

*A. С. Горилько<sup>1</sup>✉, Н. М. Рябова<sup>1</sup>, К. С. Мандаева<sup>1</sup>*

## **Методика деформационного мониторинга особо опасного и технически сложного инженерного сооружения**

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: cahek28@mail.ru

**Аннотация.** В статье предложена и описана методика деформационного мониторинга особо опасного и технически сложного инженерного сооружения. За последние 5-10 лет геодезическое приборостроение существенно шагнуло вперед, усовершенствовав характеристики точности тахеометров. При соблюдении ряда условий, практически исключающих ошибки, обусловленные внешней средой и выполнением избыточных измерений, представляется возможным определять величины горизонтальных и вертикальных перемещений при циклических измерениях с СКО в пределах 1,5 – 2,0 мм и 0,25 – 0,50 мм соответственно. При этом исходная локальная геодезическая сеть должна состоять из нескольких пунктов с принудительным центрированием, которые также могут служить пунктами сгущения для геодезической сети техногенного геодинамического полигона промышленной площадки АЭС. Создаваемая локальная геодезическая сеть может быть в последующем развита дополнительными пунктами, размещенными на уровне земной поверхности в целях обеспечения прямой оптической видимости с наблюдаемыми марками на инженерном сооружении.

**Ключевые слова:** техногенный геодинамический полигон, тахеометр, горизонтальные и вертикальные перемещения, высокоточное тригонометрическое нивелирование

*A. S. Gorilko<sup>1</sup>✉, N. M. Ryabova<sup>1</sup>, K. S. Mandeeva<sup>1</sup>*

## **The method of deformation monitoring of a particularly dangerous and technically complex engineering structure**

<sup>1</sup>Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: cahek28@mail.ru

**Annotation.** This article provides an overview of the proposed method of deformation monitoring of a particularly dangerous and technically complex engineering structure. Over the past 5-10 years, geodetic instrumentation has made significant strides forward, improving the accuracy characteristics of total stations. If a number of conditions are met that practically exclude errors caused by the external environment and excessive measurements, it is possible to determine the values of horizontal and vertical displacements during cyclic measurements with a COE in the range of 1.5 – 2.0 mm and 0.25–0.50, respectively. At the same time, the initial local geodetic network should consist of several points with forced centering, which can also serve as condensation points for the geodetic network of the technogenic geodynamic landfill of the NPP industrial site. The created local geodetic network can be further developed by additional points located at the level of the earth's surface in order to ensure direct optical visibility with the observed marks on the engineering structure.

**Keywords:** man-made geodynamic polygon, total station, horizontal and vertical movements, high-precision trigonometric leveling

## ***Введение***

Выработка электрической энергии является одной из ключевых задач для современного общества. Без должной подачи электроэнергии невозможна корректное функционирование экономики, повседневной жизни граждан и ключевых социально значимых систем (больниц, санаторий, детских садов, школ и т. д.) [1].

В частности, для достижения целей, направленных на выработку необходимого количества электроэнергии на разных объектах энергосистем (например, АЭС, ГЭС или ТЭС), размещаются и эксплуатируются особо опасные и технически сложные инженерные сооружения [2]. К таким инженерным сооружениям относятся:

- объекты использования атомной энергии (ядерные установки, сооружения для хранения ядерных и высокорadioактивных материалов, специальные пункты для хранения отработанного ядерного топлива);
- тепловые электростанции мощностью 150 мегаватт и выше;
- гидротехнические сооружения первого и второго классов опасности (шлюзы, плотины и другие достаточно крупные гидросооружения);
- другие инженерные сооружения, имеющие отношение к производственному процессу по выработке электрической энергии [1, 3–4].

Особое внимание уделяется обеспечению безопасности при эксплуатации вышеуказанных инженерных сооружений. Одним из ключевых мер обеспечения безопасности в таких случаях является контроль деформационного состояния в плане и по высоте, посредством высокоточных инженерно-геодезических измерений [4].

Деформационные процессы у особо опасных и технических сложных инженерных сооружений нередко возникают из-за следующих факторов:

- природные факторы (склоновые процессы, сплывы, оползание грунта, пучение, влияние солнечной радиации и т.д.) [5,6];
- техногенные и антропогенные факторы (недостаточный учет свойств грунтов, не верная оценка геологических условий, вибрация фундаментов из-за работы строительных машин, изменение давления на грунтовое основание при возведении рядом новых инженерных сооружений и т.д.).

Деформации могут возникать как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Контроль за деформационным состоянием всех видов особо опасных и технически сложных инженерных сооружений является актуальной научной задачей.

В данной статье рассматривается методика деформационного мониторинга одного из вышеупомянутых видов инженерных сооружений – пунктов сбора и хранения высокорadioактивного ядерного топлива. Предлагаемая методика основана на применении высокоточного роботизированного тахеометра с усовершенствованным дальномерным блоком с паспортной характеристикой  $m_s = 0,5 - 1,0$  мм (например, роботизированные тахеометры Sokkia NET05AXII и некоторые модели марки Leica) [7].

## Методы и материалы

Сооружение для хранения высокорadioактивного ядерного топлива относится к 1 категории ответственности за ядерную и радиационную безопасность и сейсмостойкость [4–5].

Периодичность наблюдений за деформационными процессами регламентирована нормативно-техническими документами [4–5].

Инженерно-геодезические измерения, выполняемые с целью определения деформационного состояния сооружения, как правило, производятся с пунктов отдельно созданной локальной сети, с привязкой на пункты сети техногенного геодезического полигона (ТПП).

Схема локальной геодезической сети, на которой также представлена схема измерений в горизонтальной плоскости для деформационного мониторинга приведена на рис. 1.

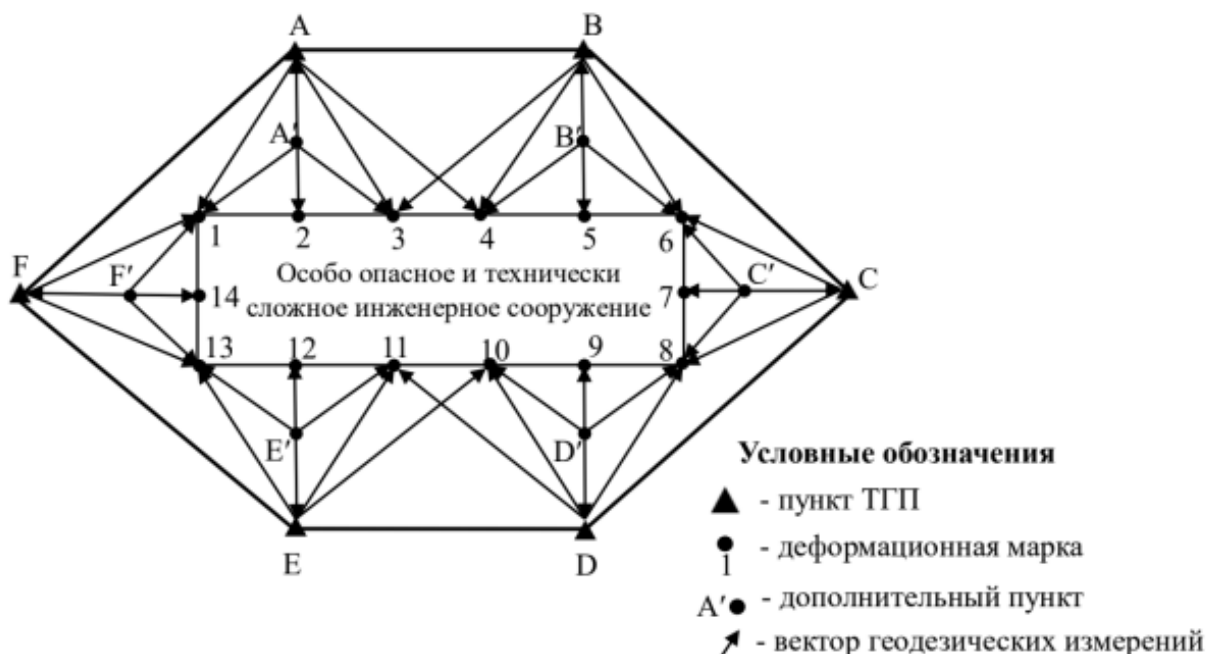


**Рис.1.** Схема локальной сети, с отображением схемы измерений для деформационного мониторинга

Локальная геодезическая сеть для выполнения деформационного мониторинга состоит из следующих пунктов:

- тумбы А, В, С,...F с принудительным центрированием (включены в общую сеть ТГП);
- пункты А', В', С',..., F' являются бетонными знаками, заложенными на уровне земной поверхности, над которыми требуется выполнять тщательное центрирование заранее проверенным оптическим или лазерным центриром высокоточного тахеометра.

На рис.1 видно, что схема с пунктами  $A, B, C, \dots F$  представляет собой замкнутую линейно-угловую сеть. При этом пункты  $A', B', C', \dots, F'$  должны быть заложены не менее чем в пределах 20-25 метров от стены наблюдаемого инженерного сооружения. Такое минимальное расстояние регламентировано для обеспечения радиационной безопасности исполнителей геодезических работ. Поскольку с точки зрения безопасности находиться в непосредственной близости к наблюдаемому сооружению запрещено, то еще до ввода в эксплуатацию на стенах данного сооружения по периметру закладываются марки в двух уровнях:

- на высоте 0,4 – 0,6 м относительно земной поверхности промышленной площадки;

- на уровне верха стены (ригеля перекрытия).

Данные марки заглублены в стены на 2–3 мм с целью их сохранности. Назначение данных марок заключается в необходимости полного отсутствия речника в непосредственной близости к стене наблюдаемого сооружения (пункта сбора и хранения высокорadioактивных ядерных отходов).

При определении величин горизонтальных перемещений в каждом цикле измерений высокоточный тахеометр устанавливается на пункт  $A$ , ориентируется на пункт  $F$  и  $B$  (рис. 1), и выполняются измерения на марки 1 и 1', также на 2 и 2', 3 и 3' и 4 и 4'. Схема измерений в вертикальной плоскости приведена на рис.2.

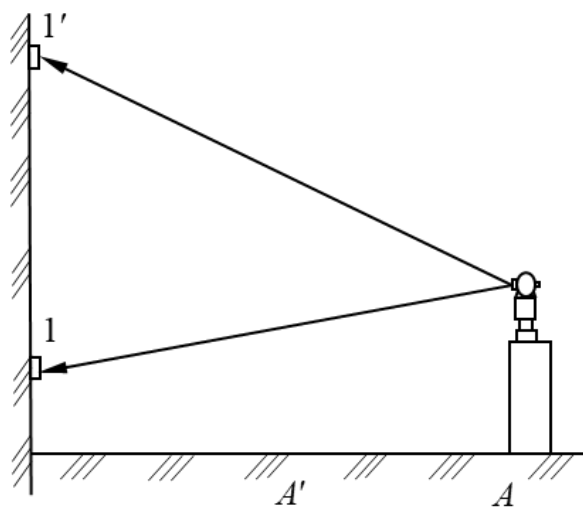
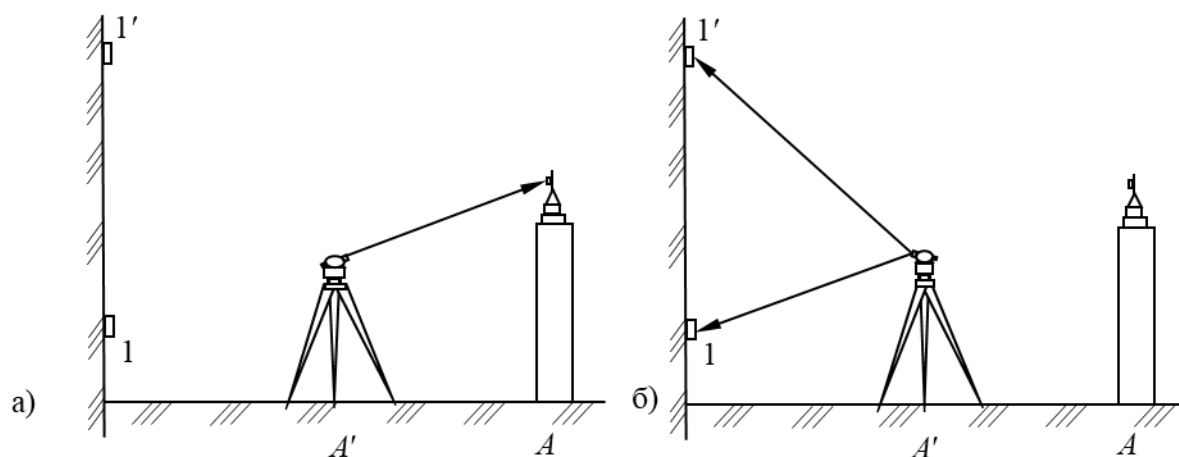


**Рис.2.** Схема измерений в вертикальной плоскости с пункта  $A$

При следующем шаге выполнения деформационного мониторинга выполняются измерения на те же марки при качественной установке в рабочее положение тахеометра над пунктом  $A'$  и ориентировании на пункт  $A$  (рис.3а) и последующем измерении на марки (рис.3б).



*a* – ориентирование на пункт *A*, *б* – измерения на марки 1 и 1'

**Рис 3.** Схема измерений в вертикальной плоскости с пункта *A'*

В случае, если до марок расстояние будет не более 30 м, то СКО определения их плановых координат составит в пределах 1,5 – 2,0 мм, при условии, что измерения выполнены в пасмурное время с целью исключения турбулентности воздуха, возникающего вблизи стен исследуемого сооружения.

Аналогично выполняются измерения с пунктов *B*, *C*, *F* на последующие марки.

Поскольку тахеометр регистрирует отсчеты не только по горизонтальному кругу, но и по вертикальному, а также наклонное расстояние, то представляется возможным контролировать и вертикальные перемещения при использовании метода высокоточного тригонометрического нивелирования короткими визирными лучами. При расстоянии от тахеометра до светоотражательных пленок (марок) не более 30 – 50 м, СКО измерения расстояния и угла наклона не более, соответственно, 2,0–3,0 мм и 1,0–2,0", СКО измерения превышения на станции не будет превосходить 0,25–0,50 мм. При использовании более усовершенствованных моделей роботизированных тахеометров, точность измерений может быть несколько выше.

При выполнении измерений методом тригонометрического нивелирования в каждом цикле, тахеометр устанавливается на пункт *A*, и двумя полными приемами поочередно определяются превышения между марками 1, 2, 3 и 4. После этого тахеометр устанавливается на пункт *A'*, и также определяются превышения между пунктами 1, 2, 3 и 4. Затем аналогичным образом измеряются превышения и с других пунктов. Обратим внимание, что каждая марка как минимум определяется трижды с разных пунктов, что повышает точность высотных определений.

### **Заключение**

Применение роботизированных тахеометров последнего поколения позволяет оптимизировать (усовершенствовать) методики деформационного монито-

ринга инженерных сооружений на промышленных площадках или даже разработать новые практичные подходы для выявления деформационных процессов по данным циклических измерений.

Тригонометрическое нивелирование в связи с усовершенствованием тахеометров также совершенствуется и может относиться к классу высокоточных измерений для высотных определений.

Как и для других видов измерений, тригонометрическое нивелирование следует выполнять в пасмурную погоду и хорошей видимости. В солнечные дни следует полностью исключить измерения, особенно в жаркую погоду.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Официальный сайт <https://www.atomic-energy.ru>. Текст : электронный // Научно-деловой портал «Атомная энергия 2.0. – <https://www.atomic-energy.ru> (дата обращения 07.04.2026).
2. Градостроительный кодекс Российской Федерации: федеральный закон от 29.12.2004 № 190-ФЗ (в ред. 26.12.2024) (с изм. и доп. вступ. в силу с 01.01.2025). – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный.
3. СТО 9512023-2017 Инженерные изыскания при строительстве атомных электростанций. – Москва : «Росатом». – 40 с. – Текст : непосредственный.
4. СТО СРО-Г6054295400007–2023 Геодезический мониторинг деформаций зданий и сооружений атомных электростанций. – Москва : Союзатомгео, 2023. – 131 с. – Текст : непосредственный.
5. Исследование стабильности положения пунктов обоснования при их закреплении на разных горизонтах инженерных сооружений / А. С. Горилько, А. М. Астапов, Н. М. Рябова, Т. Д. Денисович. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XX Международный научный конгресс, 15–17 мая 2024 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1: Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – С. 37– 43. – DOI 10.33764/2618-981X-2024-1-37-43.
6. Инженерно-геодезические работы при строительстве и эксплуатации тепловых электростанций. В 2 ч. : монография / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова, М. Е. Рахымбердина, К. Б. Хасенов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2024. – Текст : непосредственный.
7. Официальный сайт <https://leica-geosystems.com/ru/products/total-stations> Текст: электронный // Научно-деловой портал «Электронные тахеометры. – <https://leica-geosystems.com/ru/products/total-stations> (дата обращения 05.04.2026).

© А. С. Горилько, Н. М. Рябова, К. С. Мандаева, 2026