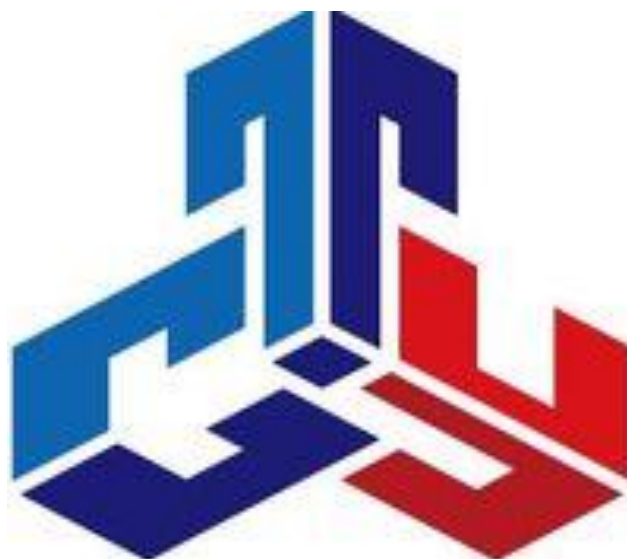


Современный технический университет



ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ОСНОВА КАРТ

Учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлениям:
Архитектура, Промышленное и гражданское строительство,
Природообустройство и водопользование, уровень бакалавриата

Рязань 2016

УДК 502.171(075)
ББК 20.18р30
Г35

Геодезическая основа карт: Учебное пособие / А.В. Барановский
Современный технический университет. Рязань, 2016.- 28
с.-50 экз.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям: Архитектура, Промышленное и гражданское строительство, Природообустройство и водопользование, уровень бакалавриата. Предназначено для использования в преподавании учебных дисциплин: Геодезия, Инженерная Геодезия, ГИС

Рецензент: директор ООО «Звездный» Чибизов В.Б.

*Печатается по решению Ученого Совета
Современного технического университета*

УДК 502.171(075)
ББК 20.18р30
Г 35

© Барановский А.В.
© Современный технический университет, 2016

Земной эллипсоид

Известно, что Земля шарообразна и по форме близка к *сфероиду* — фигуре, которую она приняла бы под влиянием только сил взаимного тяготения и центробежной силы вращения вокруг полярной оси. Из-за неравномерного распределения масс Земля имеет обширные, хотя и довольно пологие, выпуклости и вогнутости.

Фигуру Земли можно представить, вообразив поверхность, в каждой точке которой сила тяжести направлена по нормали к ней, т.е. по отвесной линии. Такую поверхность называют *уровенной*. Сложную фигуру нашей планеты, ограниченную уровенной поверхностью, проходящей через точку, закрепленную на высоте среднего уровня моря и являющуюся началом отсчета высот, называют *геоидом*. Иначе говоря, геоид представляет фигуру Земли, сглаженную до уровня Мирового океана (рис. 1). Благодаря использованию искусственных спутников и наземных измерений геоид достаточно изучен. При картографировании сложную фигуру геоида заменяют математически более простой — *эллипсоидом вращения* — *геометрическим телом, которое образуется при вращении эллипса вокруг его малой оси* (рис. 2). Наиболее известные эллипсоиды представлены в табл. 1.



Рис. 1. Меридиональное сечение геоида и земного эллипсоида

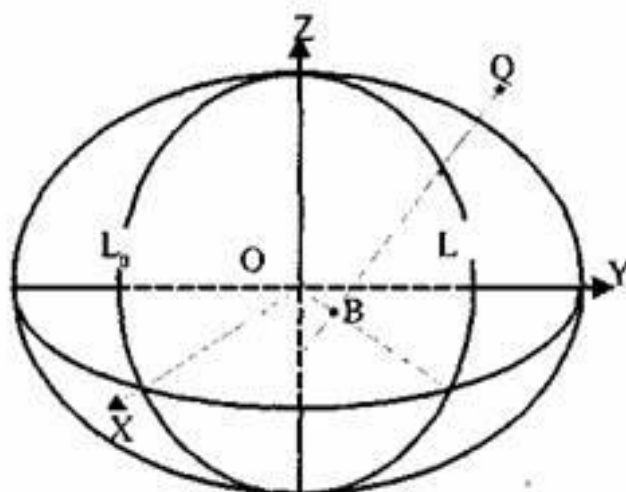


Рис. 2. Эллипсоид вращения (B, L — широта и долгота точки Q; L₀ — начальный меридиан)

В нашей стране в 1940 г. расчет эллипсоида был выполнен выдающимся ученым Ф. Н. Красовским (1878—1948) и его учеником А. А. Изотовым (1907—1988). Эллипсоид Красовского был утвержден в СССР для геодезических и картографических работ, его используют в России и в настоящее время.

Параметры эллипсоида, рекомендованные в 60-х годах международными астрономо-геодезическими организациями, применялись в Австралии, прилегающих к ней странах и в Южной Америке. Эллипсоиды системы геодезических параметров GRS-67 (*Geodetic Reference System, 1967*) и WGS-72 (*World Geodetic System, 1972*) — это более ранние версии аналогичных современных вариантов.

По табл. 3.1 нетрудно проследить, как со временем повышалась точность определения большой полуоси и сжатия земного эллипсоида. В настоящее время параметры современной точности имеют эллипсоид системы GRS-80 (*Geodetic Reference System, 1980*), составляющей основу современных координатных систем Австралии, Европы, стран Северной и Центральной Америки, WGS-84 (*World Geodetic System, 1984*), получивший мировое распространение благодаря американской глобальной системе спутникового позиционирования, и российский ПЗ-90 (Параметры Земли, 1990).

Таблица 1
Основные земные эллипсоиды и их параметры

Эллипсоид	Годы	Большая полуось a (м)	Сжатие α
Дел амбра	1800	6 375 653	1/334
Вальбека	1819	6 376 896	1/303
Эйри	1830	6 377 563,396	1/299,3249646
Эвереста	1830	6 377 276,345	1/300,8017
Бесселя	1841	6377397	1/299,15
Кларка	1866	6 378 206	1/294,98
Кларка	1880	6 378 249	1/293,46
Хейфорда	1909	6378388	1/297
Красовского	1940	6 378 245	1/298,3
Австралийский	1965	6378 160	1/298,25
GRS-67	1967	6 378 160	1/298.247167247
WGS-72	1972	6378 135	1/298,26
GRS-80	1979	6 378 137	1/298,257222101
WGS-84	1984	6 378 137	1/298,257223563
ПЗ-90	1990	6 378 136	1/298,257839303

Различают *общеземной эллипсоид*, наилучшим образом подходящий для решения глобальных картографо-геодезических задач, и *референц-эллипсоиды*, используемые в отдельных регионах и странах.

Эллипсоид вращения характеризуют два параметра: большая экваториальная полуось (a) и полярное сжатие (α). Кроме них в расчетах используются и другие, например малая полярная полуось (b) и первый эксцентриситет меридионального эллипса (e). Эти параметры взаимосвязаны следующим образом:

$$\alpha = (a - b) / a; \quad e^2 = (a^2 - b^2) / a^2;$$

$$b = a(1 - \alpha) = a\sqrt{1 - e^2};$$

$$\alpha = 1 - \sqrt{1 - e^2};$$

$$e^2 = \alpha(2 - \alpha).$$

Эти параметры, а также площади поверхностей для эллипсоидов WGS-84, ПЗ-90 и Красовского, наиболее важных для картографических и геодезических работ в России, приведены в табл. 2.

Таблица 2
Параметры основных земных эллипсоидов

Параметры	Эллипсоиды		
	WGS-84	ПЗ-90	Красовского
a	6 378 137	6378 136	6 378 245
b	6 356 752,314	6 356 751,362	6 356 863,019
α	1/298,257223563	1/298,257839303	1/298,3
e^2	0,006694379990	0,006694366193	0,006693421623
Площадь	510 065 622	510065464	510 083 059

Положение любой точки на земном эллипсоиде определяется широтой и долготой. *Широта* (B) — угол, образованный нормалью к поверхности земного эллипсоида в данной точке и плоскостью его экватора; *долгота* (L) — двугранный угол между плоскостями меридианов данной точки и начального меридиана (см. рис. 3.2).

Рассекая эллипсоид плоскостями, проходящими через полярную ось, получают линии меридианов, а плоскостями, проходящими перпендикулярно этой оси, — линии параллелей. Линия экватора — след сечения эллипсоида плоскостью, проходящей через его центр перпендикулярно полярной оси.

Сетка меридианов и параллелей на земном эллипсоиде, шаре или на глобусе называется **географической сеткой**.

Наиболее важными радиусами эллипсоида вращения являются:

M — радиус кривизны меридиана;

N — радиус кривизны первого вертикала (линии, получаемой сечением эллипсоида плоскостью, проходящей через нормаль в данной точке и перпендикулярно плоскости меридиана);

R — средний из радиусов всевозможных сечений, проведенных через нормаль в данной точке эллипсоида;

r — радиус параллели.

Эти радиусы вычисляют по следующим формулам:

$$M = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 B)^{3/2}};$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}};$$

$$R = \sqrt{MN}; \quad r = N \cos B.$$

Легко заметить, что радиус M у полюса больше, чем на экваторе. Это означает, что кривизна меридианного эллипса убывает от экватора к полюсам. Радиус меридиана получает наибольшие изменения на средней широте, где с каждым градусом широты он изменяется примерно на 1 км. Радиус M нужен прежде всего для вычисления длин дуг меридианов и нахождения широт по этим дугам. Средний радиус кривизны R применяют, например, в задачах, связанных с развертыванием поверхности эллипсоида на поверхность сферы. В табл. 3. приведены значения радиусов эллипсоида на разных широтах и диапазоны их изменения.

Таблица 3
Радиусы земного эллипсоида на разных широтах

Широта, B^0	M , км	N , км	R , км
0	6336	6378	6 357
30	6 351	6 384	6 368
60	6 384	6 394	6 389
90	6400	6400	6400
Δ_{\max} , км	64	22	43
Δ_{\max} %	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{2}{3}$

При создании и использовании карт приходится определять длины дуг параллелей и меридианов. Наиболее просто вычисляется длина дуги параллели. Параллель — окружность, ее длина S_p между двумя точками с долготами L_1 и L_2 равна произведению радиуса этой параллели на разность долгот, выраженных в радианной мере:

$$S_p = r(L_2 - L_1).$$

Меридиан — эллипс. Вычисления его длин дуг более сложны. Длины сравнительно коротких дуг, расположенных между двумя параллелями с

широтами B_1 и B_2 , вычисляют следующим образом: находят среднюю широту $B_m = (B_1 + B_2)/2$, по этим широтам определяют радиусы кривизны меридианов M_1, M_2, M_m , затем вычисляют дугу меридиана S_m по одной из формул (широта B — в радианах):

$$S_m = M_m (B_2 - B_1);$$

$$S_m \approx (M_1 + 4M_m + M_2)(B_2 - B_1)/6.$$

Погрешность первой формулы составляет менее 1 мм для дуг длиной до 45 км, около 3 см при их длине в 100 км и примерно 30 м при длине в 1000 км. По второй формуле длины дуг до 500 км определяют с погрешностями в 1—2 см.

Замена земного эллипсоида шаром

Для решения задач на эллипсоиде используют довольно громоздкие формулы. Поэтому во всех случаях, когда точность позволяет, эллипсоид или его часть заменяют шаром. Эта замена особенно актуальна при мелкомасштабном картографировании.

При замене эллипсоида шаром нужно выбрать подходящий радиус шара и перейти от широт (B) и долгот (L) эллипсоида к широтам (φ) и долготам (λ) на шаре. Нормали к поверхности шара совпадают с его радиусами. Поэтому сферические широта и долгота определяются следующим образом: **широта** (φ) равна центральному углу между радиусом шара, направленным на заданную точку, и плоскостью экватора; **долгота** (λ) определяется двугранным углом между плоскостями меридиана данной точки и начального меридиана.

Часто сферические долготы и широты приравнивают к соответствующим долготам и широтам эллипсоида:

$$\lambda = L, \varphi = B.$$

При картографировании ограниченных территорий радиус шара приравнивают к среднему радиусу R центральной точки карты.

При замене всей планеты шаром радиус вычисляют как среднее из следующих трех значений:

- радиуса шара, равного среднему из трех полуосей эллипсоида (двух экваториальных a и одной полярной b);

- радиуса шара, площадь поверхности которого равна площади поверхности эллипсоида;
- радиуса шара, объем которого равен объему эллипсоида.

Среднее из этих трех значений составляет 6371 км. Шар такого радиуса по размерам, площади поверхности и объему очень близок к земному эллипсоиду. На этом шаре дуга меридиана между экватором и полюсом на 5,5 км (0,05%) длиннее, а дуга четверти экватора на 11,2 км (0,1%) короче, чем на эллипсоиде. Эти погрешности, связанные с заменой эллипсоида шаром, на мелкомасштабных географических картах никак не проявляются.

Чтобы добиться наименьших искажений, применяют также способ двойного проектирования: сперва эллипсоид проектируют на шар, а затем шар — на плоскость. Обычно земной шар совмещают с эллипсоидом так, чтобы плоскости их меридианов совпадали. При этом долготы сферические (λ) становятся равными долготам эллипсоида (L). Значения сферических широт и выбор радиуса шара зависят от способа отображения эллипсоида на шар.

При *равноугольном* отображении, когда углы с эллипсоида переносятся на шар без искажений, а формы контуров бесконечно малых размеров сохраняются, радиус шара приравнивается к большой полуоси эллипсоида (a). Широты (φ) в случае эллипсоида Красовского вычисляются по формуле:

$$\varphi = B - 692,234'' \sin 2B + 0,963'' \sin 4B - 0,002'' \sin 6B.$$

Максимальное искажение длин проявляется на полюсах и составляет 0,3%. Наибольшая разность широт эллипсоида и шара имеет место на параллелях 45° и составляет $1 \text{ Г}32,23''$. Это означает, что на шаре эта параллель по сравнению с ее положением на эллипсоиде смещается в сторону экватора примерно на 21,4 км.

При *равновеликом* отображении эллипсоида на шар, когда площади передаются без искажений, радиус шара вычисляется при условии равенства площадей поверхностей шара и эллипсоида. Для эллипсоида Красовского радиус такого шара составляет 6 371 116 м. Сферические широты вычисляются по формуле:

$$\varphi = B - 461,797'' \sin 2B + 0,436'' \sin 4B.$$

Максимальные искажения длин и углов возникают в точках экватора и составляют соответственно 0,1% и 3,8'. Наибольшие расхождения широт имеют

место на параллелях 45° и равны $7'43,8''$. Эти параллели на шаре смещаются в сторону экватора примерно на 14,3 км.

При *равнопромежуточном* проектировании эллипсоида на шар, когда длины меридианов на шаре остаются равными их длинам на эллипсоиде, радиус шара R , соответствующего эллипсоиду Красовского, составляет 6 367 558,5 м. Сферические широты вычисляются по формуле:

$$\varphi = S_m / R,$$

где S_m — длина дуги меридиана.

Если эллипсоид проектируется на шар так, что длины параллелей на шаре равняются длинам соответствующих параллелей на эллипсоиде, то радиус шара приравнивается к большой полуоси (a) эллипсоида, а сферические широты вычисляются по формуле:

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{1 - e^2} \operatorname{tg} B.$$

Координатные системы

Для картографирования и решения научных и прикладных задач вводят геодезические системы координат: общеземные — для всей планеты и референцные, распространяемые на отдельные регионы или государства.

Общеземную координатную систему используют для картографирования и решения глобальных задач, таких как изучение фигуры, внешнего гравитационного поля, их изменений во времени, движения полюсов, неравномерности вращения Земли, управления полетами космических аппаратов в гравитационном поле Земли и др. С этой целью создают модель планеты — эллипсоид, имеющий размеры, массу, угловую скорость вращения и другие, так называемые *фундаментальные параметры*, весьма близкие реальной Земле. Гравитационное поле вокруг модели и сила тяжести на ее поверхности, являющаяся равнодействующей сил притяжения и центробежной силы, близки к реальным силам, существующим на Земле и в околоземном пространстве.

К фундаментальным параметрам Земли относят также скорость распространения электромагнитных волн в вакууме. Расстояния определяют умножением скорости световых или радиоволн на время, за которое они проходят это расстояние. Преуменьшение или преувеличение этой скорости

приведет к преуменьшению или преувеличению геометрических расстояний. Поэтому заданием скорости распространения электромагнитных волн устанавливают единый линейный масштаб для всех геометрических построений на Земле.

В таком эллипсоиде устанавливают пространственные прямоугольные координаты X , Y , Z с началом в центре эллипсоида. Ось Z направлена по оси вращения, а ось X лежит на пересечении плоскости начального меридиана с плоскостью экватора и с осью Y образует правую систему (см. рис. 2).

Для ориентирования координатной системы в теле Земли начало эллипсоида помещают в центр масс Земли, начальный меридиан совмещают с меридианом Гринвича, а ось вращения направляют на северный условный земной полюс, соответствующий некоторому фиксированному среднему его положению. Это обусловлено тем, что ось вращения Земли со временем перемещается в теле Земли и относительно звезд. Такой условный земной полюс называют **Международным условным началом**. Тем самым устанавливается геоцентрическая гринвичская координатная система.

Практически для закрепления геоцентрической гринвичской координатной системы создается **геодезическая сеть** — совокупность геодезических пунктов, положение которых определено по результатам измерений в единой для них системе координат.

Каждый пункт, закрепленный на местности или на космическом аппарате, имеет координаты X , Y , Z . Их можно пересчитать в широты (B), долготы (L), определяющие положение пункта на эллипсоиде, и высоту (H) над ним. Эллипсоид можно отобразить в некоторой проекции в плоскости карты и определить для пунктов плоские прямоугольные координаты x , y . От пунктов сети посредством измерений координаты передаются на другие новые пункты, в том числе и на космические аппараты, а с них — вновь на точки на Земле.

Геодезические сети — это наиболее надежный и совершенный способ практического закрепления координатной системы. Измерения на пунктах сети выполняют с наибольшей тщательностью, многократно повторяют и подвергают строгой математической обработке. Современные геодезические сети создают методами космической геодезии по измерениям с использованием внегалактических точечных радиоисточников, весьма удаленных от Солнечной системы и спутников Земли. В создании геодезических сетей значительная роль отводится глобальным системам позиционирования.

Известно несколько общеземных координатных систем. Они опираются на одинаковые теоретические положения, а различия обусловлены, главным образом, геодинамическими процессами, небольшими расхождениями фундаментальных параметров, погрешностями измерений, неравномерностью

размещения геодезических пунктов и особенностями их математической обработки.

Международная служба вращения Земли *IERS* (*International Earth Rotation Service*) на основе высокоточных измерений формирует общеземную координатную систему *ITRS* (*International Terrestrial Reference System*) и использует эллипсоид GRS-80. Система закреплена сетью пунктов, называемой *ITRF* (*International Terrestrial Reference Frame*). Сотни пунктов ITRF расположены на всех материках и островах во всех океанах, погрешности их положения не превышают 10 см. Из-за геодинамических процессов координаты пунктов изменяются со скоростью около 1-2 см/год, поэтому они постоянно обновляются, а в каталогах указывают год, к которому они отнесены, например ITRF-94.

В связи с широким применением во всем мире американской спутниковой системы позиционирования получила распространение *Мировая геодезическая система 1984г.— WGS-84* (*World Geodetic System, 1984*, см. табл. 3.2.). Ее геометрические параметры практически совпадают с постоянными эллипсоида GRS-80. Точность системы находится на уровне дециметров. В версии 1984 г. использованы уточненные координаты пунктов слежения за спутниками глобальной системы позиционирования, что позволяет согласовать координаты WGS-84 и ITRF с точностью до нескольких дециметров.

С 1993 г. в мире действует сеть станций *Международной геодинамической службы IGS* (*International Geodynamics GPS Service*), сближающих координатные системы WGS-84 и ITRS. К концу XX в. в сети имелось почти 200 пунктов, на которых велись непрерывные измерения приемниками американской спутниковой системы позиционирования. При этом России доступны 22 станции, расположенные на ее территории или вблизи границ. Наблюдения на пунктах IGS используют для уточнения координат спутников, решения других геодезических и геодинамических задач.

Референционные системы координат устанавливаются в отдельных регионах или государствах с помощью референц-эллипсоидов, наилучшим образом соответствующих данному региону. Это не только дань традиции, но потребность иметь наиболее удобный для данной территории эллипсоид, когда отклонения отвесных линий от нормалей к нему минимальны. Другая важная причина — необходимость сохранять стабильность взаимного положения пунктов геодезической сети, которая может быть нарушена геодинамическими процессами, приводящими к перемещению одних регионов относительно других. Референц-эллипсоид ориентируют в теле Земли при помощи *исходных геодезических дат*, т.е. параметров, которые устанавливают значения широт,

долгот и их взаимосвязь с астрономическими координатами в некотором **исходном пункте**.

Простейший способ установления исходных геодезических дат — это приравнивание в исходном пункте координат эллипсоида к значениям, определенным из астрономических наблюдений. Так были установлены исходные геодезические даты большинства стран Европы, США, Японии, а также бывшего СССР с исходным пунктом в Пулково и референц-эллипсоидом Бесселя. Однако значительные уклонения отвеса в исходном пункте могут привести к смещению эллипсоида в теле Земли. Правильнее ориентировать референц-эллипсоид не по одному пункту, а по измерениям на множестве астрономо-геодезических пунктов страны. В этом случае вообще отпадает надобность в исходном пункте. Так установлен референц-эллипсоид Красовского и введена система координат 1942 г. **СК-42**.

С помощью референц-эллипсоида вводятся лишь координаты, определяющие положения пунктов на эллипсоиде. Это широты и долготы (B, L) либо соответствующие им плоские прямоугольные координаты (x, y), вычисляемые обычно в той картографической проекции, в которой создаются топографические карты. Эти координаты закрепляют пунктами геодезических сетей региона. Отдельно вводится система высот, началом счета которой служит пункт, фиксирующий местный средний уровень моря. Система высот закрепляется пунктами нивелирных сетей. Различия в началах счета высот разных референчных систем могут достигать нескольких метров. Мировой геодезической общественностью предпринимаются усилия с тем, чтобы привести начала счета всех высот к единому нулевому уровню (геоиду) с точностью около 20 см.

Многие страны при введении региональных референчных координатных систем стремятся использовать общеземные параметры. Например, Североамериканская референчная координатная система NAD-83 (*North American Datum, 1983*), Австралийская GDA-94 (*Geocentric Datum of Australia, 1994*), Европейская EUREF (*European Geodetic Reference System*) используют эллипсоид и общеземные параметры GRS-80 и являются подсистемами ITRS. Но все они имеют свои региональные системы счета высот.

Европейская высокоточная геодезическая основа EUREF с 1989 г. формирует на общеземном эллипсоиде GRS-80 координатную систему *ETRS European Terrestrial Reference System*), которая должна быть геоцентрической, очень близкой к WGS-84 и к тому же — единой для всей Европы, объединяет в единое целое все геодезические сети Европы, включая страны Балтии и Турцию. Предусмотрено регулярное уточнение и согласование их координатных систем. Факт существования разных систем счета высот в

Европе (с различиями до 7,5 м) послужил стимулом к развитию единой Европейской нивелирной сети. Она создается на базе двух нивелирных сетей континентального масштаба — Центрально- и Западно-Европейских государств в Амстердамской 1973 г. системе высот и государств бывшего СССР и Восточной Европы в Балтийской системе 1977 г.

В России без интеграции с западными странами создана общеземная координатная система ПЗ-90 (Параметры Земли, 1990 г.). Она закреплена пунктами космической геодезической сети, часть которых расположена в Антарктиде. При расстояниях между пунктами до 10 000 км погрешность их взаимного положения не более 30 см. В 2000 г. принято Постановление Правительства Российской Федерации о введении ПЗ-90 в качестве единой государственной системы координат в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов космических аппаратов и решения навигационных задач. Тем же Постановлением для геодезических и картографических работ России введена референцная система координат 1995 г. — СК-95.

Геодезические сети России

Система координат России представлена *Государственной геодезической сетью (ГГС)*. Положение определяемых точек можно получить в виде пространственных прямоугольных координат или широт, долгот и высот, отнесенных к референц-эллипсоиду, а также в виде плоских прямоугольных координат и высот. При этом принят эллипсоид Красовского, оси которого ориентированы параллельно соответствующим осям общеземной координатной системы ПЗ-90, однако центр эллипсоида, определяющий начало референцией системы координат, смещен от центра масс более чем на 155 м. На всю территорию страны распространена Балтийская система высот, началом которой служит нуль Кронштадтского футштока. Она закреплена пунктами *Государственной нивелирной сети*.

Геодезические сети России используются для решения научных и прикладных задач, включая картографирование суши, континентального шельфа, морей и океанов, формирование координатной среды геоинформационных систем. В России имеются государственные, местные, съемочные, специальные и учебные сети. Государственные сети строят государственные картографо-геодезические организации.

Местные сети создают для решения конкретных топографо-геодезических задач, когда густота пунктов государственных сетей оказывается недостаточной.

▪ Пункты *съёмочных сетей* служат для топографической съёмки.

▪ *Специальные сети* предназначены для решения инженерно-технических задач. К специальным можно отнести также сети, создаваемые на геодинамических полигонах в тектонически активных районах страны. Координаты и взаимное положение этих пунктов периодически повторно определяют с наивысшей точностью для выявления динамики земной поверхности.

▪ *Учебные сети* используют в учебно-методических целях.

Геодезические сети России подразделяют: на нивелирные, плановые и пространственные.

▪ *Нивелирные сети* фиксируют системы счета высот. Как правило, их строят методами геометрического нивелирования, а также способом спутникового позиционирования.

▪ *Плановые сети* обеспечивают закрепление плановых координат пунктов на эллипсоиде (и на карте). Их создают способами:

— триангуляции, когда в каждом пункте измеряют горизонтальные углы между направлениями на соседние пункты и некоторые расстояния между пунктами;

— полигонометрии — путем измерения расстояний и углов между пунктами хода;

— трилатерации, в которой измеряют только расстояния между пунктами;

— с помощью спутникового позиционирования — определения плановых координат пункта по спутниковым наблюдениям.

▪ *Пространственные сети* создают методами космической геодезии. Каждый пункт хранит три координаты, определяющие его положение в геоцентрической системе координат, и может быть закреплен на земной поверхности, и на космическом аппарате. Так спутники, входящие в глобальные системы позиционирования, одновременно являются геодезическими пунктами, хранящими пространственные геоцентрические координаты.

Интенсивное развитие плановых государственных сетей началось в 20-х годах XX в. и продолжалось свыше полувека по проекту, в основу которого были положены замыслы Ф. Н. Красовского. Сети подразделялись на четыре класса по точности и строились по принципу «от общего к частному»: вначале создается редкая сеть I класса точности, охватывающая всю страну, а затем сеть постепенно сгущается пунктами II—IV классов.

Сеть I класса состоит в основном из звеньев, образующих четырехугольные полигоны. Звенья ориентированы преимущественно по меридианам и параллелям и представляют собой ряды триангуляции (т.е. цепи треугольников)

или ходы полигонометрии. В среднем длина звена составляет около 200 км, а периметр полигона — 800 км. В вершинах полигонов на стыке звеньев измерены длины базисных сторон треугольников и на их концах определены астрономические широты, долготы, азимуты. В звеньях расстояния между смежными пунктами не менее 20 км. На северо-востоке страны вместо полигональной сети развита сплошная триангуляция с расстояниями между пунктами около 70 км. В 70-х годах XX в. сеть I класса практически была завершена.

Полигоны геодезической сети I класса заполняются сплошной сетью триангуляции или полигонометрии II класса с расстояниями между смежными пунктами 7—20 км (в зависимости от рельефа и залесенности местности). В пределах каждого полигона I класса в сети триангуляции II класса измерены длины 4—5 базисных сторон. На концах базисной стороны в середине полигона определены астрономические широты, долготы, азимуты. Эти работы практически завершены в 1980-х годах.

Государственные сети I и II классов, будучи построены по геодезическим и астрономическим измерениям, образуют *астрономо-геодезическую сеть (АГС)*, включающую свыше 164 тыс. пунктов триангуляции и полигонометрии. В 1990-1991 гг. проведена совместная математическая обработка и уравнивание АГС.

Сети III и IV классов сгущают АГС, они также построены методами триангуляции или полигонометрии. Расстояния между пунктами III класса — 3—8 км, а IV класса — 2—5 км. На территории России таких пунктов свыше 210 тыс. Точность государственной сети такова, что ее пункты могут служить опорой для проведения топографических съемок всех масштабов вплоть до 1:500 включительно.

Опорная геодезическая сеть выполняет свои функции только в том случае, если ее пункты надежно закреплены на местности и легко могут быть опознаны. Каждый пункт на местности закреплен специальным подземным знаком — центром. Устойчивость центров зависит от многих факторов и более всего — от сезонного промерзания и протаивания грунта. На территории страны выделены зоны сезонного промерзания грунтов, многолетней мерзлоты, подвижных песков, скальных горных пород и заболоченных фунтов. Для определения глубины закладки центров и реперов составлены карты районирования территории, на которых выделено восемь регионов с характерными глубинами протаивания и промерзания грунтов. На местности пункты окапывают канавой и ставят опознавательные столбы. На застроенных территориях их закрепляют в стенах и фундаментах зданий или устанавливают на зданиях.

Первоначально созданные плановые государственные сети впоследствии пополнились новыми построениями, выполненными методами космической геодезии. В 1984—1993 гг. государственными геодезическими организациями создана сеть из 162 пунктов, получившая название *доплеровской геодезической сети (ДГС)*. Она построена при помощи американской спутниковой системы позиционирования первого поколения TRANSIT.

Усилиями Топографической службы Вооруженных Сил РФ построена уже упоминавшаяся космическая геодезическая сеть *КГС*. Она создана по результатам наблюдений геодезических спутников ГЕОИК-1, ЭТАЛОН, а также при помощи спутниковых систем позиционирования. КГС включала 26 пунктов на территории бывшего СССР и семь пунктов в Антарктиде. Пункты ДГС и КГС совмещены с соответствующими пунктами АГС. В итоге их совместного уравнивания в единой координатной системе определено пространственное положение 134 пунктов. Расстояния между смежными пунктами в среднем составляют 400—450 км. С этих пунктов результаты совместного уравнивания распространены на все остальные пункты новой государственной геодезической сети.

В перспективе ГГС Российской Федерации должна состоять из сетей трех уровней, построенных главным образом методами космической геодезии и при помощи спутниковых систем позиционирования:

- Первый уровень образуют фундаментальные астрономо-геодезические сети (ФАГС). На территории России будет 50—70 таких пунктов с расстояниями между ними 700—800 км и погрешностями взаимного положения около 1—2 см.

- Второй уровень создадут пункты высокоточной АГС (ВАГС). На территории РФ их будет около 500-700 при средних расстояниях между ними 150—300 км и точности взаимного положения 2—3 см.

- Третий уровень — спутниковая геодезическая сеть I класса (СГС-1). Она будет строиться из расчета 1 пункт на 1000 км², а в малообжитых районах — на 2000 км². Всего будет построено около 12—15 тыс. пунктов, расстояние между ними — 40—50 км, а точность взаимного положения 1—2 см.

Государственные нивелирные сети устанавливаются единой системой высот в пределах всей страны, служат научным и практическим целям, являются высотной основой всех геодезических работ и топографических съемок. Высотная сеть решает, по крайней мере, три задачи:

- введение единой системы счета высот для всех пунктов;
- определение разностей уровней морей и океанов, омывающих государство;
- изучение вертикальных движений земной поверхности.

В России высоты пунктов государственной сети определяют в нормальной системе высот относительно уровня нуля Кронштадтского футштока — черты на металлической плите, соответствующей среднему многолетнему уровню Балтийского моря.

Государственная нивелирная сеть, как и плановая, построена по принципу «от общего к частному», и включает сети I, II, III и IV классов точности. Сети I и II классов являются главной высотной основой; сети III и IV классов служат для обеспечения инженерных задач и топографических съемок. Сети всех классов построены методом геометрического нивелирования. Линии нивелирования I и II классов проложены по трассам, географическое положение которых научно обосновано и наилучшим образом соответствует решению указанных задач. Для достижения наивысшей точности нивелирные линии проложены по максимально благоприятным для измерений трассам железных, шоссейных и улучшенных грунтовых дорог; в труднодоступных районах — по тропам, зимникам, вдоль берегов больших рек. Каждые 25 лет выполняется повторное нивелирование всех линий I класса и большинства линий II класса с целью их модернизации, получения данных о движениях земной коры и построения карт вертикальных перемещений.

Нивелирные линии II класса опираются на пункты I класса и образуют полигоны периметром в 500—600 км, а линии III класса прокладывают между пунктами I и II классов. Периметры полигонов III класса составляют около 150 км, а в труднодоступных районах — около 300 км. Дальнейшее сгущение выполняют нивелированием IV класса, причем длины ходов не превышают 50 км, а расположение и густота пунктов зависят от масштаба топографических съемок или других требований.

Все нивелирные пункты закреплены знаками — грунтовыми, скальными или стенными нивелирными, реперами. Грунтовыми реперами бывают железобетонные пилоны или металлические трубы с якорями. Знаки закладывают через 5—7 км, а в труднодоступных районах — через 10—15 км. Кроме того, пункты I и II классов через каждые 50—80 км закрепляют знаками повышенной устойчивости — фундаментальными реперами. В городах плотность знаков значительно выше — они закреплены через несколько сотен метров. Точность взаимного положения высот пунктов находится в пределах от нескольких мм до нескольких см в зависимости от класса сети.

Спутниковое позиционирование

Наиболее совершенный метод определения координат основан на использовании искусственных спутников Земли. Суть его заключается в следующем: летящие по строго заданным орбитам спутники, мгновенные координаты которых точно известны, непрерывно излучают радиосигналы, регистрируемые специальными спутниковыми приемниками на Земле. Это позволяет с помощью радиотехнических средств измерять расстояния (дальности) от приемника до спутников и определять местоположение приемника (его координаты) или вектор между двумя приемниками (приращения координат).

Инженерно-техническая реализация этой простой идеи потребовала десятков лет напряженной работы. К концу прошлого века в мире созданы две эксплуатационные спутниковые системы, ознаменовавшие революционные изменения в геодезических измерениях. Это американская *Global Positioning System (GPS)* — Глобальная система позиционирования (ГСП), и российская Глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС).

К основным задачам, решаемым спутниковыми методами, относятся:

- развитие геодезических сетей всех уровней;
- производство нивелирных работ вплоть до III и даже II классов точности;
- распространение единой высокоточной шкалы времени;
- исследование геодинамических процессов;
- мониторинг состояния окружающей среды и изучение ее динамики;
- координатное обеспечение кадастровых, землеустроительных, сельскохозяйственных и других работ;
- обеспечение координатами полевых тематических съемок и инженерно-географических работ с помощью спутникового приемника, соединенного со специализированным датчиком (электронным тахеометром, эхолотом, anerоидом, магнитометром, цифровой фотокамерой и др.);
- создание и обновление баз данных ГИС на основе комплексирования спутниковых приемников с электронными тахеометрами, цифровыми видеокамерами и инерциальными навигационными системами.

Основные достоинства спутниковых систем — их глобальность, оперативность, всепогодность, оптимальная точность и эффективность. В отличие от традиционных геодезических измерений видимость между определяемыми пунктами не нужна. ГСП действует в координатной системе WGS-84, а ГЛОНАСС — в координатной системе ПЗ-90.

Выделяют три главные подсистемы (сегменты): наземного контроля и управления (НКУ), созвездия космических аппаратов (КА) и аппаратуры пользователей (АП).

Подсистема НКУ состоит из станций слежения за КА, службы точного времени, главной станции с вычислительным центром и станций загрузки данных на борт спутников. Спутники проходят над контрольными пунктами дважды в сутки. Собранную информацию об орбитах обрабатывают, и на этой основе прогнозируют координаты спутников (эфемериды), которые загружают на борт каждого спутника.

Главная наземная станция на базе ВВС Колорадо-Спрингс и станции, расположенные на островах Вознесения, Диего-Гарсия, атолле Кваджалейн и Гавайских островах, управляют положением ГСП.

НКУ ГЛОНАСС включает Центр управления системой (ЦУС), находящийся под Москвой, центральный синхронизатор (ЦС) с высокоточным стандартом частоты и времени для синхронизации системы и сеть станций слежения, размещенных в районе Санкт-Петербурга, Воркуты, Якутска, Петропавловска-Камчатского, Уссурийска, Улан-Удэ и Енисейска.

Подсистемы космических аппаратов (КА) ГСП и ГЛОНАСС имеют по 24 работающих и по несколько резервных спутников. Спутники равномерно распределены в околоземном пространстве на высотах около 20 тыс. км. На каждом спутнике установлены солнечные батареи питания, двигатели корректировки орбит, атомные эталоны частоты-времени, аппаратура для приема и передачи радиосигналов, бортовые компьютеры.

Аппаратура спутника и спутниковый приемник образуют радиодальномер. Приемник принимает радиосигналы, передаваемые спутником, и сравнивает их с выработанными в самом приемнике, в результате чего определяется время распространения радиоволны, а затем и дальность до космического аппарата. На спутниках и в приемниках имеются генераторы основных высокостабильных электромагнитных колебаний. Они формируют электромагнитные колебания, предназначенные для наиболее точных измерений дальностей фазовым методом, для менее точных — кодовым методом при помощи так называемых дальномерных кодов, а также для формирования навигационных сообщений.

Для выполнения фазовых измерений и для переноса к приемнику дальномерных кодов и другой информации, содержащейся в навигационном сообщении, генерируются так называемые несущие радиоволны. Передатчики на всех спутниках их излучают на двух частотах, обозначаемых $L1$ и $L2$. Две частоты нужны для того, чтобы исключить из измерений существенные временные задержки, возникающие при прохождении радиоволн через ионосферу. В ГСП частоте $L1$ соответствует длина волны 19,0 см, а частоте $L2$ — длина волны 24,4 см. В ГЛОНАСС значения несущих частот $L1$ и $L2$ у

каждого спутника свои, а соответствующие им длины волн близки к 19 см и 24 см.

Дальномерные коды представляют собой импульсы, чередующиеся в строго определенной последовательности, их обозначают символами 0 и 1. *Таким образом, код — это некоторая периодически повторяющаяся комбинация 0 и 1.* Генерируют коды двух типов: стандартной и высокой точности. Первые проще, они предназначены для гражданских пользователей, вторые точнее, сложнее и используются в военных целях.

Коды и навигационное сообщение встраиваются в несущие волны и с их помощью переносятся со спутника в приемник пользователя. Высокоточные коды передаются на частотах 17 и 12, а гражданские коды — только на несущей частоте *B1*. Это означает, что измеренные при помощи гражданских кодов дальности не защищены от ионосферных искажений. В ГСП применяют кодовое разделение сигналов, все спутники работают на одних и тех же частотах, но каждый имеет свой код. В ГЛОНАСС — частотное разделение сигналов, каждый спутник имеет свои частоты, но у всех одинаковые коды.

Спутники ГСП и ГЛОНАСС передают в приемники навигационные сообщения, которые несут телеметрические данные, информацию о времени, метки времени и эфемериды (сведения, по которым вычисляются координаты спутника), а также альманах — сборник менее точных данных о местонахождении и состоянии всех спутников. Альманах нужен для планирования измерений. Точные сведения, касающиеся конкретного спутника, передаются только этим спутником. Информация альманаха транслируется всеми спутниками.

Спутниковые приемники, составляющие *подсистему аппаратуры пользователей* (АП), достигли высокого совершенства. Созданы приемники, ориентированные на использование спутников только одной системы и на одновременное использование спутников ГСП и ГЛОНАСС.

Все современные спутниковые приемники — многоканальные, с шестью и более каналами. Каждый канал следит за своим спутником. При измерениях возникает проблема срыва сигналов на трассах распространения радиоволн из-за препятствий в виде рельефа, деревьев, зданий и других сооружений. Чем больше каналов, тем легче преодолеть эти трудности и найти необходимое количество видимых спутников.

По конструктивным особенностям приемники делятся на:

- односистемные, ориентированные на прием сигналов одной системы;
- двухсистемные, принимающие сигналы как ГЛОНАСС, так и ГСП;
- кодовые, работающие только с дальномерными кодами;

- кодово-фазовые одночастотные, применяющие дальномерные коды и фазовые измерения только на частоте $L1$;
- кодово-фазовые двухчастотные, использующие дальномерные коды и фазовые измерения на частотах $L1$ и $L2$.

Кодовые приемники легки, компактны, умещаются на ладони. В одном корпусе совмещены все блоки (антенна, приемник, источник питания). С их помощью возможно не только определить пространственное положение, но и вычислить скорость и направление движения. Эти приемники выдают координаты в различных форматах (широты, долготы, высоты, плоские координаты в разных проекциях и др.), они способны накапливать и хранить результаты измерений. Пользователь снимает отсчеты по подсвечиваемому экрану, определяет расстояние, азимут и время прибытия к цели; на многих экранах можно видеть карту маршрута и свое положение на ней. Кодовые приемники становятся основными приборами место определения в географических, геологических и других работах.

Кодово-фазовые приемники малогабаритны, обычно оснащены отдельной антенной, имеют мощные накопители данных. Все они снабжены портами для интеграции с другой аппаратурой, питаются в основном от аккумуляторов. Нередко клавиатура с дисплеем установлена на вспомогательном устройстве — контроллере. Пользователь держит в руке контроллер и при измерениях вводит необходимые команды, такие как имя точки, высота антенны, атрибуты объекта местности и др.

По специализации приемники могут быть предназначены для:

- сбора данных для географических информационных систем (ГИС);
- создания геодезических сетей и выполнения топографических съемок;
- решения навигационных задач;
- обеспечения пожарных служб, милиции, скорой медицинской помощи, перевозки грузов, мобильной связи и др.

Способы позиционирования

Дальности до спутников в процессе позиционирования измеряют двумя методами — кодовым и фазовым. Дальномерный код должен иметь значительную продолжительность и случайное (псевдослучайное) распределение 0 и 1. В этом случае два идентичных кода коррелируют лишь тогда, когда они совмещены друг с другом. Коды генерируют синхронно на спутнике и в приемнике. Принятый в приемнике код спутника запаздывает по

отношению к местному на время, пропорциональное пройденному им расстоянию. Поэтому пришедший и местный коды не коррелируют. Время распространения сигнала, а следовательно, и дальность от приемника до спутника, определяют задержкой местного кода до обнаружения сильной его корреляции с принятым со спутника.

Фазовым методом выполняют наиболее точные измерения, используя для этого несущие волны. Фазовый метод измерения расстояний основан на том, что фаза синусоидального колебания изменяется пропорционально времени. Поэтому фаза принятого со спутника сигнала в приемнике отличается от фазы сигнала, выработанного в приемнике, на величину, пропорциональную расстоянию между приемником и спутником. При фазовом методе измерений возникает сложная проблема разрешения неоднозначности. На пути от спутника к приемнику изменению расстояния в одну длину волны соответствует изменение фазы волны в один цикл (период). Поэтому результат измерения разности фаз пришедшего и местного колебаний должен был бы состоять из некоторого целого числа циклов и дробной их части. В действительности же измерениями фиксируется только дробная часть. Это означает, что при длине волны 19 см расстояние, каким бы оно ни было большим, фиксируется только в пределах этого отрезка. Учитывая высоту полета спутников, нетрудно подсчитать, что в измеряемой линии должно укладываться более 100 000 000 таких отрезков, но точное их число — неизвестно. Задача не имеет однозначного решения, и нужны дополнительные усилия для ее разрешения.

Координаты при спутниковом позиционировании определяются в двух режимах: автономном и дифференциальном.

Автономный режим предполагает, что наблюдатель работает с одним приемником и определяет свое местонахождение независимо от каких-либо других измерений. Местоположение определяется пространственной линейной засечкой. Дальности измеряются кодовым методом. Геометрическая сущность засечки заключается в следующем. Если с некоторого определяемого пункта измерить дальности до трех спутников и из них, как из центров, построить этими радиусами три сферы, то они пересекутся в искомой точке (рис. 3).

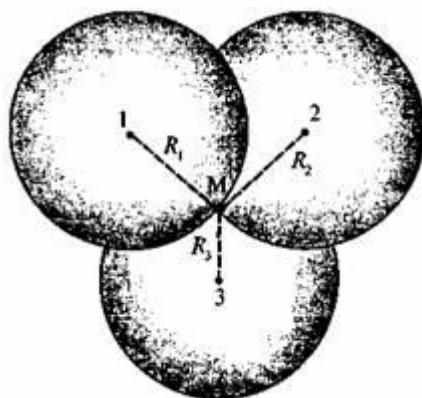


Рис. 3. Пространственная засечка — три сферы с радиусами R_1, R_2, R_3 пересекаются в определяемой точке М

Таким образом, для определения трех координат (X, Y, Z) надо располагать тремя сферами. Это *трехмерный случай местоопределения (3D)*. Однако в пространственной линейной засечке одна из сфер может быть земная. Тогда будут определены только две координаты — широта и долгота на земной сфере, проходящей через пункт наблюдения. Это *двумерный случай местоопределения (2D)*.

Практически измеряют не дальности, а искаженные значения их — псевдодальности. *Псевдодальность отличается от истинной дальности на величину, пропорциональную расхождению шкал времени на спутнике и в приемнике.* Если отсчеты по всем каналам приемника, принимающим сигналы от разных спутников, производятся одновременно, то отличия псевдодальности от дальности до любого спутника одинаковы. Это отличие может быть исключено после введения его в качестве дополнительного неизвестного в уравнения местоопределения.

Поэтому, чтобы правильно вычислить координаты пункта по псевдодальностям, в случае 2D надо измерять их до трех спутников с известными координатами, а в случае 3D — по крайней мере, до четырех. Несмотря на то что спутники перемещаются с огромной скоростью, их координаты в каждое мгновение должны быть известны с высокой точностью и переданы в приемную аппаратуру пользователя. Как уже отмечалось, информация о координатах спутников содержится в навигационных сообщениях.

Способ автономного позиционирования прост, однако чувствителен ко всем источникам погрешностей. На точность влияют нестабильность частот и сдвиги шкал времени на спутниках и в приемниках, погрешности в координатах спутников, аппаратурные погрешности приемников, задержки сигналов в ионосфере, тропосфере. Чтобы ослабить влияние атмосферы, сигналы

спутников принимают лишь тогда, когда они не ниже 10" над горизонтом. Точность измерений снижается еще из-за того, что в приемник приходят волны не только непосредственно от спутника, но и переотраженные от земной поверхности и вблизи расположенных строений.

Точность определения координат оценивается средней квадратической погрешностью ~ 7 м; предельная погрешность в 2-3 раза больше — около ± 15 —20 м. Точность автономного способа повышают продолжительными (до 10-15 минут) наблюдениями и совместной обработкой всех результатов измерений.

Дифференциальный режим, в отличие от автономного, требует, чтобы измерения выполнялись кодовым методом одновременно двумя приемниками. Один приемник ставят на станции — пункте с известными координатами. Эту станцию называют базовой, референц-станцией или контрольно-корректирующей станцией. Другой приемник — подвижный — размещают на определяемой точке. Поскольку координаты референц-станции известны, их можно использовать для сравнения со вновь определяемыми координатами и находить на этой основе поправки для подвижной станции. Задержки в приемнике исключаются таким же путем, как и в автономном режиме, — по наблюдениям четырех и более спутников.

Точность дифференциального режима при кодовом методе измерения дальностей зависит от типа приемника, программного обеспечения и колеблется от нескольких дециметров до нескольких метров. Дифференциальные коррекции применяют и к фазовым измерениям, при этом точность повышается до уровня 1 —5 см.

В мире существует множество базовых станций, которые передают дифференциальные поправки в стандартном международном формате RTCM SC-104. Организованы службы, передающие поправки через спутники связи и Интернет.

Важным показателем качества местоопределения является **геометрический фактор (ГФ)**. Он характеризует потери точности, обусловленные геометрией взаимного расположения спутников и приемника. Координаты определяются с наибольшей точностью, когда спутники равномерно распределены на небосводе. Точность ухудшается в десятки и сотни раз, если спутники приближаются к одной плоскости.

Точное определение пространственного вектора, т.е. приращений координат между двумя пунктами, может выполняться двумя способами:

- статическим позиционированием;
- кинематическим позиционированием.

При этом в качестве основного применяются фазовый, а в качестве вспомогательного — кодовый методы измерения дальностей. Способы **статического позиционирования** используются при

наиболее точных работах, например для развития геодезических сетей. Известно несколько разновидностей этих способов: статика, быстрая статика и способ реокупации. В способе **статики** антенны приемников устанавливают на двух пунктах, между которыми должны быть определены приращения координат. С этих пунктов фазовым и кодовым методами измеряют псевдодальности до четырех или большего числа спутников. Измеренная часть фазовой псевдодальности непригодна для непосредственного использования, так как она искажена многими погрешностями. Источники погрешностей те же, что и при автономном позиционировании. В ходе обработки по специальным программам, когда используются и фазовые, и кодовые измерения, исключают погрешности, восстанавливают неизвестные целые числа фазовых циклов и определяют разности координат между пунктами, на которых установлены приемники.

Точность статики зависит от продолжительности измерений. Измерения в течение 5—10 минут обеспечивают дециметровую точность. Обычно в статике продолжительность наблюдений на паре станций составляет 1 час и более. За это время происходит накопление измерений, выполняемых через интервалы от 1 секунды до 5 минут. Точность определения плановых координат повышается до нескольких см. Высоты определяются менее точно, примерно в два раза.

Разновидностями статики являются:

- **быстрая статика**, когда применяют ускоренные стратегии обработки данных, а продолжительность измерений уменьшают за счет увеличения числа наблюдаемых спутников;

- **способ реокупации**, когда непрерывность измерений сохраняется только на базовой станции, а на подвижной станции измерения выполняют лишь в начале и конце часового интервала.

Нетрудно представить сеть пунктов, между которыми определены приращения координат. Зная точные координаты хотя бы одного пункта этой сети, можно вычислить координаты всех остальных пунктов.

Способ **кинематического позиционирования** представляет собой определение пространственного вектора от приемника базовой станции до мобильного приемника. Предварительно определяют координаты базового и подвижного приемников способом статики, а также другими способами, или приемники устанавливают на пунктах, координаты которых известны с точностью до нескольких сантиметров. Это необходимо для разрешения неоднозначности — определения числа фазовых циклов. После этого приемник

перемещают на следующий пункт и определяют приращения координат между ним и базовой станцией. Зная координаты базовой станции, вычисляют координаты этого пункта и т.д. Измерения ведут непрерывно и обязательно по одним и тем же спутникам. В целях контроля кинематический ход замыкают на исходном пункте или на пунктах с известными координатами. Точность кинематического позиционирования несколько ниже, чем в статике.

Различают несколько разновидностей кинематики: способ *«непрерывной кинематики»* позволяет «цифровать» контуры на местности путем перемещения приемника, который через заданные интервалы времени фиксирует свои координаты; способ *«стой-иди»* предусматривает возможность остановиться на точке, выполнить более длительные измерения, а затем продолжить движение.

В упомянутых способах полевые наблюдения и обработка разделены во времени.

Способ *«кинематики реального времени» (RTK — Real Time Kinematic)* применяют тогда, когда имеется цифровой радиоканал и данные с базового приемника можно передать на подвижный. Этим способом при топографической съемке можно определить координаты и высоты пикетов с точностью 2—3 см. Для съемки участков, где спутниковые методы неэффективны, используется электронный тахеометр, совмещенный со спутниковым приемником.

Список рекомендуемой литературы

1. Барановский А.В., Щуко С.А. Лабораторные работы по инженерной геодезии №1 "Теодолиты" №2 "Нивелиры". - Рабочая тетрадь. Рязань: СТИ, 2008.
2. Ключин Е.Б., Киселев М.И. Инженерная геодезия. М.: Академия, 2007.
3. Ларченко М.П., Миловатская Т.Н. Тесты и задачи по курсу инженерной геодезии М.: Издательство АСВ, 2013.
4. Максимов Е.М., Бахтадзе Н.Н. www.knigafund.ru Базы данных в системах управления производственными процессами: учебное пособие Издательство МГОУ, Москва, 2011.
5. Перфилов В.Ф., Скогорева Р.Н. Геодезия. М.: Высшая школа, 2006.
6. Попов В.Н., Чекалин С.И. www.knigafund.ru Геодезия: Учебник для вузов Издательство Московского государственного университета, 2014.
7. Трегулов В.В. Информационные технологии. Работа с базами данных с помощью MICROSOFT ACCESS Рязань: СТИ, 2005.
8. Трегулов В.В., Привалов Д.В. Информационные технологии. Работа с базами данных средствами DELPHI Рязань: СТИ, 2005.

Подписано в печать 1.12.15. Формат 84x108/32
Гарнитура Таймс. Печать офсетная.
Бумага мелованная. Усл. Печ. л. – 1,47.
Тираж 50 экз.
Издательство
Современный Технический Университет
390048, г. Рязань, ул. Новоселов, 35А.
(4912) 30-06-30, 30-08-30