



Мониторинг деформаций аэровокзального комплекса на фундаментной плите без деформационных швов

Ф.З. Зарипова¹✉, А.Г. Князев¹, Э.Д. Кузнецов¹

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

✉ shakirova.fruza@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Зарипова Ф.З., Князев А.Г., Кузнецов Э.Д. Мониторинг деформаций аэровокзального комплекса на фундаментной плите без деформационных швов // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 54–66. DOI:10.30533/GiA-2025-059.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА геометрическое нивелирование, мониторинг деформаций, геодезические наблюдения, точность I класса

АННОТАЦИЯ При строительстве объекта фундаментная плита подвержена деформациям с момента начала возведения конструкций. В зависимости от этапности нагружения, грунтов основания, веса конструкций деформации могут возникнуть на фундаментной плите, на несущих вертикальных конструкциях, также на конструкциях покрытия кровли. Геодезические методы наблюдений позволяют обнаружить деформации на ранней стадии их развития, что помогает предупредить катастрофические обрушения. Точность производства геодезических наблюдений технически сложных объектов определяется в каждом конкретном случае на стадии разработки проектной документации. При новом строительстве нагрузка от веса объекта распределяется на фундаментную плиту. Возведение конструкций происходит постепенно, по участкам. Таким образом, возникает неравномерная деформация фундаментной плиты в зависимости от устраиваемых конструкций, в дальнейшем воздействующая на другие конструкции: колонны, перекрытия, кровлю. В представленной работе выполняется мониторинг деформаций фундаментной плиты и покрытия кровли объекта строительства. По материалам геодезических наблюдений выполнено формирование модели геометрического нивелирования I_c класса. Рассматриваются технические характеристики нивелирных ходов и разница высотных отметок деформационных марок, позволяющие оценить качество полевых измерений. Согласно результатам уравнивания нивелирных линий, невязки ходов находятся в допустимых пределах точности I класса. Полученная разница высотных

отметок деформационных марок до 1 мм является показателем качества производства нивелирования I класса. Применение усовершенствованной методики наблюдений допустимо при соблюдении точностных характеристик нивелирования I класса и выполнении работ короткими плечами до 15 м.

1 Введение

К зданиям и сооружениям повышенного уровня ответственности в соответствии с Градостроительным кодексом Российской Федерации¹ относятся особо опасные, технически сложные или уникальные объекты. В качестве примеров можно привести объекты инфраструктуры воздушного транспорта, атомной энергетики, магистральные трубопроводы, нефтяные резервуары, здания с пролетами от 100 и более метров и т. д. Тем не менее количество уникальных и технически сложных объектов растет, а обновление нормативной документации отстает от новых технических решений [1, 2].

Согласно СП 22.13330.2016² и СП 305.1325800.2017³, для обеспечения безопасности строительства и эксплуатации зданий необходим мониторинг деформаций несущих конструкций технически сложных и уникальных объектов [3]: эксплуатационная безопасность данных конструкций напрямую влияет на жизнь человека.

С развитием приборостроения изменяются технологии мониторинга технического состояния конструкций объектов. На сегодняшний момент при строительстве технически сложных зданий часто применяют как геодезические, так и параметрические методы наблюдений [4–6]. Геодезические методы наблюдений являются неотъемлемой частью строительства технически сложных и уникальных объектов [7]. Автоматизация в приборостроении позволяет комбинировать методы мониторинга и получать более точные результаты [8, 9].

В нормативной документации описываются методы наблюдений, характеристики наблюдаемых деформаций (крен, осадка, относительная разность осадок и т. д.), предельно допустимые значения отклонений, точностные характеристики производства работ, но эти требования в большей степени относятся к классическим и типовым расчетным схемам при строительстве. Требования к мониторингу деформаций технически сложных объектов определяются на стадии проектной документации расчетами для конкретного здания и сооружения. С целью подтверждения расчетных величин производится мониторинг наиболее распространенным методом — геодезическим. По точности метод наблюдений назначается согласно прогнозируемой предельно допустимой величине деформаций.

Анализ качества производства геодезических наблюдений — важная составляющая при определении деформаций на начальной стадии их развития, необходимы исследования по определению систематических ошибок [10].

Авторами предложена модернизированная методика геометрического нивелирования II класса [11]. Успешные результаты ее апробации свидетельствуют о потенциальной возможности переноса усовершенствований в методику нивелирования с целью повышения эффективности. В рамках данного исследования

1 Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102090643> (дата обращения: 27.05.2025).

2 СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14627/> (дата обращения: 27.05.2025).

3 СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/16046/> (дата обращения: 27.05.2025).

выполнена оценка целесообразности применения усовершенствованной технологии I класса для мониторинга вертикальных деформаций оснований фундаментов при решении задач высокоточных повторных измерений.

Для достижения цели исследования необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) формирование данных по усовершенствованной методике I_C класса по результатам полевых измерений с точностью I класса;
- 2) уравнивание сети нивелирных ходов I и I_C классов;
- 3) сравнение полученных характеристик нивелирных линий и высотных отметок деформационных марок, полученных в результате нивелирования с разными классами точности.

2 Материалы и методы

Объектом исследования является здание аэровокзала, имеющее криволинейные формы ограждающих конструкций и конструкций кровли. Размеры покрытия в плане составляют 196 м (направление запад — восток) и 111 м (направление север — юг), перепад по высоте кровли — до 15 м. Перекрестно-стержневые фермы — основные несущие элементы покрытия, выполненные из стали в виде сферических узлов и стержней. Конструкции покрытия опираются на 9 внутренних колонн и 4 внешних структурных опорных элемента. Такая система обеспечивает высокую осевую жесткость и сводит возможные предельные деформации конструкций к минимально достижимым значениям.

Пространственная жесткость и устойчивость конструкции обеспечиваются работой коробчатого фундамента, внутренних стен, колонн, имеющих защемление в фундаментной плите, и диском перекрытия подземного этажа. Горизонтальная жесткость здания определяется устройством шарнирных соединений с фундаментом и покрытием. Система фасадов воспринимает нагрузку от ветра и передает ее на покрытие и фундамент.

В качестве фундамента основной площади здания принята цельная фундаментная плита без деформационных швов на естественном основании. Фундаментная плита переменной толщины: 600 мм — основная часть, до 1500 мм — под главными внутренними колоннами (9 шт.), 2000 мм — под главными наружными колоннами (4 шт.), на которые опирается покрытие.

Система мониторинга фундаментной плиты включает исходные реперы и деформационные марки. Установлено два куста исходных реперов с двух противоположных сторон здания, реперы закреплены на скальном основании. Деформационные марки установлены на вертикальные конструкции коробчатого фундамента таким образом, чтобы основание марки располагалось за рабочей арматурой конструкции. Схема расположения исходных реперов и деформационных марок представлена на рис. 1.


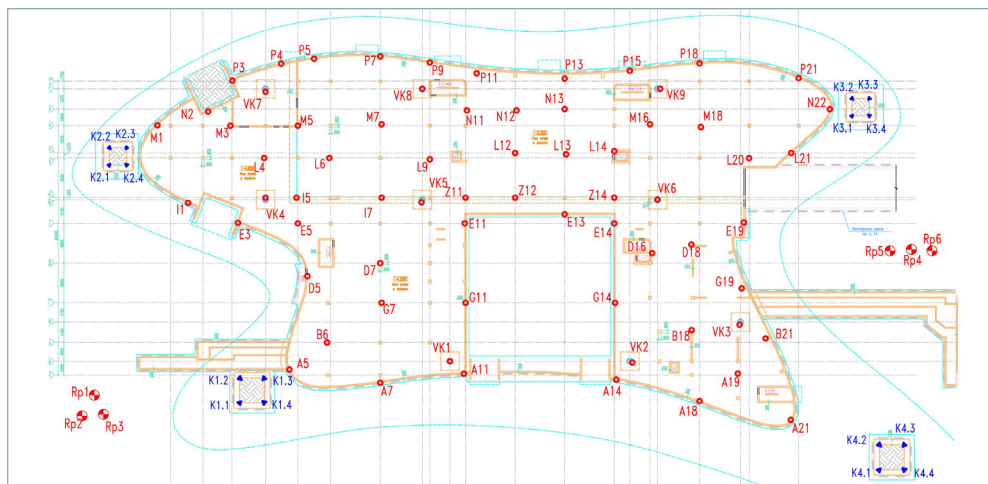
Рис. 1  Расположение реперов и деформационных марок

Fig. 1 Location of benchmarks and deformation marks

- Условные обозначения**
- Rp1–Rp6 исходные реперы
 - M1–A21 деформационные марки на фундаментной плите
 - VK1–VK9 деформационные марки на конструкциях под главными внутренними колоннами
 - K1.1–K4.4 деформационные марки на конструкциях под главными наружными колоннами



2.1 Геометрическое нивелирование

На объекте выполняется наблюдение деформаций конструкций фундаментной плиты методикой высокоточного геометрического нивелирования. Для этого на несущих конструкциях здания расположены 6 глубинных реперов и 109 деформационных марок.

Нивелирование на объекте производится ступенчато путем построения:

- локальной сети высотного обоснования (ход первой ступени);
- хода связи (от исходных реперов до деформационных марок);
- локальных сетей и ходов второй ступени (ходы по деформационным маркам).

Такой способ производства наблюдений практически не сказывается на результатах точности нивелирования, минимизируя влияние кривизны Земли и рефракции земной атмосферы.

Нивелирование по деформационным маркам проводится согласно следующей программе:

- ЗППЗ (где З – задняя рейка, П – передняя рейка) в прямом и обратном направлении, исключен второй горизонт;
- короткими лучами от прибора до реек (расстояние не более 15 м);
- минимальная высота визирования – 0,5 м;
- отсутствует строгий контроль равенства плеч на станции, разница до 2 м.

По требованиям проектной документации точность производства геометрического нивелирования превышает точность I класса: измерения превышений между марками на станции выполняются с точностью 0,15 мм.

При измерениях соблюдается допустимая невязка полигона для I класса:

1

$$f_{Hi} \text{ (мм)} = 0,3\sqrt{n},$$

где f_{Hi} – невязка нивелирного хода;

n – количество штативов в ходе.

Геометрическое нивелирование проводится высокоточным нивелиром Leica LS15 в комплекте с инварными штрихкодowymi рейками. Периодичность наблюдений составляет 1 месяц.

Уравнивание результатов измерений произведено в программе КРЕДО НИВЕЛИР. По результатам наблюдений построен график суммарных осадок по деформационным маркам в программе КРЕДО РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ на последний цикл наблюдений (рис. 2).

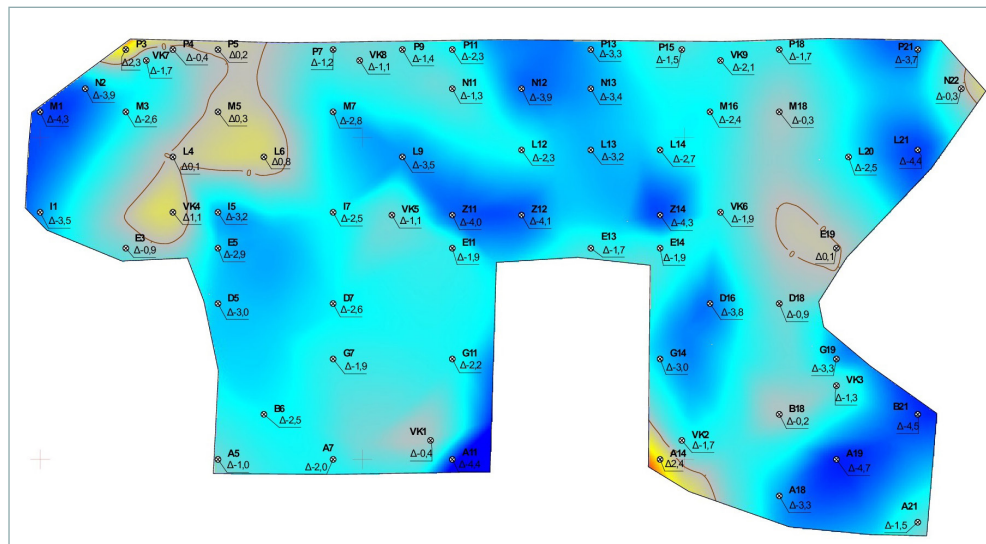
Как видно из рис. 2, прослеживается прогиб фундаментной плиты в сторону деформационных марок A18, A19, B21. Максимальная осадка деформационной марки A19 составила –5,2 мм, средняя осадка фундаментной плиты за весь период наблюдений составила –1,7 мм. Проектной документацией определена расчетная максимальная осадка фундамента –6,0 мм.

Рис. 2

Суммарная осадка по деформационным маркам, мм

Fig. 2

Total settlement by deformation marks, mm



2.2 Тригонометрическое нивелирование

Метод тригонометрического нивелирования для определения разностей высот точек (превышений) базируется на связи угла наклона визирного луча и расстояния между точками. Метод тригонометрического нивелирования является неотъемлемой частью ряда работ при мониторинге деформаций.

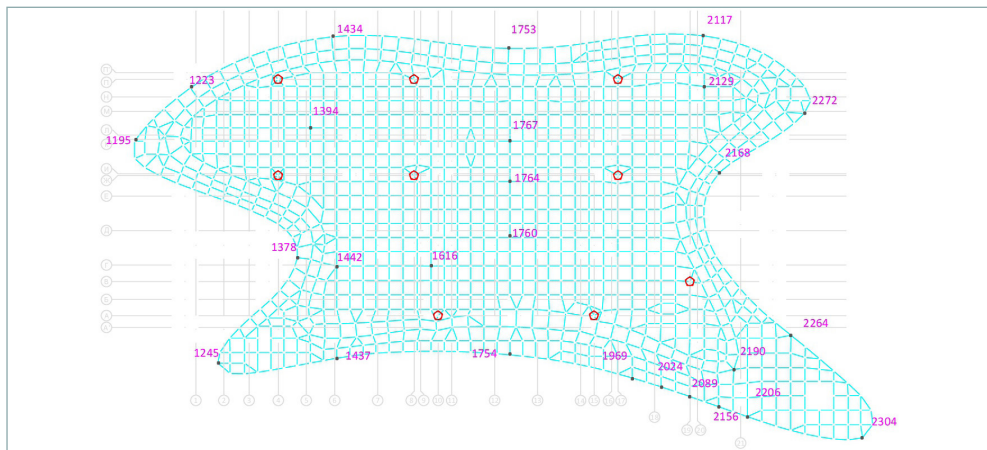
Наблюдения за перемещениями конструкции кровли производятся методом тригонометрического нивелирования по узловым элементам в количестве 9 шт. (рис. 3). Определение вертикальных перемещений выполняется с точностью 2 мм, что, согласно ГОСТ 24846-2019⁴, соответствует точности II класса. Наблюдения производятся методом обратной линейно-угловой засечки с пунктов геодезической разбивочной основы. Для производства наблюдений применяется электронный тахеометр Leica TS09 1".

Рис. 3 

Расположение деформационных марок для наблюдения кровли

Fig. 3

Location of deformation marks for roof observation



Прогиб определяется при анализе полученных значений высотных отметок деформационных марок.

Согласно п. 2 табл. Д.1 СП 20.13330.2016⁵, величина вертикального предельного прогиба между опорами P_1 определяется из соотношения

2 

$$P_1 = l/300,$$

где l — длина пролета (51 000 мм).

Таким образом,

$$P_1 = 51000/300 = 170 \text{ мм.}$$

Согласно примечаниям 1 и 2 к табл. Д.1 СП 20.13330.2016⁵, предельный прогиб для кромки конструкции покрытия P_2 определяется из соотношения

3 

$$P_2 = (2 \times l)/225,$$

где l — длина пролета (7747 мм).

Таким образом,

$$P_2 = 2 \times (7747/225) = 68,8 \text{ мм,}$$

$$P_{\text{общ}} = P_1 + P_2 = 170,0 + 68,8 = 238,8 \text{ мм.}$$

$P_{\text{общ}}$ рассчитывается для каждого узла индивидуально.

⁴ ГОСТ 24846-2019. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2020. С. 3.

⁵ СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/13673/> (дата обращения: 27.05.2025).


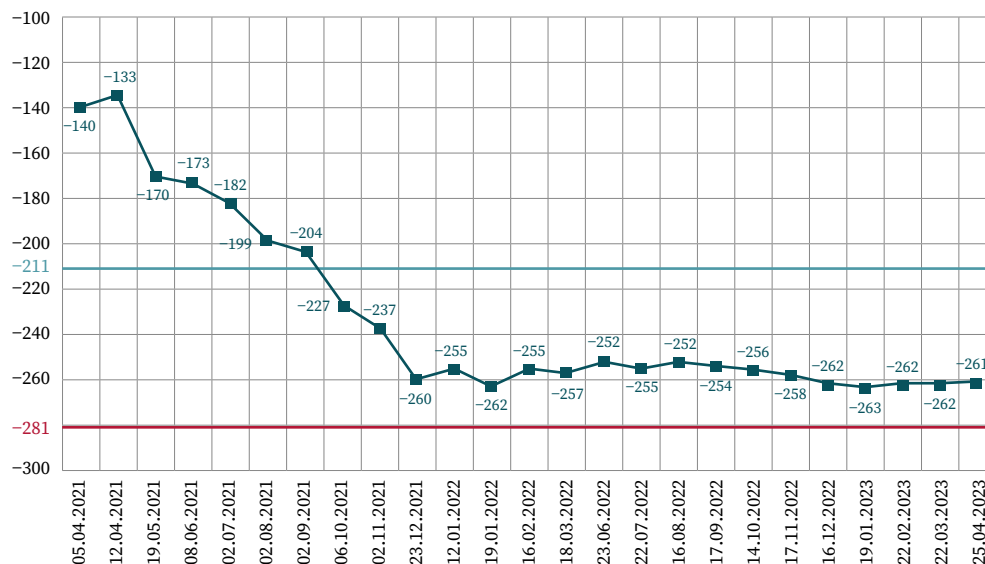
Рис. 4 
Вертикальные перемещения деформационной марки 2089

Fig. 4
Vertical displacements of deformation mark 2089



Согласно проектной документации, наиболее подвержена вертикальным перемещениям деформационная марка 2089 в размере -281 мм. Расчетное положение конструкции с учетом действия постоянных нагрузок проектной документацией определено в -211 мм. На момент последнего цикла измерений абсолютное вертикальное перемещение деформационной марки 2089 составляет -261 мм, что на 50 мм ниже расчетного положения конструкции, но не превышает максимально допустимых значений -281 мм (рис. 4).

Таким образом, полученные значения прогибов конструкций не превышают максимально допустимых величин.

Прогиб по деформационной марке 2089 стабилизируется и не превышает максимально допустимых значений. По материалам наблюдений покрытия кровли методом тригонометрического нивелирования направление и значения деформаций подтверждаются. Деформации кровли и фундаментной плиты согласуются между собой, величины деформаций не критичны.

3 Результаты и обсуждение

По значениям тригонометрического нивелирования получен прогиб конструкций покрытия. Значения величин прогибов в наблюдаемых узлах кровли за последний цикл представлены в табл. 1. Деформация наиболее протяженного пролета в узле 2089 приведена отдельно (табл. 2).

Таблица 1 
Значения величин прогибов в наблюдаемых узлах кровли

Table 1
Values of deflections in the observed roof nodes

| Узел | Величина прогиба в узле, мм | | |
|------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| | Максимально допустимая | Абсолютная (суммарная) | Относительная (текущая) |
| 1223 | -220 | -122 | 0 |
| 1442 | -251 | -89 | 1 |
| 1753 | -234 | -143 | -4 |
| 1754 | -214 | -23 | 3 |
| 1764 | -225 | -103 | -1 |
| 2089 | -281 | -261 | -4 |
| 2117 | -268 | -102 | -5 |
| 2168 | -257 | -60 | 1 |
| 2190 | -234 | -166 | -3 |



Таблица 2 
Деформация наиболее протяженного пролета в узле 2089

Table 2
Deformation of the longest span in node 2089

| Вертикальное перемещение | Значение, мм |
|---------------------------------|--------------|
| Максимально допустимое | -281 |
| Расчетное положение конструкции | -211 |
| Абсолютное | -261 |
| Относительное | -4 |

В результате выполненных работ удалось определить значения стабилизации деформационных процессов конструкций кровли и фундаментной плиты. Анализ данных деформаций свидетельствует о затухании деформаций в целом.

По данным геометрического нивелирования выполнено уравнивание нивелирных ходов. Для оценки качества выполнения полевых измерений уравнивание выполнено с точностью I и I_C класса. При уравнивании I класса учитывались нивелирные хода в прямом и обратном направлении, при уравнивании I_C класса исключен обратный ход из I класса. Из-за большого количества циклов результаты уравнивания представлены только для некоторых циклов наблюдений (табл. 3).

Таблица 3 
Характеристики нивелирных линий
Table 3
Characteristics of leveling lines

| Цикл наблюдений | Линия | Класс | Длина линии, км | Число звеньев | Расстояние между знаками, км | | Невязка линий, мм | | СКО на 1 штатив, мм |
|-----------------|-------|----------------|-----------------|---------------|------------------------------|---------|-------------------|------------|---------------------|
| | | | | | Наибольшее | Среднее | Полученная | Допустимая | |
| 4 | M18 | I | 0,33 | 14 | 0,02 | 0,02 | 0,1 | 0,6 | 0,0367 |
| | | I _C | 0,33 | 14 | 0,02 | 0,02 | 0,2 | 1,1 | 0,0414 |
| 6 | M18 | I | 0,13 | 6 | 0,02 | 0,02 | 0,7 | 1,1 | 0,2715 |
| | | I _C | 0,13 | 6 | 0,02 | 0,02 | 0,5 | 1,1 | 0,1939 |
| 8 | M18 | I | 0,11 | 7 | 0,02 | 0,02 | 0,2 | 0,7 | 0,0917 |
| | | I _C | 0,11 | 7 | 0,02 | 0,02 | 0,3 | 0,7 | 0,1191 |
| 10 | M18 | I | 0,12 | 7 | 0,02 | 0,02 | 0,0 | 0,8 | 0,0151 |
| | | I _C | 0,12 | 7 | 0,02 | 0,02 | 0,0 | 0,8 | 0,0113 |
| 12 | M18 | I | 0,23 | 7 | 0,02 | 0,01 | 0,6 | 0,8 | 0,0804 |
| | | I _C | 0,23 | 7 | 0,02 | 0,01 | 0,6 | 0,8 | 0,1035 |
| 15 | M18 | I | 0,26 | 10 | 0,02 | 0,02 | 0,2 | 0,8 | 0,0748 |
| | | I _C | 0,26 | 10 | 0,02 | 0,02 | 0,3 | 0,8 | 0,0667 |
| 16 | M18 | I | 0,24 | 9 | 0,02 | 0,02 | 0,6 | 0,9 | 0,1220 |
| | | I _C | 0,24 | 9 | 0,02 | 0,01 | 0,9 | 0,9 | 0,1296 |
| 17 | M18 | I | 0,26 | 10 | 0,02 | 0,01 | 0,1 | 0,9 | 0,1604 |
| | | I _C | 0,26 | 10 | 0,02 | 0,02 | 0,0 | 0,9 | 0,1491 |
| 18 | M18 | I | 0,26 | 10 | 0,02 | 0,02 | 0,1 | 0,9 | 0,1496 |
| | | I _C | 0,26 | 10 | 0,02 | 0,02 | 0,0 | 0,9 | 0,1309 |

Анализ показывает, что полученные невязки нивелирных линий I_C класса не превышают допустимых невязок для I класса. ГОСТ 24846-2019⁶ устанавливает, что точность измерений вертикальных смещений составляет 1 мм. Полученные при уравнивании среднеквадратические ошибки не превышают допустимых величин для I класса:

4 
$$m_{изм} \leq 0,5m_k,$$

где $m_{изм}$ — СКО на 1 штатив, мм (значения столбца «СКО на 1 штатив, мм» в табл. 3); m_k — допускаемая погрешность измерения перемещений (1 мм).

На рис. 5 представлен график зависимости допустимых и полученных невязок нивелирных ходов I и I_C класса.

Данные табл. 3 и рис. 5 позволяют выявить более точные наблюдения прямого хода при меньших значениях невязок нивелирных линий для I_C класса в сравнении с I классом. Равенство значений невязок I и I_C класса говорит о равнозначности прямого и обратного хода. Каждый цикл наблюдений выполняется одним и тем же прибором, теми же специалистами, что позволяет добиваться

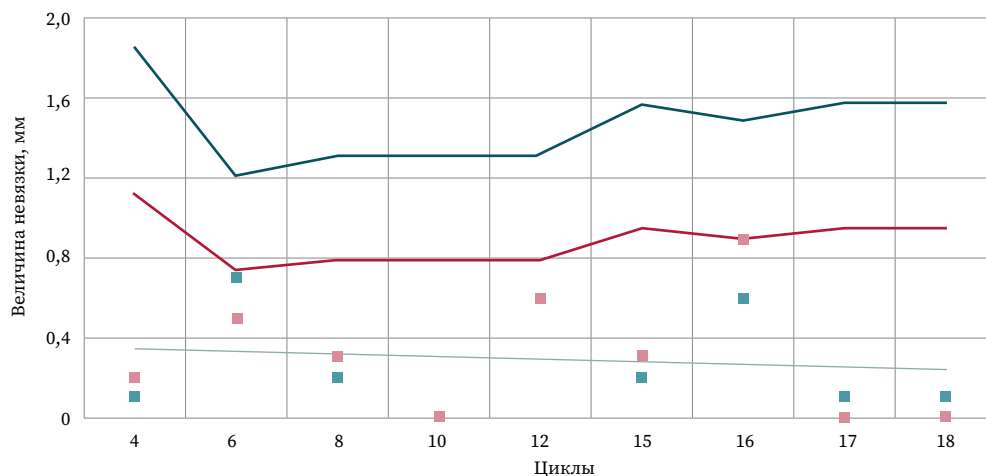
⁶ ГОСТ 24846-2019. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2020. С. 3.

Рис. 5 
Невязки нивелирных линий
I и I_c класса

Fig. 5
Misalignments of leveling lines
of class I and I_c

Условные обозначения

- $0,3\sqrt{n}$
- $0,5\sqrt{n}$
- I класс
- I_c класс
- линейная (I класс)



улучшения точности наблюдений, о чем свидетельствует линия тренда, построенная для I класса.

Выполнено сравнение полученных значений высотных отметок деформационных марок (табл. 4). Ввиду большого объема данных представлена только их часть.

Данные табл. 4 свидетельствуют о минимальном различии в значениях высотных отметок деформационных марок, полученных в результате геометрического нивелирования I класса и усовершенствованного нивелирования I_c класса методом исключения обратного хода. Разницы высотных отметок не превышают значение, соответствующее точности прибора в 0,3 мм, точности наблюдений на станции в 0,15 мм. Анализ наблюдений показывает, что точность производства наблюдений и избыточность собранных данных обеспечивают точность, превышающую точность I класса.


Таблица 4 
Разница высотных отметок
деформационных марок
для I и I_c класса

Table 4
Difference in the height marks
of deformation marks
for class I and I_c

| Марка | Разница высотных отметок, мм | | | | | | | | |
|-------|------------------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | Цикл / месяц и год | | | | | | | | |
| | 4 / 12.2021 | 6 / 02.2021 | 8 / 04.2021 | 10 / 06.2021 | 12 / 08.2021 | 15 / 11.2021 | 16 / 12.2021 | 17 / 01.2022 | 18 / 02.2022 |
| E19 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| VK6 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| D18 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | -0,1 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | -0,1 | 0,0 |
| D16 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | 0,0 | -0,2 |
| G19 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | -0,1 |
| VK3 | 0,0 | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| B21 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 0,0 |
| A21 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | -0,1 | 0,1 | 0,0 |
| A18 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| VK2 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | -0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| A14 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| G14 | 0,1 | -0,1 | 0,0 | -0,1 | -0,2 | -0,1 | 0,1 | 0,0 | -0,1 |
| E14 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| A19 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,0 |
| B18 | 0,0 | 0,0 | -0,1 | 0,0 | 0,1 | -0,1 | -0,1 | 0,1 | -0,1 |
| Ср. | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

На основании анализа экспериментальных данных разработана усовершенствованная программа нивелирования, соответствующая точности I класса:

- ЗП (где З — задняя рейка, П — передняя рейка) в прямом и обратном направлении, исключен второй горизонт;
- короткими лучами от прибора до реек (расстояние не более 15 м);
- минимальная высота визирования — 0,5 м;
- отсутствует строгий контроль равенства плеч на станции, разница плеч до 2 м.

4 Выводы

По наблюдениям прогибов конструкций кровли регистрируются колебания значений деформаций. Наиболее вероятной причиной перемещений в виде колеблющихся горизонтальных и вертикальных значений служит неравномерный нагрев элементов от прямого воздействия солнечного света. Величины деформаций не превышают максимально допустимых значений. Отсутствие скачкообразных изменений отклонений наблюдаемых параметров, а также величины деформации конструкций фундаментов подтверждают стабилизацию конструкции.

Комплексное применение мониторинга технического состояния и геотехнического мониторинга на технически сложных объектах является необходимым. Это позволяет повысить надежность контроля деформаций всего объекта и его отдельных конструкций.

При выполнении геометрического нивелирования посредством электронного нивелира Leica LS15 в комплекте с инварными штрихкодowymi рейками с точностью I класса применима разработанная усовершенствованная методика нивелирования при условии соблюдения точностных характеристик I класса: программа наблюдений ЗП (прямо-обратно), выполнение наблюдений короткими лучами до 15 м, разница плеч на станции до 2 м.


Приведенная в работе методика анализа результатов наблюдений отвечает технологии оценки качества производства геометрического нивелирования и подтверждает высокую точность производства геометрического нивелирования I класса. Исследование качества геометрического нивелирования будет продолжено на основе моделирования случайных ошибок с целью получения статистического обоснования предложенной схемы наблюдений и обработки данных.

БИБЛИОГРАФИЯ


1. Давидюк А.А., Смирнова Ю.А., Долгалев А.П. Автоматизированный мониторинг зданий и сооружений при помощи датчиков // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 55–59. DOI:10.33622/0869-7019.2019.02.55-59.
2. Веселов В.В. Проблемы постановки геодезического мониторинга деформаций зданий и сооружений объектов использования атомной энергии // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы XVII Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций. М.: Геомаркетинг, 2022. С. 110–117.
3. Бабаев И.А., Конушина Е.Ю. Геотехнический мониторинг деформаций зданий и сооружений // Стратегические ресурсы Тюменского АПК: люди, наука, технологии: сборник трудов LVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2024. С. 52–62.
4. Доронина В.Г., Гулякин Д.В. Современные системы автоматизированного мониторинга зданий // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 106-10. С. 31–34. DOI:10.18411/trnio-02-2024-547.
5. Рогозина А.Е., Литвинова О.В. Анализ современного программного обеспечения и перспективы внедрения в массовое строительство // Молодежный вестник ИрГТУ. 2023. Т. 13, № 2. С. 425–431.

6. Гарибин П.А., Ольховик Е.О., Шабанов С.В. Методология организации непрерывного мониторинга технического состояния ГТС водного транспорта // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2015. № 2(674). С. 58–72.
7. Горохова Е.И. Геомониторинг инженерных сооружений и прогнозирование их деформаций по данным лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. 2016. № 2(34). С. 65–72.
8. Ямбаев Х.К. Некоторые аспекты цифровой технологии геодезического мониторинга и диагностики несущих конструкций уникальных инженерных сооружений // Вестник СГУГиТ. 2018. Т. 23, № 3. С. 138–153.
9. Горбунов А.Ю. Подходы к наблюдениям за деформациями инженерных сооружений комплексом геодезических приборов // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: материалы Всероссийской научно-практической конференции «Геонауки-2019». Иркутск: ИРНТИУ, 2019. С. 104–107.
10. Гичаева М.М. Анализ и обобщение результатов исследований существующих методов определения деформаций инженерных объектов // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 91-7. С. 141–144. DOI:10.18411/trnio-11-2022-368.
11. Зарипова Ф.З., Князев А.Г., Кузнецов Э.Д. Контроль производства геометрического нивелирования при мониторинге демонтируемого многоэтажного здания // Грозненский естественно-научный бюллетень. 2025. Т. 10, № 3(41). С. 38–44. DOI:10.25744/genb.2025.3.41.006.


АВТОРЫ **Зарипова Фируза Зарифовна**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ), Екатеринбург, Россия
кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды,
Институт естественных наук и математики
 0009-0004-6792-925X

Князев Алексей Геннадьевич

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ), Екатеринбург, Россия
кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды,
Институт естественных наук и математики
 0009-0005-4294-862X

Кузнецов Эдуард Дмитриевич

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ), Екатеринбург, Россия
кафедра астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды,
Институт естественных наук и математики
д-р физ.-мат. наук, доцент
 0000-0002-9760-0242

Поступила 09.06.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



Monitoring of Deformations of the Airport Complex on a Foundation Slab without Expansion Joints

Firuza Z. Zaripova¹✉, Aleksey G. Knyazev¹, Eduard D. Kuznetsov¹

¹ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

✉ shakirova.fruza@mail.ru


CITATION Zaripova FZ, Knyazev AG, Kuznetsov ED. Monitoring of Deformations of the Airport Complex on a Foundation Slab without Expansion Joints. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 54–66. DOI:10.30533/GiA-2025-059.

KEYWORDS geometric leveling, deformation monitoring, geodetic observations, accuracy class I


ABSTRACT During construction of an object, the foundation slab is subject to deformations from the moment the structures are erected. Depending on the loading stages, the foundation soils, the weight of the structures, deformations can be on the foundation slab, on the supporting vertical structures, and also on the roof covering structures. Geodetic observation methods allow detecting deformations at an early stage of their development, which helps prevent catastrophic collapses. During new construction, the load from the weight of the object is distributed on the foundation slab. The construction of structures occurs gradually, in sections, thus causing uneven deformation of the foundation slab depending on the structures being installed. These deformations subsequently affect other structures: columns, floors, roofing. The accuracy of geodetic observations of technically complex objects is determined individually, at the stage of developing design documentation. The presented work monitors deformations of the foundation slab and roof covering of the construction object. Based on the materials of geodetic observations, geometric leveling was used to model class I_c geometric leveling. The technical characteristics of the leveling runs and the difference in the elevation marks of the deformation marks are considered, allowing us to assess the quality of field measurements. According to the results of leveling lines adjustment, the misalignments of the lines are within the permissible limits of class I accuracy. The obtained difference in the height marks of deformation marks up to 1 mm is an indicator of the quality of class I leveling. The use of an improved observation method is permissible if the accuracy characteristics of class I leveling are observed and work is performed with short arms up to 15 meters.

- REFERENCES**
1. Davidyuk AA, Smirnova YuA, Dolgalev AP. Avtomatizirovanniy monitoring zdanii i sooruzhenii pri pomoshchi datchikov [Automated Monitoring of Buildings and Structures Using Sensors]. *Industrial and Civil Engineering*. 2019;2: 55–59. (In Russian). DOI:10.33622/0869-7019.2019.02.55-59.
 2. Veselov VV. Problemy postanovki geodezicheskogo monitoringa deformatsii zdanii i sooruzhenii ob'ektov ispol'zovaniya atomnoi energii [Problems of Setting up Geodetic Monitoring of Deformations of Buildings and Structures of Nuclear Energy Facilities]. *Prospects for the Development of Engineering Surveys in Construction in the Russian Federation: Proceedings of the Seventeenth All-Russian Scientific and Practical Conference and Exhibition of Survey Organizations*. Moscow: Geomarketing; 2022: 110–117. (In Russian).
 3. Babaev IA, Konushina EYu. Geotekhnicheskii monitoring deformatsii zdanii i sooruzhenii [Geotechnical Monitoring of Deformations of Buildings and Structures]. *Strategic Resources of the Tyumen Agro-Industrial Complex: People, Science, Technology: Proceedings of the LVIII International Scientific and Practical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists*. Tyumen: SAU of the Northern Trans-Urals; 2024: 52–62. (In Russian).
 4. Doronina VG, Gulyakin DV. Sovremennye sistemy avtomatizirovannogo monitoringa zdanii [Modern Systems of Automated Monitoring of Buildings]. *Trends in the Development of Science and Education*. 2024;106-10: 31–34. (In Russian). DOI:10.18411/trnio-02-2024-547.
 5. Rogozina AE, Litvinova OV. Analiz sovremennogo programmno obespecheniya i perspektivy vnedreniya v massovoe stroitel'stvo [Analysis of Modern Software and Prospects for Implementation in Mass Construction]. *Youth Bulletin of IrSTU*. 2023;13(2): 425–431. (In Russian).
 6. Garibin PA, Olkhovik EO, Shabanov SV. Metodologiya organizatsii nepreryvno monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya GTS vodnogo transporta [Methodology for Organizing Continuous Monitoring of the Technical Condition of Water Transport Hydraulic Structures]. *Bulletin of Higher Educational Institutions. Construction*. 2015;2(674): 58–72. (In Russian).
 7. Gorokhova EI. Geomonitoring inzhenernykh sooruzhenii i prognozirovaniye ikh deformatsii po dannym lazernogo skanirovaniya [Geomonitoring of Engineering Structures and Forecasting Their Deformations Based on Laser Scanning Data]. *Vestnik SSUGT*. 2016;2(34): 65–72. (In Russian).
 8. Yambaev HK. Nekotorye aspekty tsifrovoi tekhnologii geodezicheskogo monitoringa i diagnostiki nesushchikh konstruksii unikal'nykh inzhenernykh sooruzhenii [Some Aspects of Digital Technology for Geodetic Monitoring and Diagnostics of Load-Bearing Structures of Unique Engineering Structures]. *Vestnik SSUGT*. 2018;23(3): 138–153. (In Russian).
 9. Gorbunov AYu. Podkhody k nablyudeniya za deformatsiyami inzhenernykh sooruzhenii kompleksom geodezicheskikh priborov [Approaches to Monitoring Deformations of Engineering Structures Using a Complex of Geodetic Instruments]. *Geology, Prospecting and Exploration of Minerals and Methods of Geological Research: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Geosciences-2019"*. Irkutsk: INRTU; 2019: 104–107. (In Russian).
 10. Gichaeva MM. Analiz i obobshchenie rezul'tatov issledovaniy sushchestvuyushchikh metodov opredeleniya deformatsii inzhenernykh ob'ektov [Analysis and Generalization of the Results of Studies of Existing Methods for Determining Deformations of Engineering Objects]. *Trends in the Development of Science and Education*. 2022;91-7: 141–144. (In Russian). DOI:10.18411/trnio-11-2022-368.
 11. Zaripova FZ, Knyazev AG, Kuznetsov ED. Kontrol' proizvodstva geometricheskogo nivelirovaniya pri monitoringe demontiruemogo mnogoetazhnogo zdaniya [Control of Geometric Leveling Production During the Monitoring of a Dismantled Multi-Story Building]. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2025;10(3(41)): 38–44. (In Russian). DOI:10.25744/genb.2025.3.41.006.


AUTHORS **Firuza Z. Zaripova**

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia
Department of Astronomy, Geodesy, Ecology and Environmental Monitoring,
Institute of Natural Sciences and Mathematics
 0009-0004-6792-925X

Aleksey G. Knyazev

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia
Department of Astronomy, Geodesy, Ecology and Environmental Monitoring,
Institute of Natural Sciences and Mathematics
 0009-0005-4294-862X

Eduard D. Kuznetsov

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia
Department of Astronomy, Geodesy, Ecology and Environmental Monitoring,
Institute of Natural Sciences and Mathematics
Dr. of Sci (Physics and Mathematics), Associate Professor
 0000-0002-9760-0242

Submitted: June 09, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.