

## ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВОГО GPS-ПРИЕМНИКА PROMARK2 ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ТОЧЕК

А.П. Ворошилов, Н.В. Субботина

**Рассмотрена возможность применения спутниковых GPS-приемников ProMark2 для определения горизонтальных смещений пунктов. Приведены результаты экспериментальных работ.**

Горизонтальные смещения точек земной поверхности и инженерных сооружений могут быть вызваны техногенными факторами и чаще всего проявляются в зонах влияния горных разработок. В зонах возможных сдвижек земной поверхности организуются планомерные наблюдения за состоянием массивов горных пород. Современное состояние геодезических методов и технологий позволяет организовать наблюдения на больших территориях путем построения специальных геодезических сетей с проведением регулярных повторных измерений. Они позволяют своевременно выявить смещения пунктов, прогнозировать состояние массивов горных пород, в том числе при инженерно-строительных изысканиях и проектировании застройки.

Ранее выполненные расчеты по проектированию геодезических сетей для измерений величин возможных деформаций земной поверхности показали, что в условиях действующих крупных предприятий оптимальным вариантом являются сети, измерения элементов которых обеспечивают определение смещений пунктов с точностью порядка 10 мм.

В современном геодезическом производстве для построения опорных сетей стали широко использоваться спутниковые GPS- и ГЛОНАСС-приемники, соответствующие геодезические программные продукты и методы математической обработки. Они позволяют получать высокую точность положения пунктов, вполне удовлетворяющую требованиям инженерно-строительных изысканий, построению плановых опорных геодезических сетей, в том числе на территории проектирования и строительства. При этом не требуется обеспечивать взаимную видимость между пунктами сетей, проводить большой объем угловых и линейных измерений. Применение такой технологии позволяет полностью автоматизировать производство геодезических работ, поэтому к настоящему времени спутниковые методы практически вытеснили традиционные построения, и развитие опорных геодезических сетей проводится на основе спутниковых систем. В настоящее время в РФ распространение получили спутниковые геодезические приемники ProMark2, ProMark3. Благодаря взаимному сотрудничеству российской (ВОМЗ) и

французской приборостроительных компаний стоимость ProMark остается наиболее доступной для российских пользователей.

Приемник позволяет работать в режимах статики и кинематики как с постобработкой с помощью программного обеспечения Ashtech Solution, так и в RTK. Точность измерения координат GPS-приемником ProMark2 в статическом режиме составляет 5 мм + 1 ррт в плане, а по высоте - 10 мм + 2 ррт, время наблюдений варьируется в режиме статики от 15 до 60 минут и зависит от длины базовой линии, рекомендуемое время инициализации 5 минут. Программа Ashtech Solutions включает в себя модули планирования, передачи данных, предварительной обработки, уравнивания, преобразования координат и другие, в том числе один из мощнейших модулей постобработки, позволяющий выявить грубые ошибки на стадии предварительной обработки результатов.

Применение спутникового приемника ProMark2 для определения сдвижек земной поверхности требует проведения специальных исследований его на точность определения горизонтальных смещений точек в реальных условиях эксплуатации измерительной аппаратуры. Для решения этой задачи были проведены экспериментальные измерения, организованные так, чтобы можно было сравнить смещения, определенные с помощью спутникового приемника с фактическими смещениями, специально заданными и точно зафиксированными.

Для проведения эксперимента была запроектирована и закреплена на местности сеть пунктов, состоящая из базовых точек с известными координатами (система координат и высот условная) и определяемых пунктов. На определяемых пунктах были нанесены основные и «смещенные центры». Измерения проводились двумя приемниками ProMark2 в статическом режиме с установкой одного из них над базовым пунктом, а другого - на определяемых. Длины базовых линий не превышали 0,5 км. Приемники устанавливались на штатив с тщательным оптическим центрированием. Наблюдения на определяемых пунктах выполнены как с основного, так и со смещенных центров. Затем с помощью ПО Ashtech Solution полученная с приемников информация была обработана. Величины

заданных смещений между закрепленными центрами были измерены непосредственно с помощью компарированной стальной линейки с точностью до 0,5 мм.

Экспериментальные измерения геодезическими приемниками на пунктах сети проводились 2 раза: в пределах одной даты и через 5 месяцев. При обработке в ПО Ashtech Solution были определены координаты  $X$ ,  $Y$  всех точек, с которых проведены спутниковые измерения. По координатам основных и смещенных центров вычислены горизонтальные расстояния между ними с использованием обратной геодезической задачи, которые являются измеренными приемниками горизонтальными смещениями.

Полученные горизонтальные смещения сравнивались с заданными смещениями (непосредственно измеренными) в эксперименте как для наблюдений одной даты, так и для наблюдений, выполненных спустя 5 месяцев. Средние квадратические погрешности (СКП) величин определяемых смещений по результатам данного эксперимента были оценены по Формуле Гаусса:

$$m_{\Delta L} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_L^2}{n}}, \quad \text{O)}$$

где  $A_L$  - разность между измеренным и заданным смещением;  $n$  - количество измеренных смещений.

В эксперименте с измерением смещений в течение одной даты были использованы точки: A001, 0004, 0005, 0006, 0007, 0008, 0009, 00010. СКП определения смещений по ним составила 10 мм, а для измерений через 5 месяцев (точки A001, 0004, 0005, 0006, 0008, 0009) была получена оценка СКП, равная 9 мм. Значимого изменения СКП для разных периодов измерений, участвующих в эксперименте, не выявлено.

Средние квадратические погрешности определения изменений координат точек также были оценены по формуле Гаусса с использованием разностей координат одной и той же точки, измеренных два раза. Получены следующие значения СКП определения изменений координат пунктов сети:  $m_{\Delta x} = 0,0011$  м;  $m_{\Delta y} = 0,0003$  м. Они практически на порядок меньше предыдущей оценки СКП определения смещений.

Полученные в результате эксперимента оценки СКП определения смещений и изменений координат точек спутниковыми приемниками позволяют сделать следующие предварительные выводы:

- реальная точность измерения смещений рассматриваемыми приемниками составила 9 и 10 мм и не зависит от времени между повторными наблюдениями (в пределах 5 месяцев);

- значения оценки СКП определения смещений в экспериментальных работах получены примерно в два раза большими, чем указанная в технических характеристиках прибора СКП для определения плановых координат;

- СКП определения изменений координат  $X$ ,  $Y$  пунктов получены очень малыми: 0,001 м и 0,000 м соответственно, следовательно, исследуемый приемник и его ПО дают несколько завышенную точность при повторном определении координат пунктов геодезической сети;

- спутниковый приемник ProMark2 может успешно применяться при измерении горизонтальных смещений земной поверхности и инженерных сооружений в случаях, когда сантиметровая точность определений является достаточной.

Применение спутниковых технологий в контроле за сдвижением массивов горных пород позволяет сократить время проведения полевых и камеральных работ, повысить надежность и качество проводимых измерений.