

Анализ современного программного обеспечения для обработки результатов деформационного мониторинга зданий и сооружений

А. А. Мизерная^{1}, Н. Н. Кобелева¹*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: nastya.mizernaya99@gmail.com

Аннотация. Наблюдения за деформациями зданий и сооружений являются частью геодезического мониторинга, который проводится как в процессе строительства объекта, так и в эксплуатационный период. Анализ и математическая обработка полученных геодезических измерений позволяет прогнозировать динамику развития деформационных составляющих в конструкциях зданий и сооружений, что дает возможность предотвращения нежелательных последствий. Данный процесс автоматизируется при помощи специальных программных комплексов, но далеко не все они позволяют выполнять процессы прогнозирования изменения признаков и параметров контролируемых объектов. В статье выполнен анализ современных программных комплексов для обработки результатов деформационного мониторинга зданий и сооружений, отличающихся по назначению, решаемым задачам и виду выходных данных, выявлены их достоинства и недостатки, выполнена оценка возможности их применения для задач прогнозирования.

Ключевые слова: деформационный мониторинг, программное обеспечение, прогнозирование, геотехнический мониторинг, автоматизированные системы

Analysis of modern software for processing the results of deformation monitoring of buildings and structures

A. A. Mizernaya^{1}, N. N. Kobeleva¹*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: nastya.mizernaya99@gmail.com

Abstract. Observations of the deformations of buildings and structures are the part of geodetic monitoring, which is carried out both during the construction of the facility and its operational period. Analysis and mathematical processing of the obtained geodetic measurements makes it possible to predict the dynamics of the development of deformation components in the structures of buildings, which makes it possible to prevent undesirable consequences. This process is automated with the help of special software systems, but not all of them allow performing the processes of predicting changes in the features and parameters of controlled objects. The article analyzes modern software systems for processing the results of deformation monitoring of buildings and structures that differ in purpose, tasks to be solved, and the type of output data, their advantages and disadvantages are identified, and the possibility of their application for forecasting tasks is assessed.

Keywords: deformation monitoring, software, forecasting, geotechnical monitoring, automated systems

Введение

Деформационный мониторинг – это комплекс инженерно-геодезических работ, позволяющий оценить динамику развития деформаций (осадок, сдвигов, просадки, образования кренов и т. д.) в конструкциях зданий и сооружений [1].

Он включает в себя периодическое проведение инженерно-геодезических измерений по выявлению количественных геометрических параметров и их отклонений от допустимых значений. На основании математического анализа полученных результатов измерений может быть составлен прогноз развития осадок и деформаций, что имеет большое значение при безопасном функционировании инженерных объектов и дает возможность предотвратить нежелательные последствия [2 – 4].

Математическая обработка результатов измерений при мониторинговых исследованиях отличается целями и используемыми методами проведения работ. Данный процесс автоматизируется при помощи специализированных программных комплексов. Программные комплексы включают в себя современные средства компьютерной графики, математического моделирования, программирования, системы управления базами данных, технологии обмена информацией, но далеко не все позволяют выполнять процессы прогнозирования изменения признаков и параметров контролируемых объектов.

Мониторинговые исследования деформаций должны проводиться повсеместно, особенно на строящихся и недавно построенных зданиях и сооружениях [5, 6]. Обработка результатов измерений – это неотъемлемая часть мониторинга, в связи с этим, изучение соответствующего современного программного обеспечения (ПО) является актуальной задачей.

В статье рассмотрены современные программные комплексы для обработки результатов деформационного мониторинга зданий и сооружений, выявлены их достоинства и недостатки, выполнена оценка возможности их применения для прогнозирования.

Методы и материалы

На данный момент существующие мониторинговые программы делятся по назначению на программы, обрабатывающие результаты геодезических и геотехнических наблюдений.

Цель обоих видов мониторинга – определение величин деформаций для оценки устойчивости сооружений, однако геотехнический отличается тем, что, как правило, подразумевает использование автоматизированных систем и длительных непрерывных высокоточных измерений. Он особенно актуален для:

- уникальных и высотных зданий;
- большепролетных объектов (мосты, сооружения);
- протяженных объектов (тоннели, нефте- и газопроводы);
- потенциально опасных объектов (атомные электростанции, гидроэлектростанции, промышленные комплексы);
- стратегических объектов (военная и авиакосмическая инфраструктура) [7 – 10].

Среди автоматизированных систем для производства деформационного мониторинга выделяют роботизированные тахеометры, ГНСС системы, инклинометры, сканирующие лазерные системы [11 – 13]. Они обеспечивают контроль

напряжений и усилий в опасных сечениях, раннее определенные критические и предаварийные состояния, контроль осадки зданий и сооружений, определение вибраций зданий и другие задачи в настоящий момент времени.

Фирма Leica является производителем ПО GeoMoS, которое применяется при автоматизированном длительном мониторинге роботизированными тахеометрами, а также Spider QC, целью которого является анализ данных ГНСС-станций в настоящее время [14, 15].

Для применения систем наземного лазерного сканирования необходима программа, которая позволяет эффективно управлять лазерным сканером при проведении полевых работ, выполнять предварительную обработку данных, оценку точности, а также построение цифровой модели местности. Данные задачи решает программа Cyclone Leica [16].

Наиболее широкое распространение при геодезическом деформационном мониторинге получили методы нивелирования из-за простоты измерений, удобства использования и дешевой стоимости оборудования. После проведения полевых измерений производится уравнивание результатов нивелирования по осадочным (деформационным) маркам. Уравнивание результатов нивелирования можно выполнять в программе Кредо Нивелир, которая распознает файлы данных большинства цифровых нивелиров [17]. На данный момент программа Кредо Нивелир является единственной сертифицированной программой, выполняющей расчеты в соответствии с требованиями инструкции [18]. Также существуют программы для уравнивания того же производителя, нивелир которого был использован при измерениях. Например, фирма Topcon предлагает ПО WinLevel, предназначенное для просмотра, редактирования и уравнивания данных измерений, полученных цифровыми нивелирами TOPCON DL-101 и DL-102 [19].

Для совместной обработки данных контроля стабильности исходных пунктов и нивелирования по осадочным (деформационным) маркам, результаты измерений можно импортировать в программу Кредо Расчет деформаций [20]. Результатом обработки будут являться графики перемещений деформационных марок, сводные таблицы величин осадок. Если предварительно определить плановые координаты марок, то можно создать трехмерную модель, позволяющую в режиме анимации наблюдать результаты смещений деформационных марок. Также, с учетом скорости деформации, можно спрогнозировать развитие деформационных процессов.

Результаты

Информация о программных комплексах была структурирована по категориям. Результаты проведенного анализа показаны в таблице 1.

Таблица 1

Анализ программ по обработке измерений деформационного мониторинга

Название ПО	Назначение, область применения	Решаемые задачи	Вывод результатов
Кредо Нивелир	Геодезическое обеспечение строительства, наблюдения за вертикальными смещениями зданий, сооружений и оборудования	Обработка журналов нивелирования, предварительная обработка измерений, построение поверхности, анализ грубых ошибок, настраиваемое параметрическое уравнивание	Ведомости: превышений и высот пунктов, координат и высот, предобработки, оценки точности высот пунктов, поправок
Кредо Расчёт деформаций	Мониторинг состояния зданий и сооружений, наблюдение за деформационно-осадочными процессами, контроль опасных участков	Анализ устойчивости контрольных пунктов, результатов циклов наблюдений за смещением деформационно-осадочных марок, расчет абсолютных значений вертикальных осадок и плановых деформаций, скорости вертикальных осадок и плановых деформаций, расчёт деформации башенных сооружений	Графики развития осадок во времени с вычислением коэффициентов уравнения выбранной линии тренда и указанием прогноза движения марок на указанное время, график развития деформаций во времени, скоростей осадок
Leica GeoMoS	Контроль за структурными деформациями, оползнями и осадками, осуществление автоматизированной съемки при помощи датчиков	Мониторинг деформаций с заданной периодичностью, анализ, визуализация и постобработка данных, вычисление сетевых поправок, анализ деформации и сетевое моделирование	Вывод данных по смещениям точек с выделением максимальных смещений и датами в файлы графического и Excel форматов
Leica Spider QC	Оценка мест размещения ГНСС-станций и контроль качества, контроль предельных отклонений, мониторинг деформаций	Расчёт продольных и поперечных смещений, смещений по сторонам света, колебаний высоты, смещений одновременно по двум и трем координатам	Отображение результатов в реальном времени на экране прибора и на веб-странице в виде временных рядов, графиков рассеяния и векторных карт
Leica Cyclone	Обработка облаков точек, полученных лазерным сканированием	Уравнивание точек в единое геометрическое пространство, координатная привязка, экспорт данных в файлы САПР-форматов	2D и 3D карты, чертежи, объединенные облака точек, текстовые отчеты
WinLevel	Просмотр, редактирование, уравнивание данных нивелирных измерений	Уравнивание методом распределения высотной невязки замкнутого нивелирного хода, уравнивание по методу наименьших квадратов	Отчет по уравниванию в текстовом формате

Заключение

При уравнивании результатов нивелирных измерений осадок и деформаций, полученных по результатам геодезического мониторинга, используются программы Кредо Нивелир и WinLevel. Анализ отклонений и расчет деформаций производится в ПО Кредо Расчет деформаций.

Геотехнический мониторинг производится роботизированными тахеометрами и лазерными сканерами. Управление проведением автоматизированного мониторинга в реальном времени и обработка результатов производится в ПО Leica GeoMoS и Leica Spider QC. Результаты измерений лазерного сканирования обрабатываются в Leica Cyclone.

По результатам анализа были сделаны следующие выводы.

1. При проведении мониторинга используются программы, отличающиеся по назначению, решаемым задачам и виду выходных данных.

2. Программных комплексов для обработки данных неавтоматизированного геодезического мониторинга существует недостаточно.

3. В рассмотренных программах практически полностью отсутствует функция прогнозирования осадок. А как отмечено в [4], прогнозирование – это одна из составляющих процесса геодезического мониторинга, которая позволяет заблаговременно выбирать методы и средства упреждающих воздействий для предотвращения или ослабления неблагоприятных последствий.

4. Необходимо разработать программное обеспечение, позволяющее как уравнивать и анализировать результаты измерений, так и прогнозировать развитие осадок и деформаций зданий и сооружений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорогова, И. Е. Деформационный мониторинг многоэтажного жилого здания в период строительства / И. Е. Дорогова, А. А. Ильин, Р. И. Искандаров. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь : сборник материалов в 9 томах XV Международного научного конгресса, Новосибирск, 24 – 26 апреля 2019 г. / Сибирский государственный университет геосистем и технологий. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – Т. 1 : Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия, № 2. – С. 17–24.

2. Браславская, К. Е. Возможности применения автоматизированных систем наблюдения за деформациями уникальных сооружений / К. Е. Браславская. – Текст : электронный // Молодой исследователь Дона. – 2018. – № 4 (13). – С. 24–27. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35412231> (дата обращения 25.04.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

3. Левчук, Г. П. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ : учебник для вузов / Г. П. Левчук. – Москва : Недра, 1981. – 438 с. – Текст : непосредственный.

4. Хорошилова, Ж. А. Деформационный мониторинг инженерных объектов как составная часть геодезического мониторинга. / Ж. А. Хорошилова, В. С. Хорошилов. – Текст : электронный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь : сборник материалов в 4 томах XIII Международного научного конгресса, Новосибирск, 19 – 21 апреля 2012 г. / Сибирский государственный университет геосистем и технологий. – Новосибирск : СГУГиТ, 2012. – Т. 1 : Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия, № 1. – С. 77-80. – URL:

<https://elibrary.ru/item.asp?id=17936567> (дата обращения 25.04.2022). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

5. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве : актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84 : издание официальное : утверждён приказом Министерства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 октября 2017 г. №1469/пр : дата введения 2018-04-25 / разработан ООО «ТЕКТОПЛАНФ». – Москва, 2017. – 70 с. – Текст : непосредственный.

6. Хаметов, Т. И. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации зданий, сооружений : учебное пособие / Т. И. Хаметов ; Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – Пенза : ПГУАС, 2013. – 286 с. – ISBN 5-93093-064-3. – Текст : непосредственный.

7. ГОСТ 32019-2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования и установки стационарных систем (станций) мониторинга* = Technical condition monitoring of the unique buildings and constructions Rules of design and installation of permanent systems (stations) of monitoring : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (МНТКС) (протокол от 18 декабря 2012 г. N 41) : введён впервые : дата введения 2014-01-01 / разработан Государственным унитарным предприятием города Москвы Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии, экспериментального проектирования (ГУП МНИ-ИТЭП), Россия. – Москва : Стандартинформ, 2014. – 35 с.

8. Кулешов, А. П. К вопросу обработки результатов геотехнического мониторинга за осадками сооружений. / А. А. Кулешов, В. В. Пендин. – Текст : электронный / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – № 8. – С. 190–204. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39334959> (дата обращения 25.04.2022) – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей

9. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства : издание официальное : одобрен департаментом развития научно-технической политики и проектно-изыскательских работ Госстроя России от 14 октября 1997 г. № 9-4/116 : введён впервые : дата введения 1998-01-01 / разработан производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС). – Москва, 1997. – 70 с. – Текст : непосредственный

10. СП 22.133300.2016. Основания зданий и сооружений : актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* : издание официальное : утверждён приказом Министерства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 16 декабря 2016 г. № 970/пр : дата введения 2017-07-01 / разработан НИИОСП им. Н. М. Герсеванова. – Москва, 2017. – 228 с. – Текст : непосредственный.

11. Дегтярев, А. М. Геодезическое обеспечение строительства : учебно-методический комплекс. / А. М. Дегтярев ; Полоцкий государственный университет. – Новополюк : ПГУ, 2005. – 175 с. – ISBN 985-418-342-4. – Текст : непосредственный.

12. Купреева, Е. Н. Геодезические методы определения вертикальных деформаций оснований фундаментов зданий и сооружений объектов нефтегазового комплекса. / Е. Н. Купреева, А. Г. Мадиев. – Текст : электронный // Академический журнал Западной Сибири. – 2019. – № 6 (83). – С. 41–42. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42314694> (дата обращения 25.04.2022). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

13. Сопегин, Г. В. Использование автоматизированных систем мониторинга конструкций (АСМК) / Г. В. Сопегин, Д. Н. Сурсанов. – Текст : электронный // Вестник МГСУ. – 2017. – № 2 (101). – С. 230–242. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28805579> (дата обращения 25.04.2022). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

14. Решение для мониторинга Leica GeoMoS // Leica Geosystems. URL: <https://leica-geosystems.com/ru/products/total-stations/software/leica-geomos> (дата обращения: 25.04.2022).

15. ПО для анализа данных ГНСС Leica SpiderQC // Leica Geosystems. URL: <https://leica-geosystems.com/ru/products/gnss-reference-networks/software/leica-spiderqc> (дата обращения: 25.04.2022).
16. ПО Leica Cyclone для обработки 3D-облака точек // Leica Geosystems. URL: <https://leica-geosystems.com/ru/products/laser-scanners/software/leica-cyclone> (дата обращения: 25.04.2022).
17. Кредо Нивелир // Программные продукты и технологии КРЕДО. URL: <https://credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/211-credo-nivelir.html> (дата обращения: 25.04.2022).
18. ГКИНП (ГНТА)-03-010-02 (Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов)
19. WinLevel // АО Прин. URL: <https://prin.ru/opisaniya/winlevel/> (дата обращения: 25.04.2022).
20. Анализ и интерпретация геодезических измерений Кредо расчет деформаций // Программные продукты и технологии КРЕДО. URL: <https://credo-dialogue.ru/produkty/korobochnye-produkty/195-credo-raschet-deformatsij-naznachenie.html> (дата обращения: 25.04.2022).

© А. А. Мизерная, Н. Н. Кобелева, 2022