

¹Дай Хуян, ²Б.Т. Анетов

¹Китайский горный университет, Пекин, КНР

²Satbayev University, Алматы, Казахстан

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕФОРМАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ МЕТРО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС

Аннотация. Выявление сврежённых движений земной коры, деформаций, связанных из-за геологических опасностей или оседанием грунта на строительных площадках, в участках строительство метрополитенов – спасает жизни людей, предотвращает крупные инансовые обязательства и гарантирует отсутствие значительного ущерба а окружающей среде. В настоящее время Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) рассматриваются как один из решений проблем в области мониторинга и предсказывание деформаций зданий и сооружений крупных городов и мегаполисах. Технологии Глобальных навигационны спутниковых систем в последнее время используются для мониторинга деформаций высотных здании, мостов и дамб для оценки инфраструктуры, и движения земной коры. Новое усовершенствованные приборы навигационных систем, позволяют осуществлять мониторинг с высокой точностью в режиме реального времени и с 24-часовой доступностью.

Ключевые слова: технологии ГНСС, метрополитен, мониторинг деформаций, устройства ГПС.

Введение. Проходка тоннельных выработок при строительстве метрополитена в горных массивах вызывает естественное напряженное состояние равновесии горного массива, вызывает сдвижение пород и, следовательно, здания и сооружения, попадающие в мульду сдвижения и деформируются. При строительстве метрополитенов в условиях плотной городской застройки, особенно в мегаполисах, большое значение с точки зрения сохранности наземных сооружения и подземных коммуникаций, и уменьшения расходов на их усиление имеет правильное прогнозирование сдвижения грунтов.

Существующие регламенты и инструкции по эксплуатации объектов определяют порядок, объём работ и периодичность геодезического мониторинга. Недостатком такого подхода является отсутствие информации о состоянии объекта между периодами проведения мониторинга, что в предельном случае не позволяет отследить быстроразвивающиеся деформационные процессы. В качестве примера можно привести контроль за склоном карьера, деформационные процессы в котором могут развиваться за 1-2 часа и привести к его обрушению.

Развитие прецизионных дифференциальных технологий ГНСС дало новый эффективный инструмент для создания на их основе автоматизированных систем непрерывного мониторинга пространственного положения объектов инфраструктуры.

Помимо оперативной информации о текущем пространственном положении контролируемого объекта (его текущем смещении относительно первоначального положения) такая система позволяет оценивать упругость деформаций, наблюдать смещения частей объекта в динамике (суточные, сезонные циклы), производить сравнение с показаниями периодических инструментальных измерений.

Спутниковый навигационный приёмник может быть установлен в любой точке объекта, в которой обеспечивается приемлемая видимость небосвода. Особенностью применения спутниковых технологий является обязательное наличие опорной базовой станции, которая обеспечивает необходимые поправки и позволяет достичь высокой точности спутниковых измерений. Базовая станция может быть локальной (располагаться недалеко от объекта) или сетевой (используется одна, ближайшая к объекту базовая станция из существующей в данном регионе или области сети базовых станций).

Основная часть. При строительстве и технической эксплуатации высотных зданий и потенциально опасных сооружений (мостов, башен, эстакад, плотин) большое значение имеет своевременное получение информации о признаках деформации конструкций, пространственных смещениях их частей относительно проектного положения, или их подвижности. До настоящего времени на конструкции упомянутых выше объектов устанавливались механические приборы.

Недостатком механических приборов является необходимость проведения измерений в ручном режиме с последовательным обходом точек контроля. Для постоянного слежения за состоянием конструкций, а также непрерывной регистрации и хранения полученной информации требуется применение электромеханических и электронных высокоточных и малогабаритных приборов, позволяющих проводить измерения, обработку, передачу данных в автоматизированном режиме и осуществлять их хранение в режиме накопления, формирования банка информации.

Развитие прецизионных дифференциальных технологий ГНСС дало новый эффективный инструмент для создания на их основе автоматизированных систем непрерывного мониторинга пространственного положения объектов инфраструктуры.

Глобальная система позиционирования имеет преимущества перед обычными наземными методами. Видимость между станциями не является строго необходимой, что обеспечивает большую гибкость в выборе местоположения станций, чем при наземных геодезических съемках. Измерения могут проводиться ночью или днем, при различных погодных условиях, что делает GPS-измерения экономичными, особенно когда во время обследования на сооружении может быть развернуто несколько приемников. Благодаря недавно разработанным методам быстрого статического позиционирования время для проведения измерений на каждой станции сводится к нескольким минутам относительно положение любых идентифицируемых точек объекта можно определить по геометрическому соотношению между пересекающимися оптическими лучами, которые соединяют изображение и точки объекта. Аэрофотограмметрия широко используется для определения движений грунта при исследованиях просадки грунта в горных районах, а наземная фотограмметрия используется для мониторинга инженерных сооружений. Основными преимуществами использования фотограмметрии являются сокращение времени полевых работ; одновременные трехмерные координаты; и в принципе можно контролировать неограниченное количество точек

Аппаратно-программный комплекс. ГНСС состоит из трех сегментов: космического, наземного и пользовательского.

Космический сегмент представляет собой созвездие спутников. В настоящее время существует несколько ГНСС:

- GPS (global position system), управление которой осуществляется правительством США;
- ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система), Российская спутниковая система;
- Galileo, европейская спутниковая система;

К примеру количество спутников GPS нынешнее время состоит из 24 действующих спутников, развернутых в шести равномерно расположенных плоскостях с наклоном 55° и по четыре спутника на плоскость. Кроме того, будет функционировать до четырех активных запасных спутников для пополнения запасов. С полным созвездием космический сегмент обеспечивает глобальное покрытие четырьмя-восемью одновременно наблюдаемыми спутниками выше 15° высоты в любое время суток.

Наземный сегмент или система оперативного управления (СОУ) состоит из главной станции управления, станций мониторинга и наземных станций управления. Основными оперативными задачами СОУ являются: слежение за спутниками для определения и

прогнозирования орбиты и часов, временная синхронизация спутников и загрузка информационного сообщения на спутники. СОУ также отвечает за наложение Выборочной доступности на широкоэвещательные сигналы. СОУ выполняет множество неоперативных видов деятельности, таких как закупки и запуски.

Пользовательский сегмент включает все приемники, выполняющие определение своего местоположения. Сегодня GPS-приемники регулярно используются для проведения всех видов наземных и геодезических контрольных съемок, а также для точного позиционирования фото-самолетов, чтобы уменьшить объем наземного контроля, необходимого для картографирования.

Использование систем. Спутниковый навигационный приёмник может быть установлен в любой точке объекта, в которой обеспечивается приемлемая видимость небосвода. Типовое применение спутниковых навигационных приёмников – для контроля мостов (высоких пилонов и пролёта), дамб и плотин, высотных зданий, нефтяных платформ. Особенностью применения спутниковых технологий является обязательное наличие опорной базовой станции, которая обеспечивает необходимые поправки и позволяет достичь высокой точности спутниковых измерений. Базовая станция может быть локальной (располагаться недалеко от объекта) или сетевой (используется одна, ближайшая к объекту базовая станция из существующей в данном регионе или области сети базовых станций).

Основные функции системы:

- сбор и централизованная обработка первичных измерительных данных датчиков ГНСС; автоматическое определение (в реальном времени и в режиме долгосрочных наблюдений) абсолютных и взаимных смещений контрольных маркеров объекта мониторинга (в местах установки датчиков ГНСС) с прецизионной точностью (рис.1):



Рисунок 1. Система ГНСС

- выработка на основе информации ГНСС оценок параметров технического состояния объекта (отклонений сооружения от вертикали, перемещения несущих конструкций, смещения одних частей объекта относительно других, осадки и подъема сооружения относительно грунта, раскрытия трещин, стыков на поверхности несущих конструкций, расхождения несущих конструкций);

- оценка периодических и сезонных изменений положения элементов и конструкций объекта мониторинга;

- оценка и прогнозирование технического состояния объектов и их элементов на основе анализа оперативных и долгосрочных данных контура мониторинга на базе технологий ГНСС и средств мониторинга, основанных на иных

- формирование и ведение архивов данных системы мониторинга.

- прогнозирование возможности развития аварийных и чрезвычайных ситуаций на объекте мониторинга, формирование и передача на диспетчерский пункт и удаленные терминалы системы мониторинга оперативных сообщений о достижении объектом (его элементом) предельно допустимых значений количественных параметров технического состояния; визуальное отображение в реальном времени (на АРМ диспетчерского пункта и удаленных терминалах системы мониторинга) параметров состояния объекта (в числовом, графическом и мнемоническом представлении);

Типовой состав малой системы мониторинга деформаций объекта:

- от 2 до 6 [датчиков ГНСС](#) (один или более назначается базовым и устанавливается на заведомо неподвижном основании (рис.2);

- [процессорный модуль](#) прецизионной навигации (выполняет функции сервера системы);

- автоматизированное рабочее место оператора + [программное обеспечение АРМ](#);

- средства связи и электропитания.



Рисунок 2. Базовые оборудования

В зависимости от топологии контролируемого объекта система допускает использование, как проводных, так и беспроводных средств связи.

Типовая точность определения взаимного положения антенн датчиков системы:

- в реальном времени: 5-10 мм

- в режиме квазистатических определений: 2-4 мм

Для расширения функциональных возможностей объектового центра мониторинга используется программное обеспечение, обеспечивающее:

- обработку и интерпретацию данных, выявление аномалий, получение интегральных оценок и моделей нештатных ситуаций в отношении инженерного сооружения (объекта) с использованием 3D-моделирования, космических и аэроснимков;

- ведение информационных баз данных для обеспечения поддержки принятия и реализации управленческих решений по защите объектов (накопление и архивацию данных);

- подготовку и использование моделей развития ситуаций по состоянию полученных оперативных данных;

- прогнозирование угроз объектам, динамики изменения состояния их защищенности под влиянием техногенных и природных факторов;

Вывод. Точный мониторинг динамической реакции высотных зданий и сооружений на воздействие связанных с геологическими опасностями или оседанием грунта, в участках строительство метрополитенов позволяет не только оценить их работоспособность в режиме реального времени, но и дать ценную справку для соответствующего проектирования устойчивости. Технология GPS обеспечивает трехмерные перемещения контролируемого объекта и имеет много преимуществ перед традиционными методами мониторинга. В данной работе сделано сравнение ГНСС технологий с традиционным методом мониторинга и рассмотрены возможности ГНСС технологий в области мониторинга деформаций высотных зданий и сооружений. Предложенный метод мониторинга прост в реализации и позволяет снизить затраты на мониторинг, при этом точность позиционирования сравнима с традиционным методом.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] B. Hofmann-Wellenhof., H. Lichtenegger., J. Collins Global Positioning System Theory and Practice. – Вена: 2001
- [2] S. Erol., B. Erol., T. Ayan. A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using gps/levelling // Istanbul.
- [3] Zhonghai Yi., Cuilin Kuang., Yarong Wang. Combination of High- and Low-Rate GPS Receivers for Monitoring Wind-Induced Response of Tall Buildings. Sensors 2018
- [4] https://farwater-gnss.ru/solutions_ru/sistemy-monitoringa-prostranstvenny/
- [5] <https://findpatent.ru/patent/246/2467298.html>

REFERENCES

- [1] B. Hofmann-Wellenhof., H. Lichtenegger., J. Collins Global Positioning System Theory and Practice. – Вена: 2001
- [2] S. Erol., B. Erol., T. Ayan. A general review of the deformation monitoring techniques and a case study: analysing deformations using gps/levelling // Istanbul.
- [3] Zhonghai Yi., Cuilin Kuang., Yarong Wang. Combination of High- and Low-Rate GPS Receivers for Monitoring Wind-Induced Response of Tall Buildings. Sensors 2018
- [4] https://farwater-gnss.ru/solutions_ru/sistemy-monitoringa-prostranstvenny/
<https://findpatent.ru/patent/246/2467298.html>

¹Дай Хуян, ²Б.Т. Анетов

¹Қытай таукен университеті, Пекин, ҚХР

²Satbayev University, Алматы, Казахстан

ГНСС ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ КӨМЕГІМЕН МЕТРО САЛУ КЕЗІНДЕ ЖЕР ҮСТІ ҚҰРЫЛЫМДАРЫНЫҢ ДЕФОРМАЦИЯСЫН БАҚЫЛАУ

Аннотация. Жалпы жер қыртысының осы күнгі жылжуларын, метрополитендер құрылысы учаскелерінде геологиялық қауіп-қатерлерге немесе топырақтың шөгуіне байланысты деформацияларды уақтылы анықта отыру - адамдардың өмірін сақтап, ірі қаржылық міндеттемелердің алдын алады және қоршаған ортаға елеулі зиян келтірмеуді қамтамасыз етеді. Осындай бақылауларда қазіргі уақыттағы ғаламдық навигациялық жерсеріктік жүйелер (ГНСС) ғимараттар мен құрылыстардың деформациясын болжау және мониторинг саласындағы проблемалардың шешімдерінің бірі ретінде қарастырылуда. Ғалымдық навигациялық жерсеріктік жүйелердің технологиялары жақында инфрақұрылымды және жер қыртысының қозғалысын бағалау үшін биік ғимараттардың, көпірлер мен бөгеттердің деформацияларын бақылау үшін қолданылады. Ғаламдық навигациялық жерсеріктік жүйелер (ГНСС) құрылғыларын жаңа жетілдіру нақты уақыт режимінде жоғары дәлдікпен және 24 сағаттық қол жетімділікпен мониторинг жүргізуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: ГНСС технологиялары, метрополитен, деформация бақылау, ГПС құрылғылар.

¹Dai Huyang, ²B.T. Anetov

¹China Mining University, Beijing, China

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

**OBSERVATIONS OF THE DEFORMATION OF SURFACE STRUCTURES DURING THE
CONSTRUCTION OF THE SUBWAY USING GNSS**

Annotation. Timely detection of deformations associated with geological hazards or subsidence of the ground in the sections of the construction of subways can save lives, prevent large financial obligations and avoid serious damage to the environment. Currently, Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are considered as one of the solutions to problems in the field of monitoring and predicting deformations of buildings and structures. GNSS technologies have recently been used to monitor the deformations of high-rise buildings, bridges and dams to assess infrastructure, and the movement of the earth's crust. New improvements to the GNSS instruments allow monitoring with high accuracy in real time and with 24-hour availability.

Key words: GNSS technology, metro, monitoring of deformations, GPS devices.