

Д. О. Григорьев^{1✉}, О. А. Коробова¹, Л. А. Максименко²

Анализ точности измерения превышений цифровым и оптическим нивелирами

¹Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: grigorev.dmitriy.17.09.1995@mail.ru

Аннотация. В работе проведен анализ точности измерения превышений для высокоточного оптического нивелира Koni-007 и цифрового нивелира EFT L-0.7. Рассмотрена возможность использования цифрового нивелира как высокоточного прибора, для определения деформаций зданий и сооружений, проведен сравнительный анализ оптического и цифрового нивелиров, получены значения средней квадратической погрешности измерения отдельного превышения.

Ключевые слова: средняя квадратическая погрешность измерения превышения, точность измерений

D. O. Grigoriev^{1✉}, O. A. Korobova¹, L. A. Maksimenko²

Analysis of the accuracy of elevation measurements with digital and optical levels

¹Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin),
Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: grigorev.dmitriy.17.09.1995@mail.ru

Abstract. This paper analyzes the accuracy of elevation measurements for the high-precision Koni-007 optical level and the EFT L-0.7 digital level. The feasibility of using the digital level as a high-precision instrument for determining building and structure deformations is explored. A comparative analysis of the optical and digital levels is conducted, and the root mean square error of individual elevation measurements is obtained.

Keywords: root mean square error of elevation measurements, measurement accuracy

Введение

При строительстве и дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений важной задачей является геодезический мониторинг за деформациями фундаментов таких объектов. Одним из наблюдаемых процессов в ходе мониторинга является осадка здания, т.е. изменение его геометрического положения в вертикальной плоскости. Осадка зданий и сооружений бывает равномерная, которая со временем затухает и прекращается. Неравномерная осадка вызывает крены, прогибы, перекосы, кручения, разрывы объекта [1].

Методы и материалы

Наблюдение за осадками зданий или сооружений проводятся в период строительства не менее 4-х циклов. Количество циклов наблюдений в период эксплуатации зависит, прежде всего, скорости осадки. Общее время, при котором следует продолжать мониторинг, зависит от вида грунта, слагающего основание: для глинистых грунтов составляет от 5 до 10 лет, для песчаных грунтов от 2-х до 3-х лет [2]. Согласно СП 126.133302017 Геодезические работы в строительстве цикличность определения абсолютных осадок в период 1-3 года после строительства должно осуществляться 1-2 раза в квартал, в период эксплуатации 2 раза в год [3].

Главной характеристикой при измерении абсолютных осадок зданий является ее средняя квадратическая погрешность (СКП), которая зависит от класса точности измерений вертикальных перемещений. Класс точности определяется видом грунта в основании здания: I-ый класс – скальные, полускальные грунты и высотные здания, СКП – ± 1 мм; II-ой класс – сжимаемые грунты, промышленные и гражданские здания повышенной этажности, СКП – ± 2 мм; III-ий класс – просадочные и сильносжимаемые грунты, СКП – ± 5 мм [2].

Для обеспечения заданной точности необходимо использовать нивелиры, средняя квадратическая погрешность измерения превышения которых, ниже или равна заданному классу.

Измерение осадок проводится методом геометрического нивелирования, где используется нивелир и две рейки. Чтобы обеспечить точность I или II классов используют высокоточный нивелир и инварные рейки. Методика измерений и обработка результатов указана в Инструкции по нивелированию I, II, III, IV классов [4]. В последнее время на рынке геодезического оборудования широкое применение находят цифровые нивелиры с кодовыми рейками, точность которых, как указано в их технических характеристиках, удовлетворяет средним квадратическим погрешностям измерения превышений для I или II классов.

Анализ точности измерения превышений выполнен с использованием высокоточного оптического нивелира Koni-007, представленного на рис. 1 и цифрового нивелира EFT L-0.7, представленного на рис. 2. Технические характеристики нивелиров представлены в табл. 1. [5,6]



Рис. 1. Высокоточный оптический нивелир Koni-007



Рис. 2. Цифровой нивелир EFT L-0.7

Таблица 1. Характеристики нивелиров

Наименование характеристики	Koni-007	EFT L-0.7
Точность измерения превышения	0,5 мм на 1 км двойного хода	0,7 мм на 1 км двойного хода
Увеличение зрительной трубы, крат	31,5	32
Изображение	Прямое	Прямое
Поле зрения трубы	-	1°20'
Точность круглого уровня	8'/2 мм	8'/2 мм
Точность работы компенсатора	0,2"/1'	0,3"/1'
Диапазон работы компенсатора	±10'	±12'
Тип компенсатора	маятниковый	маятниковый с магнитным демпфером

Измерение превышения оптическим нивелиром проводилось по методике, указанной в [4].

1. Отсчет по основной шкале задней рейки.
2. Отсчет по основной шкале передней рейки.
3. Отсчет по дополнительной шкале передней рейки.
4. Отсчет по дополнительной шкале задней рейки.

Измерение превышения цифровым нивелиром проводилось по методике, указанной в [7]:

1. Отсчет на заднюю рейку (трижды взять отсчет).
2. Отсчет на переднюю рейку (трижды взять отсчет).

Измерение превышения на станции выполняли способом из середины по 10 раз. Расстояние от прибора до реек составляло 5 и 25 м, разница плеч в обоих случаях была менее 0,5 м. Полученные результаты представлены в табл. 2–5. Также в этих таблицах содержатся сведения о средних значениях превышений, вероятнейших ошибках измерений (V_i), квадратах вероятнейших ошибок измерений (V_i^2), необходимых для расчета точности.

Таблица 2. Превышение, измеренное оптическим нивелиром Koni-007 (расстояние 5 м.)

№ п/п	Значение превышения, h_i , мм	V_i	V_i^2
1	-41,7	-0,2	0,04
2	-42,0	-0,5	0,25
3	-41,0	+0,5	0,25
4	-41,2	+0,3	0,09
5	-41,3	+0,2	0,04
6	-41,4	+0,1	0,01
7	-41,2	+0,3	0,09
8	-41,8	-0,3	0,09
9	-41,7	-0,2	0,04
10	-41,6	-0,1	0,01
	$\bar{h} = -41,5$	$[V_i] = 0$	$[V_i^2] = 0,91$

Таблица 3. Превышение, измеренное цифровым нивелиром EFT L-0.7 (расстояние 5 м.)

№ п/п	Значение превышения, h_i , мм	V_i	V_i^2
1	-41,4	+0,6	0,36
2	-41,4	+0,6	0,36
3	-41,4	+0,6	0,36
4	-42,0	0,0	0,00
5	-41,9	+0,1	0,01
6	-42,3	-0,3	0,09
7	-42,5	-0,5	0,25
8	-42,4	-0,4	0,16
9	-42,4	-0,4	0,16
10	-42,3	-0,3	0,09
	$\bar{h} = -42,0$	$[V_i] = 0$	$[V_i^2] = 1,84$

Таблица 4. Превышение, измеренное оптическим нивелиром Koni-007 (расстояние 25 м.)

№ п/п	Значение превышения, h_i , мм	V_i	V_i^2
1	-41,6	+0,1	0,01
2	-41,5	+0,2	0,04
3	-41,8	-0,1	0,01
4	-41,9	-0,2	0,04
5	-41,6	+0,1	0,01
6	-42,2	-0,5	0,25
7	-42,2	-0,5	0,25
8	-41,2	+0,5	0,25
9	-41,4	+0,3	0,09
10	-41,8	-0,1	0,01
	$\bar{h} = -41,7$	$[V_i] = 0$	$[V_i^2] = 0,96$

Таблица 5. Превышение, измеренное цифровым нивелиром EFT L-0.7 (расстояние 25 м.)

№ п/п	Значение превышения, h_i , мм	V_i	V_i^2
1	-42,3	+0,3	0,09
2	-43,0	-0,4	0,16
3	-42,9	-0,3	0,09
4	-42,6	0,0	0,00
5	-42,8	-0,2	0,04
6	-42,4	+0,2	0,04
7	-42,3	+0,3	0,09
8	-42,4	+0,2	0,04
9	-42,9	-0,3	0,09
10	-42,4	+0,2	0,04
	$\bar{h} = -42,6$	$[V_i] = 0$	$[V_i^2] = 0,68$

Результаты

В соответствии с [8-10] средняя квадратическая погрешность измерения превышения вычислялась по формуле Гаусса:

$$m_h = \sqrt{\frac{[V^2]}{n-1}}.$$

Средняя квадратическая погрешность арифметической середины вычислялась по формуле:

$$M_h = \frac{m_h}{\sqrt{n}}.$$

Результаты расчета m_h и M_h представлены в таблице 6.

Таблица 6. Сравнительный анализ m_h и M_h для нивелиров Koni-007 и EFT L-0.7

Наименование нивелиров	Средняя квадратическая погрешность измерения одного превышения m_h , мм		Средняя квадратическая погрешность измерения арифметической середины M_h , мм	
	5 м	25 м	5 м	25 м
Оптический нивелир Koni-007	0,3	0,3	0,09	0,09
Цифровой нивелир EFT L-0.7	0,5	0,3	0,2	0,09

По результатам проведенного анализа видно, что значения СКП измерения одного превышения для оптического и цифрового нивелира на коротком расстоянии имеют незначительное расхождение (0,2 мм), а на расстоянии 25 м значения m_h получились одинаковыми. Следовательно, цифровой нивелир EFT L-0.7 можно использовать при выполнении высокоточного нивелирования и для наблюдения за

деформациями зданий и сооружений, тем самым сокращая временные затраты, возникающие при работе с оптическим высокоточным нивелиром Koni-007. Главное, при работе с цифровым нивелиром использовать методику измерения превышения, указанную в ГОСТ, т.е. брать для контроля три отсчета по рейке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шеховцов Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений [Текст]: монография; / Г.А. Шеховцов, Р.П. Шеховцова; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т –Н.Новгород: ННГАСУ, 2009. – 156 с.
2. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1975. 156 с.
3. Российская Федерация. Законы. Свод правил. Геодезические работы в строительстве : СП 126.13330.2017 : [УТВЕРЖДЕН приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 октября 2017 г. № 1469/пр и введен в действие с 25 апреля 2018 г.]. - Москва : Стандартинформ, 2018. - 58 с. - Текст : непосредственный.
4. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. Федеральная служба геодезии и картографии России. М., Картгеоцентр-Геодезиздат, 2004, 244 с, 35 ил. ISBN 5-247-02243-2.
5. Нивелир оптический Koni 007. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://go-rgeomeh.ru/company/oborudovanie/nivelir-opticheskij-koni-007/?ysclid=mmrqal43ak238594516> (Дата обращения 15.03.2025).
6. Цифровой нивелир EFT L-0.7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://eftgroup.ru/catalog/niveliry/tsifrovye_niveliry/tsifrovoy_nivelir_eft_l_0_7/ (Дата обращения 15.03.2025).
7. ГОСТ Р 72354-2025. Методика исследования цифровых нивелиров. : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 октября 2025 г. № 1295-ст : введен впервые : дата введения 2025-10-28 / разработан ППК «Роскадастр». - Москва : Российский институт стандартизации, 2025. - 28 с. - Текст : непосредственный.
8. Кравченко, Ю. А. Геодезия : учебник. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 344 с.
9. Кулешов Д. А., Стрельников Г. Е. Инженерная геодезия для строителей: Учебник для вузов – М.: Недра, 1990. — 256 с.: ил.
10. Инженерная геодезия: Учебник для вузов / Е. Б. Ключин, Иб2 М.И.Киселев, Д.Ш.Михелев, В.Д.Фельдман; Под ред. Д. Ш. Михелева. – 4-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 480 с.

© Д. О. Григорьев, О. А. Коробова, Л. А. Максименко, 2026