

## СОВРЕМЕННОЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ГОРОДА

**А. Горб**

Навигационно-геодезический центр, Харьков

**Д. Ерёмченко**

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, лазерное сканирование, 3D- моделирование, опорная сеть, мониторинг.

### Постановка проблемы

В 2013 г. продолжено строительство самого крупного в Харькове торгово-развлекательного центра (ТРЦ) “Никольский”. Площадь центра составит более 130 тыс. м<sup>2</sup>. Особенности этой стройки такие:

- котлован глубиной более 20 метров с подпорной стенкой простоял восемь лет;
- подпорная стена котлована граничит с проезжей частью Пушкинской улицы – одной из центральных улиц города;
- стройка находится в историческом центре Харькова в окружении старинных зданий, имеющих архитектурную значимость, например, библиотека им. Короленка и синагога.

Для начала строительства следует предложить или разработать геоинформационную поддержку.

Это позволит принять правильные решения проектантам и специалистам по укреплению подпорной стенки. Во-первых, следует детально проанализировать конструктивные особенности подпорной стенки и выработать подход к структурному мониторингу. Объектами наблюдения должны быть как подпорная стена котлована, так и окружающие исторические здания. Во-вторых, геоинформационное обеспечение (лазерное сканирование и мониторинг) должно выполняться в единой координатной системе.

### Анализ последних исследований и публикаций

В последнее время появилось много исследований по использованию наземного лазерного сканирования для обследования зданий и сооружений [2, 3]. В ряде случаев технология сканирования успешно используется для задач мониторинга. При строительстве ТРЦ “Никольский” применение сканирования для структурного мониторинга представляется нецелесообразным. Это связано с наличием большого количества строительной техники на площадке и плотной застройкой вокруг площадки.

### Нерешенная часть проблемы

В условиях плотной застройки исторической части города и большой интенсивности строительных работ

крайне затруднительно создать опорную съемочную сеть для структурного мониторинга. Кроме того, сложная конструкция подпорной стенки требует особого подхода к наблюдению смещений отдельных фрагментов (плоскостей) стенки. Следует также учитывать, что в Харькове используют несколько систем координат (СК). Помимо государственной УСК–2000, земельный кадастр реализуется в СК–63. Также используют локальную городскую систему координат. Поэтому предварительную топогеодезическую съемку котлована необходимо состыковать с данными лазерного сканирования и планово-высотными координатами опорной сети.

### Постановка задачи

Определить оптимальный подход к использованию современных геоинформационных технологий для анализа конструктивных особенностей подпорной стенки котлована и найти варианты реализации опорной съемочной сети. Для построения обмерочных чертежей подпорной стенки и 3D-модели более подходящей является технология наземного лазерного сканирования.

Для создания опорных съемочных сетей дает неоспоримое преимущество использование перманентной сети GNSS-станций. Так как Харьковская область покрыта сетью NGCNET от компании “Навигационно-геодезический центр”, то существуют положительные предпосылки для решения задачи единой координатной привязки всех выполняемых работ.

### Изложение основного материала

Основными задачами в рамках геоинформационного сопровождения строительства ТРЦ “Никольский” являлись:

- работы по созданию детальной 3D-модели и сопроводительных чертежей подпорной стены котлована;
- выполнение мероприятий по созданию инженерно-геодезического обеспечения для задач мониторинга деформации подпорной стены;
- определение параметров сдвига и просадки.

### Создание 3D-модели и чертежей

Исходя из насыщенности мелкими деталями и габаритов подпорной стены, применение технологии лазерного сканирования (ЛС) является наиболее оправданным. Эта технология за минимальный срок

проведения полевых работ позволит получить максимально полную и детальную информацию об объекте в виде облака точек.

Облако точек – это массив точек с пространственными координатами (X, Y, Z), описывающими поверхность сканируемого объекта. Основными преимуществами является скорость съемки, избыточность данных и отсутствие зависимости от освещения (ЛС возможно выполнять как при ярком свете, так и в полной темноте).

В этом проекте использовался лазерный сканер Leica ScanStation. Это импульсный со встроенным двухосевым компенсатором лазерный сканер. Имеет большой диапазон измерений расстояний и поле зрения  $360^\circ \times 270^\circ$ .

Для управления сканером и обработки результатов использовалось программное обеспечение (ПО) компании Leica Geosystems Cyclone. Этот продукт имеет достаточно широкий набор инструментов как для 3D-моделирования, так и для более специфических задач.

Полевые работы заняли восемь дней, в результате получено более 145 миллионов точек. Фрагмент очищенного от шумов облака точек представлен на рис. 1.

После очистки облака точек от шумов, используя стандартный набор базовых элементов ПО Cyclone, получили 3D-модель подпорной стены (рис. 2).

### Создание опорных сетей

Основной задачей работ по мониторингу является определение мест, с которых будут проводиться наблюдения. Обследуя территорию строительной площадки, определили четыре пункта, т.е. внутреннюю опорную сеть. Для получения требуемой точности работ на этих пунктах смонтированы бетонные пилоны с установочной площадкой для прибора (рис. 3).

Для определения координат точек опорного геодезического обоснования использовалась в качестве исходных (опорных) пунктов сеть перманентных базовых GNSS станций – NGCNET.

Определение координат точек опорного геодезического обоснования выполнялось с помощью двухчастотных геодезических GNSS-приемников в режиме статической съемки. Сетевой метод статической съемки позволяет выполнить контроль геометрических условий в треугольниках, составленных векторами баз. Величина погрешности невязки в треугольниках позволяет сделать вывод о точности измерения расстояний в каждом треугольнике.

Сессии наблюдений проводились с двух базовых приемников, чтобы обеспечить наблюдение избыточными данными, необходимыми для уравнивания. Продолжительность сессии составляла не менее 5 часов при длине базовой линии до 5 км. Количество наблюдаемых спутников – не менее семи (в среднем 8–9). Координаты точек сгущения и точек постоянного закрепления определялись с применением GNSS приемника GS08 NetRover производства фирмы “Leica Geosystems” (Швейцария). Обработка результатов полевых измерений выполнялась с использованием ПО Leica Geo Office v.7.0.1.

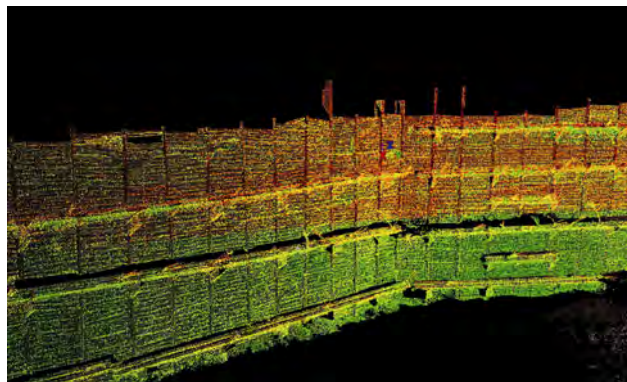


Рис. 1. Модель подпорной стены в виде облака точек

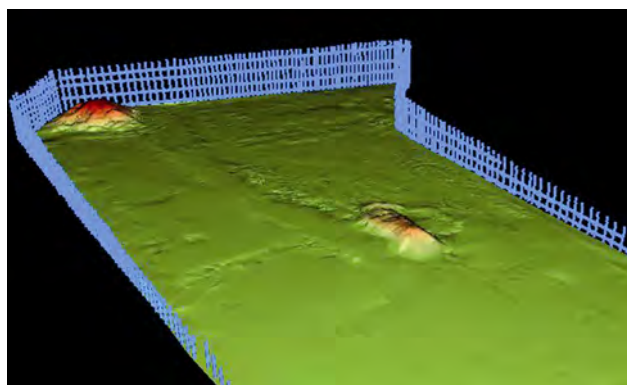


Рис. 2. 3D-модель объекта



Рис. 3. Пилон с установленным прибором

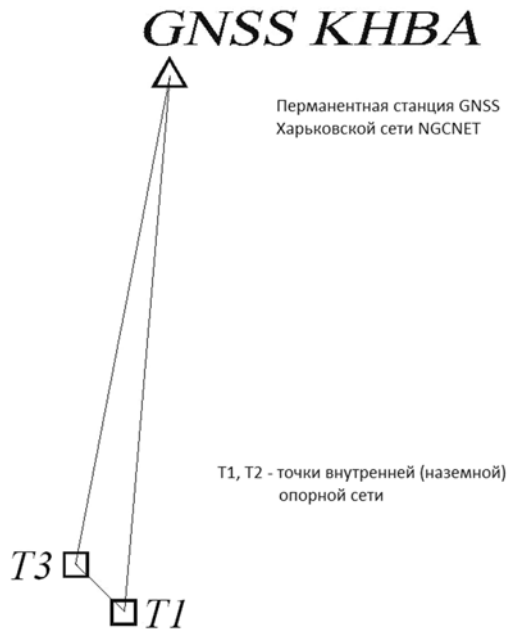


Рис. 4. Схема привязки базовых точек

Условные обозначения:

- △ – базовая GNSS станция - NGCNET;
- – базовая GNSS-точка опорной сети.

Координаты точек, которые были определены, имеют априорную среднеквадратичную погрешность, равную 25 мм (плановые компоненты координат) и 35 мм (высотная компонента координат) относительно пунктов Государственной геодезической сети.

Увязка полигонов внутренней сети (рис. 5) выполнялась в пять приемов, десять полуприемов. Угловая невязка в треугольниках не превышает допустимую погрешность:

$$f_{\text{дон.}} = \pm 1' \sqrt{n}, \quad (1)$$

где  $n$  – количество углов.

При последующем более интенсивном строительстве наблюдения с вышеупомянутых пилонов станут невозможными, поэтому в целях проведения дальнейших наблюдений разработана и установлена наружная (внешняя) опорная сеть (рис. 6).

Всего установили шесть призмных отражателей на прилегающие здания по периметру объекта (рис. 7). Дома, на которых установлены призмные отражатели, выбраны с учетом условий местности расположения объекта (с каждой точки наблюдения видно не менее пяти отражателей), а также все здания, которым более пяти лет (после прохождения этого срока все просадки и сдвиги прекращаются).

Увязка внешней опорной сети выполнялась с пилонов внутренней сети повторными наблюдениями каждой точки в три приема и шесть полуприемов.

### Монтажно-инженерные работы

Материалы обработки данных ЛС использовались для оптимального выбора места закрепления марок и призмных отражателей. Исходя из размеров подпорной стены и ее физических особенностей, было принято

решение установить 127 марок и 20 отражателей. Это позволило создать равномерное покрытие всей поверхности комплекса металлических конструкций. Для обеспечения необходимой точности использовались марки Leica GZM31 и призмы Leica GPR111.

Учитывая сложности выполнения работ на высоте, креплением марок и отражателей занимались специалисты, имеющие опыт в области высотного-монтажных работ. Марки крепились с помощью монтажного клея, призмные отражатели устанавливались на ранее приваренные специальные штыри (рис. 8–9).

### Мониторинг просадки и смещения

Основными требованиями к мониторингу являются: регулярность, точность и оперативность получения данных. Поэтому любая современная разрабатываемая система получения и обработки данных мониторинга должна отвечать этим требованиям. Перед началом работ определяют периодичность наблюдений с учетом технического состояния объекта и общую продолжительность мониторинга. В рассматриваемом случае наблюдения предложено проводить еженедельно в определенный день. На обработку результатов выделяется один день. Результаты будут предоставляться на следующий день после проведения наблюдений.

Поскольку мониторинг подразумевает сравнение между собой эталонных и текущих параметров, то возникает некоторая неопределенность, связанная с отсутствием эталонных параметров. В таком случае предложено провести ряд дополнительных наблюдений с целью получения статистических данных для расчета средних значений, используемых как эталонные величины. Целью наблюдений за этим объектом является систематическое отслеживание изменений в значениях параметров просадки и сдвига конструкции.

Наблюдение проводится дистанционным методом с помощью электронного тахеометра Leica FlexLine TS06 2". С каждой опорной точки (пилона) проводятся по три круга наблюдений. Таким образом, получая набор из трех групп пространственных координат (X, Y, Z) каждой марки и отражателя.

Эти измерения являются равноточными, так как проводятся с жестко закрепленных статических опорных точек и одним прибором. Исходя из этого, устранение грубых погрешностей выполняется по заданному алгоритму.

Учитывая сложность и специфику работ по обработке данных мониторинга составной металлической конструкции, необходимо применять тензоры деформации. Тензор деформаций – тензор, определяющий положение точек тела после деформации по отношению к их положению до деформации.

Чтобы рассчитать значения вектора смещения к центру, составную конструкцию подпорной стенки котлована условно разделили на пять плоскостей, к каждой из которых относится определенное количество марок и отражателей.

Адаптируя методику тензорного анализа под конкретные условия наблюдения с учетом специфики объекта исследования и особенностей имеющихся в наличии априорных данных, получили формулы расчета сдвига для каждой плоскости с учетом её отклонения в харьковской системе координат.



Результаты представлялись в виде таблицы, а также в виде графиков просадки и сдвига, где осями являются значения параметра (в заданной величине) и дата проведения наблюдений (данные на 2013 г.). Примеры приведены на рис. 10–11.

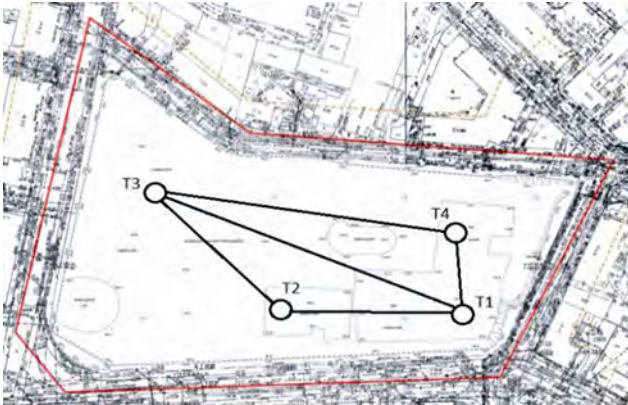


Рис. 5. Схема внутренней опорной сети



Рис. 6. Схема внешней опорной сети



Рис. 7. Вид и расположение закрепленного отражателя



Рис. 8. Вид закрепленных призмных отражателей



Рис. 9. Вид закрепленной марки

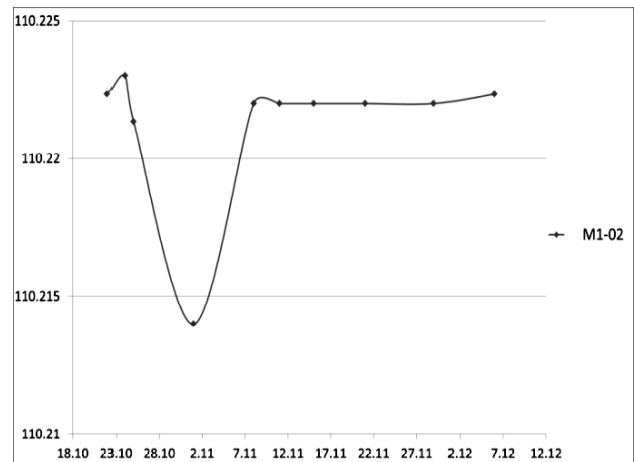


Рис. 10. График просадки по марке, м

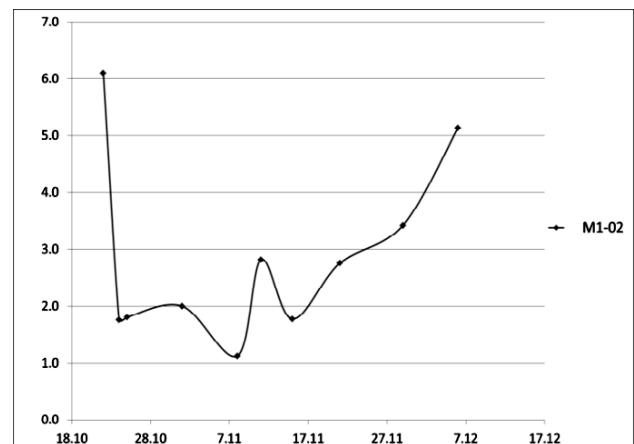


Рис. 11. График сдвига по марке, мм

**Выводы**

Применение современных геоинформационных технологий дает неоспоримое преимущество перед традиционными методами и средствами обеспечения строительства. Наземное лазерное сканирование позволило обследовать конструкцию подпорной стенки и получить 3D-модель, что является важным этапом укрепления стенки. Данные сети GNSS-станций позволили реализовать разные проекты в единой системе координат. Так, структурный мониторинг подпорной стенки производился на базе съемочных сетей, привязанных в сети NGCNET.

**Литература**

1. Абелев М.Ю. Строительство промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных грунтах / М.Ю. Абелев. – М.: Стройиздат, 1983. – 248 с.
2. Заровняев Б.Н. Использование лазерного сканирования для исследования геомеханического состояния бортов карьеров // Международный научно-исследовательский журнал. – 2012.
3. Тревого И. Анализ технологических возможностей современных наземных лазерных сканеров / Тревого И., Баландюк А., Григораш А. // Современные достижения геодезической науки и производства. – 2010.
4. Романишин И., Малицкий А., Лозинский В. Классификация и основные характеристики наземных 3D-сканеров // Современные достижения геодезической науки и производства. – 2014.
5. Зацарный А.В. Автоматизация высокоточных инженерно-геодезических измерений / А.В. Зацарный. – М.: Недра, 1976.

6. Пискунов М.Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений / М.Е. Пискунов. – М.: Недра, 1980. – 296 с.

**Сучасне геоінформаційне забезпечення будівництва в історичній частині міста**

А. Горб, Д. Єрмоєнко

Запропоновано застосування сучасних геоінформаційних технологій (лазерне сканування, структурний моніторинг) під час будівництва великого об'єкта в історичній частині міста Харкова.

**Современное геоинформационное обеспечение строительства в исторической части города**

А. Горб, Д. Ерёмєнко

Предложено применение современных геоинформационных технологий (лазерное сканирование, структурный мониторинг) при строительстве крупного объекта в исторической части города Харькова

**Modern GIS proposition for construction into historical part of city**

A. Gorb, D. Yeromenko

The article propose is using of modern geographic information technologies (laser scanning, structural monitoring) in the construction of a large facility into historical part of the Kharkiv city.



## ДИВИТИСЯ НА ПЛАНЕТУ ОЧИМА АСТРОНАВТА

- теоретичні основи фотограмметрії
- комп'ютерне опрацювання цифрових зображень
- цифровий фотограмметричний знімок
- побудова цифрових моделей об'єктів
- космічна фотограмметрія

Підручник. Дорожинський О. Л., Тукай Р.  
Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2008. 332 с.  
ISBN 978-966-553-688-8



**КАДАСТР ТЕРИТОРІЙ**  
Навчальний посібник. І. Перович, В. М. Сай.  
Львів: Видавництво Львівської політехніки 2012. 264 с.  
ISBN 978-617-607-262-1

- сучасний стан ведення кадастру територій
- правовий режим використання земель
- кадастрове зонування територій
- реєстрація землі та нерухомості



## Запорука раціонального використання та охорони земель