

О ВОЗМОЖНОСТИ МОНИТОРИНГА СМЕЩЕНИЙ ВЫСОТНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ОДНОЧАСТОТНОЙ СПУТНИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ГЛОНАСС/GPS

С.Н. Свердлик (Московский филиал ОАО «РИРВ»)

В 1982 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». С 1987 г. служил в ВС РФ, в том числе в 29-м НИИ МО РФ. С 2005 г. по настоящее время — главный специалист московского филиала ОАО «РИРВ».

С.Н. Цуцков (Московский филиал ОАО «РИРВ»)

В 1980 г. окончил Ленинградское высшее военно-топографическое училище по специальности «геодезия», в 1991 г. — МГУ им. М.В.Ломоносова по специальности «прикладная математика». С 1976 г. служил в ВС РФ. С 2006 г. по настоящее время — главный специалист московского филиала ОАО «РИРВ».

Многие зарубежные и российские компании предлагают для мониторинга смещений высотных зданий и протяженных объектов использовать спутниковую двухчастотную аппаратуру GPS. По результатам исследований, опубликованных в различных изданиях, точность измерения приращений координат от базовой

станции до подвижной при ее принудительном перемещении (с миллиметровой точностью) и продолжительности сеанса наблюдений 5–10 мин составляет 0,5–0,8 см. При этом в данных публикациях не приводится диапазон расстояний между базовой и подвижной станциями.

Специалисты московского филиала ОАО «РИРВ» провели эксперимент с целью определить возможность достижения указанной выше точности с помощью одночастотной двухсистемной (ГЛОНАСС/GPS) спутниковой аппаратуры российского производства и программного обеспечения для постобработки, а также продолжительность минимального сеанса наблюдений в режиме «статика» и предельного удаления базовых станций от объекта измерений. Также была поставлена задача выяснить возможности кинематического (динамического) режима наблюдений при мониторинге смещений высотных зданий.

В ходе эксперимента использовался одночастотный спутни-

ковый геодезический приемник ГЛОНАСС/GPS ГЕО-161 и программа для постобработки BL-G1, разработанная ОАО «РИРВ». Точность измерений приемника, подтвержденная при сертификации в Госстандарте России, составляет:

- в режиме «статика» и «быстрая статика» — $10 \text{ мм} + 2L \cdot 10^{-6}$ на расстоянии до 15 км (L — длина измеряемого базиса);

- в режиме «кинематика с инициализацией» — $20 \text{ мм} + 2L \cdot 10^{-6}$ на расстоянии до 3 км.

Эксперимент проводился на крыше высотного здания (рис. 1). Для этого был изготовлен юстировочный столик с узлами крепления для антенн спутниковых приемников Rov1 и Rov2 на расстоянии 259 мм друг от друга (рис. 2), которые выполняли роль подвижных приемников во время измерений. Конструкция столика обеспечивала его вращение относительно вертикальной оси с заданной (необходимой) скоростью. Базовые станции В1 и В2 со спутниковыми приемниками ГЕО-

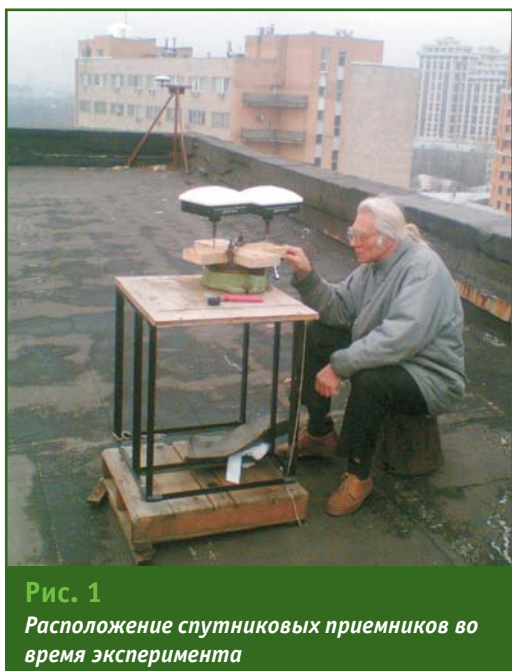


Рис. 1

Расположение спутниковых приемников во время эксперимента

161 и юстировочный столик были выставлены и жестко закреплены на крыше здания таким образом, чтобы расстояние от оси вращения столика до базовых станций было 13 и 20 м. Причем, благодаря возможности вращения юстировочного столика, базовая станция B1 была установлена по направлению север-юг в створе с узлами для крепления антенн подвижных приемников Rov1 и Rov2. Третья базовая станция Site находилась в восточном направлении на расстоянии 10 км от здания. На ней был установлен двухчастотный спутниковый приемник ГЛОНАСС/GPS Legasy. Четвертая базовая станция RB1 со спутниковым приемником ГЕО-161 располагалась в 7 км южнее.

При проведении эксперимента измерения на базовых станциях Site и RB1 выполнялись в разные дни. В обработку включались измерения только по одной частоте. Базовые станции B1 (в южном углу здания) и B2 (в западном углу здания) использовались в качестве контрольных. Узлы крепления антенн подвижных станций Rov1 и Rov2 устанавливались в створе с базовыми станциями B1 так, как показано на рис. 2.

В первый час наблюдений работали все базовые станции и спутниковый приемник ГЕО-161, установленный на Rov1, во второй час — все базовые станции и спутниковый приемник ГЕО-161, установленный на Rov2. Интервал набора измерений на приемниках был установлен равным 1 с. Сеансы наблюдений на подвижных станциях были разбиты на подсеансы по 5 мин. Причем, чтобы ослабить корреляцию, для обработки выбирались несинхронные подсеансы на подвижных станциях Rov1 и Rov2 (разнесенные по времени). Такая длительность подсеансов обеспечивала получение фиксированного решения (разрешение фазовой неоднозначности). По подсеансам от базовых

станций были получены приращения координат для подвижных станций Rov1 и Rov2 на север и восток в проекции Гаусса-Крюгера, а также высотные составляющие относительно поверхности юстировочного столика — имитатора смещения.

По приращениям координат, полученным от базовых станций Site, B1 и B2, для каждого сеанса были вычислены расстояния (по направлению на север) и превышения между точками Rov1 и Rov2. Отклонения вычисленных расстояний и превышений от их истинных значений представлены в виде графиков на рис. 3 и 4.

На рис. 3 видно, что на подсеансах 7 и 9 наблюдаются большие отклонения (скачки) измеренных значений относительно базовых. Анализ условий проведения эксперимента показал, что во время этих подсеансов количество видимых космических аппаратов (КА) было равным 6, в отличие от других, где видимых КА было 8 и более. Можно сделать вывод, что для данных расстояний недостаточно принимать сигналы от 6 КА. Во многом это обуславливается наличием препятствий для радиовидимости от КА в виде высотных зданий. Так на юго-востоке от здания, где проводился эксперимент, расположен жилой комплекс «Триумф-Палас» высотой 250 м, ограничивающий зону видимости КА в этом направлении. Это обстоятельство показывает необходимость предварительного планирования сеанса наблюдений для определения геометрии созвездия КА в зависимости от реальных препятствий прохождения сигналов на объект или для статистического учета «мертвых зон» в процессе мониторинга смещений объекта.

При обработке сеанса (без разбиения на подсеансы) длительностью 1 ч, средние ошибки при определении от базовых станций Site, B1 и B2 составили: — в плане: 0,000 м (Site);

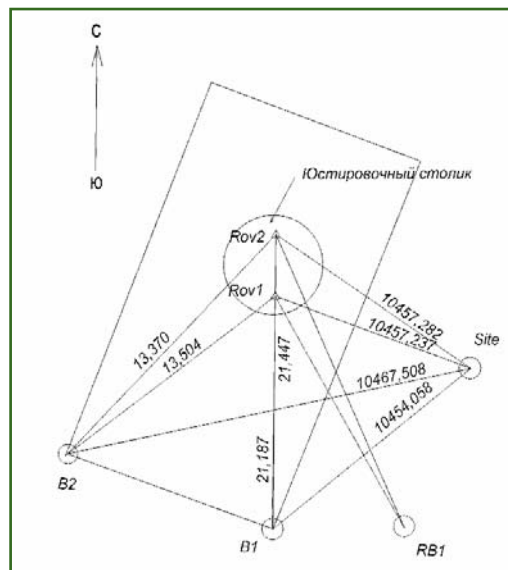


Рис. 2
Схема расположения базовых и подвижных станций

0,001 м (B1); 0,000 м (B2);
— по высоте: 0,023 м (Site);
0,020 м (B1); 0,019 м (B2).

Среднеквадратические отклонения (СКО) по всем сеансам составили:

— в плане: 0,0059 м (Site);
0,0025 м (B1); 0,0023 м (B2);
— по высоте: 0,0207 м (Site);
0,0077 м (B1); 0,0071 м (B2).

Аналогичный эксперимент был проведен на крыше семиэтажного здания в центре Москвы. В качестве базовой была выбрана станция RB1. Длительность подсеансов при наблюдениях составила 10 мин (получение фиксированного решения). Увеличение длительности подсеансов по сравнению с измерениями относительно базовой станции SITE обусловлено наличием большого числа переотражающих поверхностей вокруг точки RB1 (металлические крыши прилегающих зданий).

Вычисленные значения отклонений измеренных расстояний и превышений между точками Rov1 и Rov2 от истинного значения в каждом из подсеансов не превысили в плане 0,015 м, а по высоте — 0,024 м. При обработке сеанса (без разбиения на подсеансы) длительностью 1 ч, средние ошибки со-

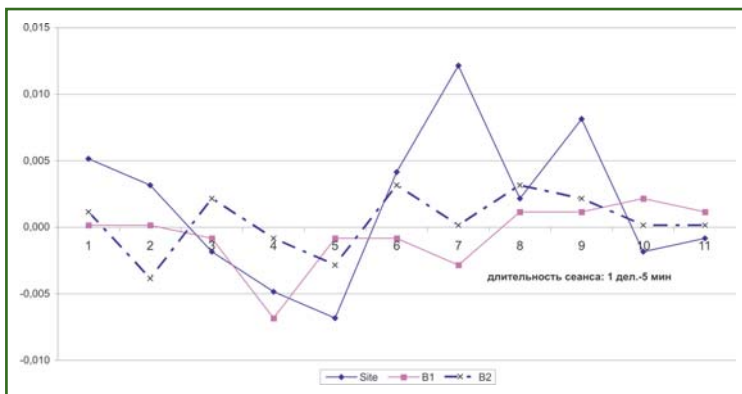


Рис. 3

Отклонения (в плане) вычисленных расстояний между Rov1 и Rov2 от их истинного значения

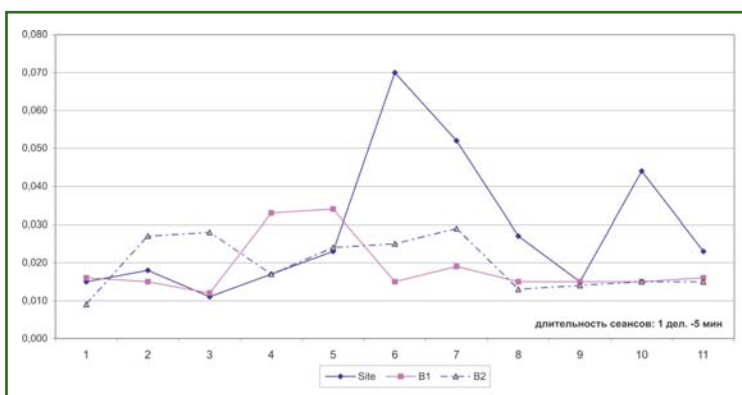


Рис. 4

Отклонения (по высоте) вычисленных превышений между Rov1 и Rov2 от истинного значения

ставили: в плане 0,001 м, по высоте 0,002 м, а СКО по всем сеансам — в плане 0,0068 м, по высоте 0,014 м.

Другой задачей эксперимента было определение точности спутникового приемника ГЕО-161 в кинематическом (динамическом) режиме наблюдений при использовании в структуре мониторинга деформации высотных зданий. Для этого на юстировочном столике, обеспечивающем горизонтальное вращательное движение, на расстоянии 180 мм от центра вращения столика была установлена антенна подвижного приемника Rov2. Во время измерений, которые длились 10 мин, проводилось равномерное вращение работающего приемника Rov2 (два полных оборота столика). Была выполнена обработка результатов измерений относительно ба-

зовой станции B2, расположенной на расстоянии 13,4 м. Результаты вычислений показывают возможность определения динамических перемещений с точностью 2–3 см. Однако в этом случае расстояние от подвижной станции до базовой не должно превышать 3 км.

Результаты проведенного эксперимента позволяют сделать следующие выводы.

1. Использование одночастотной двухсистемной спутниковой геодезической аппаратуры в статическом режиме на расстоянии до 10 км позволяет оценивать перемещение подвижного приемника с точностью 6–8 мм. СКО в плане составляет 7 мм, а по высоте — 20 мм. Необходимая длительность сеанса составляет 5–10 мин, в зависимости от условий расположения базовой станции. Ис-

пользование этого режима позволяет отслеживать медленное (5–10 мм в сутки) смещение объекта и своевременно сигнализировать в случае превышения допустимого значения.

2. Применение кинематического (динамического) режима наблюдений позволяет определять перемещение подвижного приемника с точностью 2–3 см. Расстояние до базовой станции в этом случае не должно превышать 3 км. Данный режим целесообразно использовать при наблюдениях за объектами с быстро меняющимся смещением (более 2 см в минуту).

3. При наличии препятствий для радиовидимости от КА в виде высотных зданий перед измерениями в статическом режиме необходимо проводить предварительное планирование сеанса наблюдений с увеличением длительности сеанса для повышения достоверности.

4. В черте мегаполиса базовые станции целесообразно размещать на объектах, расположенных выше окружающих зданий с металлическими крышами.

5. Представляется перспективной разработка программы автоматической обработки результатов измерений и организации автоматизированной системы наблюдений.

RESUME

There given the results of an experiment on studying an accuracy of determining horizontal and height shifts for monitoring tower-type buildings using single-frequency dual-system (GLONASS/GPS) Russian satellite equipment together with the software for postprocessing. The assessment was also done for the duration of the minimal observation session both in the static mode and for the ultimate distancing between the base stations and the observed object. A possibility of the kinematic (dynamic) observation mode was studied for monitoring tower buildings' shifts.