

УДК 528.024

Опыт применения цифровых нивелиров и программного обеспечения CREDO НИВЕЛИР для мониторинга инженерных сооружений

Н. В. Канашин, Д. А. Афонин

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Канашин Н. В., Афонин Д. А. Опыт применения цифровых нивелиров и программного обеспечения CREDO НИВЕЛИР для мониторинга инженерных сооружений // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2023. — Т. 20. — Вып. 2. — С. 492–500. DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-492-500

Аннотация

Цель: Изложение опыта работы цифровыми нивелирами на строительной площадке при многолетнем контроле осадок как строящихся, так и эксплуатируемых инженерных сооружений в условиях сжатости сроков, значительном объеме работ, ограниченности ресурсов и неблагоприятных условиях наблюдений с одновременной необходимостью их выполнения с высокой точностью. **Методы:** Теория ошибок измерений, метод наименьших квадратов, параметрический способ уравнивания. **Результаты:** Показано, что цифровые нивелиры различных производителей хотя и применяются для решения различных геодезических задач, а исследованиям влияния различных факторов на точность получаемого ими результата посвящены работы многих авторов, но в реальных условиях производства ряд таких факторов исключить невозможно, что приводит к ухудшению точности результатов нивелирования. Выработаны практические рекомендации математической обработки построенных цифровыми нивелирами нивелирных сетей в программной среде CREDO НИВЕЛИР, предложены нестандартные типы осадочных марок с указанием методики выполнения наблюдений при их использовании. На основе известной зависимости угла i цифрового нивелира от температуры окружающей среды предложена оригинальная методика его определения, в том числе в условиях выхода полученного значения за пределы его компенсации программным обеспечением нивелира. Показано, что полученные на основе опыта работы с цифровыми нивелирами выводы позволяют при контроле осадок инженерных сооружений повысить точность таких работ, а также снизить их трудоемкость. **Практическая значимость:** Изложенные в статье выводы и результаты получены на основе многолетнего контроля осадок как строящихся, так и эксплуатируемых инженерных сооружений и могут быть реализованы при инженерно-геодезическом обеспечении строительства.

Ключевые слова: Мониторинг, контроль осадок, цифровые нивелиры, геодезическое обеспечение строительства, нивелирование.

Введение

Цифровые нивелиры различных производителей сегодня широко распространены в геодезической практике при выполнении различных работ [1–7], а исследованиям влияния различных факторов на точность получаемого ими результата посвящены работы многих авторов [8–16].

Однако, на наш взгляд, большинство исследований по этой теме имеют узкую область применения, не учитывают в большинстве случаев невозможность исключения в условиях геодезического обеспечения строительства некоторых факторов, оказывающих влияние на точность измерений превышений цифровыми нивелирами (освещен-

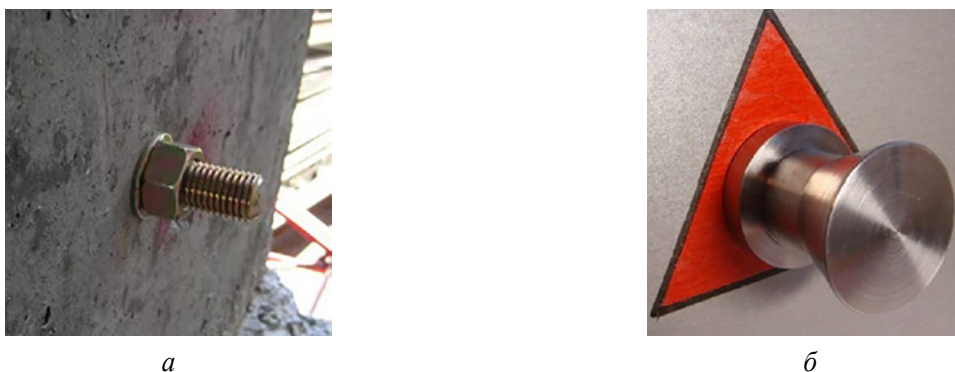


Рис. 1. Примеры стандартных марок, применяемых для контроля деформаций:
а — самораспорный анкерный болт; *б* — цельно стальная деталь, закрепляемая химическим анкером



Рис. 2. Использование крючков в качестве осадочных марок:
а — Общий вид; *б* — установка рейки для наблюдений

ности, пыли и иных), а также не дают практических рекомендаций математической обработки выполненных цифровыми нивелирами измерений в современных программных продуктах. Поэтому цель настоящей статьи — изложение опыта работы с цифровыми нивелирами и программным обеспечением при мониторинге деформаций строящихся или эксплуатируемых инженерных сооружений и выработка практических рекомендаций его выполнения в условиях сжатости сроков, значительном объеме работ,

ограниченности ресурсов и неблагоприятных условиях наблюдений с одновременной необходимостью их выполнения с высокой точностью.

Методы и материалы

Изложенные ниже рекомендации выработаны на основе многолетнего контроля осадок как строящихся (стадион «G-Drive Арена», г. Омск, физкультурно-оздоровительный комплекс «Центр художественной гимнастики», г. Сочи), так и эксплуатируемых (стадионы «Ростов Арена»,

г. Ростов-на-Дону, «Солидарность Самара Арена», г. Самара, «Калининград», г. Калининград) сооружений. Контроль осадок на всех указанных объектах выполняли по программе II класса точности измерений согласно ГОСТ [17] цифровым нивелиром Trimble Dini-03 и инварной рейкой типа LD-12.

Одной из общих для всех указанных объектов особенностью являлась невозможность установки в ряде контролируемых узлов стандартных марок — анкеров, закрепляемых в нижней части контролируемого элемента конструкции (например, показанных на рис. 1), что было связано с необходимостью контроля прогибов и осадок балок и плит перекрытий, а также эстетическими требованиями заказчика.

В таких случаях в качестве осадочных марок применяли металлические крючки, закрепляемые в контролируемом узле так, чтобы обеспечить возможность подвеса инварной рейки с помощью ответного крючка, закрепляемого в магните и устанавливаемого на тыльной стороне рейки (рис. 2). Такой вариант позволяет отказаться от использования отрицательных отсчетов по рейке и ускорить процесс наблюдений, а также закрепить марки в малозаметных местах.

Двухгодичный опыт контроля осадок с помощью таких марок показал, что их применение не оказывает существенного влияния на точность измерений, а применение однотипных крючков различных производителей приводит к изменению отсчетов, не превышающих 0,2–0,3 мм.

На некоторых из рассматриваемых объектов такой способ в силу требований заказчика к невозможности закрепления марок в теле конструкции и необходимости обеспечения их малозаметности был невозможен, в силу чего использовали пленочные отражатели малого размера, закрепляемые в труднодоступных местах у плинтуса или галтели помещения. Очевидно, что их использование неизбежно приводит к уменьше-



Рис. 3 Установка рейки на ребро пленочного отражателя

нию точности измерений в силу неоднозначности установки на них рейки, особенно в указанных условиях — при отсутствии оптической видимости центра отражателя. Полностью исключить этот фактор нельзя, однако возможно ослабить его влияние путем установки рейки не на центр, а на ребро отражателя (рис. 3). Опыт работ с помощью такого типа марок показал, что предельная ошибка определения их отметок в различных циклах наблюдений не превышает 1 мм.

При выполнении работ в разное время года наблюдения одновременно приходится выполнять при различных температурах (например, на улице и внутри сооружения), при этом их разность, особенно в зимних условиях, может достигать более 40 °С. Учитывая зависимость угла i цифрового нивелира от температуры окружающей среды [10, 12], а также невозможность в ряде случаев соблюдения равенства плеч при

а

Пункт	№ секции	Δh , м	L, км
S3			
D1	1	-0,059	0,008
D2	2	-0,004	0,013
D3	3	0,002	0,013
D4	4	0,000	0,009
D5	5	0,018	0,026

б

Пункт	№ секции	Δh , м	L, км
S3			
D1	1	-0,0592	0,008
D2	2	-0,0045	0,013
M55	3	0,0897	0,002
D3	4	-0,0879	0,013
D4	5	0,0000	0,009
D5	6	0,0183	0,026
D6	6	-0,0013	0,007

Рис. 4. Изменение геометрии хода в программе CREDO Nivelir:
 а — исходная геометрия хода; б — ход с добавленной узловой точкой (осадочная марка M55)

работе внутри строящегося сооружения, таким перепадом температур пренебрегать нельзя, что вынуждает выполнять поверку главного условия нивелира несколько раз в день, каждый раз перед ее началом выдерживая нивелир до принятия им температуры условий наблюдений.

Интервал времени, необходимый для выполнения этого условия, в нормативных документах, например инструкции [18], постоянен и равен 45 минутам. Однако опыт работ показал, что в зависимости от условий наблюдений и разности температур он может быть и больше. Поэтому на рассматриваемых объектах этот интервал каждый раз определяли опытным путем, выдерживая прибор в течение 45 минут, после чего тремя приемами выполняя поверку главного условия, учитывая рекомендации работы [12] — после каждого приема контролируя динамику изменения угла i (у нивелира Dini-03 при охлаждении инструмента он уменьшается), учитывая, что средняя скорость изменения угла у указанного нивелира i составляет 0,3» на 1 °С изменения температуры. Поверку считали выполненной, когда угол i переставал уменьшаться при охлаждении прибора (при нагревании увеличиваться), а его расхождение между приемами не превышало 2»–3».

Необходимо отметить, что нивелир Dini-03 позволяет программно учитывать поправку за угол i только в том случае, когда его значение не превышает 100». Однако на практике встречались

такие случаи, когда указанный угол превышал эту величину — например, при выполнении наблюдений прибором, изначально имеющим близкое к предельному значению угла i . Учитывая, что само значение искомого угла вычисляется и выводится на дисплей прибора его программным обеспечением, а расстояние до рейки в процессе наблюдений измеряется, поправку за невыполнение главного условия в таких ситуациях вычисляли и вводили в измеренные превышения в камеральных условиях в среде *Microsoft Excel*.

Для измерения превышений на всех рассматриваемых объектах прокладывали систему нивелирных ходов от глубинных грунтовых реперов. Математическую обработку измерений выполняли в программе CREDO Nivelir, опыт работы с которой позволил выявить особенности, которые необходимо учитывать не только при камеральных, но и полевых работах.

Так, в текущей версии программы, в отличие от CREDO DAT, не реализован процесс автоматического распознавания узловых точек хода, когда наблюдения хотя бы на одну из них выполнены в режиме «Промежуточные измерения». Конечно, при наблюдениях за осадками с целью контроля измерений и получения оценки их точности нивелирные ходы стремятся прокладывать по осадочным маркам. Однако при существенном их количестве это приводит к увеличению трудозатрат. Кроме того, при выполнении измерений внутри строящегося

Оценка качества уравнивания:

Этап успешно завершен.

Построение ковариационной матрицы...

Априорные характеристики (до уравнивания):

Доверительная вероятность: $\alpha = 0,683$

СКО единицы веса: $\mu_0 = 1,000$

Апостериорные характеристики (по результатам уравнивания):

Число избыточных измерений (степеней свободы): $r = 20$

СКО единицы веса: $\mu = 1,008$

 χ^2 -контроль:

Тест выполняется: $0,830 \leq \mu \leq 1,145$

- Ход № 4 (RP2, U1, ... , RP1) - недопустимая невязка хода - -0,0022 м, допустимая невязка - 0,0016 м.
- Ход № 9 (RP3, R1, ... , M85) - недопустимая невязка хода - -0,0008 м, допустимая невязка - 0,0007 м.
- Ход № 11 (СМ11.8, O1, ... , M99) - недопустимая невязка хода - -0,0008 м, допустимая невязка - 0,0006 м.

Рис. 5. Протокол уравнивания нивелирной сети в программе CREDO Нивелир

сооружения условия наблюдений в каждом цикле различны, что вынуждает изменять их программу, заранее составить которую невозможно. Это заставляет выполнять измерения на узловые точки хода не только в режиме «Нивелирный ход», но и в режиме «Промежуточные измерения», а игнорирование узловых точек при математической обработке таких измерений приводит к искаженным результатам. Поэтому в таких ситуациях изменяли геометрию хода, добавляя нераспознанный узел в качестве точки хода, вычисляя превышение и плечо нивелирования на основе предварительно вычисленных отметок и измеренных расстояний до реек (рис. 4).

Выполнение измерений цифровым нивелиром Trimble Dini-03 в комплекте с одной инварной рейкой, как показал опыт, позволяет получать высокоточные измерения — фактические невязки в ходах нивелирования при выполнении мониторинга обычно существенно ниже установленных инструкцией [18] даже для I класса. При уравнивании таких измерений апостериорная средняя квадратическая ошибка единицы веса существенно меньше единицы. Изменением априорных значений ошибок измерений превышений это исправляется, однако из-за одновременного изменения допусков невязок их значения

оказываются выше допустимых, что отражается в протоколе уравнивания (рис. 5).

На наш взгляд, в таких ситуациях приоритетным является значение апостериорной ошибки единицы веса, характеризующей корректность весов измерений и, как следствие, влияющей на качество уравнивания. Недопустимость невязок отдельных ходов является в некоторой мере искусственной и не влияющей на корректность конечного результата.

Еще одной особенностью работы CREDO Нивелир является зависимость значений исходных данных в таблице «Пункты ПВО» от результатов нивелирования. Так, при формировании нивелирных ходов в условиях наличия одноименных пунктов в указанной таблице и файле цифрового нивелира программа изменяет отметки имеющихся исходных пунктов в таблице в соответствии с их значениями в файле, что при невнимательности может приводить к неверным вычислениям. Заметим, что подобного неудобства нет в других продуктах компании, например CREDO DAT или CREDO Транскор, — там значения координат и высот исходных пунктов остаются неизменными при любом виде импорта, а при конфликте имен возникает соответствующий запрос.

Результаты

Применение отмеченных приемов при контроле осадок инженерных сооружений позволило обеспечить требования заказчика, выполнить работы с заданной точностью, а также снизить их трудоемкость. Следует, однако, отметить, что достижение такого результата было бы невозможным без соблюдения известных правил геодезических измерений и вычислений: избегания установки нивелирного башмака и штатива на асфальт или обледенелые части строящегося сооружения, контроля запыленности осадочных марок перед установкой рейки, записи значений измерений на один разряд выше, чем это необходимо в конечном результате для снижения влияния ошибок округлений и иных.

Заключение

Современные цифровые нивелиры при соблюдении должных требований обеспечивают высокую точность измерений и позволяют пользователю использовать различные способы решения нестандартных задач при мониторинге инженерных сооружений, поэтому изложенные в статье приемы не являются единственно возможными.

Библиографический список

1. Скрипников В. А. Опыт применения цифрового нивелира DiNi03 при выполнении повторного высокоточного гидротехнического нивелирования / В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь — 2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). — Новосибирск: СГГА, 2013. — Т. 3. — С. 189–192.
2. Beshr Ashraf A. A. Investigating the accuracy of digital levels and reflectorless total stations for purposes of geodetic engineering / Ashraf A. A. Beshr, Islam M. Abo Elnaga // Alexandria Engineering Journal. — 2011. — Iss. 50. — Pp. 399–405.
3. Sargazakova S. S. Application of electronic levels and impact of their accuracy on construction measurements / S. S. Sargazakova, M. D. Kudabayev, A. A. Sargazakov et al. // The herald of Kyrgyz state university of construction, transport and architecture named after N. Isanov — 2020. — Iss. 3(69). — Pp. 344–349.
4. Илюхин Д. А. Применение цифровых нивелиров для наблюдения за осадками сооружений / Д. А. Илюхин // Записки горного института. — 2012. — Т. 196 — С. 65–67.
5. Рябова Н. М. Исследование и совершенствование методики нивелирования I и II классов с применением цифровых нивелиров: дисс. ... канд. техн. наук / Н. М. Рябова. — Новосибирск, 2013. — 176 с.
6. Уставич Г. А. Совершенствование технологии геометрического инженерно-геодезического нивелирования цифровыми нивелирами / Г. А. Уставич // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. — 2014 — № 32 — С. 206–210.
7. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики / А. В. Никонов // Вестник СГГА. — 2013. — Вып. 4(24). — С. 12–18.
8. Новоселов Д. Б. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности / Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь — 2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). — Новосибирск: СГГА, 2013. — Т. 1. — С. 117–121.
9. Уставич Г. А. Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир + штрихкодированная рейка» / Г. А. Уставич, Х. К. Ямбаев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2013. — № 3. — С. 8–13.
10. Рябова Н. М. Исследование величины изменения угла i цифрового нивелира в зависимости от изменения температуры / Н. М. Рябова, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина // Вестник СГГА. — 2013. — Вып. 4(24). — С. 19–24.

11. Уставич Г. А. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров / Г. А. Уставич и др. // Вестник СГГА. — 2010. — Вып. 2(13). — С. 3–8.
12. Никонов А. В. Влияние перепадов температуры окружающей среды на главное условие цифрового нивелира при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений / А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина // Вестник СГГА. — 2016. — Вып. 2(34). — С. 24–33.
13. Gučević J. Determining temperature dependence of collimation error of digital level Leica DNA 03 / J. Gučević, S. Delčev, V. Ogrizović // TS08E Engineering Surveying — Equipment. FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures. Marrakech, Morocco, 18–22 May 2011.
14. Уставич Г. А. Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами / Г. А. Уставич, Е. Л. Соболева, Н. М. Рябова и др. // Геодезия и картография. — 2011. — № 5. — С. 3–9.
15. Новоселов Д. Б. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности / Д. Б. Новоселов, Б. А. Новоселов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь — 2013. IX Междунар. науч. конгр.: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). — Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. — С. 117–121
16. Калинченко И. С. Исследование влияния природно-климатических факторов на точность геодезических измерений превышений цифровым нивелиром Trimble DiNi12 / И. С. Калинченко, А. И. Уваров // Вестник ОмГАУ. — 2012. — № 4(8). — С. 49–53.
17. Межгосударственный стандарт ГОСТ 24846—2012. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений. — М.: Стандартинформ, 2019. — 19 с.
18. ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. — М.: Картогеоцентр — Геодезиздат, 2004. — 244 с.
- Дата поступления: 10.03.2023
Решение о публикации: 04.04.2023

Контактная информация:

КАНАШИН Николай Владимирович — канд. техн. наук, доц.; nikolay_kanashin@mail.ru
АФОНИН Дмитрий Андреевич — канд. техн. наук, доц.; Afonin83@yandex.ru

Experience in the Use of Digital Levels and CREDO NIVELIR Software for Monitoring Engineering Structures

N. V. Kanashin, D. A. Afonin

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Kanashin N. V., Afonin D. A. Experience in the Use of Digital Levels and CREDO NIVELIR Software for Monitoring Engineering Structures // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2023, vol. 20, iss. 2, pp. 492–500. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2023-2-492-500

Summary

Purpose: To present the experience of working with digital levels at a construction site during long-term settlement monitoring settlement of both engineering structures under construction and in operation in conditions of tight time constraints, a significant amount of work, limited resources and adverse observation conditions with the simultaneous need to perform them with high accuracy. **Methods:** Theory of measurement errors, least squares method, parametric adjustment method. **Results:** It is shown that digital levels of various manufacturers, although they are used to solve various geodetic problems, and the work of many authors is devoted to the study of the influence of various factors on the accuracy of the result obtained by them, but in real

production conditions a number of such factors cannot be excluded, which leads to a deterioration in the accuracy of the leveling results. Practical recommendations for mathematical processing of leveling networks built by digital levels in the CREDO NIVELIR software environment are developed, non-standard types of settlement marks are proposed with an indication of the methodology for performing observations when using them. Based on the known dependence of the tilt angle of the digital level on the ambient temperature, an original method for its determination is proposed, including situations when the obtained value exceeds its compensation limits by the level software. It is shown that the conclusions obtained on the basis of the experience of working with digital levels make it possible to increase the accuracy of such work, as well as reduce their labor intensity, when monitoring the settlement of engineering structures. **Practical significance:** The conclusions and results presented in the article have been obtained on the basis of long-term control of the settlement of both engineering structures under construction and in operation and can be implemented by engineering and geodetic construction support.

Keywords: Monitoring, settlement control, digital levels, geodetic construction support, leveling.

References

1. Skripnikov V. A., Skripnikova M. A. *Opyt primeneniya cifrovogo nivelira DiNi03 pri vypolnenii povtornogo vysokotochnogo gidrotekhnicheskogo nivelirovaniya. Interexpo GEO-Sibir' — 2013. IХ Mezhdunar. nauch. kongr.: Mezhdunar. nauch. konf. "Geodeziya, geo-ifomatika, kartografiya, markshejderiya": sb. materialov v 3 t. (Novosibirsk, 15–26 aprelya 2013 g.)* [Experience of using the DiNi03 digital level when performing repeated high-precision hydraulic leveling. Interexpo GEO-Siberia — 2013. IX Intern. scientific Congr.: Intern. scientific conf. "Geodesy, geoinformatics, cartography, mine surveying": compilation materials in 3 volumes (Novosibirsk, April 15–26, 2013)]. Novosibirsk: SGGА Publ., 2013, vol. 3, pp. 189–192. (In Russian)
2. Beshr Ashraf A. A., Elnaga Islam M. Abo Investigating the accuracy of digital levels and reflectorless total stations for purposes of geodetic engineering. *Alexandria Engineering Journal*, 2011, Iss. 50, pp. 399–405.
3. Sargazakova S. S., Kudabayev M. D., Sargazakov A. A. et al. Application of electronic levels and impact of their accuracy on construction measurements. *The herald of Kyrgyz state university of construction, transport and architecture named after N. Isanov*. 2020, Iss. 3(69), pp. 344–349.
4. Ilyuhin D. A. *Primenenie cifrovyyh nivelirov dlya nablyudeniya za osadkami sooru-zhenij* [The use of digital levels for monitoring the settlements of structures]. *Zapiski gornogo instituta* [Notes of the Mining Institute]. 2012, vol. 196, pp. 65–67. (In Russian)
5. Ryabova N. M. *Issledovanie i sovershenstvovanie metodiki nivelirovaniya I i II klassov s primeneniem cifrovyyh nivelirov: diss. ... kand. tekhn. nauk* [Research and improvement of the method of leveling I and II classes using digital levels: diss. ... cand. tech. Sciences]. Novosibirsk, 2013, 176 p. (In Russian)
6. Ustavich G. A. *Rahymberdina Sovershenstvovanie tekhnologii geometricheskogo inzhe-nernogeodezicheskogo nivelirovaniya cifrovyyimi nivelirami* [Improving the technology of geometric engineering and geodetic leveling with digital levels]. *Izvestiya Kyrgyzskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. I. Razzakova* [Proceedings of the Kyrgyz State Technical University. I. Razzakova]. 2014, Iss. 32, pp. 206–210. (In Russian)
7. Nikonov A. V. *Osobennosti primeneniya sovremennyh geodezicheskikh priborov pri nablyudenii za osadkami i deformatsiyami zdaniy i sooruzhenij ob"ektov energetiki* [Features of the use of modern geodetic instruments in monitoring precipitation and deformation of buildings and structures of energy facilities]. *Vestnik SGGА* [Vestnik SSGA]. 2013, vol. 4(24), pp. 12–18. (In Russian)
8. Novoselov D. B., Novoselov B. A. *Issledovanie raboty vysokotochnogo tsifrovogo nivelira v usloviyakh nedo-statochnoy osveshchennosti. Interexpo GEO-Sibir' — 2013. IХ Mezhdunar. nauch. kongr.: Mezhdunar. nauch. konf. "Geodeziya, geoinformatika, karto-grafiya, marksheyderiya": sb. materialov v 3 t. (Novosibirsk, 15–26 aprelya 2013 g.)* [Study of the operation of a high-precision digital level in low light conditions.

Interexpo GEO-Siberia — 2013. IX Intern. scientific Congr.: Intern. scientific conf. “Geodesy, geoinformatics, cartography, mine surveying”: compilation materials in 3 volumes (Novosibirsk, April 15–26, 2013)]. Novosibirsk: SGGa Publ., 2013, vol. 1, pp. 117–121. (In Russian)

9. Ustavich G. A., Yambaev H. K. Metodika provedeniya vneocherednoj poverki sistemy “cifrovoy nivelir+shtrihkodovaya rejka” [Methodology for extraordinary verification of the “digital level + barcode rail” system]. *Izv. vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka* [Izv. universities. Geodesy and aerial photography]. 2013, Iss. 3, pp. 8–13. (In Russian)

10. Ryabova N. M., Chesheva I. N., Lifashina G. V. Issledovanie velichiny izmeneniya ug-la i cifrovogo nivelira v zavisimosti ot izmeneniya temperatury [Investigation of the magnitude of the change in the angle α of a digital level depending on temperature change]. *Vestnik SGGa* [Bulletin of the SSGA]. 2013, Iss. 4(24), pp. 19–24. (In Russian)

11. Ustavich G. A. et al. Issledovanie shtrih-kodovykh reek cifrovyykh nivelirov [Research of barcode rails of digital levels]. *Vestnik SGGa* [Vestnik SSGA]. 2010, Iss. 2 (13), pp. 3–8. (In Russian)

12. Nikonov A. V., Chesheva I. N., Lifashina G. V. Vliyaniye perepadov temperatury okru-zhayushchej sredy na glavnoe uslovie cifrovogo nivelira pri nablyudeniyyah za osadkami fun-damentov zdaniy i sooruzheniy [Influence of ambient temperature drops on the main condition of the digital level when observing the settlements of the foundations of buildings and structures]. *Vestnik SGGa* [Bulletin of the SSGA]. 2016, Iss. 2 (34), pp. 24–33. (In Russian)

13. Gučević J., Delčev S., Ogrizović V. Determining temperature dependence of collimation error of digital level Leica DNA 03. TS08E Engineering Surveying — Equipment. FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures. Marrakech, Morocco, 18–22 May 2011.

14. Ustavich G. A., Soboleva E. L., Ryabova N. M. et al. Issledovanie vliyaniya refrakcii na rezul'taty nivelirovaniya cifrovymi nivelirami [Study of the influence of refraction on the results of leveling with digital levels]. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography]. 2011, Iss. 5, pp. 3–9. (In Russian)

15. Novoselov D. B., Novoselov B. A. *Issledovanie raboty vysokotochnogo cifrovogo nivelira v usloviyakh nedostatochnoy osveshchennosti. Interekspo GEO-Sibir' — 2013. IH Me-zhdunar. nauch. kongr.: Mezhdunar. nauch. konf. “Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya”:* sb. materialov v 3 t. (Novosibirsk, 15–26 aprelya 2013 g.) [Study of the operation of a high-precision digital level in low light conditions. Interexpo GEO-Siberia — 2013. IX Intern. scientific Congr.: Intern. scientific conf. “Geodesy, geoinformatics, cartography, mine surveying”: Sat. materials in 3 volumes (Novosibirsk, April 15–26, 2013)]. Novosibirsk: SGGa Publ., 2013, vol. 1, pp. 117–121. (In Russian)

16. Kalinchenko I. S., Uvarov A. I. Issledovanie vliyaniya prirodno-klimaticheskikh faktorov na tochnost' geodezicheskikh izmereniy prevysheniy cifrovym nivelirov Trimble DiNi12 [Study of the influence of natural and climatic factors on the accuracy of geodetic measurements of elevations with a Trimble DiNi12 digital level]. *Vestnik OmGAU* [Vestnik OmGAU]. 2012, Iss. 4 (8), pp. 49–53. (In Russian)

17. *Mezhgosudarstvennyy standart GOST 24846—2012. Grunty. Metody izmereniy de-formacij osnovanij zdaniy i sooruzhenij* [Interstate standard GOST 24846—2012. Soils. Methods for measuring deformations of the foundations of buildings and structures]. Moscow: Standartinform Publ., 2019, 19 p. (In Russian)

18. *GKINP (GNTA)-03-010-03. Instrukciya po nivelirovaniyu I, II, III, IV klassov* [GKINP (GNTA)-03-010-03. Instructions for leveling I, II, III, IV classes]. Moscow: Kartgeocentr — Geodezizdat Publ., 2004, 244 p. (In Russian)

Received: March 10, 2023

Accepted: April 04, 2023

Author's information:

Nikolay V. KANASHIN — PhD in Engineering, Associate Professor; nikolay_kanashin@mail.ru

Dmitry A. AFONIN — PhD in Engineering, Associate Professor; afonin83@yandex.ru