

УДК 528,063

О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВЕДЕНИЯ ДЛЯ ВНЕЦЕНТРЕННЫХ GPS-ИЗМЕРЕНИЙ

А.А. БОРУН, О.О. УСОВА
(Полоцкий государственный университет)

В настоящее время на производстве большое распространение получили спутниковые методы определения координат с помощью GPS-приемников. Для геодезического применения спутниковых систем используется относительный метод. В некоторых ситуациях по нахождению приращений координат в относительном методе спутниковой геодезии встречаются случаи, когда технически невозможно установить GPS-приемник над центром пункта. Например, при выполнении работ на пунктах государственной геодезической сети, где установлены сигналы или пирамиды. Получение качественных измерений при помощи GPS-приемников становится проблематичным. Это вызвано шумами, которые создают конструкции над центром пункта. Решением проблемы может быть увеличение времени измерения на станции и набор большого количества эпох для получения достоверных данных либо использование внецентренных измерений. Для внецентренных измерений отсутствует методика определения точностных характеристик элементов GPS-приведения. В статье описывается методика предварительного расчета точности определения элементов приведения, а также приведен пример предрасчета точности линейного и углового элемента приведения с использованием программ для персонального компьютера.

Введение. В настоящее время все более широкое применение находят спутниковые методы определения координат. Достоинствами таких методов являются: отсутствие необходимости в постройке геодезических сигналов; полная независимость измерений от взаимной видимости между пунктами, времени суток и года; всепогодность измерений; возможность определения координат при размещении одного из приемников на подвижном носителе; высокий уровень производительности и оперативности труда, в основном за счет автоматического приема, контроля и обработки спутниковой информации как в пострегиме, так и в реальном масштабе времени и др.

В спутниковых навигационных системах координаты наземных пунктов определяются способом обратной линейной засечки, где измеряются искаженные погрешностями дальности (так называемые псевдодальности) от приемника до спутника. Псевдодальности определяются на основе беззапросных измерений по дальномерным кодам и сдвигам фаз несущих частот (доплеровский метод).

Для геодезического применения спутниковых систем используется относительный метод определения координат. Одновременно выполняются GPS-измерения двумя (и более) приемниками. Так, если один приемник установлен на пункте с известными координатами, а другой – на определяемом, то в результате GPS-измерений можно получить пространственные координаты второго пункта. Если оба приемника установлены на пунктах с неизвестными координатами, то можно получить приращения координат и вычислить расстояние между ними.

Встречаются случаи, когда технически невозможно установить GPS-приемник над центром определяемого пункта. Тогда необходимо выполнять внецентренные GPS-измерения.

Предметом исследования является приведение пространственных геодезических координат к центру пункта при внецентренных измерениях с использованием GPS-приемников. Потребность в этом возникает при выполнении работ на пунктах государственной геодезической сети, где установлены сигналы или пирамиды. Получение качественных измерений при помощи GPS-приемников становится проблематичным. Это вызвано шумами, которые создают конструкции над центром пункта. Решением проблемы может быть увеличение времени измерения на станции и набор большого количества эпох для получения достоверных данных либо использование внецентренных измерений. Во втором случае возникает проблема приведения координат к центру пункта. В GPS-измерениях в относительном методе спутниковой геодезии используется геоцентрическая система пространственных координат, т.е. невозможно определить элементы приведения через расстояние и дирекционный угол.

Поставленную задачу можно рассматривать в двух вариантах:

- данный пункт является определяемым;
- данный пункт является исходным.

Второй вариант представляет особую ценность на производстве. Пункт, над которым находится сигнал, имеет координаты. Их можно найти в различных каталогах. Этот пункт можно позиционировать как исходный. Необходимо получить качественные измерения на этом пункте.

Методика исследований по определению необходимой точности элементов приведения. В результате GPS-измерений получаем координаты пункта. По строгим формулам преобразовываем пространственные координаты X, Y, Z в геодезические координаты B, L, H . По измеренному расстоянию, азимуту и превышению решаем прямую геодезическую задачу и получаем приращения геодезических координат. Находим координаты искомого пункта. Затем также по строгим формулам переходим обратно к пространственным координатам. Таким путем можно определить допустимые ошибки измерения элементов приведения.

При непродолжительных GPS-измерениях точность полученных приращений координат приближается к 1 см. Это влечёт ошибку в геодезических координатах B, L, H и приращениях $\Delta B, \Delta L, \Delta H$.

Исходя из ошибки в 1 см мы можем оценить погрешность определения приращений геодезических координат. Чтобы не происходило потери точности, допустимые ошибки приращений $\Delta B, \Delta L$ должны составлять 0,001 с, превышение между пунктами нужно определять с точностью до 0,01 м, а отметки самих пунктов должны иметь погрешность не более 10 м.

Можно определить точность измерения азимута и расстояния. Погрешность определения азимута зависит от расстояния между снесённым и исходным пунктом. С его увеличением точность азимута должна возрастать. Ошибка расстояния изменяется в зависимости от широты и достигает максимума на экваторе – 0,010 м. Минимальное значение ошибка имеет в северных широтах – 0,001 м. При расстояниях до 100 м азимут необходимо определять с точностью до целых секунд. При расстоянии около 10 м достаточно измерять азимут до 1 мин.

Методика поиска точностных характеристик для элементов приведения. Из полученных точностных характеристик измеренных величин $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ можно делать выводы о необходимой точности определения элементов приведения и о выборе приборов для их измерения.

Методика определения азимута зависит от расстояния между центром знака и снесённым пунктом. При расстоянии в 100 м азимут можно получить через дирекционный угол. Он находится с помощью ориентирных пунктов (ОП), которые должны быть на пунктах Государственной геодезической сети (ГГС). Дирекционный угол на ОП измеряют согласно инструкции по построению ГГС с точностью до 2,5".

На наш взгляд, на практике более актуальным является использование коротких расстояний. При расстоянии, равном 10 м, можно определить магнитный азимут или получить значение азимута из астрономических наблюдений.

Линейный элемент приведения l необходимо определять достаточно точно – от 1 см (при $50 \leq l \leq 100$ м) до 1 мм (при $5 \leq l \leq 50$ м). Поэтому использование рулеток и других инструментов в первом случае неприемлемо. Необходимо использовать электронный тахеометр.

Превышения ДН между двумя пунктами необходимо определять либо геометрическим нивелированием технической точности, либо тригонометрическим нивелированием с использованием современного электронного тахеометра.

Таким образом, оптимальным прибором для измерений элементов приведения является тахеометр, так как он обладает всеми необходимыми точностными характеристиками и совмещает в себе сразу несколько геодезических приборов, что избавляет от необходимости иметь при себе дополнительно нивелир и светодальномер.

Пример предрасчета точности линейного и углового элемента приведения с использованием программ для ПК. Для предрасчета точности азимута и расстояния, используемых для определения линейного и углового элементов приведения, будем использовать две программы: SFEGEO и GAM19.

С помощью SFEGEO можно решать сфероидические треугольники, вычислять элементы сферической трапеции, осуществлять редуцирование расстояний с эллипсоида на плоскость, переходить из геодезических координат в прямоугольные и т.д. Нам же данный программный продукт понадобится для решения прямой и обратной геодезических задач.

Программа GAM19 необходима для перехода от геодезических координат B, L, H к пространственным координатам X, Y, Z и обратно.

Непосредственно предрасчет точности азимута и расстояния с использованием программ для ПК можно разделить на следующие этапы:

- 1) вычисления выполняем для $B_1 = 55^{\circ}00'00''$, $L_1 = 30^{\circ}00'00''$, $H = 300$ м;
- 2) с помощью программы GAM19 по имеющимся геодезическим координатам B, L, H находим пространственные координаты X, Y, Z ;
- 3) эти координаты изменяем на 1 см и с их использованием определяем геодезические координаты B, L, H . Они будут отличаться от первоначально заданных;

4) получаем погрешности ΔB , ΔL , которые соответствуют $\Delta X = \Delta Y = \Delta Z = 1$ см. В нашем случае они равны: $\Delta B = -0,0003''$; $\Delta L = 0,0002''$;

5) решаем прямую геодезическую задачу с использованием B_1 , L_1 , азимута $A = 45^\circ$ и расстояний $10 \leq l \leq 100$ м с шагом 10 м. Применяем программу SFEGEO. Изменяем полученный ряд геодезических координат B , L на величины погрешностей ΔB , ΔL , которые были вычислены ранее, получаем B_2 , L_2 . Вычисления заносим в таблицу;

Предрасчет точности азимута и расстояния при погрешностях $\Delta B = -0,0003$, $\Delta L = 0,0002$ при $B_1 = 55^\circ 00' 00''$, $L_1 = 30^\circ 00' 00''$

S, м	B L	B ₂ L ₂	A S, м
100	55°00'02,2866" 30 00 03,9778	55°00'02,2863" 30 00 03,9780	45°00'17,632" 99,996
90	55 00 02,0579 30 00 03,5800	55 00 02,0576 30 00 03,5802	45 00 21,386 89,994
80	55 00 01,8293 30 00 03,1822	55 00 01,8290 30 00 03,1824	45 00 20,389 79,996
70	55 00 01,6006 30 00 02,7845	55 00 01,6003 30 00 02,7847	45 00 29,171 69,996
60	55 00 01,3720 30 00 02,3867	55 00 01,3717 30 00 02,3869	45 00 28,958 59,997
50	55 00 01,1433 30 00 01,9889	55 00 01,1430 30 00 01,9891	45 00 37,586 49,996
40	55 00 00,9146 30 00 01,5911	55 00 00,9143 30 00 01,5913	45 00 50,406 39,995
30	55 00 00,6860 30 00 01,1933	55 00 00,6857 30 00 01,1935	45 00 56,571 29,996
20	55 00 00,4573 30 00 00,7956	55 00 00,4570 30 00 00,7958	45 01 44,182 19,996
10	55 00 00,2287 30 00 00,3978	55 00 00,2284 30 00 00,3980	45 02 55,487 9,997

6) по геодезическим координатам B_1 , L_1 и B_2 , L_2 решаем обратную геодезическую задачу с использованием программы SFEGEO. В результате получаем линейный и угловой элемент центрировки. Вычисления также заносим в таблицу.

Анализируя данные, можно сделать следующие **выводы**:

1) при постоянных значениях ΔB , ΔL величина ΔS не зависит от длины линейного элемента и одинакова при $10 \leq S \leq 100$ м;

2) при неизменных погрешностях ΔB , ΔL ошибка азимута составила от 235 до 20'' при $10 \leq S \leq 100$ м соответственно;

3) на широте $B_1 = 55^\circ$ и долготе $L_1 = 30^\circ$ линейный элемент центрировки может быть определен не грубее 4 мм, а угловой с точностью до 20'' при $S \approx 100$ м.

Исследования показали, что при $S = 100$, $A = 45^\circ$ азимут углового элемента должен быть определен с ошибкой не более 15'', а линейного – не более 5 мм независимо от B и L .

Заключение. В производственных условиях в случае необходимости выполнения внецентренных измерений следует знать точностные характеристики определения элементов приведения. Предлагается методика предрасчета точности определения этих величин, в соответствии с которой определяем погрешности линейного и углового элемента на широте $B_1 = 55^\circ$ и долготе $L_1 = 30^\circ$.

Использование программ SFEGEO и GAM19 для ПК значительно сокращает время решения прямой и обратной геодезических задач, а также упрощает пересчет геодезических координат в пространственные и обратно.

Приводится обоснование выбора используемых приборов. На наш взгляд, оптимальным прибором для измерений элементов приведения является электронный тахеометр. Он обладает всеми необходимыми характеристиками и совмещает в себе сразу несколько геодезических приборов, что является экономически выгодным.

Поступила 09.10.2007