

# ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ВЫСОКОТОЧНЫХ СПУТНИКОВЫХ МЕТОДОВ

**А.М. Донец** («Навгеоком»)

В 2005 г. окончила геодезический факультет МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». С 2004 г. работает в компании «Навгеоком», в настоящее время — инженер.

В последние годы в больших городах России, в частности в Москве, весьма остро встала проблема нехватки земель под застройку. Застройщиками был найден вполне понятный путь решения этой проблемы в ориентировании на строительство многоэтажных зданий (свыше 75 м). Особенностью конструкций высотных зданий является сосредоточение большой массы на малой площади, что делает их более чувствительными к различным деформирующим факторам, нежели обычные

здания. По этой причине выявилась необходимость в проведении работ по их периодическому, а в некоторых случаях и непрерывному мониторингу. И здесь возникает ряд проблем, связанных с отсутствием нормативной, технологической и методической баз, регулирующих проведение работ по мониторингу таких зданий.

Одним из возможных методов проведения геодезического мониторинга высотных зданий и сооружений является метод, основанный на использо-

вании технологии GPS-измерений. Он предполагает дискретное разбиение файлов непрерывных спутниковых наблюдений, полученных спутниковыми приемниками GPS, с определенным интервалом, например, 30 мин. В результате определяются пространственные координаты реперов, расположенных на крыше здания, на каждую тридцатиминутную эпоху в пределах интервала непрерывных измерений. Основными достоинствами метода являются высокая точность и чувствительность, простота реализации, полная автоматизация на всех этапах работ, а также относительно низкая стоимость.

Специалистами компании «Навгеоком» были проведены исследования по оценке эффективности данного метода, реализуемого с помощью измерительно-вычислительного комплекса Trimble Navigation (США), в состав которого входят:

- два двухчастотных приемника GPS Trimble 5700;
- две антенны Zephyr Geodetic;
- контроллер Trimble TSCe;
- программное обеспечение Trimble Total Control;



**Рис. 1**  
Измерения на базовой станции

— дополнительный программный модуль Motion Tracker.

Trimble Total Station 5700 является фазовым двухчастотным приемником с низким энергопотреблением и технологией обработки сигнала Maxwell 4. В качестве встроенной памяти он использует карты формата Compact Flash, что позволяет непрерывно регистрировать «сырые» L1/L2 GPS данные большого объема (в режиме «Статика»).

Для обработки результатов измерений использовалось программное обеспечение

Trimble Total Control, которое является базовой платформой для программного модуля Motion Tracker, предназначенного для обработки данных временных и постоянно действующих GPS-станций, объединенных в единую сеть с целью осуществления анализа и контроля за деформациями. Данное ПО применяется в различных областях для определения деформаций дамб, плотин, мостов, высотных зданий и сооружений и т. д.; отслеживания предвестников землетрясений; площадного мониторинга больших территорий;



Рис. 2  
Измерительный столик

наблюдений за осадками зданий и сооружений.

Основными задачами, которые планировалось решить по результатам исследований, были:

- определение минимального шага по времени при уравнивании измерений;
- определение точности регистрации перемещений при различной дискретности измерений;
- разработка методики наблюдений и ее проверка.

В апреле — мае 2005 г. было проведено несколько серий измерений. Они включали моделирование перемещений антенны спутникового приемника в плане и по высоте с помощью специального измерительного столика с непрерывным определением пространственных координат.

Наблюдения выполнялись следующим образом: на одном из жестко закрепленных пунктов (астростолб), выполняющем функцию базовой станции (рис. 1), устанавливалась антенна приемника, а на другом — измерительный столик (рис. 2) с неподвижно закрепленной сверху антенной другого приемника. С помощью измерительного столика моделировались перемещения в направлениях Север-Юг и Восток-Запад в диапазоне 10 мм с периодичностью 1 мм в единицу времени. Интервал времени

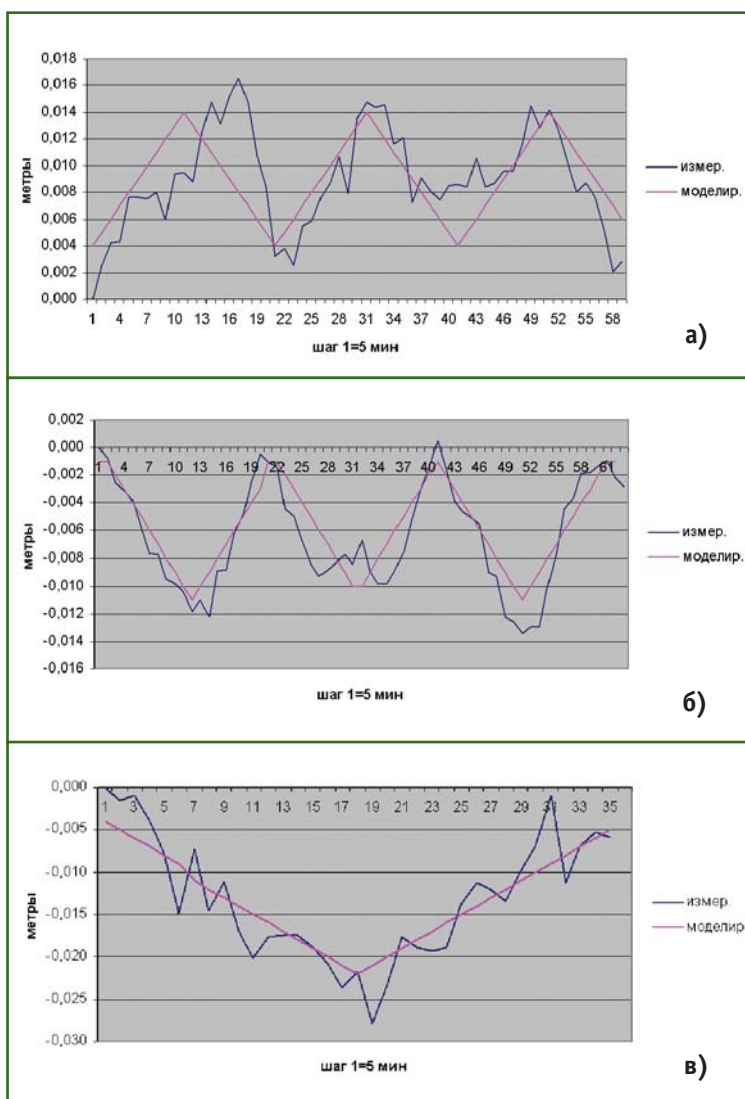
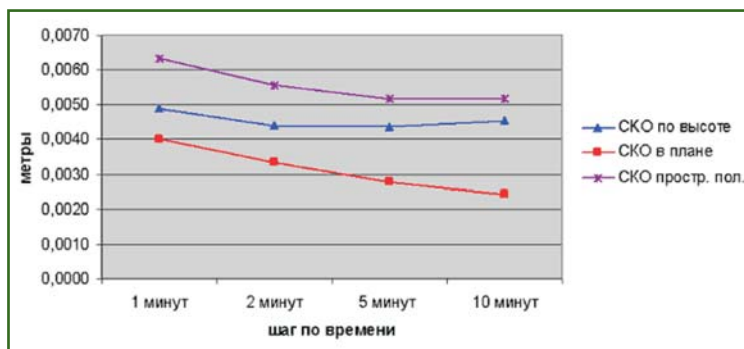


Рис. 3

Графики измеренных и смоделированных смещений пункта с шагом по времени 5 мин в направлениях: а) Север-Юг; б) Восток-Запад; в) по высоте

### Средние квадратические ошибки (СКО) однократного определения положения пункта в зависимости от устанавливаемого в ходе обработки шага по времени

Шаг	СКО Север-Юг, м	СКО Восток-Запад, м	СКО по высоте, м	СКО в плане, м	СКО пространственного положения, м
1 мин	0,0031	0,0025	0,0049	0,0040	0,0063
2 мин	0,0028	0,0018	0,0044	0,0034	0,0055
5 мин	0,0021	0,0018	0,0044	0,0028	0,0052
10 мин	0,0018	0,0016	0,0045	0,0024	0,0052



**Рис. 4**

Графики зависимости СКО однократного определения положения пункта от устанавливаемого в ходе обработки шага по времени

между последовательными установками менялся от 1 до 10 мин.

«Сырые» данные измерений экспортировались в программное обеспечение Trimble Total Control, где с помощью модуля Motion Tracker осуществлялась их обработка. Полученные результаты в виде таблиц, содержащих величины смещений, и графиков перемещений сравнивались с соответствующими величинами, заданными в процессе измерений. Далее проводился анализ полученных результатов и формулирование выводов.

По данной методике было выполнено исследование по нахождению минимального значения шага по времени при уравнивании. После обработки полученной информации был сделан вывод, что комплекс обеспечивает надежное решение с вероятностью 0,955–0,997 при установке шага по времени при уравнива-

нии 5 мин и более. Если же шаг по времени будет составлять меньшую величину, результаты будут содержать плавающие решения, что объясняется ограниченными возможностями комплекса разрешать неоднозначность на малых временных интервалах. На рис. 3 представлены результаты обработки измерительной информации с помощью Motion Tracker для установки шага по времени при уравнивании 5 мин.

Точностные характеристики измеренных величин при различной дискретности измерений представлены в таблице и на рис. 4.

Используя полученные результаты, была разработана методика наблюдений, которая была опробована при мониторинге высотного, 26-этажного здания. Задача эксперимента заключалась в отслеживании возможных смещений и колебательных движений здания и

их интерпретации. В результате обработки двух сессий наблюдений по 6 ч, выполненных с недельным интервалом, каких-либо изменений в положении здания порядка чувствительности комплекса обнаружено не было. Однако возможно наличие колебательных движений здания с амплитудой порядка 1,5 см, о чем свидетельствует характер расположения точек на графиках составляющих смещений, но для подтверждения или опровержения этого предположения необходимы более длительные наблюдения.

Таким образом, проведенные специалистами компании «Навгеоком» исследования позволяют заключить, что измерительно-вычислительный комплекс Trimble Navigation может стать эффективным и недорогим средством проведения геодезических работ при мониторинге высотных зданий и сооружений.

#### RESUME

One of techniques for geodetic monitoring of high-rise buildings and constructions based on the GPS technology is described. Results of experimental measurements of the simulated horizontal and vertical displacements and their processing by the Motion Tracker module of the Trimble Total Control software are given. The data obtained has made it possible to develop a survey technique further tested during the 26-floor building monitoring in Moscow.