

---

# 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.

## 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 суша — 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 *уровенной поверхностью*. Из множества уровенных 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

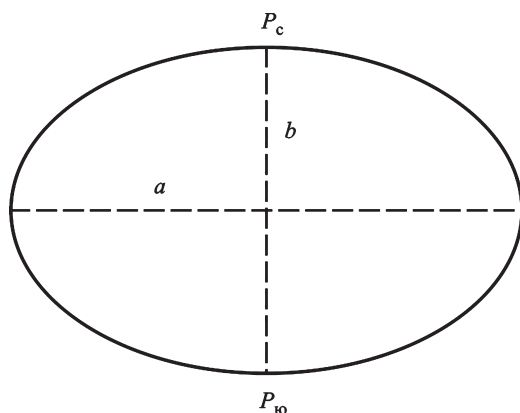


Рис. 2.1

Меридианный эллипс:

 $P_с$  — северный полюс;  $P_ю$  — южный полюс.

(рис. 2.1). Размеры земного эллипсоида характеризуют следующими основными параметрами:  $a$  — большая полуось,  $b$  — малая полуось,  $\alpha$  — 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 эллипсоида Красовского была направлена параллельно оси вращения Земли, но не совмещена с ней.

## 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 эллипсоида (рис. 2.2).

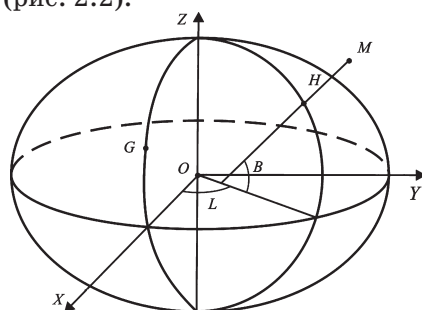


Рис. 2.2

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  $90^\circ$  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  $360^\circ$  на восток, или от  $0$  до  $180^\circ$  на восток (положительные) и от  $0$  до  $180^\circ$  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*  $\varphi$  — это угол, составленный отвесной линией в данной точке с плоскостью экватора. *Астрономическая долгота*  $\lambda$  — 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*.

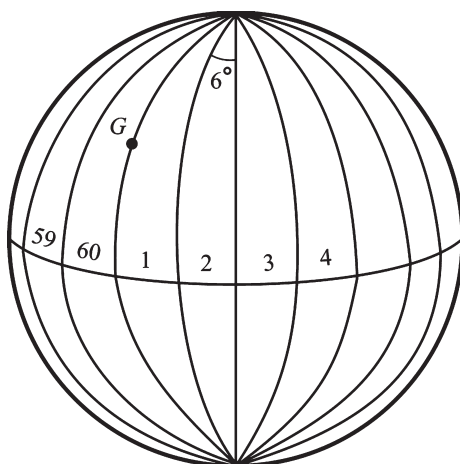
**Плоские прямоугольные координаты Гаусса — Крюгера.** Для решения задач инженерной геодезии от пространственных и геодезических координат переходят к более простым — плоским координатам, позволяющим изображать местность на плоскости и определять положение точек двумя координатами  $x$  и  $y$ .

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 равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса. Поверхность эллипсоида изображается на плоскости по частям, называемым *зонами*. Зоны представляют собой сферические двугульники, ограниченные меридианами, и простирающиеся от северного полюса до южного (рис. 2.3). Размер зоны по долготе равен  $6^\circ$ . 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 равносильно 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 смещены 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.

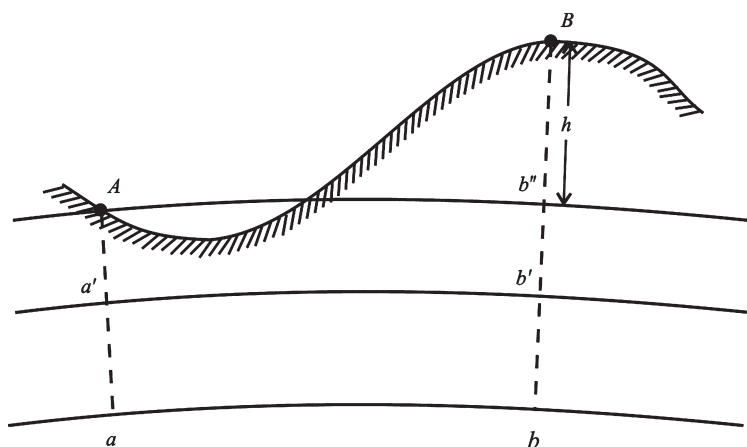
### 2.3. СИСТЕМЫ ВЫСОТ

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

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

Если высоты отсчитывают от основной уровенной 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 уровенная 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](http://e-Univers.ru)