

УДК 69.058.2

*Зайчикова Диана Андреевна магистрант Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-строительный университет*

*Россия, г. Санкт-Петербург*

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ МОНИТОРИНГ МЕТОДОМ  
НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ ЗАСТРОЙКИ ПРИ НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Растущие темпы урбанизации и активное развитие строительной отрасли требуют внедрения новых технологий для высокоточного мониторинга состояния окружающей застройки, особенно в условиях плотной городской застройки. Геотехнический мониторинг является неотъемлемой частью строительного процесса и играет ключевую роль в предотвращении аварий и минимизации рисков, связанных с деформацией грунта и конструкций, особенно в условиях плотной городской застройки.

Традиционные методы мониторинга часто неэффективны при решении сложных инженерных задач и интенсивном строительстве. Использование методов лазерного сканирования повышает эффективность и точность мониторинга, что делает эту тему актуальной для современных исследований. Данная статья представляет собой обоснование использования цифровых двойников для повышения эффективности геотехнического мониторинга зданий в условиях плотной городской застройки.

Ключевые слова: пространственный мониторинг, геотехнический мониторинг, геодезические наблюдения, лазерное сканирование, окружающая застройка, новое строительство.

The increasing pace of urbanization and active development of the construction industry require the introduction of new technologies for highprecision monitoring of the state of the surrounding development, especially in dense urban environments. Geotechnical monitoring is an integral part of the construction

process and plays a key role in preventing accidents and minimizing the risks associated with soil and structure deformation, especially in dense urban development.

Traditional monitoring methods are often ineffective in complex engineering tasks and intensive construction. The use of laser scanning methods increases the efficiency and accuracy of monitoring, which makes this topic relevant for modern research. This article is a rationale for the use of digital twins to improve the efficiency of geotechnical monitoring of buildings in dense urban development.

Keywords: spatial monitoring, geotechnical monitoring, geodetic observations, laser scanning, surrounding buildings, new construction.

Геотехнический мониторинг — это процесс систематического наблюдения и анализа состояния грунтового основания, а также конструкций зданий и сооружений с целью выявления изменений, которые могут повлиять на их устойчивость и безопасность. Проведение таких наблюдений особенно важно в условиях плотной застройки и активного строительства, что требует постоянного контроля за состоянием объектов. Основной целью геотехнического мониторинга является предотвращение чрезвычайных ситуаций путем своевременного выявления потенциальных рисков и принятия мер по их устранению. Важность геотехнического мониторинга трудно переоценить, поскольку он играет ключевую роль в обеспечении безопасности строительства и эксплуатации зданий.

Современные методы геотехнического мониторинга включают в себя использование передовых технологий, таких как наземное лазерное сканирование, геодезические измерения, тензодатчики и системы дистанционного мониторинга.

Наземное лазерное сканирование позволяет создавать высокоточные трехмерные модели объектов, обеспечивая точность измерений до 1-2 мм на

расстояниях до 100 метров, что подтверждено многими исследованиями. Этот метод не только фиксирует текущее состояние объектов, но и позволяет прогнозировать возможные изменения, что особенно важно в условиях плотной городской застройки.

Современные технологии наземного лазерного сканирования являются мощным инструментом для получения высокоточных пространственных данных. С 1990-х годов технологии лазерного сканирования значительно эволюционировали, что позволило добиться высокой точности измерений и значительно расширить сферу их применения. Благодаря возможности точного получения трехмерных данных об объектах лазерное сканирование используется в различных отраслях, включая промышленность, строительство, геодезию и мониторинг инфраструктуры.

Современные лазерные сканеры различаются по ряду характеристик, таких как точность, дальность измерений, скорость сбора данных и возможность работы в различных условиях. Например, некоторые модели способны достигать точности измерений до 1 мм на расстоянии до 100 метров. Технология наземного лазерного сканирования применяется для создания цифровых двойников благодаря ее способности обеспечивать высокую детализацию и точность данных, необходимых для построения точных цифровых моделей.

Кроме того, использование лазерных сканеров значительно сокращает время сбора данных, что особенно важно при работе с крупными объектами или в условиях ограниченного времени. Эти преимущества делают наземное лазерное сканирование предпочтительным выбором для пространственного мониторинга, учитывая его эффективность и точность.

Рассмотрим практическое применение наземного лазерного сканирования для целей пространственного мониторинга существующего здания. При выполнении исследования важно было определиться с

основным инструментарием, необходимым для проведения работ по созданию цифровых двойников для пространственного мониторинга, а именно точностными и производственными характеристиками приборов.

В данной работе на нулевом цикле работ наземное лазерное сканирование выполнялось с помощью двух сканеров: Leica RTC 360 и Z+F Imager 5010C.

Рассмотрим подробнее этапы нулевого цикла работ, рекогносцировки объекта исследования. Нулевой цикл работ включал в себя три этапа работ: подготовительный, полевой и камеральный.

Изначально был выполнен выезд на объект исследования для составления программы работ, так называемую рекогносцировку. На данном этапе также проведена расклейка опорных и мониторинговых марок (квадратные черно-белые марки).

Полевой этап работ включал в себя: координирование расклеенных марок с помощью тахеометра в безотражательном режиме и непосредственное выполнение наземного лазерного сканирования исследуемой части здания. На рисунках 1-2 представлены результаты полевых работ.



Рис. 1. Облако точек нулевого цикла работ с ПО Leica Cyclon Register 360

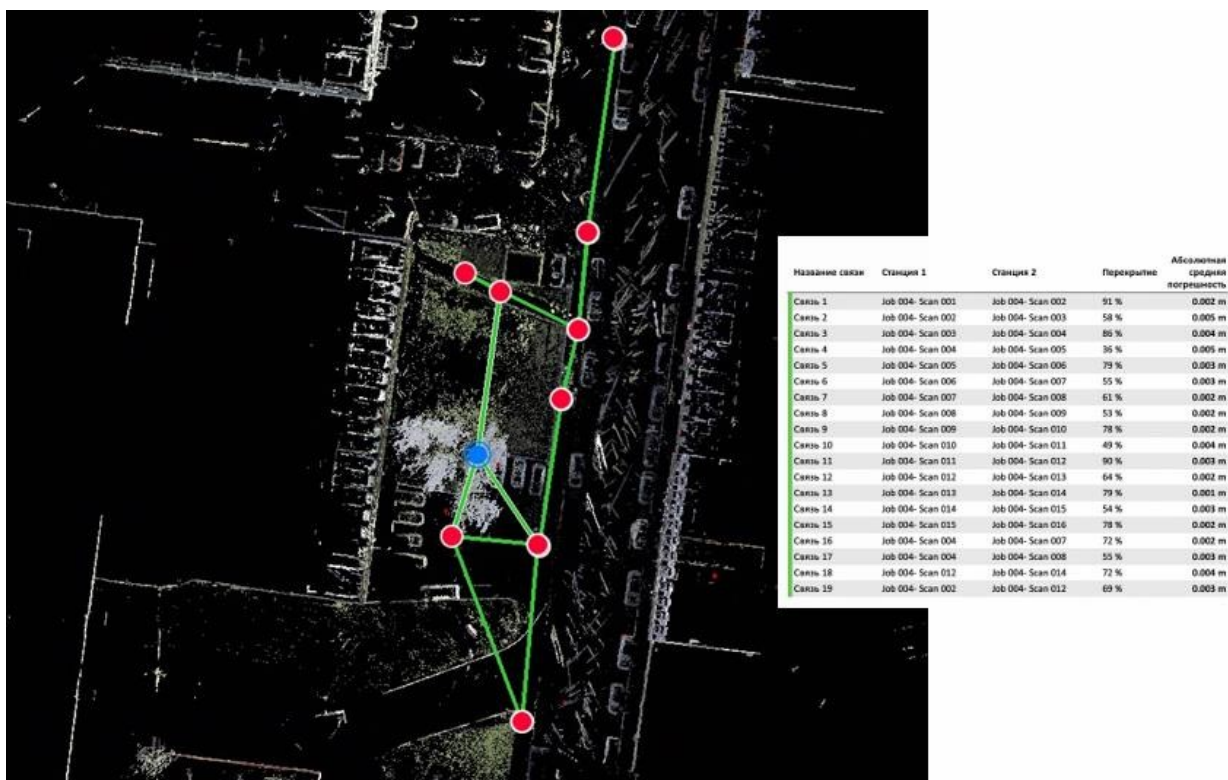


Рис. 2. Станции сканирования и связи облаков точек

Камеральный этап работ состоял в выравнивании точек стояния наземного лазерного сканирования в специализированном программном комплексе в формате "Cloud to Cloud". На этапе обработки данных осуществляется фильтрация полученной информации, удаление шумов и преобразование данных в формат, пригодный для дальнейшей работы. Полученные результаты сравнивались с результатами тахеометрии.

По результатам нулевого цикла работ оказалось, что невязка контрольных марок по наземному лазерному сканированию была выше невязки по тахеометрии, в следствии чего необходимо было провести корректировки в полевой этап работ.

В ходе подготовки к первому циклу работ была разработана новая схема по расположению станций измерений для сканера (рис. 3) с большим количеством точек стояния и была разработана специализированная оснастка в виде составных сферических марок для проведения наземного лазерного сканирования (рис. 4).

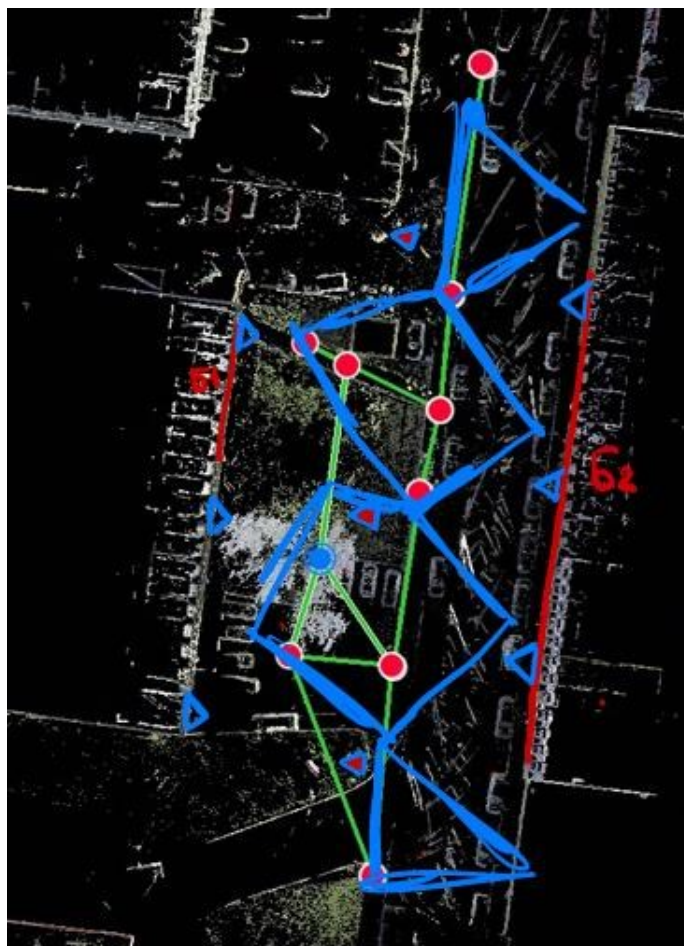


Рис. 3. Приблизительная схема улучшения полевого этапа работ.



Рис. 4. Составные сферические марки

Исходя из результатов нулевого цикла в кратчайшие сроки разработаны и протестированы составные сферические марки, которые могут использоваться одновременно для тахеометра/трекера и наземного лазерного сканирования.

Сканирование первого и второго цикла выполнены с помощью наземного лазерного сканера RTC360 от компании Leica Geosystems. Сканер представляет собой высокоэффективное оборудование для 3Dсканирования, которое используется в различных отраслях, включая строительство, архитектуру. Данный сканер предлагает сочетание высокой точности, скорости работы и удобства, позволяя специалистам получать детализированные цифровые модели объектов.

В таблице 1 приведены данные по сканированию объекта исследования.

Таблица 1. Данные по выездам

№ п/п	Дата	Количество точек стояния	Температура воздуха	Давление	Влажность
1	20.04.2022	10	8	756	81
2	20.08.2022	17	27.8	767	37
3	22.11.2022	16	-2.5	762	80

По результатам проведения первого цикла измерений невязка контрольных марок по наземному лазерному сканированию (рис. 5) соответствует или меньше невязки контрольных марок тахеометрии.

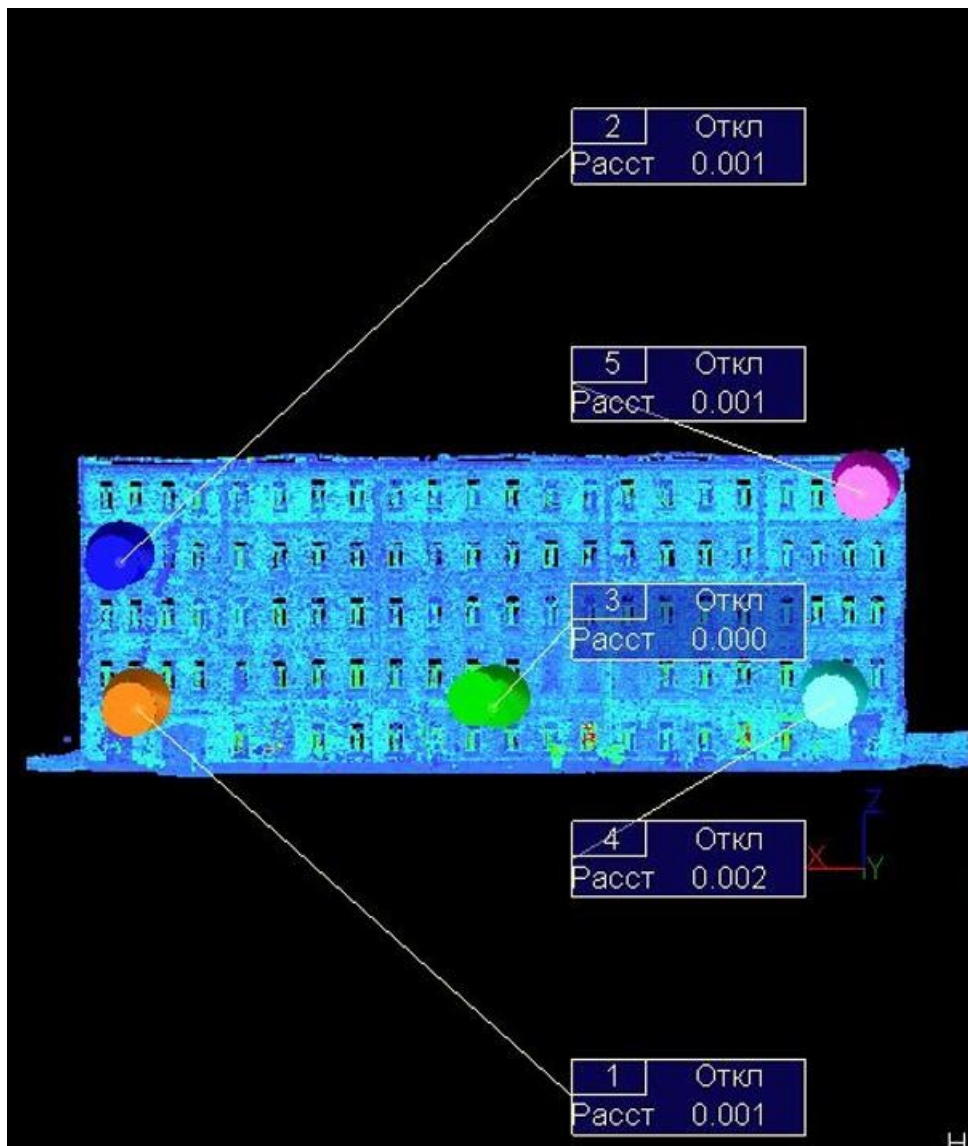
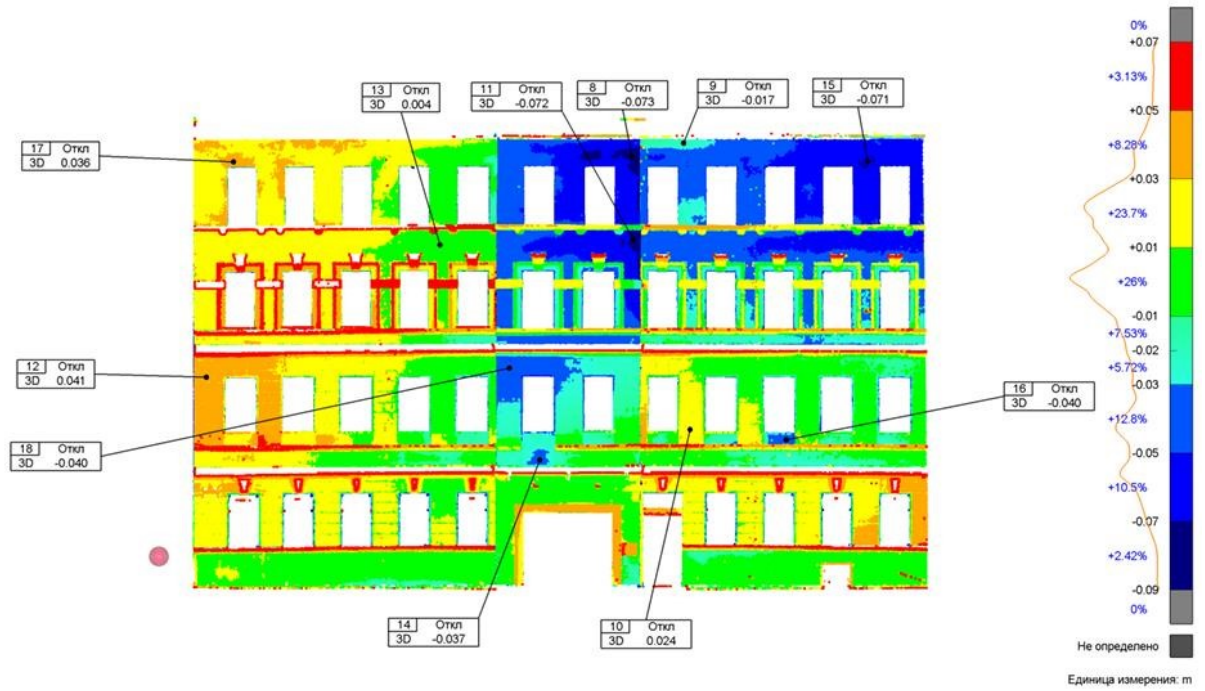


Рис. 5. Числовые значения невязки опорных точек

Обработка результатов сканирования выполнялась в программном обеспечении Leica Cyclone REGISTER.

Leica Cyclone REGISTER — это мощное программное обеспечение, предназначенное для обработки и регистрации данных, полученных с 3Dсканеров, таких как Leica RTC360. Оно обеспечивает пользователям инструменты для эффективной обработки и объединения облаков точек, полученных в результате сканирования, с высокой точностью и скоростью.

По результатам лазерного сканирования были выполнены работы по определению крена фасада здания (рис.6-7).

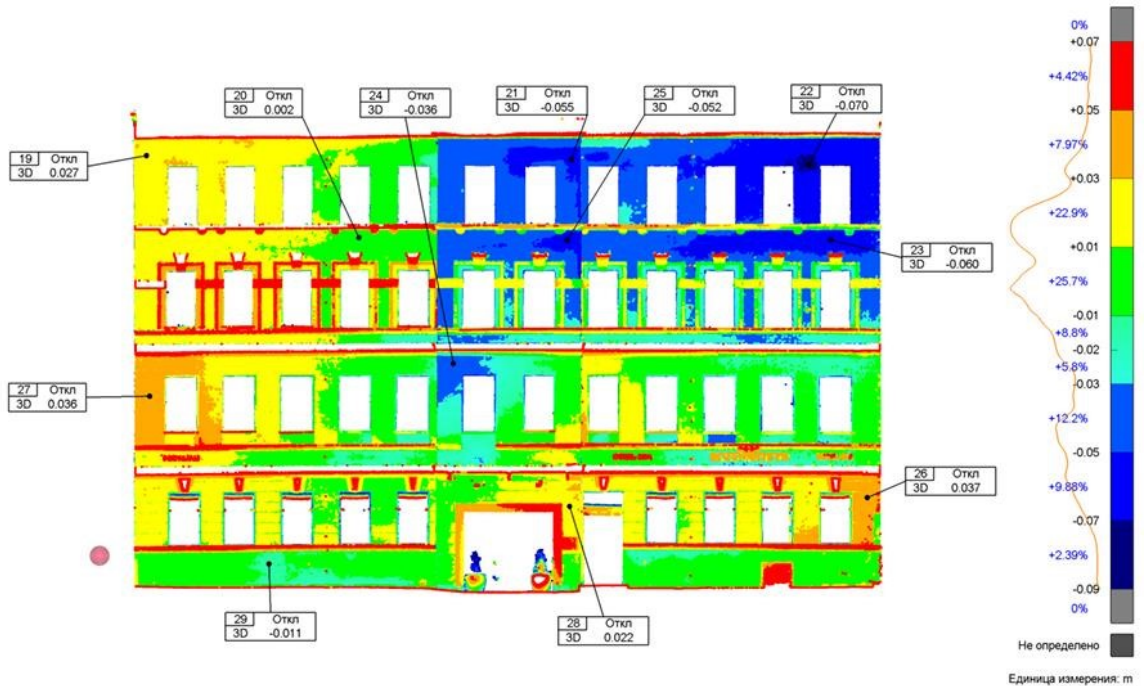


КРЕН 20.08.2022

МОНИТОРИНГ РОЗЕНШТЕЙНА

ТЕПЛЫЙ ЦВЕТ - "НА НАС"  
ХОЛОДНЫЙ ЦВЕТ - "ОТ НАС"

Рис.6. Крен здания от 20.08.2022



КРЕН 22.11.2022

МОНИТОРИНГ РОЗЕНШТЕЙНА

ТЕПЛЫЙ ЦВЕТ - "НА НАС"  
ХОЛОДНЫЙ ЦВЕТ - "ОТ НАС"

Рис. 7. Крен здания от 22.11.2022

По данным схемам можно подтвердить теорию о неравномерности крена на всем участке фасада. Отклонения измерений выполняемое точно по отдельным деформационным маркам не показывает всей фактической картины деформация.

Данные по определению крена здания представлены в таблице 2.

Таблица 2. Крены зданий

Сечение	Тип	Высота	20.08.2022		22.11.2022		Предельн. доп.крен
			Крен	Доп.крен	Крен	Доп.крен	
Тх2.1	марка	14,500	0,036	0,000	0,037	0,001	0,002
Тх2.2	марка	14,512	0,027	0,000	0,033	0,005	0,002

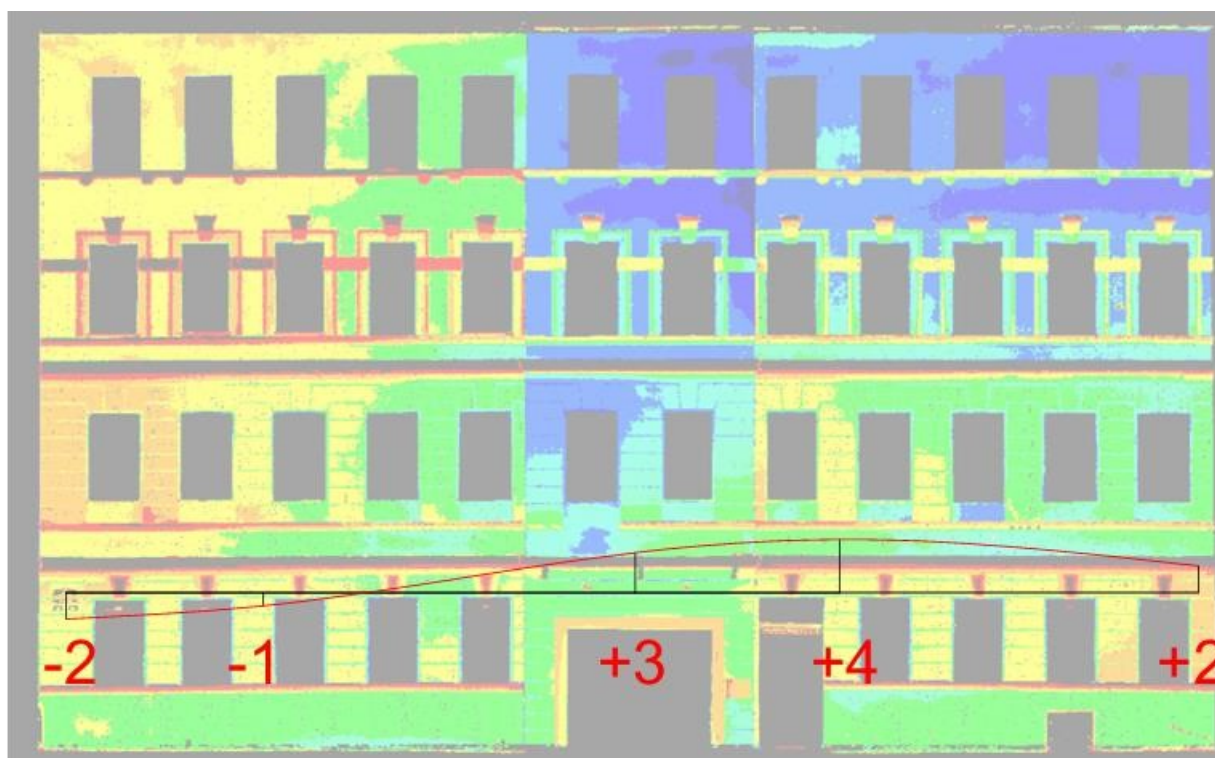


Рис. 8. Эпюра деформаций здания, построенная по установленным деформационным (осадочным) маркам (в мм).

Критерии оценки точности мониторинга играют ключевую роль в обеспечении надежности и достоверности получаемых данных. Для геотехнического мониторинга основными критериями являются точность

измерений, временные затраты и устойчивость метода к внешним воздействиям. Эти параметры позволяют оценить, насколько эффективно выбранный метод способен фиксировать изменения в объектах наблюдения.

Традиционные методы геотехнического мониторинга включают использование тахеометров, нивелиров и деформационных датчиков, что позволяет измерять изменения положения, деформации и другие параметры конструкций. Основное преимущество этих методов заключается в их проверенности временем и доступности оборудования. Вместе с тем, они требуют значительных временных и трудовых затрат для выполнения измерений и анализа данных.

Результаты применения цифровых двойников демонстрируют значительное улучшение качества мониторинга. Исследования показывают, что вероятность ошибок в интерпретации данных снижается на 25% по сравнению с традиционными методами. Например, в Германии в 2020 году цифровые двойники использовались для мониторинга мостовой конструкции, что позволило выявить критические повреждения на 10 дней раньше, чем при использовании стандартных методов. Это подчеркивает важность своевременного анализа для предотвращения аварийных ситуаций.

Методология испытаний основывалась на применении наземного лазерного сканирования, обладающего высокой точностью измерений до 1 мм. Испытания проводились в условиях реального строительства, где здание, располагалось в 30-метровой зоне влияния нового строительства. В процессе испытаний учитывались такие аспекты, как частота сканирования, объем собранной информации и качество полученных моделей.

#### **Использованные источники:**

1. Барабанова Т.А., Балалов В.В., Блинова О.С. Применение технологии «цифровых двойников» при эксплуатации зданий и сооружений //

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. — [б. г.]. — [б. м.]. — [б. и.].

2. Болдырев Г.Г., Дивеев А.А. Создание цифровой инженерно-геологической модели и использование информационных систем при изысканиях и проектировании оснований фундаментов зданий и сооружений // ГеоИнфо. — [б. г.]. — [б. м.]. — [б. и.].
3. Котляревская А.В., Клименко К.Е. Цифровой двойник здания как основа применения нанотехнологий в строительстве // Нанотехнологии в строительстве. — 2024. — Т. 16, № 2. — С. 189–197. — <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2024-16-2-189-197>.
4. Куликов И.Н. Лазерные сканирующие устройства и их использование в перспективных лунных миссиях // Пилотируемые полеты в космос. — 2021. — № 4(41). — С. 57–74. — DOI: 10.34131/MSF.21.4.57-74.
5. Епифанова Е.А. Комплексование наземного лазерного сканирования и метода конечных элементов при оценке деформаций инженерных сооружений: аннотация научного доклада. — [б. м.], [б. г.]. — [б. и.].
6. Прасол В. М., Головки Д. М. Проблемы строительства зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки // Молодой учёный. — 2017. — № 49 (183). — [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://imoluch.ruarchive/183/46924/>. — Дата доступа : 14.05.2023.
7. Шашкин А.Г. Проектирование зданий и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях: учебное пособие / А.Г. Шашкин. — М.: [б. и.], 2014. — [б. с.].

*Информация о себе: E-mail: [diana\\_\\_andreyevna@mail.ru](mailto:diana__andreyevna@mail.ru)*