

# ОБЩИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPS.

*А.Р. Валиева ассистент кафедры «Геодезия и геоинформатика» Национального исследовательского университета "Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства"*

**Аннотация.** В статье описывается прогнозирование, а также предотвращение дальнейшего развития деформаций. Практика работ по оценке деформации высотных зданий сводится к проведению комплекса геодезических работ, которые позволяют получить трехмерную модель здания и отслеживать изменения в динамике. Применение данных технических средств составляет основу процесса оценки деформационных параметров и параметров преобразования конструкций.

**Ключевые слова:** сооружения, деформация, метод измерения, глобальная система GPS, конструкция.

## GENERAL REVIEW OF DEFORMATION MEASUREMENT METHODS USING GPS.

*A.R. Valieva Assistant of the Department of Geodesy and Geoinformatics, National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"*

**Annotation.** The article describes the prediction, as well as the prevention of the further development of deformations. The practice of work on the assessment of the deformation of high-rise buildings is reduced to a set of geodetic works that allow you to get a three-dimensional model of the building and track changes in dynamics. The use of these technical means form the basis of the process of evaluating the deformation parameters and the parameters of the transformation of structures.

**Key words:** structures, deformation, measurement method, global GPS system, construction.

Инженерные сооружения (такие как дамбы, мосты, высотные здания и т. д.) деформации из-за таких факторов, как изменение уровня грунтовых вод, тектонические явления и т. д. Существует несколько методов измерения деформации. Их можно разделить в основном на две группы: геодезические и негеодезические методы.

Каждый основной метод измерения имеет свои преимущества и недостатки. Геодезические методы через сеть точек, связанных между собой измерениями углов и/или расстояний, обычно обеспечивают достаточную избыточность наблюдений для статистической оценки их качества и обнаружения ошибок. Они дают глобальную информацию о поведении деформируемой конструкции, в то время как негеодезические методы дают локализованную и локально возмущенную информацию без какой-либо проверки, если только не сравнивать с некоторыми другими независимыми измерениями. С другой стороны, инструменты, которые используются в негеодезических измерениях, легче адаптировать для автоматического и непрерывного мониторинга, чем обычные приборы геодезических измерений. Геодезические методы традиционно использовались в основном для определения абсолютных перемещений выбранных точек на поверхности объекта относительно некоторых реперных точек, которые считались устойчивыми. Негеодезические методы в основном использовались для измерения относительной деформации деформируемого объекта и его окружения.

Основная мотивация этого исследования - геодезические методы мониторинга деформаций инженерных сооружений и анализа. При определении деформаций в соответствии с геодезическими методами используются наземные методы измерения или космические методы позиционирования и/или комбинация обоих методов. До самого начала 1980-х годов деформацию инженерных сооружений определяли только с помощью традиционных измерительных методов. После этого, начав использовать метод измерения GPS в геодезических и геодезических приложениях, этот очень точный спутник на основе техника позиционирования стала использоваться при измерении деформации.

**Методов измерения деформации.** Как упоминалось, методы измерения были разделены в основном на две разные группы: геодезические и негеодезические методы. Эти основные техники также можно разделить на подтехники. Далее можно найти краткие описания используемых методов измерения деформации.

Глобальная система GPS позиционирования предлагает преимущества по сравнению с обычными наземными методами. Взаимная видимость между станциями не является строго обязательной, что обеспечивает большую гибкость при выборе местоположения станций, чем при наземных геодезических съемках. Измерения можно проводить ночью или днем, в различных погодных условиях, что делает GPS-измерения экономичными, особенно когда во время съемки на сооружении можно установить несколько приемников. Благодаря недавно разработанным методам быстрого статического позиционирования время измерений на каждой станции сократилось до нескольких минут.

Фотограмметрия метод. Если объект фотографируется с двух или более точек съемки с известными относительными положениями (известными координатами) с известной взаимной ориентацией камеры, относительные положения любых идентифицируемых точек объекта могут быть определены из геометрического соотношения между пересекающимися оптическими лучами, которые соединяют изображение и точки объекта. Аэрофотограмметрия широко использовалась для определения движений грунта при изучении оседания грунта в горнодобывающих районах, а наземная фотограмметрия использовалась для мониторинга инженерных сооружений. Основные преимущества использования фотограмметрии: сокращение времени полевых работ; одновременные трехмерные координаты; и в принципе можно отслеживать неограниченное количество точек.

Некоторые из новых методов мониторинга деформации можно перечислить следующим образом.

Высота над уровнем моря может быть определена по изображениям радара с синтезированной апертурой (SAR) интерферометрическими методами. Это предполагает использование двух антенн, смещенных либо по вертикали, либо по горизонтали, установленных на одной и той же платформе спутника или самолета. Одна из антенн передает сигнал, но обе его принимают, в результате чего создаются два изображения. Наиболее точной формой интерферометрических измерений является дифференциальная интерферометрия (InSAR), которая включает определение разницы высот между двумя измерениями местности.

В этом случае между двумя этапами определяются вариации фаз радиолокационного сигнала, которые выявляют деформации поверхности местности, которые могли произойти между двумя моментами записи изображений. Утверждается, что с помощью этого метода можно обнаружить разницу в высоте всего в 1 см. Таким образом, такой метод может стать экономичным, почти непрерывным дистанционным методом измерения оседания местности из-за добычи полезных ископаемых и движения грунта из-за осадки земли, землетрясения или вулканической активности и т. д.

Хорошо известно, что для систем мониторинга деформации на основе GPS точность, доступность, надежность и целостность решений по позиционированию в значительной степени зависят от количества и геометрического распределения отслеживаемых спутников. Однако в некоторых ситуациях, например, в городских каньонах, мониторинге в долинах и на глубоких карьерах, количество видимых спутников может быть недостаточным для надежного определения точных координат. Кроме того, невозможно использовать GPS внутри помещений и из-за ограничений геометрии спутников GPS; точность высотной составляющей обычно в 2-3 раза хуже, чем горизонтальной составляющей. Эти факторы затрудняют работу с приложениями GPS-мониторинга деформации в областях, где количество видимых спутников ограничено или спутниковая геометрия неудовлетворительна, особенно там, где требуется высокоточный мониторинг высотных компонентов в режиме реального времени, например, в таких приложениях, как мониторинг оседания грунта или мониторинга деформации.

Лазерное сканирование. Существующие методы (например, геодезия, GPS), используемые для мониторинга крупных сооружений, таких как здания, плотины и мосты, но сильно затруднены из-за их низкой плотности точек. Время сбора данных ограничивает мониторинг только несколькими образцами, расположенными в стратегически важных точках конструкции. Наземное лазерное сканирование — это новая технология, позволяющая быстро и дистанционно измерять миллионы точек, обеспечивая тем самым беспрецедентный объем пространственной информации. Это, в свою очередь, позволяет более точно прогнозировать силы, действующие на конструкцию. Тем не менее, поскольку это новая технология, некоторые вопросы, касающиеся калибровки приборов, анализа чувствительности, методов обработки и фильтрации данных, требуют изучения.

Для любого конкретного применения измерения деформации наиболее подходящий метод (или комбинация методов), которые будут использоваться, определяются в зависимости от типа конструкции, требуемой точности, а также экономических аспектов.

Анализ деформации с использованием перепада высот. С целью определения деформаций инженерных сооружений, оползневых зон, деформаций земной коры и т.п. строят геодезические сети. Наблюдения проводятся в этой геодезической сети с определенными интервалами, и таким образом проверяются устойчивые точки сети и неустойчивые точки сети. Это позволяет определить изменения наблюдаемой структуры или площади.

Как правило, анализ деформации оценивается в три этапа в геодезической сети. На первом этапе измерения, проведенные в этапе измерений  $t_1$  и  $t_2$ , уравниваются отдельно по методу свободной уравнивания; На этом этапе выявляются и устраняются выбросы и систематические ошибки. На втором этапе проводится глобальная процедура тестирования, и с помощью этого теста проверяется, действительно ли точка сети, которая считалась устойчивой, оставалась стабильной на временном интервале  $\Delta t = t_2 - t_1$  или нет. В общем тесте, после свободных расчетов сетей отдельно, комбинированная бесплатная корректировка применяется к обоим измерениям этапе.

После определения группы устойчивых точек в результате общего теста следующим этапом анализа является локализация изменений высоты. Для этого рассчитываются тестовые значения для каждой точки сети, кроме стабильных точек, и они сравниваются с критическим значением  $F$ .

Трехмерный анализ деформации с s-преобразованием по данным GPS. Можно добиться согласованности данных между разными эпохами, используя S-преобразование. Кроме

того, движущиеся точки определяются путем последовательного применения этого преобразования. S-преобразование — это операция, которая используется для перехода от одного элемента данных к другому элементу данных без использования нового корректирующего вычисления. Другими словами, S-преобразование представляет собой вычисление преобразования неизвестных параметров, которые были определены в данных, и их матрицы кофакторов из текущих данных в новые данные. Уравнения, которые подразумевают переход от данных  $i$  к данным  $k$ .

Сеть управления состоит из опорных точек и точек деформации. С помощью опорных точек контрольная сеть, измеренная в этапе  $t_i$  и  $t_j$ , преобразуется в те же данные.

При проверке значительных перемещений точек требуется непрерывное преобразование данных. Из-за этого, во-первых, сети, которые будут сравниваться друг с другом, уравниваются в любых данных, таких как использование свободной уравнивания.

В результате свободного уравнивания координаты опорных точек сети, измеренные в любую этапе, разбиваются на две группы:  $f$  (базовые точки) и  $p$  (точки деформации). Затем данные  $i$  и данные  $j$  можно было преобразовать в одни и те же данные  $k$  с помощью точек начала отсчета. В результате вычисляются векторы неизвестных координат, а также их матрицы кофакторов для точек отсчета в одном и том же отсчете  $k$ .

Глобальным тестом определяется, есть ли какие-либо значительные перемещения в опорных точках или нет. В результате общего теста, если установлено, что в одной части опорных точек имеется значительная деформация, начинается определение существенных перемещений точек с использованием шага S-преобразования (локализации деформаций). На этом шаге предполагается, что каждая из исходных точек может изменить свое положение, для каждого точка отсчета, группа точек отсчета делится на две части: первая часть включает точки отсчета, которые считаются устойчивыми, а вторая часть включает точки отсчета, которые считаются неустойчивыми. И все этапы расчета повторяются для каждой точки отсчета. Таким образом, для всех исходных точек была проверена вероятность того, что они будут стабильными или нет. В конце получаются точные опорные точки.

#### **Результаты и заключение.**

Как хорошо известно, самым слабым компонентом положения, полученным с помощью GPS, является компонент высоты. Это в основном из-за слабости геометрической структуры GPS. Из-за этого технология GPS при определении вертикальной деформаций, она должна поддерживаться точными измерениями нивелирования в вертикальном положении.

На первом этапе процесса данные, полученные от обоих методов измерения, обрабатывались для каждой этапе отдельно. Таким образом, результаты, полученные из независимых решений для каждой этапе, сравнивались. Это было сделано, чтобы получить представление о качестве данных, возможных внутренних проблемах и получить первые намеки на нестабильные точки, что позволит применить подходящую стратегию анализа деформации. Эта операция охватывает только компонент высоты. В результате этого сравнения были видны преимущества точных измерений нивелирования. Точные измерения нивелирования играют эффективную роль для проверки высот, полученных из измерений GPS, а также для выяснения проблем с высотой антенны, которые могут возникнуть во время измерений GPS и непосредственно повлиять на составляющую высоты. После этих процессов были проведены анализы деформаций  $b$  используя разность

высот от нивелирных измерений, измерения GPS, а также с использованием комбинации высоты отличия как от GPS, так и от измерений нивелирования соответственно.

После этого был проведен трехмерный анализ деформации в соответствии с теоретическими аспектами, а результаты предварительных корректировок и одномерного анализа деформации помогают на этапе принятия решения трехмерного анализа деформации, в то время как точки сети группируются как стабильные или нестабильный. По результатам анализов были исследованы горизонтальные смещения в точке.

Первое замечание: метод GPS-измерений можно использовать для определения деформаций с некоторыми особыми мерами предосторожности для устранения источников ошибок GPS. К ним относятся использование механизмов принудительного центрирования во избежание ошибок центрирования, использование специального оборудования для точного считывания высоты антенны, использование специальных типов антенн для предотвращения эффекта много лучевости и т. д. рассмотреть недостатки используемых моделей тропосферы и ионосферы. Однако, несмотря на эти меры предосторожности, чтобы обеспечить лучшие результаты анализа деформации, GPS-измерения должны сопровождаться измерениями точного нивелирования.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Азаров Б. Ф. Современные методы геодезических наблюдений за деформациями инженерных сооружений / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. -Барнаул, 2011. № 1.- С. 19-29.
2. Антипов И.Т. Математические основы пространственной аналитической фототриангуляции [Текст] / И.Т. Антипов. –М.: Картгеоцентр –Геодезиздат.–2003.– 296 с.
3. Валиева А.Р. Разработка методики наблюдения за деформациями высотных зданий на территории Узбекистана// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка -2016. -№ 3. -С.38-41.
4. Валиева А.Р. Обоснование применения лазерного сканирования в оценке деформаций высотных конструкций// Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка -2016. -№ 4. -С.60-64.
5. Валиева А.Р. Применение лазерного сканирования при инженерно-геодезических изысканиях//Экономика и социум.-2022.- №11(102) -С.437-440.
6. Валиева А.Р. Определение деформации высотных сооружения на территории Узбекистана// O'zmu xabarlari - tabiiy fanlar - 2023- №1-С. 143-146.