалов Владимир Павлович
Нестеренок Маргарита Сергеевна

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Учебник

2-е издание, исправленное

Редактор *Ю.А. Мисюль*
Художественный редактор *В.А. Ярошевич*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *Е.З. Липень*
Компьютерная верстка *М.В. Бригер*

Подписано в печать 19.02.2014. Формат 84×108/32. Бумага офсетная. Гарнитура «Times New Roman». Офсетная печать. Усл. печ. л. 24,36. Уч.-изд. л. 23,98.
Тираж 1200 экз. Заказ

Республиканское унитарное предприятие «Издательство “Высэйшая школа”».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07.2013.
Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
e-mail: market@vshph.com <http://vshph.com>

Открытое акционерное общество «Красная звезда».
ЛП № 02330/0552716 от 03.04.2009. 1-й Загородный пер., 3, 220073, Минск.