

УДК 528.541.2

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕПАДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ГЛАВНОЕ УСЛОВИЕ ЦИФРОВОГО НИВЕЛИРА ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА ОСАДКАМИ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Антон Викторович Никонов

АО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, ведущий инженер цеха зданий и сооружений, e-mail: sibte@bk.ru

Ирина Николаевна Чешева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

Галина Викторовна Лифашина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

В ходе геодезических работ нивелир может подвергаться температурному воздействию окружающей среды: при извлечении прибора из кейса, при работе в горячих цехах, при передаче отметки из помещения на улицу и в других случаях. В статье приведены результаты исследований изменения угла i цифрового нивелира Trimble DiNi0.3 при резком изменении температуры воздуха на величину от 16 до 28 °С. Исследования проводились в летний и зимний период: угол i многократно определялся сначала в лабораторных условиях, а затем в полевых. Установлено, что при изменении температуры воздуха на 1 °С изменение угла i не превышает 0,5". Применение цифровых нивелиров позволяет увеличить допустимое неравенство плеч на станции с 0,2–0,4 до 2,0 м.

Ключевые слова: цифровой нивелир, угол i , поверка, температурные воздействия, измерение превышений, высокоточное геометрическое нивелирование.

INFLUENCE OF DIFFERENTIAL AMBIENT TEMPERATURE ON A COLLIMATION DIGITAL LEVEL IN CONTROL OF FOUNDATIONS OF BUILDINGS AND STRUCTURES

Anton V. Nikonov

Sibtechenergo, 630032, Russia, Novosibirsk, 18/1 Planirovochnaja St., Engineer Surveyor, e-mail: sibte@bk.ru

Irina N. Chesheva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior Lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Galina V. Lifashina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior Lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

In the process of surveying works geodetic level can suffer temperature influence of environment: when taking the device from the case, working in hot shop, giving reference point from indoor to outdoor position and in other cases. The paper gives the results of angle i change of digital geodetic level Trimble DiNi0.3 in sharp temperature shift from 16°C to 28°C. The surveying was conducted in summer and winter period: the angle i was multiply measured at first in laboratory, then in field conditions. It is stated, that in 1°C temperature change the angle change does not exceed 0.5". The application of digital geodetic level lets enlarge acceptable difference of station shoulders from 0,2–0,4 to 2,0 m.

Key words: digital level, collimation, calibration, temperature influences, measurement height differences, geometric precision leveling.

Метод высокоточного геометрического нивелирования применяется при построении и поддержании в актуальном состоянии нивелирных сетей I и II классов – главной высотной основы страны. Также метод получил широкое распространение при изучении деформаций инженерных сооружений, определении осадок фундаментов и установке технологического оборудования в проектное положение.

Традиционно прецизионное нивелирование выполнялось уровенными нивелирами с плоскопараллельной пластинкой типа Н-05, Н1, Ni004. Применение нивелиров с компенсаторами (Ni002, Ni007) позволяло повысить производительность труда на 10–15 % [1]. Дальнейшее ускорение процесса нивелирования было достигнуто благодаря автоматической фиксации отсчета по штрих-кодовой рейке при использовании цифровых нивелиров. В настоящее время при выполнении высокоточного нивелирования в основном применяются нивелиры Trimble DiNi0.3 и Leica DNA03 с заявленной в паспорте средней квадратической ошибкой измерения превышения на 1 км двойного хода – 0,3 мм. Ошибка измерения превышения на станции нивелиром DiNi0.3 при длине визирного луча 48 м в лабораторных условиях составляет $m_{ст} = 0,11$ мм [2]. Из анализа невязок ходов нивелирования II класса с использованием цифрового нивелира Trimble DiNi12 на объекте, расположенном в южной зоне многолетней мерзлоты, получено значение средней квадратической ошибки превышения на станции $m_{ст} = 0,06$ мм. При этом установлено, что оптимальной температурой для измерений следует считать диапазон от 10 до 15 °С [3]. В статье [4] отмечается, что при работе с цифровым нивелиром DiNi03 в неблагоприятных условиях (температура воздуха более 30 °С, вибрация и влияние электромагнитных полей) и соблюдении установленного порядка работы на станции, возможно достижение высоких показателей точности – невязка хода с количеством станций $n = 106$ составила $f = 1,0$ мм.

На результат нивелирования цифровыми приборами могут оказывать влияние следующие факторы: недостаточная (или избыточная) освещенность реек [5–7], уровень заряда батареи [7, 8], вибрация [9, 10], вертикальная рефракция [11–13], температурные воздействия [14], ошибки, связанные с калибровкой системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» [15, 16] и др.

Во время работы инструмент может подвергаться температурным воздействиям следующего характера [17]:

- резким (скачкообразным) изменениям температуры окружающей среды;
- постепенным изменениям температуры (при работе утром или вечером);
- односторонним нагревам.

Резким изменениям температуры инструмент подвергается, когда его достают из кейса, а также в процессе нивелирования, при передаче отметки из производственного корпуса на улицу (особенно в зимний период). Односторонний нагрев характерен для нивелирования в солнечную погоду (инструмент поворачивают то одной, то другой стороной к солнцу) [17]. Для нивелиров, не снабженных защитными кожухами (НА-1, Н2), на величину угла i оказывает влияние даже тепловое воздействие наблюдателя [18]. Изменения угла i при изменении температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ не должны превышать для высокоточных нивелиров $0,5''$ [19].

При наблюдениях за осадками промышленных зданий зачастую не удается соблюдать строгое равенство расстояний до задней и передней реек, однако программное обеспечение нивелира позволяет вводить в отсчеты по рейкам поправки, используя измеренные расстояния до реек и значение угла i , определенное в ходе поверки [20]. При наблюдении за осадками фундаментов зданий, сооружений и оборудования характерна разность температуры воздуха при работе на улице и в помещении не менее $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кроме того, перепад температуры может наблюдаться при нивелировании в цехе, когда инструмент устанавливается поблизости от работающего оборудования или трубопроводов. В подобных случаях угол i нивелира может претерпевать изменения, что при неравенстве плеч на станции приведет к систематической ошибке в измеряемом превышении. Целью данных исследований является определение величины изменения угла i цифрового нивелира при резком изменении температуры окружающей среды.

В работе [21] исследовался цифровой нивелир Leica DNA03. Прибор охлаждался в специальной камере до температуры $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$, после чего в процессе нагревания прибора до температуры $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ определялся его угол i . При нагревании нивелира с $+3$ до $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ приращение угла i составило $-6,5''$, дальнейшее изменение угла i находилось в пределах $1,8''$. При охлаждении нивелира с $+38$ до $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$ изменение i в основном не превысило $1,5''$.

В данной статье приведены результаты исследований двух нивелиров Trimble DiNi0.3. Первым прибором экспериментальные измерения производились в зимний и летний период по следующей методике. В 30 м друг от друга посредством специальных кронштейнов на жестких точках A и B неподвижно закреплялись две двухметровые рейки. На расстоянии $S_1 = 3,6$ м от реек устанавливались штативы 1 и 2 (рис. 1). Цифровым нивелиром многократно измерялось превышение h_{AB} (нивелир поочередно устанавливался на 1-м и 2-м штативах). По каждой паре измерений с двух штативов вычислялся угол i . На рис. 1 визирный луч условно показан линией, хотя цифровой нивелир при отсчитыва-

нии задействует 30-сантиметровый интервал на штрих-кодовой рейке независимо от расстояния [16, 20].

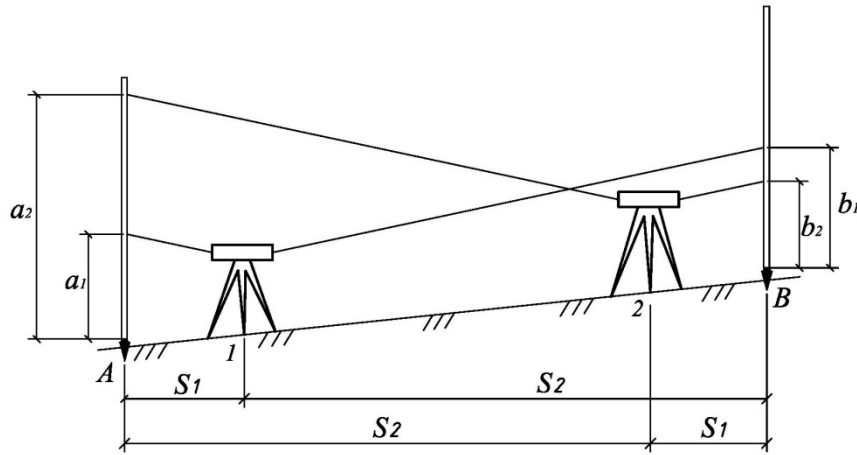


Рис. 1. Схема взятия отсчетов по рейкам при определении угла i

В зимний период угол i был определен сначала в лабораторных условиях ($t = +15\text{ }^{\circ}\text{C}$), а затем измерения выполнялись на улице ($t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$). В течение часа превышение h_{AB} было измерено 21 раз с каждого штатива. Приращение угла i при охлаждении нивелира с $+15$ до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило $\Delta_i = -3,0''$ (рис. 2). На рис. 2 также представлено уравнение аппроксимирующей график прямой.

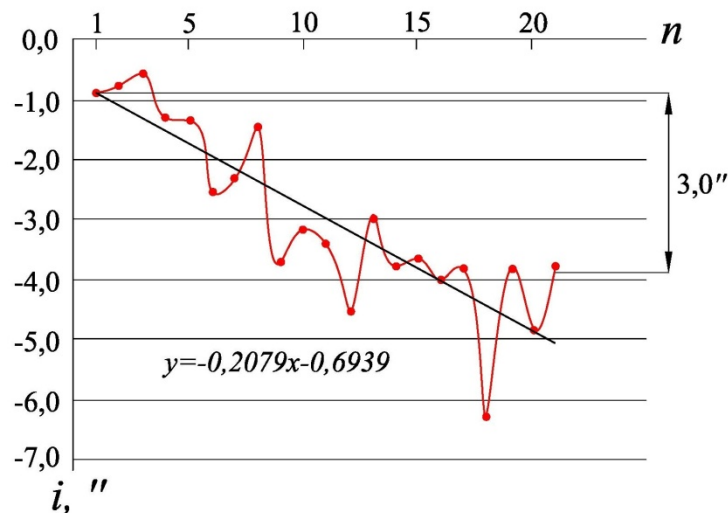


Рис. 2. График изменения угла i при температуре воздуха $t = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Летом исследования также были начаты в лабораторных условиях ($t = +16\text{ }^{\circ}\text{C}$). После того, как нивелир был извлечен из кейса, угол i определялся по способу Ферстнера 11 раз (рис. 3, а). В ходе работы нивелир принял температуру воздуха в лаборатории, угол i стабилизировался и стал равен $i = +3,2'' \pm 0,8''$.

В дальнейшем определения угла i продолжились вне помещения, в солнечный летний день при $t = +32\text{ }^{\circ}\text{C}$ (прибор не защищался от Солнца зонтом). В течение 80 минут угол i был определен 30 раз, его приращение составило $\Delta = +3,6''$ ($i = 6,8''$) (рис. 3, б).

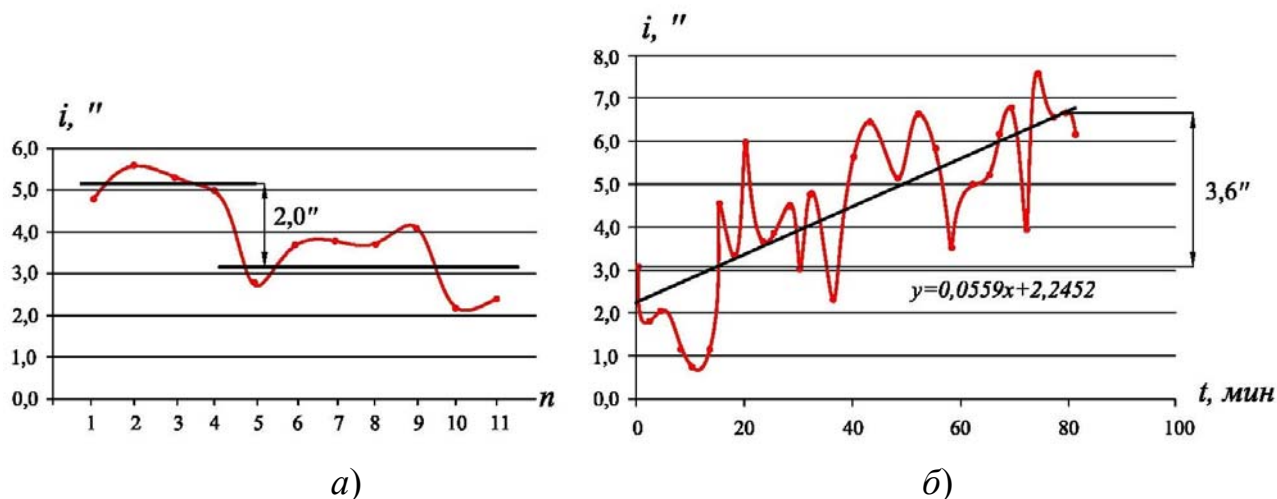


Рис. 3. Графики изменения угла i нивелира DiNi0.3:
а) при измерениях в лабораторных условиях ($t = +16\text{ }^{\circ}\text{C}$);
б) при работе вне помещения ($t = +32\text{ }^{\circ}\text{C}$)

После серии определений угла i в солнечную погоду нивелиром измерялись превышения в течение 2 часов. По окончании работ было выполнено повторное определение угла i , который оказался равным $i = +7,6''$. Таким образом, за три часа работы в жаркий летний день угол i конкретного нивелира увеличился на $4,4''$ при перепаде температуры $\Delta t = +16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (средняя скорость изменения угла i составила $0,3''/^{\circ}\text{C}$).

Вторым нивелиром DiNi0.3 измерения выполнялись в полевых условиях дважды: 10 и 12 марта. В первый день угол i определялся сначала в лабораторных условиях ($t = +25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$) по способу Ферстнера и составил $i_{\text{ср}} = -13,4''$. После этого нивелир устанавливался на штативе вне помещения ($t = -3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) и в течение 80 минут с интервалом 2–3 минуты брались отсчеты по дальней рейке, установленной в точке В (рис. 4). Предполагалось, что изменение отсчета по дальней рейке будет обусловлено изменением угла i нивелира при его остывании. Отсчеты по ближней рейке, установленной в точке А, брались в начале и в конце исследований для подтверждения стабильности положения штатива. Было зафиксировано оседание штатива на величину порядка $0,3\text{ мм}$, в связи с чем динамику изменения угла i в данном опыте определить не удалось. В завершении эксперимента угол i определялся по способу Ферстнера и составил $i = -23,3''$. Таким образом, за 2 часа, которые нивелир был установлен на открытом воздухе, его угол i уменьшился в среднем на $9,9''$ ($\Delta t = -28,4\text{ }^{\circ}\text{C}$).

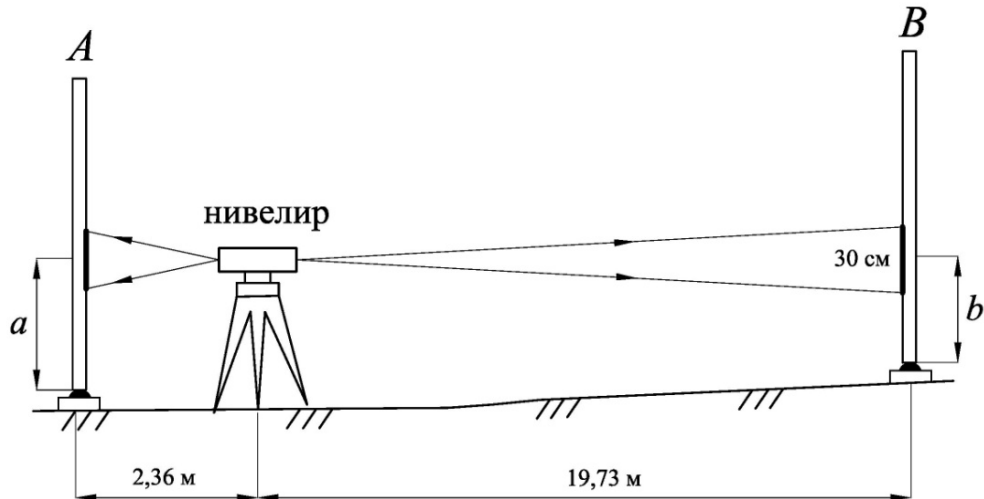


Рис. 4. Схема измерения превышения при определении изменения угла i

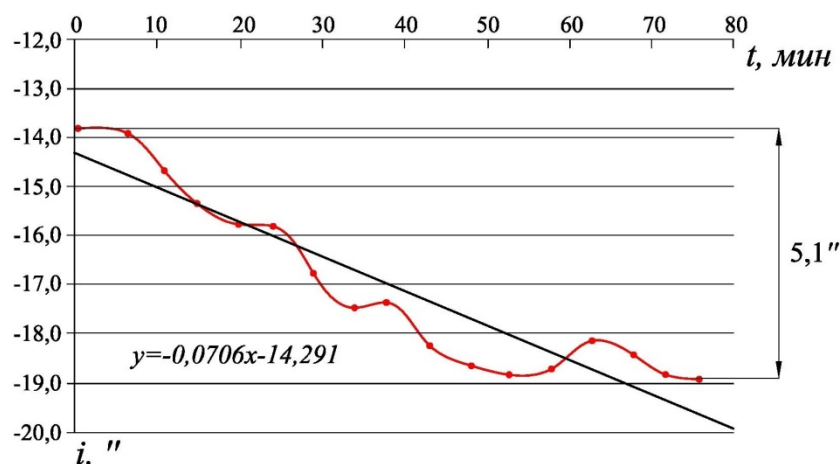
По аналогичной методике исследование изменения угла i под воздействием перепада температуры воздуха выполнялось 12 марта, с той лишь разницей, что отсчеты по ближней рейке брались в течение всего периода исследований. Фактически превышение h_{AB} измерялось 4 раза в течение 2 минут, что составляло серию измерений. Всего за 78 минут было выполнено 17 серий измерений с периодичностью 2-3 минуты. При построении графика изменения угла i (рис. 5) результаты по каждой серии осреднялись.

При обработке результатов измерений принималось, что изменение превышения между жесткими точками A и B будет обусловлено непостоянством угла i цифрового нивелира. При этом возможное перемещение штатива не скажется на определении угла i , так как отсчеты a и b по рейкам производились в течение 30 секунд.

Превышение h_1 между точками A и B , измеренное в первую минуту эксперимента (при начальном значении угла i), принималось за безошибочное, так как влияние изменения температуры еще не сказалось на значении угла i нивелира, а следовательно и на отсчетах a и b по рейкам. Превышение h_n , измеренное в n -ю минуту эксперимента, будет содержать ошибку (относительно начального значения h_1), вызванную изменением угла i на величину Δi_n . Значения h_1 и h_n находятся согласно уравнению

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= a_1 - b_1, \\ h_n &= \left(a_1 + \frac{\Delta i_n \cdot S_A}{\rho} \right) - \left(b_1 + \frac{\Delta i_n \cdot S_B}{\rho} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где a_1 и b_1 — первоначальные отсчеты по ближней и дальней рейкам соответственно; S_A и S_B — расстояния от нивелира до ближней и дальней реек соответственно.

Рис. 5. График изменения угла i нивелира DiNi0.3 при $\Delta t = -25,1^\circ\text{C}$

Вычитая из второго уравнения системы (1) первое и решая относительно Δi_n , получим выражение (2) для вычисления приращения угла i

$$\Delta i_n = \frac{(h_n - h_1) \cdot \rho}{(S_A - S_B)}, \quad (2)$$

где h_n – превышение между точками A и B , измеренное в n -й момент времени; h_1 – превышение между точками A и B , измеренное в начальный момент времени.

За время исследований превышение h_{AB} увеличилось на 0,43 мм, что соответствует приращению угла $\Delta i = -5,1''$. Зная величину изменения угла i можно рассчитать изменение отсчетов по рейкам (табл. 1). Фактические отсчеты по рейкам оказались на 0,12 мм меньше расчетных, т. е. перемещение нивелира за 78 минут составило -0,12 мм. Принимая коэффициент температурного расширения дерева $\alpha_T = 5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, длину нескладного штатива $l = 1,1 \text{ м}$, перепад температур $\Delta t \approx 25,1^\circ\text{C}$, изменение длины штатива составит $\Delta l \approx -0,14 \text{ мм}$, что вполне согласуется с изменением отсчетов по рейкам дополнительно на -0,12 мм.

Таблица 1

Отсчеты по рейкам при исследовании угла i 12.03.2016, мм

Рейка	Отсчеты по рейкам		Ожидаемые отсчеты при $\Delta i = -5,1''$	Δ
	начало наблюдений 9:44	конец наблюдений 11:02		
A	1 387,56	1 387,38	1 387,50	-0,12
B	791,96	791,35	791,47	-0,12
Δ	595,60	596,03	596,03	—

График изменения угла i при перепаде температуры воздуха с $+25,6$ до $+0,5$ °C представлен на рис. 5.

Наиболее быстро изменение угла i происходило в первые 40 минут работы. За весь период измерений (80 минут) приращение угла i составило $-5,1''$. После завершения 17 серий измерений превышения h_{AB} , угол i был определен по способу Ферстнера [22] и стал равен $i_{cp} = -21,7''$, т. е. его изменение составило минус $7,9''$. Принимая среднее значение приращения $\Delta i_{cp} = 6,5''$, скорость изменения угла i составит $0,26''/^{\circ}\text{C}$.

В табл. 2 представлены результаты определений угла i по способу Ферстнера, полученные в полевых и лабораторных условиях с 10 по 14 марта. Из табл. 2 видно, что при принятии нивелиром температуры $+25$ °C его угол i принимает первоначальное значение.

Таблица 2

Значения угла i цифрового нивелира, определенные по способу Ферстнера

Дата	Условия измерений		Δ	Дата	Условия измерений		Δ
	лабораторные $t = +25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$	полевые $t = -3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$			лабораторные $t = +25,6\text{ }^{\circ}\text{C}$	полевые $t = +0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$	
10.03.16	-12,9"	-23,8"	-9,9"	12.03.16	-15,5"	-21,0"	-7,9"
	-13,4"	-22,9"			-12,0"	-22,0"	
	-13,8"	—			-13,9"	-22,1"	
	-13,6"	—		—	—		
11.03.16	-14,5"	—	—	14.03.16	-13,4"	—	—
	-14,7"	—	—		-13,4"	—	—

Если принять, что угол i цифрового нивелира изменяется на $0,3''$ при изменении температуры на 1 °C, то при $\Delta t = 10$ °C приращение угла i составит $\Delta i = 3,0''$. При неравенстве плеч на станции от 2 до 5 м ошибка в превышении, вызванная изменением угла i , будет находиться в пределах от 0,03 до 0,07 мм. Следовательно, при отличии рабочей температуры воздуха от температуры, при которой выполнялась поверка, в пределах 10 °C допустимое неравенство плеч на станции уверенно можно увеличить с 0,2–0,4 м [23] до 2,0 м. При большем перепаде температуры окружающей среды измерения следует выполнять из середины (за короткий промежуток времени работы на станции изменение угла i не окажет заметного влияния на измеряемое превышение). После принятия нивелиром температуры окружающей среды (при $\Delta t > 10$ °C) целесообразно повторить определение угла i по одному из четырех способов, установленных программным обеспечением нивелира [22], после чего допустимое неравенство плеч на станции можно снова принять равным 2,0–3,0 м.

На основе проведенных исследований сделаем следующие выводы:

1. Перепад температуры воздуха оказывает влияние на величину угла i цифрового нивелира DiNi0.3, при этом изменение угла i не превышает $0,5''$ при

изменении температуры воздуха на 1 °С, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к высокоточным нивелирам.

2. Для конкретных нивелиров установлена прямая зависимость угла i от температуры: при охлаждении нивелира угол i уменьшается, при нагревании – увеличивается. При перепаде температуры с +25 до 0 °С изменение угла i не превысило 10,0'', при изменении температуры воздуха с +16 до +32 °С изменение угла i не превысило 5,0''.

3. При принятии нивелиром первоначальной температуры его угол i принимает исходное значение.

4. При отличии рабочей температуры воздуха от температуры, при которой производилось определение угла i в пределах 10 °С, допускается выполнять нивелирование с неравенством плеч до 2,0 м. При большем изменении температуры необходимо повторно выполнить поверку угла i (после принятия нивелиром рабочей температуры воздуха).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нивелирование I и II классов (практическое руководство) / Гл. упр. геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М. : Недра, 1982. – 264 с.

2. Определение средней квадратической ошибки измерения превышения на станции цифровым нивелиром / А. В. Никонов, Е. Л. Соболева, Н. М. Рябова, Т. М. Медведская // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 77–84.

3. Калинин И. С., Уваров А. И. Исследование влияния природно-климатических факторов на точность геодезических измерений превышений цифровым нивелиром Trimble DiNi12 // Вестник ОмГАУ. – 2012. – № 4 (8). – С. 49–53.

4. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Опыт применения цифрового нивелира DiNi03 при выполнении повторного высокоточного гидротехнического нивелирования // 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.

5. Новоселов Д. Б., Новоселов Б. А. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности // 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.

6. Рябова Н. М. Исследование влияния различной освещенности на отсчеты по рейке // 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. 42–45.

7. 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. – 50. – PP. 399–405.

8. Бешр Ашраф А., Рябова Н. М., Кочетков А. В. Исследование влияния емкости батареи геодезических приборов на ошибку измерения превышения и расстояния // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск : СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 197–201.

9. Исследование влияния вибрации системы «штатив – нивелир» на точность измерений цифровым нивелиром / А. Бешр Ашраф, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 28–32.
10. Рахымбердина М. Е. Исследование и совершенствование высокоточного инженерно-геодезического нивелирования цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами [Рукопись] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Рахымбердина Маржан Есенбековна. – Новосибирск, 2013. – 24 с.
11. Исследование влияния рефракции на результаты нивелирования цифровыми нивелирами / Г. А. Уставич, Е. Л. Соболева, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников // Геодезия и картография. – 2011. – № 5. – С. 3–9.
12. Никонов А. В. К вопросу о влиянии вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 12–26.
13. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 28–34.
14. Рябова Н. М., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Исследование величины изменения угла i цифрового нивелира в зависимости от изменения температуры // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 19–24.
15. On calibration of Zeiss DiNi12 [Электронный ресурс] / M. Takalo, P. Rouhiainen, P. Lehmuskoski, V. Saaranen. – Режим доступа: http://www.fig.net/pub/proceedings/korea/fullpapers/pdf/ws_com5_1/takalo-rouhiainen-lehmuskoski-saaranen.pdf.
16. Takalo M., Rouhiainen P. Development of a System Calibration Comparator for Digital Levels in Finland // Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research. – 2004. – Vol.1. – PP. 119–130.
17. Энтин И. И. Высокоточное нивелирование // Труды ЦНИИГАиК. – М. : Геодезиздат, 1956. – Вып. 111. – 340 с.
18. Иванов В. Г. Влияние угла i на результаты нивелирования // Геодезия и картография. – 1983. – № 9. – С. 19–22.
19. МИ БГЕИ 07-90 «Нивелиры. Методика поверки»: Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 1990. – 52 с.
20. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
21. Determining temperature dependence of collimation error of digital level Leica DNA 03 / Jelena Gučević, Siniša Delčev, Vukan Ogrizović // TS08E Engineering Surveying – Equipment. FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures. Marrakech, Morocco, 18–22 May 2011.
22. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Особенности определения угла i цифровых нивелиров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 94–101.
23. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений : межгос. стандарт. – Введ. 01.07.2013. – М. : Стандартинформ, 2014. – 22 с.

Получено 28.04.2016

© А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина, 2016