

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТУРЫ JAVAD GNSS ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ СМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЯ «ТРИУМФ ПАЛАС»

В.Я. Иодис (JAVAD GNSS)

В 1970 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономо-геодезия». С 2005 г. работает в компании JAVAD GNSS, в настоящее время — заведующий геодезической группой. Кандидат технических наук.

А.В. Бойков (JAVAD GNSS)

В 1985 г. окончил факультет прикладной космонавтики МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». После окончания института работал в организациях Минобороны РФ, РосНИЦ «Земля», компании Ashtech. С 2005 г. работает в компании JAVAD GNSS, в настоящее время — научный сотрудник. Кандидат технических наук.

А.А. Конева (JAVAD GNSS)

В 2006 г. окончила Московский авиационный институт по специальности «математик, системный программист». С 2010 г. работает в компании JAVAD GNSS, в настоящее время — инженер-программист.

С 1980-х гг., благодаря разрыву глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), в руках геодезистов появился новый инструмент — геодезический спутниковый приемник. Дальнейшее развитие ГНСС-технологий привело к появлению приборов, позволяющих решать на новом уровне многие традиционные геодезические задачи. В настоящее время невозможно представить себе создание и сгущение государственных или съемочных геодезических сетей без использования спутниковых приемников. Что касается геодезического мониторинга деформаций зданий и сооружений, то первоначально применение ГНСС-технологий для этих целей вызвало трудности, связанные с ограниченной точностью измерений. По мере развития GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou и других глобальных навигационных спутниковых систем, совершенствования приема

сигналов навигационных спутников и обработки данных, оказалось возможным достичь точности измерения пространственных координат в несколько миллиметров, что уже достаточно для серьезной заявки на использование этих технологий при мониторинге смещений зданий и сооружений в плане и по высоте.

Условием для успешного применения спутниковых технологий, помимо прочего, является возможность беспрепятственного приема сигналов от спутников ГНСС. К сожалению, это условие не всегда выполнимо на практике. Например, при мониторинге состояния моста одной из основных задач является определение смещений в плане и осадок его опор. Для этого необходимо, с одной стороны, обеспечить жесткую связь антенны, принимающей сигналы спутников ГНСС, с опорой, а с другой — поднять антенну достаточно вы-

соко над всеми элементами моста, чтобы добиться приема сигналов без отражений от его конструкций. С точки зрения возможности применения спутниковых технологий интересным является вопрос: какой точности можно достичь при мониторинге деформаций крупного сооружения, если расположение антенн спутниковых приемников далеко от идеального?

В данной статье приводится пример успешного мониторинга пространственных смещений высотного здания на основе спутниковых наблюдений, выполнявшихся в течение 6 лет. Для этих работ использовалось оборудование и программное обеспечение компании JAVAD GNSS.

В 2006 г. в Москве было завершено строительство уникального сооружения — Триумф Паласа — в то время самого высокого жилого здания в Европе, имеющего 57 этажей. Его высота



Рис. 1
Места установки антенн ГНСС компании JAVAD GNSS на здании «Триумф Палас»

составляет 264,1 м, включая 49-метровый шпиль.

По углам основания шпиля здания в 2009 г. сотрудники компании JAVAD GNSS установили четыре антенны спутниковых приемников, защищенные от непогоды и повреждений кожухами (рис. 1). Сигналы со спутников ГНСС, принимаемые антеннами, передаются в расположенный в здании офис компании JAVAD GNSS, и используются при проведении различных исследований. В частности, эти данные применялись для оценки смещений здания.

Как видно из рис. 1, условия для мониторинга смещений здания с помощью геодезической спутниковой аппаратуры далеки от идеальных, вследствие наличия препятствий, ограничивающих прием сигналов от навигационных спутников для любой из антенн. Чтобы ослабить влияние этих неблагоприятных факторов, для каждой эпохи мониторинга (цикла наблюдений) обрабатывались сеансы спутниковых наблюдений, в основном, продолжительностью в одни сутки. Для оценки пространственных смещений были выбраны две антенны (А и С), расположенные в противоположных углах основания шпиля.

Общий период мониторинга составил более 6 лет (с 2009 г.

по настоящее время). В качестве референсных (опорных) точек использовались ближайшие к зданию станции международной службы IGS (International GNSS Service) — «Менделеево» (MDVJ) и «Звенигород» (ZWE2).

Сеансы спутниковых наблюдений обрабатывались в программах Giodis [1] и Justin [2]. Вычисленные координаты и их кова-

риационные матрицы импортировались в программу Deformation Analyzer [3] для геометрического и статистического анализа смещений. Полученные графики смещений в плане (Displacement E — DE, Displacement N — DN) приведены на рис. 2, а по высоте (Displacement U — DU) — на рис. 3.

Как видно на рис. 2, значимые в плане смещения выявлены не были. Разброс вычисленных плановых координат лежит, в основном, в пределах 2 см, и систематический тренд отсутствует.

Что касается вертикальных смещений, то, как показывает анализ, за период с 2009 г. до конца 2011 г. произошло оседание здания примерно на 5 см (рис. 3). Затем, как видно из рис. 3, процесс оседания замедлился, и с 2012 г. по 2016 г. осадка составила около 2–3 см. Величины и динамика смещений антенн А и С согласуются между собой.

На рис. 3 также видно, что в силу упомянутых выше условий

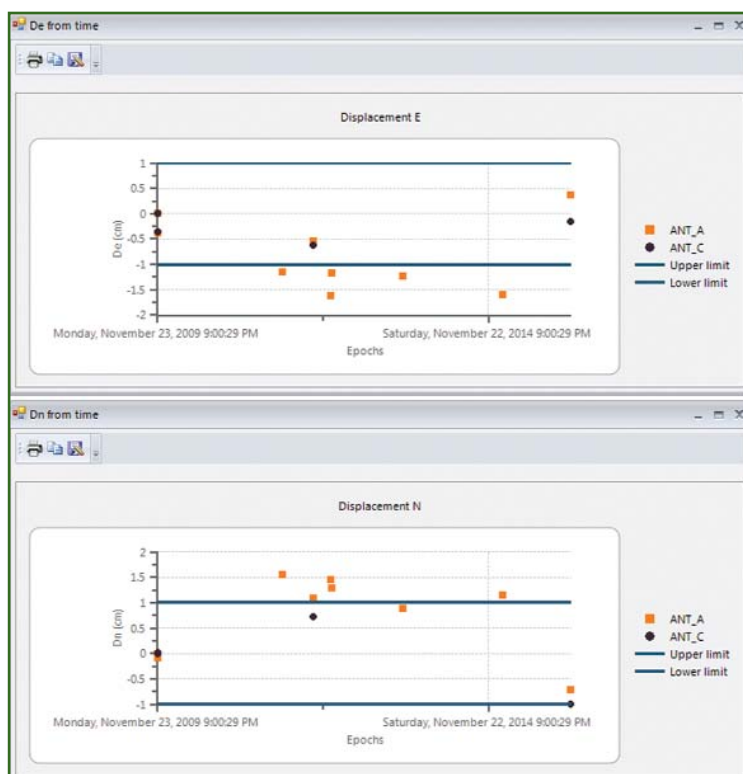


Рис. 2
Оценки смещений антенн в плане с 2009 г. по 2016 г.

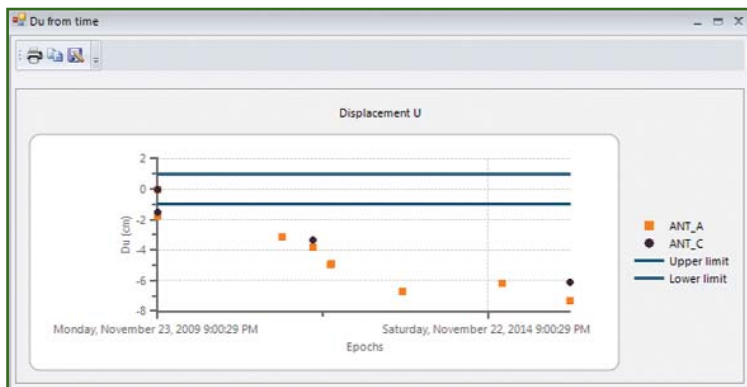


Рис. 3
Изменения высотного положения антенн за период наблюдений

спутниковых наблюдений, а также значительного расстояния от антенн, установленных на здании, до референчных станций погрешности определения высоты составляют 1–2 см. Поэтому было необходимо выполнить оценку надежности полученных смещений на фоне погрешностей определения высот антенн.

В таблице (рис. 4) приведены разности значений пространственных координат от начальной эпохи (ноябрь 2009 г.) и погрешности их определения. Кроме того, данные, приведенные в таблице, показывают — превышают ли выявленные смещения геометрические пределы (например, 1 см), заданные пользователем, либо выходят за границы доверительного интервала (например, 95%), заданного пользователем. Эпохи измерений, где имеются такие отклонения, отмечены галочками. В случае, когда для какого-либо зна-

| Epoch time | End time | Point name | DU... | In DU shifted | In DU geometry... | sigma DU... | sigma DU... | sigma DU (proj) |
|----------------|----------------|------------|-------|---------------|-------------------|-------------|-------------|-----------------|
| 11/23/2009... | 11/23/2009... | ANT_A | -0.36 | | | 1.79 | 1.28 | 1.53 |
| 11/23/2009... | 11/23/2009... | ANT_L | -0.67 | | | 1.40 | 1.46 | 1.61 |
| 10/12/2011... | 10/12/2011... | ANT_A | -1.15 | | | 1.55 | 0.59 | 0.84 |
| 10/20/2011... | 10/20/2011... | ANT_A | -0.53 | | | 1.84 | 0.52 | 0.85 |
| 10/20/2011... | 10/20/2011... | ANT_C | 0.01 | | | 1.75 | 0.65 | 0.87 |
| 10/22/2011... | 10/22/2011... | ANT_A | -1.61 | | | 1.45 | 0.88 | 0.91 |
| 7/10/2012 8... | 7/10/2012 1... | ANT_A | -1.13 | | | 1.21 | 0.89 | 0.84 |
| 8/6/2012 10... | 8/6/2012 1... | ANT_A | -1.24 | | | 1.03 | 1.07 | 1.00 |
| 10/20/2011... | 10/20/2011... | ANT_A | 1.88 | | | 1.88 | 0.98 | 0.94 |
| 10/20/2011... | 10/20/2011... | ANT_L | 1.61 | | | 1.12 | 0.73 | 0.84 |
| 10/20/2011... | 10/20/2011... | ANT_L | -0.23 | | | 1.00 | 1.12 | 0.79 |

Рис. 4
Результаты геометрического и статистического анализа смещений здания

чения разности координат превышены допустимые как геометрические, так и статистические критерии смещений, соответствующая строка таблицы выделяется красным цветом. Из таблицы видно, что имеются значимые смещения здания по высоте. Систематических горизонтальных смещений не выявлено.

Для большей наглядности этих выводов на рис. 5 линией

черного цвета показаны разности значений высоты антенны А от начальной эпохи, а линиями оранжевого цвета — погрешности их определения (величиной в «одну сигму»). На рис. 5 видно, что выявленные смещения высотного положения антенны А превышают значения погрешности их определения.

Приведенные на рис. 5 эпохи измерений охватывают значительный период времени, но распределены нерегулярно. В отличие от этого, на рис. 6 при-

ведены оценки смещений здания в плане и по высоте, полученные по результатам обработки непрерывных сеансов суточных спутниковых наблюдений, выполненных в феврале и марте 2016 г. Согласно оценкам значений координат, значимых смещений здания, включая изменение его высотного положения, за этот промежуток времени не произошло.

Представленные в статье результаты иллюстрируют предварительный опыт, полученный при оценке пространственных смещений здания «Триумф Палас». Эти исследования будут продолжаться по мере накопления новых данных ГНСС-измерений.

Однако по полученным результатам уже можно сделать вывод, что применение спутниковых технологий для мониторинга деформаций здания позволило получить значимые результаты даже в условиях неблагоприятного расположения

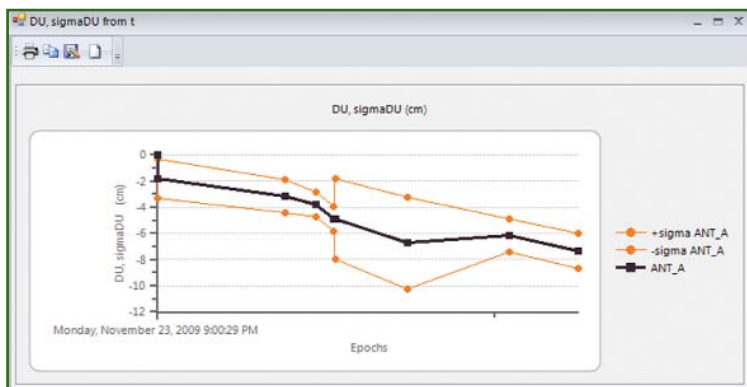


Рис. 5
Разности значений высоты антенны на здании за весь период наблюдений и погрешности их определения

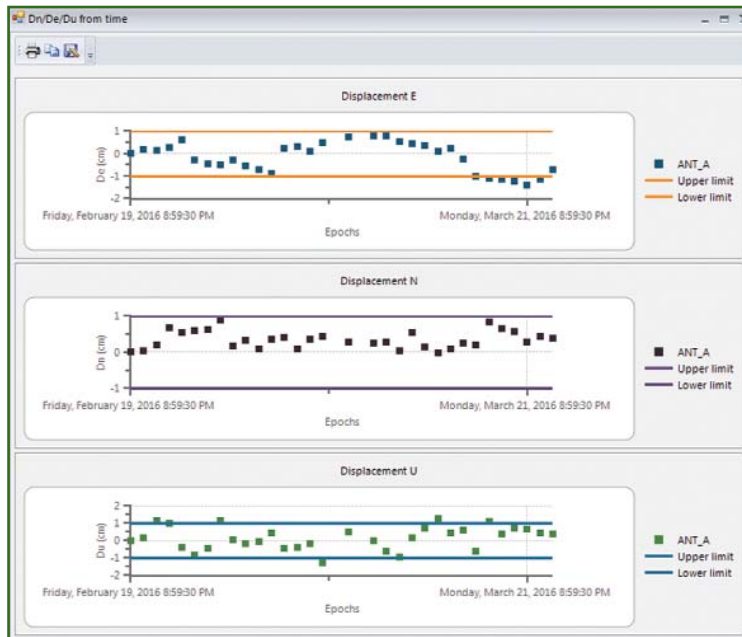


Рис. 6
Оценки смещений здания в плане и по высоте за февраль и март 2016 г.

антенн спутниковых приемников. Важно понимать ограничения, которые накладывают эти технологии. Выявление смещений, превышающих случайные и систематические погрешности

измерений, требует достаточно долгого времени наблюдения. Не всегда возможно обеспечить идеальное расположение антенн, чтобы уменьшить погрешность измерений, но это не иск-

лючает применение ГНСС-технологий.

Разработанная в компании JAVAD GNSS система мониторинга деформаций уже была применена на ряде объектов [3]. Описанные выше исследования показывают, что данные технологии могут быть использованы для оценки пространственных смещений как протяженных и площадных инженерных сооружений (мостовые переходы, плотины, стадионы и т. п.), так и высотных зданий, аналогичных Триумф Паласу.

▼ **Список литературы**

1. Бойков А.В. Giodis — новая программа обработки спутниковых измерений // Геопрофи. — 2010. — № 3. — С. 45–47.
2. Бахарев Ф.С., Джавад Ашджаи, Разумовский А.И., Рапопорт Л.Б., Удинцев В.Г. Justin — программа для постобработки спутниковых измерений JAVAD GNSS // Геопрофи. — 2011. — № 3. — С. 30–33.
3. Иодис В.Я. Система мониторинга деформаций компании JAVAD GNSS // Геопрофи. — 2015. — № 3. — С. 4–8.

**Поставка
Ремонт
Обучение
Метрология**

ЗАО "УГТ-Холдинг"

<http://ugt-holding.ru>

**Trade-in
Лизинг
Тех. поддержка
Индивидуальный подход**

| | |
|-----------------|-----------------|
| Екатеринбург | (343) 210-91-91 |
| Новосибирск | (383) 335-13-57 |
| Самара | (846) 276-35-55 |
| Уфа | (347) 256-35-55 |
| Москва | (495) 935-79-90 |
| Санкт-Петербург | (812) 910-91-20 |