

# ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Геодезия как учебная дисциплина и как наука в целом в последние годы весьма бурно развивается. Это связано с общим прогрессом в технике и в частности, применительно к геодезии, с появлением новых электронных измерительных приборов, мощных компьютеров и разнообразного специализированного программного обеспечения. Кроме того, особо следует отметить достижения в космической отрасли, благодаря которым получила развитие технология спутникового позиционирования и были существенно пересмотрены стандарты геодезической основы.

Предмет «Геодезия» сегодня введен во все технические дисциплины. Такие термины, как «геодезические координаты», «цифровые модели местности, рельефа, зданий, сооружений», вошли в повседневную практическую жизнь многих направлений делопроизводства. Геодезические методы определения координат востребованы при ведении широкого спектра работ: от калибровочных измерений на микроуровне (роботизированные станки по изготовлению и обработке деталей машин и механизмов) до построения ГИС различного назначения. Строительство любого объекта не обходится без тщательной геодезической подготовки, как на стадии проектирования и строительства, так и в особых случаях при его эксплуатации. Понятия «цифровые карты», «планы» также известны весьма широкому кругу специалистов. Их создание — это результат геодезических съемок или обработки данных альтернативных измерений.

В настоящем учебнике приведены основы геодезии. Автор Б. Н. Дьяков, кандидат технических наук, доцент, известный ученый и преподаватель, поставил цель дать

студентам негеодезических специальностей, а также специалистам широкого профиля, необходимый объем знаний о геодезии, геодезических измерениях, их обработке и применении. Материал учебника содержит последовательное, изложение, позволяющее получить представление о производстве геодезических работ.

Основы геодезии представлены в разделах: *общие сведения о геодезии, методы определения прямоугольных координат точек, приборы и методики измерения углов, расстояний, превышений, крупномасштабные топографические съемки*. В тексте приводятся как известные формулы, так и авторские, с комментариями и выводами, что является весьма полезным, так как наводит читателя на размышления о возможном практическом применении теоретических выкладок.

Важнейшей составляющей геодезии является вопрос о точности измерений. В учебнике уделено повышенное внимание предрасчету, определению точности измерений и сопоставлению их с допусками. При этом выделяются два уровня точности: техническая и средняя.

Автор предлагает ввести в геодезическую практику понятие «произвольная линейно-угловая сеть», которое обосновывается на конкретных примерах создания сетей сгущения и съемочных сетей с применением электронных тахеометров.

В последнее время вопрос надежности геодезических построений стал чрезвычайно актуальным в связи с переходом на автоматические и полуавтоматические средства сбора геодезической информации. В этой связи раздел о надежности геодезических построений, где рассмотрен авторский способ поиска грубых ошибок измерений, выглядит вполне уместным.

В заключение следует сказать, что, безусловно, электронные технологии измерений все больше будут входить в нашу жизнь, создавая известный комфорт работы. Вместе с тем «начинка» измерений во многом остается неизменной, лишь модифицируется через программный код в удобный кнопочный интерфейс. В этой связи повышается

актуальность настоящего учебника, так как детально рассмотрены все аспекты линейно-угловых измерений.

Данная книга будет полезной и маркшейдеру, и кадастровому инженеру, и землеустроителю, и геологу, и, конечно же, строителю.

*Заведующий кафедрой инженерной геодезии  
Санкт-Петербургского горного университета,  
профессор, доктор технических наук М. Г. Мустафин*

# ВВЕДЕНИЕ

---

Геодезия является в значительной мере математической дисциплиной, так как она базируется на важнейших разделах математики: арифметике, геометрии, аналитической геометрии, тригонометрии и др. Геометрическая основа геодезии требует геометрического толкования объекта геодезии как науки, предмета геодезии и методов решения геодезических задач. Именно с геометрических позиций написан и наш учебник; в нем постоянно подчеркивается геометрическая основа геодезии и рассматриваются геометрические методы решения ее задач.

Все разделы учебника написаны в соответствии с программой курса «Геодезия» для негеодезических специальностей высших и средних профессиональных учебных заведений. В учебнике приведены основные понятия геодезии, рассмотрены классические способы определения прямоугольных координат точек, описаны геодезические измерительные приборы и методы геодезических измерений на уровне технической и средней точности, изложена теория и методика топографических съемок и определения площади земельных участков. Ввиду почти полного исчезновения мензульной съемки из практики геодезического производства, ее описание не вошло в наш учебник. Отдельная глава посвящена изучению топографических карт разных масштабов.

Учебник представляет собой переработанное и дополненное пособие «Основы геодезии и топографии» (СПб : Лань, 2016); этот текст был нами существенно переработан и дополнен. Особенно детально переработана 2-я глава «Определение прямоугольных координат точек», в которой изложена по сути полная теория координатных

определений на плоскости; содержание этой главы может составить отдельную брошюру на 75–80 страниц. В главы, посвященные геодезическим измерениям, добавлено описание методик точных измерений.

Впервые в нашем учебнике рассмотрена тема надежности геодезических сетей, тесно связанная с поиском и учетом грубых ошибок измерений. Для полноты базового курса в учебник включена глава «Начальные сведения из инженерной геодезии».

Значительную часть учебника занимают приложения, в которых помещены сложные формулы, правила быстрого счета, примеры решения всех рассмотренных в учебнике задач, описание электронного тахеометра, перечень задач Герона, основные правила техники безопасности и т. д.

Все исторические сведения и ссылки взяты нами из книг проф. Г. Н. Тетерина. В отдельном приложении приведен перечень публикаций автора по темам разделов учебника.

В настоящее время в практику геодезических работ широко внедряются электронные геодезические приборы: цифровые нивелиры, лазерные сканеры, электронные тахеометры, беспилотные авиационные системы, а спутниковые навигационные системы вообще считаются новым достоянием цивилизации. Для изучения и грамотного использования новейших приборов и методик необходимо владеть, как минимум, элементарными знаниями основ геодезии, и настоящий учебник автор считает своеобразной азбукой этой древней, но вечно юной науки.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

---

## 1.1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ГЕОДЕЗИИ

**В** средней школе есть дисциплина «геометрия», в которой оперируют следующими понятиями: точка, линия, поверхность, геометрические фигуры, геометрические тела.

Как определяется точка? Вот выдержка из энциклопедического словаря: «Точка — одно из основных понятий геометрии; при систематическом изложении геометрии точка обычно принимается за одно из исходных понятий». Другими словами, понятие точки первично, оно не определяется через более простые понятия. Однако в литературе можно встретить определение точки как место пересечения двух линий, то есть более простое понятие определяется через более сложные. Евклид определял точку как то, что не имеет частей.

Для линии энциклопедический словарь дает два определения: с одной стороны, линия — это общая часть (или место пересечения) двух смежных областей поверхности, с другой стороны — через точку: «движущаяся точка при своем движении описывает некоторую линию». Второе определение можно выразить и так: линия — это геометрическое место точек, прилежающих одна к другой; к каждой точке примыкают всего две точки, одна точка с одной стороны и вторая — с другой. Евклид писал, что линия — это длина без ширины.

В топографическом черчении размер точки и толщина линии принимаются равными 0,1 мм. В оптике есть понятие «критический угол зрения» — это угол, при котором

две точки сливаются в одну; для глаза человека он принимается равным  $\beta = 60''$ . На оптимальном расстоянии чтения  $S = 300$  мм диаметр точки, вычисляемый по формуле

$$d = \frac{S \cdot \beta}{\rho},$$

где  $\rho = 206\,265''$ , получается  $d = 0,09$  мм, что при округлении дает 0,1 мм.

Термины «точка» и «линия» раньше применялись и как меры длины. В системе английских мер одна линия равна  $1/12$  дюйма, или 2,1167 мм; одна точка равна  $1/6$  линии, или 0,3528 мм; в русских мерах длины одна линия равна  $1/10$  дюйма, или 2,54 мм; одна точка равна  $1/10$  линии, или 0,254 мм.

Поверхность (согласно энциклопедическому словарю) — это общая часть двух смежных областей пространства. Можно сказать, что движущаяся линия описывает в пространстве некоторую поверхность. Выполнив определенные построения на поверхности (в частном случае на плоскости), можно получить геометрические фигуры — угол, треугольник, многоугольник, круг, сектор, сегмент, и т. д.

Комбинации поверхностей, линий и точек воплощаются в геометрические тела: пирамиды, призмы, параллелепипеды, конусы, шары, и т. д.

Изучение характеристик и свойств геометрических объектов выполняют с помощью чертежей и макетов небольших размеров, а также с помощью уравнений аналитической геометрии.

Геодезию раньше называли «практической геометрией», так как она имеет дело с геометрическими характеристиками объектов в окружающем нас пространстве. Участок пространства может быть совсем небольшим: комната, дом, дачный участок; он может быть и больше — территория завода, рудника, населенного пункта (от одиночного хутора до мегаполиса). Это может быть и территория целого государства, континента или всего земного шара, а может включать и околоземное пространство.

Любая наука имеет три аспекта: объект изучения, предмет изучения и метод. Для геодезии объектом изучения является окружающее пространство; к концу XX века сформировались его составляющие: технопостранство (вторичная среда), Земля (как планета), ближний космос со всеми космическими объектами. Предметом изучения геодезии является геометрия этого пространства. Методами геодезии являются измерение и моделирование.

Основную задачу геодезии в самом общем смысле можно понимать как геометризацию и координатизацию пространства. Геометризация — это представление объектов и явлений окружающего пространства совокупностью точек, линий, поверхностей в графической, аналитической, цифровой, электронной и вещественной формах. Координатизация означает задание конкретной системы координат и изучение геометрических характеристик объектов в этой системе.

Слово «геодезия» образовано из греческих слов «*ge*» — земля и «*dazomai*» — разделяю, делю на части; если перевести его дословно, то получится «землеразделение». Это название соответствовало содержанию геодезии во времена ее зарождения и начального развития. Так, в Египте задолго до нашей эры измерялись размеры земельных участков, строились оросительные системы; все это выполнялось с участием геодезистов.

С развитием человеческого общества, повышением роли науки и техники расширялось содержание геодезии, усложнялись задачи, которые ставила перед ней жизнь. Краткое изложение теории развития геодезии приведено в приложении 25.

В настоящее время геодезия — это наука о методах определения фигуры и размеров Земли и изображения ее поверхности на картах и планах, а также о способах проведения различных измерений на поверхности Земли (на суше и в акваториях), под землей, в околоземном пространстве и на других планетах.

Согласно Федеральному закону о геодезии, картографии и пространственных данных ФЗ-431 от 30.12.2015 г., «геодезия — это область отношений в сфере определения

фигуры, размеров, гравитационного поля Земли, координат точек земной поверхности и их изменений во времени».

Известный русский ученый-геодезист В. В. Витковский (1856–1924) так характеризовал геодезию: «Геодезия представляет одну из полезнейших отраслей знания; все наше земное существование ограничено пределами Земли, и изучать ее вид и размеры человечеству так же необходимо, как отдельному человеку ознакомиться с подробностями своего жилья».

Среди многих задач геодезии можно выделить долговременные задачи и задачи на ближайшие годы.

К первым относятся:

- определение фигуры, размеров и гравитационного поля Земли;
- распространение единой системы координат на территорию отдельного государства, континента и всей Земли в целом;
- изображение участков поверхности Земли на топографических картах и планах;
- изучение глобальных смещений блоков земной коры.

Задачи геодезии на 2012–2020 годы перечислены в приложении 24.

В правительстве любой страны есть орган на правах министерства, который организует и контролирует выполнение геодезических работ; в нашей стране этот орган в разные годы назывался по-разному: в царской России — Корпус военных топографов, в СССР — Главное управление геодезии и картографии (ГУГК), сейчас — Федеральная служба геодезии и картографии (Роскартография). В России есть научно-исследовательские геодезические институты, картографические фабрики, заводы по производству геодезических измерительных приборов. Специалистов по различным направлениям геодезии готовят вузы, техникумы, военно-топографические училища.

Усложнение и развитие геодезии привело к разделению ее на несколько научных дисциплин.

*Высшая геодезия* изучает фигуру Земли, ее размеры и гравитационное поле, обеспечивает распространение при-

нятых систем координат в пределах государства, континента или всей поверхности Земли, занимается исследованием древних и современных движений земной коры, а также изучает фигуру, размеры и гравитационное поле других планет Солнечной системы.

*Топография* («топос» — место, «графо» — пишу; дословно — описание местности) изучает методы топографической съемки местности с целью изображения ее на планах и картах.

*Картография* изучает методы и процессы создания и использования карт, планов, атласов и другой картографической продукции.

*Фотограмметрия* (фототопография и аэрофототопография) изучает методы создания карт и планов по фото- и аэрофотоснимкам.

*Инженерная геодезия* изучает методы и средства проведения геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений.

*Маркшейдерия* (горная геометрия, или подземная геодезия) изучает методы проведения геодезических работ в подземных и открытых горных выработках.

*Морская геодезия* изучает методы выполнения топографической съемки дна озер, рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей (шельфа).

*Космическое зондирование Земли* (космическая съемка) изучает поверхность Земли по многоспектральным космическим снимкам.

Понятно, что четко обозначенных границ между перечисленными дисциплинами нет. Так, топография включает в себя элементы высшей геодезии и картографии, инженерная геодезия использует разделы практически всех остальных геодезических дисциплин и т. д.

Уже из этого неполного перечня геодезических дисциплин видно, какие разнообразные задачи — и теоретического, и практического характера, — приходится решать геодезистам, чтобы удовлетворить требования государственных и частных учреждений, компаний и фирм. Для

государственного планирования и развития производительных сил страны необходимо изучать ее территорию в топографическом отношении. Топографические карты и планы, создаваемые геодезистами, нужны всем, кто работает или передвигается по земле: геологам, морякам, летчикам, проектировщикам, строителям, земледельцам, лесоводам, туристам, школьникам. Особенно нужны карты армии: строительство оборонительных сооружений, стрельба по невидимым целям, использование ракетной техники, планирование военных операций — все это без карт и других геодезических материалов просто невозможно.

Геодезия занимается изучением Земли в содружестве с другими «геонауками», то есть науками о Земле. Физические свойства Земли в целом изучает наука «физика Земли», строение верхней оболочки нашей планеты изучают геология и геофизика, строение и характеристики океанов и морей — гидрология, океанография. Атмосфера — воздушная оболочка Земли — и процессы, происходящие в ней, являются предметом изучения метеорологии и климатологии. Растительный мир изучает геоботаника, животный мир — зоология. Кроме этого, есть еще география, геоморфология и другие. Среди всех наук о Земле геодезия занимает свое место; она изучает геометрию Земли в целом и отдельных участков ее поверхности, а также геометрию любых объектов (и естественного, и искусственного происхождения) на поверхности Земли и вблизи нее.

Геодезия, как и другие науки, постоянно впитывает в себя достижения математики, физики, астрономии, радиоэлектроники, автоматики и других фундаментальных и прикладных наук. Изобретение лазера привело к появлению лазерных геодезических приборов — лазерных нивелиров, лазерных светодальномеров, лазерных сканеров; кодовые измерительные приборы с автоматической фиксацией отсчетов могли появиться только на определенном уровне развития микроэлектроники и автоматики. Что же касается информатики, то ее достижения вызвали в геодезии подлинную революцию, которая продолжается и сейчас.

В последние годы строительство так называемых уникальных инженерных сооружений потребовало от геодезии резкого повышения точности измерений. Так, при монтаже оборудования мощных ускорителей приходится учитывать десятые и даже сотые доли миллиметра. По результатам геодезических измерений изучают деформации и осадки действующего промышленного оборудования, обнаруживают движение земной коры в сейсмоактивных зонах, наблюдают за уровнем воды в реках, морях и океанах и уровнем грунтовых вод.

Возможность использования искусственных спутников Земли для решения геодезических задач привела к появлению новых разделов геодезии: космической геодезии, дистанционного зондирования Земли, геодезии планет Солнечной системы. Подтверждаются слова русского ученого К. Э. Циолковского (1857–1935): «Земля — колыбель человечества, но нельзя вечно жить в колыбели».

## 1.2. ПОНЯТИЕ О ФИГУРЕ ЗЕМЛИ

Фигура Земли как планеты издавна интересовала ученых; для геодезистов же установление ее фигуры и размеров является одной из основных задач.

На вопрос, какую форму имеет Земля, большинство людей отвечает: «Земля имеет форму шара!» Действительно, если не считать гор и океанических впадин, то Землю в первом приближении можно считать шаром. Она вращается вокруг оси и, согласно законам физики, должна быть сплюснута у полюсов. Во втором приближении Землю принимают за эллипсоид вращения; в некоторых исследованиях ее считают трехосным эллипсоидом.

На поверхности Земли встречаются равнины, котловины, возвышенности и горы разной высоты; если же принять во внимание рельеф дна озер, морей и океанов, то можно сказать, что форма физической поверхности Земли очень сложная. Для ее изучения можно применить широко известный способ моделирования, которым пользуются представители почти всех наук.

При разработке модели какого-либо объекта или явления учитывают только его главные характеристики, имеющие значение для успешного решения данной конкретной задачи.

В модели шарообразной Земли поверхность Земли имеет сферическую форму; здесь важен лишь радиус сферы, а все остальное — морские впадины, горы, равнины, отдельные точки земной поверхности, — определяется относительно поверхности сферы. В этой модели используется геометрия сферы, теория которой сравнительно проста и очень хорошо разработана.

Модель эллипсоида вращения имеет две характеристики: размеры большой и малой осей. В этой модели используется геометрия поверхности эллипсоида вращения, которая намного сложнее геометрии сферы, хотя разработана также достаточно подробно. Положение точек земной поверхности определяется относительно поверхности конкретного эллипсоида вращения.

Если участок поверхности Земли небольшой, то иногда оказывается возможным применить для этого участка модель плоской поверхности; в этой модели применяется геометрия плоскости, которая по сложности (а точнее, по простоте) несравнима с геометрией сферы, а тем более с геометрией эллипсоида. Положение точек земной поверхности определяется относительно конкретной плоской поверхности.

В одном из учебников по высшей геодезии написано: «понятие фигуры Земли неоднозначно и имеет различную трактовку в зависимости от использования получаемых данных». При решении геодезических задач можно иногда считать ограниченный участок поверхности Земли либо частью плоскости, либо частью сферы, либо частью поверхности эллипсоида вращения, и т. д.

Какое направление вполне однозначно и очень просто можно определить в любой точке Земли без специальных приборов? Конечно же, направление силы тяжести; стоит подвесить на нить груз, и натянутая нить зафиксирует это направление. Именно это направление является в геодезии

основным, так как оно существует объективно и легко и просто обнаруживается. Направления силы тяжести в разных точках Земли не параллельны: они радиальны, то есть почти совпадают с направлениями радиусов Земли.

*Уровенная поверхность.* Поверхность, всюду перпендикулярная направлениям силы тяжести, называется уровенной поверхностью. Уровенные поверхности можно проводить на разных высотах; все они являются замкнутыми и почти параллельны одна другой.

*Основная уровенная поверхность.* Уровенная поверхность, совпадающая с невозмущенной поверхностью мирового океана и мысленно продолженная под материки, называется основной уровенной поверхностью, или поверхностью геоида. Термин «геоид» был предложен в 1873 году немецким математиком Иоганном Листингом (1808–1882) для обозначения геометрической фигуры, отражающей уникальную форму планеты Земля более точно, чем эллипсоид вращения.

Если бы Земля была идеальным шаром и состояла из концентрических слоев различной плотности, имеющих постоянную плотность внутри каждого слоя, то все уровенные поверхности имели бы строго сферическую форму, а направления силы тяжести совпадали бы с радиусами сфер. В реальной Земле направления силы тяжести зависят от распределения масс различной плотности внутри Земли, поэтому поверхность геоида имеет сложную форму, не поддающуюся точному математическому описанию, и не может быть определена только из наземных измерений.

В настоящее время при изучении физической поверхности Земли роль вспомогательной поверхности выполняет поверхность квазигеоида, которая может быть точно определена относительно поверхности эллипсоида по результатам астрономических, геодезических и гравиметрических измерений. На территории морей и океанов поверхность квазигеоида совпадает с поверхностью геоида, а на суше отклоняется от нее: на равнинах — на несколько сантиметров, а в горах — в пределах двух метров (рис. 1.1).

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)