

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ МЕТОДА PRECISE POINT POSITIONING И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ КАДАСТРОВЫХ РАБОТАХ

А.В. Виноградов (Омский государственный аграрный университет)

В 1964 г. окончил землеустроительный факультет Омского сельскохозяйственного института им. С.М. Кирова (в настоящее время Омский государственный аграрный университет — ОмГАУ) по специальности «геодезия». После окончания института работал в различных производственных организациях, с 1994 г. — на кафедре «Геодезия» Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии (Омск). С 2001 г. по настоящее время — доцент кафедры «Прикладная геодезия, фотограмметрия и ГИС» ОмГАУ. Кандидат технических наук.

А.В. Войтенко (Западно-Сибирский филиал ФГУП «Госземкадастръемка» — ВИСХАГИ, Омск)

В 2003 г. окончил землеустроительный факультет Омского государственного аграрного университета (ОмГАУ) по специальности «геодезия», затем — очную аспирантуру университета. С 2008 г. по настоящее время — главный специалист технического отдела Западно-Сибирского филиала ФГУП «Госземкадастръемка» — ВИСХАГИ. Одновременно — доцент кафедры «Прикладная геодезия, фотограмметрия и ГИС» ОмГАУ. Кандидат технических наук.

А.Ю. Жигулин (Западно-Сибирский филиал ФГУП «Госземкадастръемка» — ВИСХАГИ, Омск)

С 2005 г. студент землеустроительного факультета Омского государственного аграрного университета по специальности «прикладная геодезия». С 2008 г. по настоящее время — инженер технического отдела Западно-Сибирского филиала ФГУП «Госземкадастръемка» — ВИСХАГИ.

В настоящее время при выполнении геодезических работ для определения координат границ объектов кадастрового учета, а также единиц кадастрового и административно-территориального деления Российской Федерации требуется, как правило, сантиметровая точность. Для этих целей широко применяются спутниковые приемники GPS. Такой уровень точности измерений данным типом оборудования может быть достигнут только при использовании относительного метода спутникового позиционирования. Однако у этого метода есть свои недостатки. Во-первых, необходимо иметь дорогостоящий комплект оборудования, состоящий, как минимум, из двух двухчастотных приемни-

ков. Во-вторых, антенна одного из спутниковых приемников должна быть установлена над точкой с известными координатами.

В 2005 г. компанией NovAtel (Канада) был разработан и доведен до практического применения метод точного позиционирования Precise Point Positioning (PPP), позволяющий определять координаты с высокой точностью одним двухчастотным спутниковым приемником GPS. По заявлениям производителя, этот метод обеспечивает точность определения координат точек земной поверхности в системе WGS-84, близкую к точности дифференциального или относительного методов спутниковой геодезии (5–6 см).

Важной особенностью метода PPP является то, что он не требует наличия базовой станции и дифференциальной коррекции. Для компенсации основных погрешностей, возникающих при абсолютных фазовых GPS-измерениях, в данном методе используются точные значения эфемерид и поправок часов спутников, информация о задержке спутникового сигнала в ионосфере и тропосфере и др. Такую информацию в виде отдельных файлов формируют в международных сервисных центрах обработки данных ГНСС-наблюдений (GPS и ГЛОНАСС) и предоставляют пользователям из различных стран через специализированные Интернет-ресурсы.

Одним из них является SOPAC

(Scripps Orbit and Permanent Array Centre, <http://sopac.ucsd.edu>) — крупнейший международный центр сбора и обработки данных глобальных навигационных спутниковых систем. Аналогичную информацию предоставляет сервисный центр Международной службы ГНСС (International GNSS Service — IGS). Но в связи с большим объемом информации, получаемой и обрабатываемой этими центрами (более тысячи постоянно действующих базовых станций), возникает проблема, связанная с задержкой получения файлов с информацией и точностью, которую они обеспечивают.

Не так давно появился программный комплекс (ПК) Waypoint GPS (NovAtel) с модулем обработки данных GrafNav, который поддерживает ряд традиционных методов обработки данных ГНСС, в том числе и в режиме PPP. Существует несколько условий, которые необходимо выполнять для получения наиболее точных результатов при обработке данных с использованием метода PPP:

— продолжительность сеанса абсолютных спутниковых наблюдений на точке, координаты которой необходимо определить, должна составлять не менее одного часа;

— обработка данных спутниковых наблюдений в режиме PPP предназначена только для

фазовых измерений, получаемых двухчастотными спутниковыми приемниками, и требует наличия файлов точных или быстрых эфемерид спутников GPS.

Поэтому, для оценки эффективности использования этого метода при выполнении геодезических работ по установлению границ объектов недвижимости, авторами были выполнены исследования точности и эксплуатационной возможности метода PPP, реализованного в ПК Waypoint GPS версии 8.10.

Определение координат точек земной поверхности в системе координат WGS-84 с погрешностью в несколько сантиметров с использованием метода PPP возможно в любом месте нашей планеты при соблюдении оптимальных условий спутниковых наблюдений. Для апробирования этой технологии было принято решение использовать результаты измерений и многократно вычисленные координаты базовых станций в системе WGS-84, имеющиеся в сервисном центре IGS, поскольку измерения на этих базовых станциях, а также их пространственные координаты доступны широкому кругу пользователей через Интернет. Для исследования, по всей территории РФ, равномерно, были выбраны постоянно действующие базовые станции международной

геодезической сети IGS, деформационной сети GPS Северной Евразии NEDA (North Eurasia Deformation Array) и Европейской земной референционной геодезической сети EUREF (European Reference Frame). Их географическое расположение показано на рисунке. Всего использовались данные с 12 базовых станций: Билибино (bili), Светлое (svtl), Иркутск (irkт), Тикси (tixi), Хабаровск (khaj), Якутск (yaka), Менделеево (mdvj), Магадан (mag0), Обнинск (mobn), Норильск (nrl), Екатеринбург (artu), Петропавловск-Камчатский (ptps).

Камеральная обработка данных спутниковых измерений на этих базовых станциях состояла из следующих этапов:

1. Сбор данных, накопленных на базовых станциях.

2. Вычисление координат базовых станций в системе WGS-84 с использованием метода PPP.

3. Анализ и оценка точности полученных результатов.

Первоначально были взяты файлы с измерениями на базовых станциях за 2008 г., за первое и 15-е числа каждого месяца, с сервера центра SOPAC. Данные на эти числа выбирались для более детального отражения качества обработки результатов спутниковых наблюдений с использованием режима PPP в течение календарного года. Дискретность записи результатов измерений на каждой базовой станции составляла 30 секунд.

Далее с того же сервера были взяты глобальные навигационные файлы и точные эфемериды, а также файлы поправок часов спутников на те же дни.

Следующим этапом работ стало вычисление координат выбранных базовых станций с использованием режима обработки данных абсолютных фазовых спутниковых наблюдений PPP с использованием



модуля GrafNav. Оценка точности полученных результатов выполнялась путем сравнения вычисленных координат с их точными значениями, взятыми с указанного выше сайта на те же даты. Средние квадратические погрешности (СКП) координат базовых станций, принятых за точные, составляли 0,8 см в плане и 0,9 см по высоте. Максимальные и минимальные отклонения в плане и по высоте координат, полученных в результате обработки измерений за одни сутки для каждой базовой станции, от их точного значения приведены в табл. 1. СКП определения координат базовых станций с использованием режима обработки PPP в ПК GrafNav/GrafNet составили 1,4 см в плане и 2,2 см по высоте.

Полученные результаты оценки подтверждают, что в результате обработки фазовых спутниковых наблюдений, продолжительностью в одни сутки, с использованием метода PPP могут быть получены координаты точки земной поверхности в WGS-84 с СКП менее 5,0 см.

Однако наибольший практический интерес представляет собой задача получения пространственных координат точки земной поверхности по фазовым спутниковым наблюдениям, продолжительностью в один час.

Для исследования поставленной задачи были использованы данные тех же базовых станций, что и ранее. Вычисление точных значений их координат, обработка данных часовых фазовых спутниковых наблюдений на этих точках и сравнение полученных результатов выполнялось описанными выше методами. Отличие состояло лишь в том, что в обработку принимались спутниковые наблюдения первого и 18-го часа первого дня каждого месяца 2008 г. Точные координаты каждой базовой станции были приведены к этим же датам. Выбор первого и 18-го часа наблюдений одного и того же дня для обработки был обусловлен следующими соображениями.

Данные, используемые для исследования, должны наибо-

лее полно характеризовать возможности метода PPP при обработке данных спутникового позиционирования, выполненного в различных точках земной поверхности, в разное время года и суток, при различных погодных условиях и неодинаковой конфигурации созвездия спутников GPS.

Расположение выбранных на территории РФ базовых станций, а также доступность результатов наблюдений на них, позволяют найти данные для исследования, соответствующие географическим, погодным и суточным изменениям ионосферы и тропосферы. Влияние же конфигурации созвездия спутников может быть выявлено за счет использования фазовых измерений одного и того же дня, но выполненных в разное время.

Орбитальная группировка GPS состоит минимум из 24 спутников на почти круговых орбитах с радиусом 26 560 км, периодом обращения вокруг Земли, равным 11 часам 57 минутам 58 секундам, и почти постоянными трассами. Таким об-

Точность координат базовых станций по результатам обработки данных спутниковых измерений, продолжительностью в одни сутки

Таблица 1

Название базовой станции	Плановые координаты		Высотное положение	
	Максимальное отклонение, см	Минимальное отклонение, см	Максимальное отклонение, см	Минимальное отклонение, см
Билибино	1,2	0,6	2,3	0,1
Иркутск	5,9	0,4	4,7	0,8
Хабаровск	3,6	1,2	9,5	1,7
Менделеево	1,8	0,9	4,6	0,2
Обнинск	1,6	0,7	6,1	1,5
Норильск	1,2	0,1	2,2	0,0
Петропавловск-Камчатский	2,7	0,8	3,8	0,1
Светлое	0,5	0,5	0,5	0,5
Тикси	1,0	0,1	1,9	0,3
Якутск	2,7	0,3	3,4	0,5
Магадан	2,7	0,6	5,0	0,5
Екатеринбург	1,7	0,6	4,4	0,0

Примечание. Значения максимальных и минимальных отклонений приведены по абсолютной величине.

Точность координат базовых станций по результатам обработки данных спутниковых измерений, продолжительностью в один час

Таблица 2

Название базовой станции	Плановые координаты		Высотное положение	
	Максимальное отклонение, см	Минимальное отклонение, см	Максимальное отклонение, см	Минимальное отклонение, см
Билибино	3,4	0,5	8,9	0,0
Иркутск	10,2	0,8	9,5	1,8
Хабаровск	11,9	0,3	9,1	0,0
Менделеево	5,3	0,6	6,1	0,3
Обнинск	12,4	0,7	11,3	0,2
Норильск	9,1	0,3	10,9	0,0
Петропавловск-Камчатский	11,6	0,7	7,9	0,0
Светлое	4,6	4,6	7,5	6,8
Тикси	6,6	0,2	6,2	0,4
Якутск	21,5	1,3	7,5	0,5
Магадан	12,6	0,6	22,9	0,1
Екатеринбург	13,1	0,5	10,2	0,5

Примечание. Значения максимальных и минимальных отклонений приведены по абсолютной величине.

разом, в каждой точке земной поверхности конфигурация созвездия спутников будет почти полностью повторяться примерно через 12 часов. Поэтому, для выбора данных, соответствующих различной конфигурации созвездия спутников, для каждого дня был использован временной интервал, равный 18 часам.

Так же как и в первом случае, в результате обработки всех данных были вычислены максимальные и минимальные отклонения в плане и по высоте координат, полученных в результате обработки измерений за один час для каждой базовой станции, от их точного значения, которые представлены в табл. 2. СКП определения координат базовых станций для данных фазовых измерений, продолжительностью в один час, с использованием режима обработки PPP составили 7,2 см в плане и 6,7 см по высоте.

Сравнительный анализ точности определения пространственных координат с использованием метода PPP, реализованного в ПК Waypoint GPS

версии 8.10, позволил сделать следующие выводы.

Метод точного позиционирования Precise Point Positioning имеет перспективы широкого практического использования на территории РФ и является в ряде случаев альтернативой и дополнением к дифференциальному и относительному методам точного позиционирования. Он не требует установки и использования базовых станций, позволяет получить в результате фазовых статических спутниковых наблюдений пространственные координаты точки земной поверхности в системе WGS-84 с точностью в несколько сантиметров.

Недостатком этого режима обработки данных спутникового позиционирования является зависимость от точности и доступности данных международных сервисных центров обработки ГНСС-наблюдений.

Проведенные исследования подтверждают, что данный метод может быть использован для целей установления границ землепользований, особенно на межселенных территориях.

Кроме того, он может найти широкое применение при реконструкции городских геодезических сетей, инженерных изысканиях протяженных сооружений (железных и автомобильных дорог, трубопроводов, линий электропередачи и т. п.) и осуществлении других топографо-геодезических работ. При этом продолжительность сеанса спутниковых наблюдений должна зависеть от требуемой точности выполняемых геодезических работ и быть в пределах от одного часа до суток.

RESUME

The results of investigating an accuracy of the Precise Point Positioning technique, developed by NovAtel company and intended for processing the absolute dual-frequency kinematic GPS-measurements are given. A possibility of its application for the purpose of coordinating land use boundaries and other topographic and geodetic works is considered. The advantages and disadvantages, as well as features of this technique are described in comparison with the differential and relative techniques of satellite measurements.