

А. А. Шоломицкий^{1}, Е. К. Лагутина¹*

Автоматизация измерений, обработки и анализа при мониторинге сооружений

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация
*e-mail: sholomitskij@mail.ru

Аннотация. В статье сделан обзор программного обеспечения, применяемого в Российской Федерации для автоматизированного мониторинга состояния зданий и сооружений геодезическими методами. В условиях ухода западных компаний с российского рынка стали недоступны не только технические средства измерений, но и программное обеспечение для автоматизированного стационарного мониторинга. В статье представлено разработанное программное обеспечение для автоматизированного геодезического мониторинга на базе роботизированных электронных тахеометров, адаптированное для применения моделей китайской компании FOIF. Кроме того, описаны возможности программного комплекса и приведены результаты испытаний на модели инженерного сооружения. Программное обеспечение для автоматизированного мониторинга дублирует функционал зарубежных программ и может найти применение при наблюдениях за положением и деформациями опасных производственных объектов, которые могут вызвать техногенные катастрофы.

Ключевые слова: мониторинг, деформации, роботизированный тахеометр, автоматизированные измерения, точность, отклонения, программное обеспечение

A. A. Sholomitskii^{1}, E. K. Lagutina¹*

Automation of measurements, processing and analysis in the monitoring of structures

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
*e-mail: sholomitskij@mail.ru

Abstract. The article provides an overview of the software used in the Russian Federation for automated monitoring of the state of buildings and structures using geodetic methods. With the withdrawal of Western companies from the Russian market, not only technical measuring instruments, but also software for automated stationary monitoring became unavailable. The article presents the developed software for automated geodetic monitoring based on robotic electronic total stations, adapted for the use of models of the Chinese company FOIF. In addition, the capabilities of the software package are described and the results of tests on a model of an engineering structure are given. Software for automated monitoring duplicates the functionality of foreign programs and can be used to monitor the position and deformation of hazardous production facilities that can cause man-made disasters.

Keywords: monitoring, deformations, robotic total station, automated measurements, accuracy, deviations, software

Введение

До 2022 года в Российской Федерации было представлено несколько компаний производителей роботизированных средств геодезических измерений и со-

ответствующих программных средств по проведению автоматизированного мониторинга объектов. Наиболее часто такие программно-аппаратные комплексы устанавливались на опасных производственных объектах, аварии на которых могут привести к техногенным, экологическим катастрофам или опасности для жизни людей.

В Российской Федерации наиболее распространенными для этих целей были роботизированные электронные тахеометры фирмы Leica [1] и программный комплекс Leica GeoMos [2-4], который обладает широкой возможностью интеграции различных датчиков, включая кроме электронных тахеометров ГНСС-приемники, инклинометры и другие геотехнические датчики. Программное обеспечение GeoMos имеет возможность автоматического сбора информации с различных датчиков, её обработки и хранения в базе данных. Обладает возможностью мониторинга как в дискретном режиме, так и в режиме «реального» времени. Позволяет выполнять анализ и представление информации в виде графиков, диаграмм и в табличном виде. Возможно оповещение ответственных лиц по списку в случае превышения допустимых отклонений. Система достаточно гибко адаптируется к мониторингу различных объектов: большепролетные и высотные сооружения, мосты, тоннели, плотины гидроэлектростанций и многие другие объекты [2–4].

Второй по популярности в Российской Федерации является система автоматизированного мониторинга «4D Control» фирмы Trimble [5-7]. По своим функциям является зеркальной копией автоматизированной системы мониторинга GeoMos. Собственно говоря, для автоматизированных систем мониторинга характерен набор специфических функций, который в большей мере связан с работой роботизированных электронных тахеометров и ГНСС-приемников.

Еще одной компанией, которая производит высокоточные роботизированные электронные тахеометры и спутниковые приемники является Sokkia–Topcon [8–9], которая производит систему для высокоточных промышленных измерений MONMOS и систему автоматизированного геодезического мониторинга TOPCON DELTA. Эти системы практически не были представлены в РФ.

К сожалению, в Российской Федерации на начало 2022 года не было производства ни роботизированных электронных тахеометров, ни собственных программ автоматизированного геодезического мониторинга.

Создание автоматизированной системы геодезического мониторинга

С уходом в 2022 году западных компаний, производителей роботизированных электронных тахеометров, в РФ стали недоступны и автоматизированные системы геодезического мониторинга. Поэтому сотрудники СГУГиТ решили развить идеи, заложенные в программу динамического геодезического мониторинга DinMonit [10], которая была разработана под роботизированные электронные тахеометры фирмы Leica. В связи с тем, что в нашей стране в настоящее время доступны только роботизированные электронные тахеометры китайской фирмы FOIF [11], разработку адаптировали под эти инструменты.

В результате, менее чем за полгода, была создана автоматизированная система геодезического мониторинга *Monitoring*, которая повторяет стандартный функционал программного комплекса Leica GeoMos и работает с роботизированными тахеометрами фирмы FOIF.

База данных системы геодезического мониторинга *Monitoring* реализована на базе стандартной реляционной базы данных и состоит из взаимосвязанных таблиц, в которых хранится вся информация об объектах, датах измерений, точках (рис. 1), этапах обработки и анализа и отчетов.

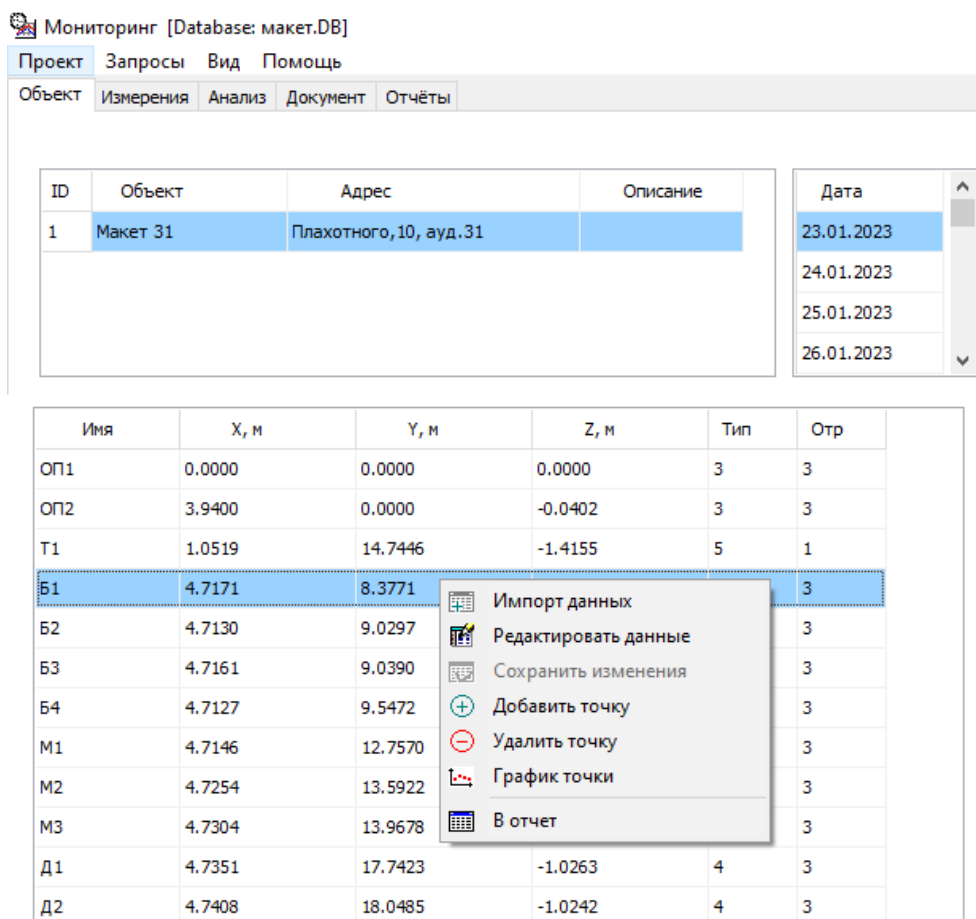


Рис. 1. Вкладка «Объект» системы *Monitoring*

Программа позволяет выполнить беспроводное подключение к роботизированному тахеометру и автоматизированные измерения точек, созданных или импортированных в базу данных.

В качестве настроек измерений выступают (рис. 2):

- технические характеристики инструмента, используемые в дальнейшем для оценки точности измерений;
- задержка измерений в миллисекундах, позволяющая учитывать расстояния и состояние среды распространения сигнала;
- использование одного или двух положений вертикального круга;

- число взятий отсчетов для осреднения (от 2-х);
- допуски на отклонения измерений от среднего значения;
- размер области вокруг заданного направления, в которой будет вестись поиск визирной цели для самонаведения.

Перед началом измерений необходимо убедиться, что точка стояния тахеометра установлена, или выбрать ее из выпадающего списка и выполнить поиск координат в базе данных. Кроме того, должны быть известны координаты хотя бы одной опорной точки объекта.

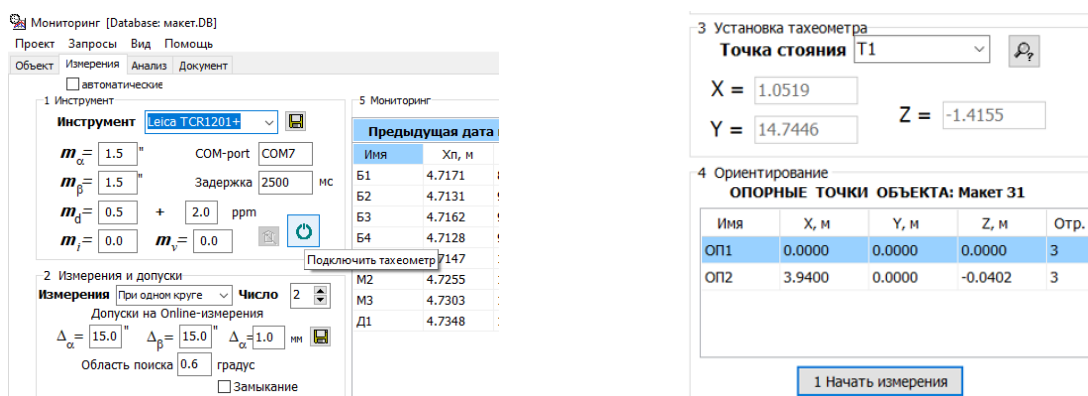


Рис. 2. Вкладка «Измерения» системы *Monitoring*

Измерения начинаются с наведения на первую опорную точку и, в случае успешного ориентирования, автоматически выполняется поиск и измерение всех прочих точек в проекте. После завершения измерений станет доступен этап уравнивания. Обработка геодезических измерений выполняется по методу наименьших квадратов с использованием алгоритма, реализованного в программном комплексе «МГСети» [12]. Протоколы измерений и уравнивания сохраняются в базе данных.

По измерениям на разные даты (эпохи) можно построить график точки (рис. 1) и проанализировать перемещение и скорости перемещения каждой точки (рис. 3).

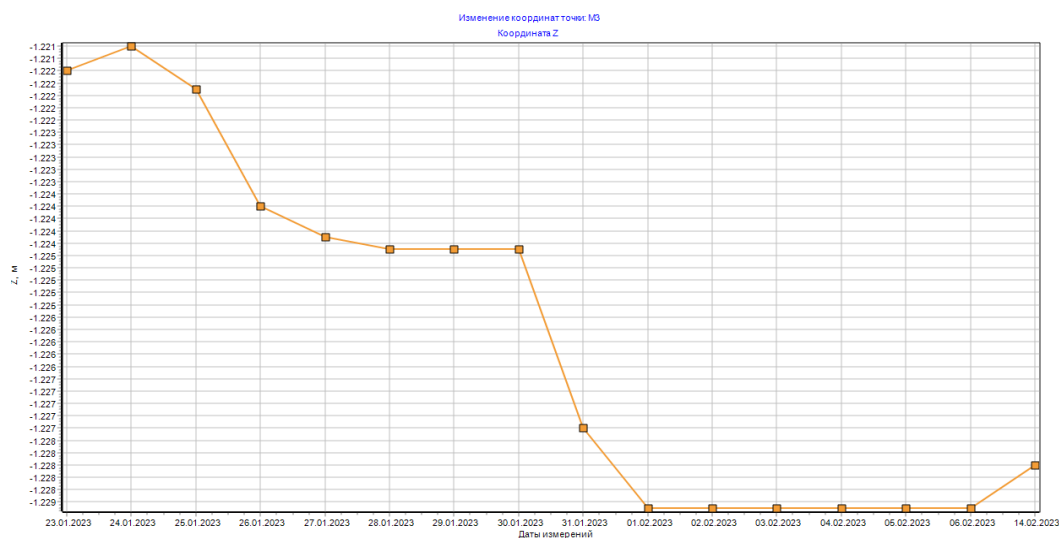


Рис. 3. Изменение положения точки М3

Испытание и тестирование программы проводилось на макете системы автоматизированного мониторинга СГУГиТ, состоящей из геодезического пункта с устройством принудительного центрирования, двух опорных пунктов с отражателями и десяти наблюдательных марок, закрепленных на устройстве для перемещения с микрометренными винтами в двух направлениях (рис. 4).



Рис. 4. Часть макета системы автоматизированного мониторинга СГУГиТ

После выполнения нескольких серий наблюдений с имитированными деформациями, можно выполнить анализ изменения положения профильной линии во времени (рис. 5).

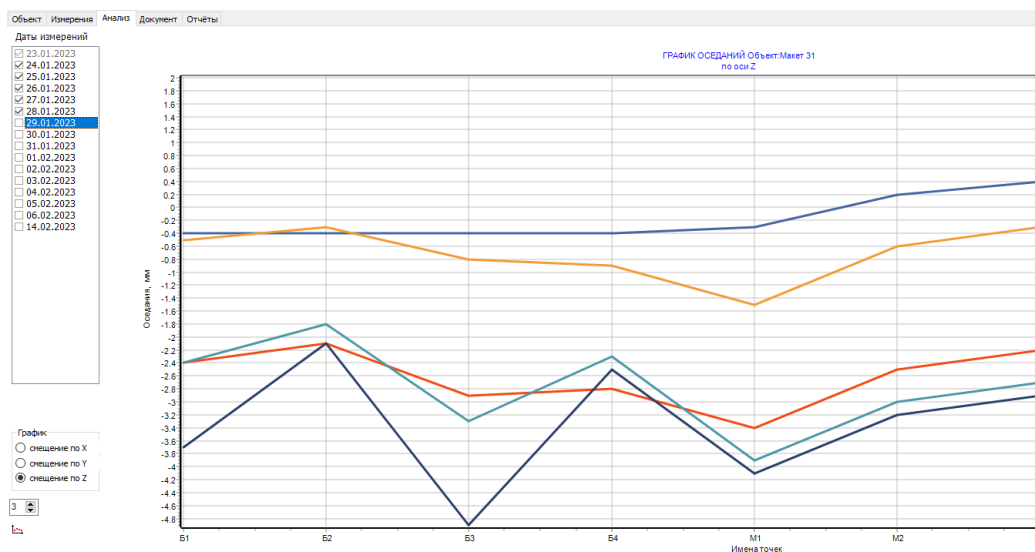


Рис. 5. Графики оседаний на различные эпохи

После каждой серии измерений выполняется вычисление отклонений от начальной (нулевой даты), это позволяет определить абсолютные деформации объекта. Отклонения от предыдущей даты позволяют определить относительные деформации за последний период. Эти отклонения сравниваются с заданными в настройках допусками. При достижении критических значений предусмотрено оповещение ответственных лиц посредством рассылки СМС и электронной почты.

Кроме того, автоматизированная система *Monitoring* поддерживает дифференцированную функциональность для категорий пользователей с разным уровнем доступа:

- полный доступ, при этом пользователь имеет права администратора;
- ограниченный доступ, при этом пользователь может выполнять измерения на объекте и анализировать данные, но не может создавать новую БД и удалять данные;
- просмотр и анализ, при этом уровне пользователь может только просматривать информацию, выполнять анализ и составлять отчеты.

В зависимости от уровня доступа будут видны различные визуальные компоненты приложения и доступны разные наборы команд.

В системе выполняется протоколирование сессий и операций, что позволяет системному администратору определить, кто и когда выполнял измерения и вносил изменения в базу данных.

Выводы и предложения

Создана автоматизированная система геодезического мониторинга *Monitoring*, которая повторяет стандартный функционал систем мониторинга и работает с роботизированными тахеометрами фирмы FOIF. Нужно признать, что это касается только геодезических измерений роботизированными электронными тахеометрами – к системе мониторинга планируется добавить модули работы с ГНСС-приемниками и инклинометрами.

Кроме того, необходимо исследовать точность геодезических измерений роботизированными тахеометрами фирмы FOIF и определить оптимальные методики измерений этими тахеометрами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. <https://geosystems.ru> – Сайт компании Leica Geosystems [Электронный ресурс, дата 20.04.2023].
2. <http://gbucitrб.ru/img/ddzz.pdf> – Автоматизированный геодезический мониторинг. Объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта: Мосты, эстакады, склоны [Электронный ресурс, дата 20.04.2023].
3. <https://www.gfk-leica.ru/proekty/> – Сайт ООО «Фирма Г.Ф.К.» проекты систем автоматизированного мониторинга [Электронный ресурс, дата 18.04.2023].
4. <http://leica.geometer-center.ru/MSystems/monitoring> – Сайт компании Геометр–Центр, системы мониторинга деформаций [Электронный ресурс, дата 19.04.2023].
5. <https://rosgeopribor.com/d/823112/d/resheniya-trimble-dlya-monitoringa.pdf> – Решения Trimble для мониторинга [Электронный ресурс, дата 28.04.2023].

6. <https://www.rusnavgeo.ru/news/novaya-versiya-sistemy-4d-control-trimble.html> – Сайт компании «Руснавгеосеть» Новая версия системы 4D Control Trimble [Электронный ресурс, дата 29.04.2023].
7. <https://gis2000.ru/company/news/trimble-4d-control-resheniya-dlya-monitoringa-video/> – Группа компаний «Геодезия и Строительство» Trimble 4D Control. Решения для мониторинга [Электронный ресурс, дата 29.04.2023].
8. <https://nsk.gsi.ru/art.php?id=139> – MONMOS – система для высокоточных промышленных измерений [Электронный ресурс, дата 01.05.2023].
9. <https://topogis.ru/avtomatizirovannyye-sistemy-geodezicheskogo-monitoringa.php> – Система автоматизированного геодезического мониторинга TOPCON DELTA [Электронный ресурс, дата 20.04.2023].
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019615552 Российская Федерация. DinMonit ver 1.0: № 2019615552: дата поступления 18.04.2019: дата регистрации 29.04.2019 / Шоломицкий А. А.; правообладатель ФГБОУ «Сибирский государственный университет геосистем и технологий». – Текст: непосредственный.
11. <http://www.foif.com/products/engineering-monitoring> – Сайт фирмы FOIF, Инжиниринг и мониторинг [Электронный ресурс, дата 29.04.2023].
12. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А., Середович А.В. Принципы построения и уравнивания опорных подземных маркшейдерских сетей. «Маркшейдерия и Недропользование» №6 (80), ноябрь-декабрь 2015, – С.51-56.

© А. А. Шоломицкий, Е. К. Лагутина, 2023