
ГЛАВА 1

ПРЕДМЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ

Геодезия — наука, изучающая фигуру и внешнее гравитационное поле Земли и разрабатывающая методы создания систем координат, определения положения точек на Земле и околоземном пространстве, изображения земной поверхности на картах.

Научными задачами геодезии являются:

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

Научно-технические задачи геодезии в обобщенном виде заключаются:

- в определении положения точек в выбранной системе координат;
- составлении карт и планов местности разного назначения;
- обеспечении топографо-геодезическими данными нужд обороны страны;
- выполнении геодезических измерений для проектирования и строительства, землепользования, кадастра, исследования природных ресурсов и др.

Геодезия в процессе своего развития разделилась на ряд научных дисциплин: высшую геодезию, топографию, фотограмметрию, картографию, космическую геодезию, морскую геодезию, инженерную геодезию.

Особое место занимает инженерная геодезия, которая разрабатывает методы геодезического обеспечения изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений: железных и автомобильных дорог, мостов, тоннелей, трубопроводов, промышленных и гражданских зданий, систем водоснабжения и водоотведения и др.

Основными задачами инженерной геодезии являются:

- *топографо-геодезические изыскания*, в ходе которых осуществляется создание на объекте работ геодезической сети, топографическая съемка, геодезическая привязка точек геологической и геофизической разведки;
- *инженерно-геодезическое проектирование*, включающее разработку генеральных планов сооружений и их цифровых моделей; геодезическую подготовку проекта для вынесения его в натуру, расчеты по горизонтальной и вертикальной планировке, определению площадей, объемов земляных работ и др.;
- *геодезические разбивочные работы*, включающие создание на объекте строительства геодезической разбивочной сети и последующий вынос в натуру главных осей сооружения и его детальную разбивку;
- *геодезическая выверка конструкций и технологического оборудования* при установке их в проектное положение;
- *наблюдения за деформациями сооружений*, определяющие осадки оснований и фундаментов, плановые смещения и крены сооружений.

Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации современных инженерных сооружений связано с необходимостью выполнения точных измерений, служащих определению координат и высот геодезических пунктов, составлению топографических планов, продольных профилей трасс; наблюдению за деформациями сооружений.

Измерения выполняются высокоточными геодезическими приборами: теодолитами — угловые измерения; светодальномерами — линейные измерения; электронными тахеометрами — угловые и линейные измерения с решением различных инженерно-геодезических задач; нивелирами — определение превышений. При определении положения объектов используется аппаратура спутниковых навигационных систем, при выполнении топографической съемки местности находят применение лазерные сканеры. Обработка результатов геодезических измерений выполняется на современных компьютерах с использованием развитого программного обеспечения.

Состав геодезических работ, их точность, используемые приборы и применяемые методы различаются в зависимости от особенностей объекта.

Так, при выполнении изысканий железной дороги создают геодезическую сеть, опираясь на которую составляют топографические планы местности. На планах выполняют предварительное трассирование дороги. Окончательное положение трассы выбирают в поле и, выполнив съемку трассы, получают необходимые для проектирования дороги профиль трассы и ситуационный план полосы местности.

Для обеспечения безопасного движения поездов вдоль железной дороги создают высокоточную геодезическую сеть (реперную систему), опираясь на которую выполняют работы по реконструкции и ремонту путей, по оперативному контролю их геометрических параметров наблюдают за деформациями путей, земляного полотна и искусственных сооружений.

В процессе строительства и по мере завершения отдельных его этапов выполняются исполнительные съемки, цель которых — установление точности вынесения проекта сооружения в натуру, выявление отклонений, допущенных в процессе строительства, а также определение фактических координат и высот построенных объектов, размеров их отдельных частей.

В последние годы широкое применение находит геоинформатика — компьютерная технология сбора, хранения,

обработки, передачи и наглядного представления пространственно-ориентированной информации. Созданы мощные программные продукты — геоинформационные системы, одной из основ которых является топографо-геодезическая информация. Геоинформационные системы обычно используются как системы поддержки принятия решений во многих областях народного хозяйства, в частности, таких как кадастр, транспорт, управление природными ресурсами, экология и др.

ГЛАВА 2

ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ. ВЫСОТЫ

2.1. ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ

Изучение формы и размеров Земли включает решение двух задач:

- установление некоторой сглаженной, обобщенной, теоретической фигуры Земли;
- определение отклонений от нее фактической физической поверхности.

Учитывая, что океаны и моря занимают 71% поверхности Земли, а суши — только 29%, за теоретическую фигуру Земли принято тело, ограниченное поверхностью океанов в их спокойном состоянии, продолженной и под материками, и называемое *геоидом*.

Поверхность, в каждой своей точке перпендикулярная к отвесной линии (направлению силы тяжести), называется *уровненной поверхностью*. Из множества уровневых поверхностей одна совпадает с поверхностью геоида.

Из-за неравномерности распределения масс в земной коре геоид имеет неправильную геометрическую форму, и его поверхность нельзя выразить математически, что необходимо для решения геодезических задач. При решении геодезических задач геоид заменяют близкими к нему геометрически правильными поверхностями.

Так, для приближенных вычислений Землю принимают за шар с радиусом 6371 км.

Ближе к форме геоида подходит эллипсоид — фигура, получаемая вращением эллипса вокруг его малой оси

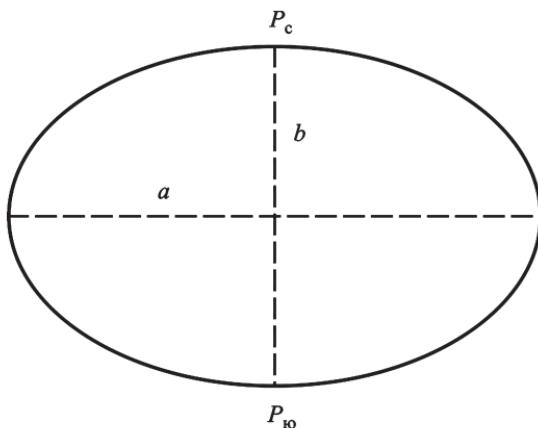


Рис. 2.1
Меридианный эллипс:

P_c — северный полюс; $P_{ю}$ — южный полюс.

(рис. 2.1). Размеры земного эллипсоида характеризуют следующими основными параметрами: a — большая полуось, b — малая полуось, α — полярное сжатие и e — первый эксцентриситет меридианного эллипса, где

$$\alpha = \frac{a-b}{a} \quad \text{и} \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}.$$

При подборе формы и размеров земного эллипсоида выделяют *общеземной эллипсоид*, имеющий наибольшую близость к фигуре Земли в целом. Центр общеземного эллипсоида помещают в центре масс Земли, ось вращения совмещают со средней осью вращения Земли, а параметры эллипсоида принимают такие, чтобы обеспечить в среднем наибольшую близость поверхности эллипсоида к поверхности геоида. Форма и размеры общеземного эллипсоида могут различаться в зависимости от набора наблюдений, использованных при вычислении его параметров.

Постановлением Правительства РФ от 28 декабря 2012 года для использования в России утверждены два общеземных эллипсоида и связанные с ними системы координат:

- ГСК-2011 (геодезическая система координат 2011 года) — для использования при выполнении геодезических и картографических работ;

- ПЗ-90.11 (параметры Земли 1990 года) — для геодезического обеспечения орбитальных полетов спутников ГЛОНАСС и решения навигационных задач.

Аналогичными зарубежными общеземными системами являются:

- ITRS (International Terrain Reference System), предназначенная для координатного обеспечения геодезических работ по всему миру;
- WGS-84 (World Geodetic System, 1984) — координатная основа обеспечения орбитальных полетов и решения задач навигации при использовании спутников GPS.

В период с 1946 г. вплоть до настоящего времени в России использовался эллипсоид Красовского и связанные с ним системы координат, сначала — СК-42, затем — СК-95. Малая ось эллипса Красовского была направлена параллельно оси вращения Земли, но не совмещена с нею.

2.2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГЕОДЕЗИИ

Для определения положения точек в геодезии применяют пространственные прямоугольные, геодезические и плоские прямоугольные координаты.

Пространственные прямоугольные координаты. Начало системы координат расположено в центре O земного эллипса (рис. 2.2).

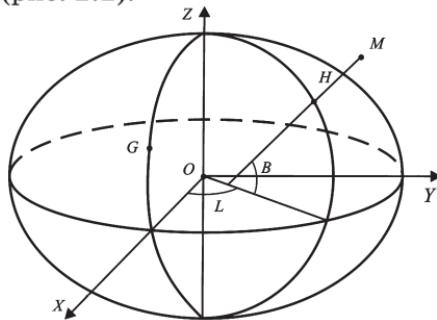


Рис. 2.2
Земной эллипсоид и координаты:

X, Y, Z — пространственные прямоугольные;
 B, L, H — геодезические; G — Гринвич.

Ось Z направлена по оси вращения эллипсоида к северу. Ось X лежит в пересечении плоскости экватора с начальным — Гринвичским меридианом. Ось Y направлена перпендикулярно осям Z и X на восток.

Геодезические координаты. Геодезическими координатами точки являются ее широта, долгота и высота.

Геодезической широтой точки M называется угол B , образованный нормалью к поверхности эллипсоида, проходящей через данную точку, и плоскостью экватора.

Широта отсчитывается от экватора к северу и югу от 0 до 90° и называется северной или южной. Северную широту считают положительной, а южную — отрицательной.

След сечения поверхности эллипсоида плоскостью, проходящей через ось его вращения OZ , называется *геодезическим меридианом*.

Геодезической долготой точки M называется двугранный угол L , образованный плоскостями начального (Гринвичского) геодезического меридиана и геодезического меридиана данной точки.

Долготы отсчитывают от начального меридиана в пределах от 0 до 360° на восток, или от 0 до 180° на восток (положительные) и от 0 до 180° на запад (отрицательные).

Геодезической высотой H точки M называется расстояние по нормали от точки до поверхности земного эллипсоида.

Геодезические координаты с пространственными прямоугольными координатами связаны формулами

$$\begin{aligned} X &= (N + H)\cos B \cos L; \\ Y &= (N + H)\cos B \sin L; \\ Z &= [(1 - e^2)N + H]\sin B, \end{aligned}$$

где e — первый эксцентриситет меридианного эллипса и N — радиус кривизны первого вертикала. При этом $N = a/(1 - e^2 \sin^2 B)^{1/2}$.

Геодезические и пространственные прямоугольные координаты точек определяют с помощью спутниковых измерений, а также путем их привязки геодезическими измерениями к точкам с известными координатами.

Отметим, что наряду с геодезическими существуют еще астрономические широта и долгота. *Астрономическая*

широта ϕ — это угол, составленный отвесной линией в данной точке с плоскостью экватора. *Астрономическая долгота* λ — угол между плоскостями Гринвичского меридиана и проходящего через отвесную линию в данной точке астрономического меридиана. Астрономические координаты определяют на местности из астрономических наблюдений.

Астрономические координаты отличаются от геодезических потому, что направления отвесных линий не совпадают с направлениями нормалей к поверхности эллипсоида. Угол между направлением нормали к поверхности эллипсоида и отвесной линией в данной точке земной поверхности называется *уклонением отвесной линии*.

Обобщением геодезических и астрономических координат является термин — *географические координаты*.

Плоские прямоугольные координаты Гаусса — Крюгера. Для решения задач инженерной геодезии от пространственных и геодезических координат переходят к более простым — плоским координатам, позволяющим изображать местность на плоскости и определять положение точек двумя координатами x и y .

Поскольку выпуклую поверхность Земли изобразить на плоскости без искажений нельзя, введение плоских координат возможно только на ограниченных участках, где искажения так малы, что ими можно пренебречь. В России принята система прямоугольных координат, основой которой является равногольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса. Поверхность эллипсоида изображается на плоскости по частям, называемым *зонами*. Зоны представляют собой сферические двуугольники, ограниченные меридианами, и простирающиеся от северного полюса до южного (рис. 2.3). Размер зоны по долготе равен 6° . Центральный меридиан каждой зоны называется *осевым*. Нумерация зон идет от Гринвича к востоку.

Долгота осевого меридиана зоны с номером N равна:

$$\lambda = 6^\circ N - 3^\circ.$$

Каждая зона имеет свою систему плоских прямоугольных координат.

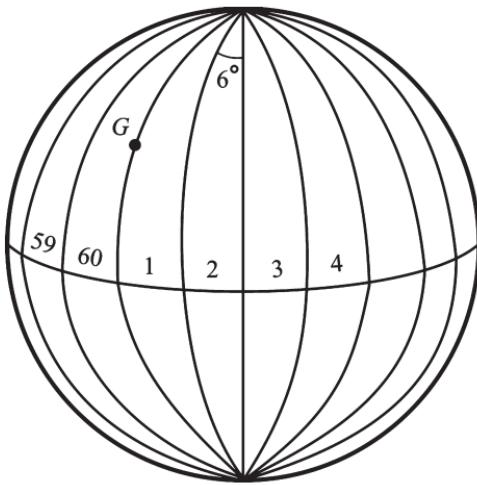


Рис. 2.3
Деление поверхности Земли на координатные зоны:

G — Гринвич.



Рис. 2.4
Изображение координатной зоны на плоскости:

O — начало координат; $x_0 = 0$; $y_0 = 500$ км.

Осевой меридиан зоны и экватор изображаются на плоскости прямыми линиями (рис. 2.4). Изображение осевого меридиана принимают за ось абсцисс x , а изображение экватора — за ось ординат y . Их пересечение (точка O) служит началом координат данной зоны. Чтобы избежать отрицательных значений ординат, координаты пересечения принимают равными $x_0 = 0$, $y_0 = 500$ км, что равнозначно смещению оси x к западу на 500 км.

Чтобы по прямоугольным координатам точки можно было судить, в какой зоне она расположена, к ординате y слева приписывают номер координатной зоны.

Пусть, например, координаты точки A имеют вид:

$$\begin{aligned}x_A &= 6\ 276\ 427 \text{ м;} \\y_A &= 12\ 428\ 566 \text{ м.}\end{aligned}$$

Эти координаты указывают на то, что точка A находится на расстоянии 6 276 427 м от экватора, в западной части ($y < 500$ км) 12-й координатной зоны, на расстоянии $500\ 000 - 428\ 566 = 71\ 434$ м от осевого меридиана.

Определение координат при выполнении геодезических работ осуществляют привязкой к пунктам государственной геодезической сети. Координаты этих пунктов выражены в системе координат СК-95.

В 2012 г. Правительством РФ для геодезических работ установлена новая система координат ГСК-2011, переход к которой от системы СК-95 должен быть завершен до 2017 г.

Местные системы плоских прямоугольных координат. Согласно Постановлению Правительства РФ № 139 от 03.03.2007 г. под местной системой координат понимают систему координат, установленную на ограниченной территории, не превышающей территорию субъекта Российской Федерации, начало отсчета координат и ориентировка осей координат которой смешены относительно начала отсчета координат и ориентировки координатных осей государственной системы координат.

Местные системы координат устанавливают для проведения геодезических и топографических работ при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации

зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров и осуществлении иных специальных работ.

При установлении местной системы координат предусматривают возможность перехода, в случае необходимости, от местной к государственной системе координат, для чего должны быть определены параметры перехода (ключи).

Условные системы плоских прямоугольных координат. При строительстве различных объектов часто используют системы плоских прямоугольных координат, в которых начало координат и направления координатных осей назначают, исходя из удобства их использования в ходе строительства и последующей эксплуатации объекта.

В частности, местные системы координат применяют для съемки и реконструкции железнодорожных станций. Здесь обычно ось y направляют по оси главного железнодорожного пути в направлении возрастания пикетажа, а ось x — по оси здания пассажирского вокзала.

При строительстве крупных промышленных и гражданских объектов оси x и y направляют параллельно осям строящихся зданий.

При строительстве мостовых переходов ось x совмещают с осью моста, а ось y направляют перпендикулярно ей.

2.3. СИСТЕМЫ ВЫСОТ

Счет высот в инженерной геодезии ведут от одной из уровненных поверхностей.

Высотой точки называют расстояние по отвесной линии от точки до уровненной поверхности, принятой за начало счета высот.

Если высоты отсчитывают от основной уровненной поверхности, т. е. от поверхности геоида, их называют *абсолютными высотами*. На рисунке 2.5 отрезки отвесных линий Aa и Bb — абсолютные высоты точек A и B .

Если за начало счета высот выбрана какая-либо другая уровненная поверхность, то высоты называют *условными*. На рисунке 2.5 отрезки отвесных линий Aa' и Bb' — условные высоты точек A и B .

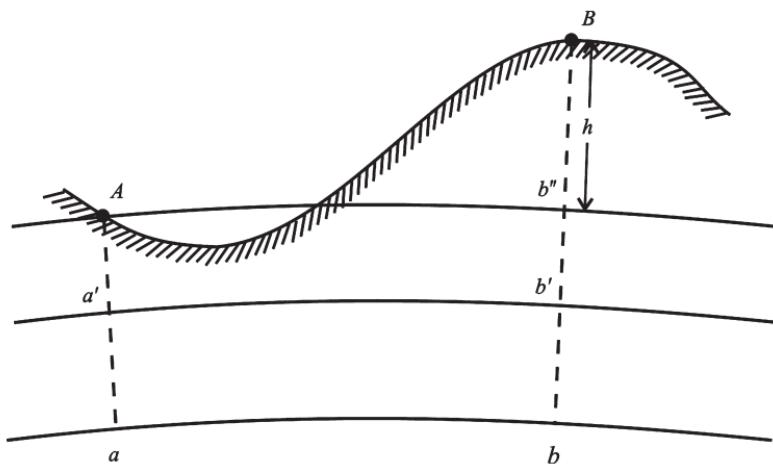


Рис. 2.5

Абсолютные и условные высоты:

$a'b'$ — уровенная поверхность; ab — поверхность геоида; Ab'' — уровенная поверхность точки A .

В России принята *Балтийская система высот*. Счет абсолютных высот ведут от уровенной поверхности, проходящей через нуль *Кронштадтского футштока*.

Численное значение высоты принято называть *отметкой*. Например, если высота точки A равна $H_A = 15,378$ м, то говорят, что отметка точки равна 15,378 м.

Разность высот двух точек называется *превышением*. Так, превышение точки B над точкой A равно

$$h_{AB} = H_B - H_A. \quad (2.1)$$

Для определения высоты точки B на местности измеряют превышение h_{AB} . Зная высоту точки A , высоту точки B вычисляют по формуле

$$H_B = H_A + h_{AB}. \quad (2.2)$$

Измерение превышений и последующее вычисление высот точек называется *нивелированием*. При этом во многих случаях для измерения превышения h_{AB} прокладывают ход нивелирования, в котором измеряют и суммируют части измеряемого превышения:

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n h_i, \quad (2.3)$$

где h_i — непосредственно измеренная часть превышения; n — число таких частей.

Заметим, что применяемый в инженерной геодезии метод определения высот путем измерения превышений не является вполне строгим.

Равенства (2.1) и (2.2) справедливы в том случае, если уровенные поверхности точек A и B параллельны. Но в действительности уровенные поверхности между собой не параллельны.

Однако расчеты показывают, что при нормальных значениях силы тяжести, горизонтальном расстоянии 1 км и превышении 100 м ошибка в превышении из-за непараллельности уровенных поверхностей не превышает 0,09 мм. Поэтому в инженерно-геодезических работах непараллельностью уровенных поверхностей пренебрегают и при определении высот пользуются формулами (2.2) и (2.3).

Непараллельность уровенных поверхностей учитывают в Государственной нивелирной сети I и II класса, где высоты пунктов определены в единой системе высот, где кроме превышений измеряют силу тяжести.

Отметим, что точное определение положения поверхности геоида в области материков невозможно. Невозможно и измерение расстояний от точек на физической поверхности Земли до поверхности геоида. Это делает невозможным определение высот, отсчитываемых от поверхности геоида и носящих название *ортометрических*.

Поэтому в России и многих других странах принято отсчитывать высоты от близкой к геоиду вспомогательной поверхности, называемой *квазигеоидом*. Высоты, отсчитываемые от поверхности квазигеоида, называются *нормальными* высотами. Их определение становится возможным благодаря выполняемым на поверхности Земли измерениям силы тяжести. Теорию и методы таких определений изучают в курсе высшей геодезии [21].

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru