

модели – выполнены в виде готовых шаблонов), дающие большую гибкость и простоту адаптации для разных проектов.

В заключение отметим, что, объединяя 3D-модели подземных коммуникаций с аналогичными моделями подводных переходов магистральных трубопроводов, с данными, полученными с помощью георадарных технологий, с моделями подземного пространства поселков и городов, с учетом результатов наблюдений на геодинамических полигонах, можно успешно решать проблему организации комплексного геодезического мониторинга территорий нефтегазовых месторождений Западной Сибири.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюков Д. Б., Мурзинцев П. П. Построение 3D-модели территории поселка, населенного пункта // Междун. научн. центр «ГЕО-Сибирь-2008»: Сб. материалов междунар. науч. центр. – Новосибирск, 2008. – С. 150–156.

2. Гринь Г. А. Методические решения и технологическая реализация комплексного геодезического контроля подводных переходов магистральных трубопроводов. – Автореф. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 26.

3. Ефремов В. Ф., Яковлев А. Ф., Виноградов В. М. Аппаратура для поиска нефтепроводов // Геофизическая аппаратура. – 1970. – Вып. 43. – С. 135–142.

4. Мурзинцев П. П. Геодезический пространственный мониторинг территорий Западной Сибири // Геодезия и картография. – 2010. – № 7. – С. 45–48.

Summary

The key task for geodetic monitoring of underground utilities ins to create 3D model along the whole length of pipeline. For this purpose is recommended to combine all the data obtained by pipeline finders, georadars, acoustic profilers and multibeam echo sounders. ■

УДК 528.482.06

Исследование цифровых нивелиров и реек

© ¹Уставич Г. А., ²Рябова Н. М., ³Сальников В. Г.,

⁴Рахымбердина М. Е., 2011

ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия», г. Новосибирск

²ryabovanadezhda@mail.ru

³salnikov_valera@mail.ru

Предложены методики выполнения исследований системы «цифровой нивелир – штриховая рейка» в лабораторных и полевых условиях. Отмечено, что исследования могут выполняться как с применением эталонных средств, так и без них. Указывается, что средняя квадратическая ошибка определения превышения на станции на разных участках рейки не превышает 0,015 мм.

Методика поверки, цифровой нивелир.

Check-up techniques, digital level.

Основной технической характеристикой геодезических приборов является величина средней квадратической ошибки (СКО) измерения соответствующих величин: горизонтальных и вертикальных углов, превышений, расстояний, координат. Применительно к системе «нивелир – рейка» основной ее технической характеристикой является СКО измерения превышения на 1 км двойного хода. Другой технической характеристикой является СКО измерения превышения на нивелирной станции при одном горизонте инструмента. Данная характеристика важна при выполнении высокоточного инженерно-геодезического нивелирования короткими лучами при монтаже

и эксплуатации инженерных сооружений и оборудования.

Для обеспечения данных технических характеристик необходимо выполнять исследования нивелиров и реек [1, 4]. Применительно к системе «нивелир – рейка», в которой используется оптический нивелир и штриховая инварная рейка, эти исследования выполняются сначала отдельно для нивелира и рейки и только затем прокладывается нивелирный ход на высотном эталонном полигоне [3]. Применительно к системе «нивелир – рейка», в которой используется цифровой нивелир и штриховая рейка, выполнить исследование отдельно в полном объеме (по аналогии

с системой «нивелир – рейка», в которой используется оптический нивелир и штриховая инварная рейка) чрезвычайно сложно. Это обусловлено тем, что штрих-кодовая рейка, во-первых, не имеет шкалы с равномерно нанесенными штрихами (через 5 или 10 мм), и поэтому для исследований нельзя применить женеvскую линейку или стандартные оптико-механические компараторы. Во-вторых, в процессе отсчитывания цифровым нивелиром участие принимают не два соседних штриха рейки, а последовательность из многих штрихов различной ширины. Выполнить отдельно исследования цифрового нивелира и штрих-кодовой рейки можно только в специализированной лаборатории. В этом случае для исследования только цифрового нивелира необходимо иметь эталонную штрих-кодовую меру, положение штрихов на которой соответствует их теоретическим значениям. Для исследования фактического положения отдельных штрихов кода только штрих-кодовой рейки (комплекта реек) и сравнения их с теоретическими значениями применяются вертикальные или горизонтальные интерференционные компараторы [4]. Завершающим этапом исследований является исследование на интерференционном компараторе единой системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка». Сущность данной методики заключается в сравнении эталонного превышения (перемещения), задаваемого лазерным интерферометром, с превышением (перемещением), измеренным системой «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка». В результате этих исследований получается величина СКО измерения линейной величины, аналогичная СКО измерения превышения на станции (без влияния внешних условий).

В настоящее время специализированная лаборатория по проведению исследований системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» имеется только в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК). Для организаций из удаленных районов России обязательное ежегодное проведение этих исследований (метрологическая аттестация) является дорогостоящим мероприятием. Кроме того, при выполнении

место случайные механические удары, которые могут привести к нарушению юстировки его электронной системы. В таких случаях необходимо выполнить внеочередные (повторные) исследования системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» в лаборатории МИИГАиК.

Авторы статьи предлагают методики исследования системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка», которые можно применять в лабораторных условиях производственной организации, а также в полевых условиях.

Методика с изменением горизонта нивелира. В лабораторных условиях на бетонном жестком основании в точке A устанавливается цифровой нивелир, а в точках B и C , расположенных на расстоянии 4–5 м от нивелира и имеющих сферическую форму, – штрих-кодовые рейки (рис. 1).

Превышение между рейками может быть сравнительно небольшим: 50–170 мм. Для удобства выполнения измерений и повышения их точности удерживать рейки в вертикальном положении необходимо с помощью подпорок или специальных стаканов. Также для удобства выполнения измерений рейки должны находиться примерно в одном створе. В этом случае повороты нивелира во время взятия отсчетов будут минимальными. Освещение реек должно быть достаточным и равномерным, без образования бликов.

Нивелир и штатив первоначально опускаются на минимально возможную высоту с таким расчетом, чтобы можно было измерить превышение, используя нижние части реек. После приведения нивелира в рабочее положение по каждой из реек производится по 15–20 отсчетов (b_1 и c_1), на основании которых вычисляется величина «ошибки взгляда», а также превышение для данного горизонта инструмента. Величину «ошибки взгляда» получают по отклонениям от среднего, а превышение – на основании средних отсчетов (b_{cp} и c_{cp}) по рейкам. Затем производят изменение горизонта нивелира (подъем штатива) на 8–10 см и измерения и вычисления выполняют аналогичным образом (отсчеты b_2 и c_2 , ..., b_n и c_n). Изменение горизонта нивелира производится до тех пор, пока измерение превышения

При исправной работе системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» превышения, полученные при разной высоте горизонта инструмента, а также в прямом и обратном ходах, должны быть равны между собой (в пределах точности измерений), т. е.

$$h_1 = b_{cp1} - c_{cp1};$$

$$h_2 = b_{cp2} - c_{cp2};$$

$$\dots \dots \dots$$

$$h_n = b_{cpn} - c_{cpn}$$

$$h_1 = h_2 = h_3 = \dots = h_n.$$

Величины разностей $h_1 - h_2 = \Delta, \dots, h_2 - h_3 = \Delta$ будут свидетельствовать о качестве работы системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка».

Таким образом, при использовании данной методики не нужно знать «истинного» превышения между точками В и С.

При определении ошибок «взгляда» для разных расстояний, а также внутришаговых короткопериодических ошибок [2], их увеличивают (при наших исследованиях расстояния были равны 5,1; 8,2; 11,7 и 15,0 м).

Если исследования выполняются в полевых условиях, то нивелир также устанавливается на жесткое основание, например на сухую проезжую часть проселочной автомобильной дороги, а рейки – на хорошо вбитые костыли или на кольца с гвоздями и удерживаются подпорками. Для ослабления влияния оседания или выпучивания нивелира со штативом и костылей (колец) необходимо после их установки дать некоторое время (10–15 мин) на стабилизацию положения. С той же целью ноги наблюдателя в процессе взятия отсчетов по рейкам должны располагаться как можно дальше от ножек штатива. После каждой смены горизонта нивелира также необходимо давать время на стабилизацию положения нивелира и штатива. Исследования целесообразно выполнять в пасмурную (без осадков) погоду. При ясной погоде измерения производят утром или вечером. При этом для исключения попадания солнечных лучей в объектив нивелира рейки должны устанавливаться

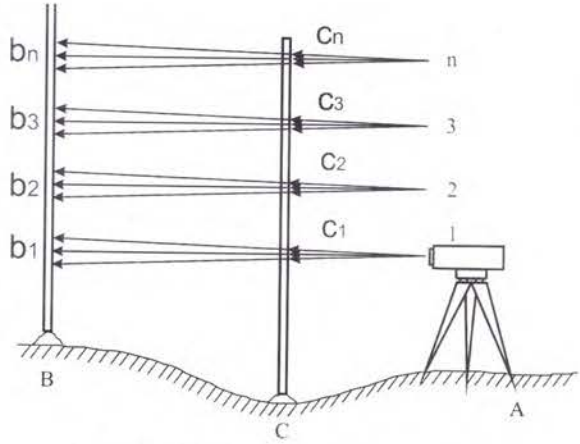


Рис. 1. Измерение превышений с изменениями горизонта нивелира

в противоположном направлении по отношению к положению Солнца. Обязательно также применение геодезического зонта.

После выполнения измерений вычисляют:

среднее из отсчетов для каждого горизонта;

значения СКО «взгляда» для каждого горизонта и расстояния (по отклонениям от среднего);

измеренные превышения между рейками для каждого горизонта в прямом и обратном ходах;

разность Δ_1 между превышениями смежных горизонтов;

разность Δ_2 между превышениями в прямом и обратном ходах для каждого горизонта;

среднюю разность из всех горизонтов для прямого и обратного хода, а также между прямым и обратным ходами;

СКО измерения (по разностям двойных измерений) системой «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка».

Результаты исследований нивелира DiNi 1012 и двухметровой рейки по данной методике для расстояния 5,1 м приведены в табл.1.

Методика с измерением по прямой и перевернутой рейке. Конструкция цифровых нивелиров позволяет выполнять нивелирование по прямому и обратному (перевернутой рейке) изображению штрих-кода. В этом случае, если взять отсчеты O_1 – по прямой и O'_1 – по перевернутой штрих-кодовой рейке (рис. 2), то сумма этих



Таблица 1
Результаты измерений превышений при $S = 5,1$ м

Высота инструмента, м	$h_{\text{прямое}}, \text{мм}$	$\Delta_1, \text{мм}$	$h_{\text{обратное}}, \text{мм}$	$\Delta_1, \text{мм}$	$\Delta_2, \text{мм}$
0,30	48,327		48,312		0,005
		-0,009		-0,010	
0,42	48,318		48,302		0,016
		-0,006		0,002	
0,55	48,312		48,304		0,008
		-0,008		0,013	
0,70	48,304		48,317		-0,013
		0,005		-0,002	
0,85	48,309		48,315		-0,006
		0,011		-0,005	
1,00	48,320		48,310		0,010
		-0,012		0,018	
1,15	48,308		48,328		-0,020
		-0,002		-0,012	
1,30	48,306		48,316		-0,010
		0,019		-0,016	
1,44	48,325		48,300		0,025
		-0,023		0,026	
1,60	48,302		48,326		-0,024
		0,020		-0,006	
1,70	48,322		48,320		0,002
		-0,022		-0,010	
1,78	48,300		48,310		-0,010

$$\begin{aligned} \text{ср} &= -0,002 & 0,001 & -0,001 \\ |\text{ср}| &= 0,011 & |\text{ср}| &= 0,011 & 0,012 \\ m &= 0,009 = 0,01 \text{ мм} \end{aligned}$$

отсчетов будет равна ее длине L_1 :

$$O_1 + O'_1 = L_1.$$

Кроме того, если такие отсчеты производить при разной высоте горизонта инструмента, то при исправной работе системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» сумма этих отсчетов должна быть постоянной, т. е.

$$\begin{aligned} O_1 + O'_1 &= L_1, \\ O_2 + O'_2 &= L_2, \\ &\dots\dots\dots \\ O_n + O'_n &= L_n. \end{aligned} \quad (1)$$

При этом должно быть соблюдено (в пределах точности измерений) условие:

$$L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n = \text{const}. \quad (2)$$

Нарушение условия (2) будет свидетельствовать о наличии в работе системы

Методика измерений будет следующей. В точке A (см. рис. 2) устанавливается нивелир, а в точке B (на определенном расстоянии) – рейка. Для удобства выполнения измерений и повышения их точности удерживать рейку в вертикальном положении необходимо с помощью подпорок или специальных стаканов.

Нивелир и штатив первоначально опускают на минимально возможную высоту с таким расчетом, чтобы можно было взять отсчет по самой нижней части рейки. После приведения нивелира в рабочее положение рейку на точку устанавливают пяткой и по ней производят 15–20 отсчетов, а затем из них вычисляют среднее значение. Затем рейку переворачивают и устанавливают верхней плоскостью на эту же точку, после чего по ней также производят 15–20 отсчетов. Для исключения влияния остаточной неперпендикулярности верхней плоскости оси рейки установку производят ее средней частью. Затем изменяют горизонт нивелира (подъем штатива) на 8–10 см и измерения выполняют аналогичным образом. Изменение горизонта нивелира производят до тех пор, пока измерения не будут выполнены по всей длине рейки. Аналогичные измерения производят в обратном направлении: нивелир опускают с интервалом 8–15 см.

С целью определения величин «ошибка взгляда» для разных расстояний, а также внутришаговых короткопериодических ошибок, эти расстояния увеличиваются (при наших исследованиях они были равны 4,2; 7,0; 10,3 и 14,1 м).

Требования к условиям выполнения измерений аналогичны предыдущим.

После выполнения измерений вычисляют:

... (по отклонениям от среднего);
 сумму отсчетов по формуле (1) для
 каждого горизонта в прямом и обратном
 ходах;
 разность δ_1 между суммой отсчетов
 соседних горизонтов;
 разность δ_2 между суммой отсчетов
 в прямом и обратном ходах для каждого
 горизонта;

среднюю разность из всех горизонтов
 для прямого и обратного хода, а также ме-
 жду прямым и обратным ходами;

СКО измерения (по отклонениям от
 среднего) системой «цифровой нивелир
 – штрих-кодная рейка».

Результаты исследований нивелира
 DENIS 1012 и двухметровой рейки по данной
 методике для расстояния 4,2 м приведены
 в табл. 2.

Необходимо отметить, что полу-
 ченные величины L_i более 2000,000 м
 свидетельствуют не о наличии система-
 тической ошибки в нанесении штрихов
 на рейке, а о том, что данная рейка имеет
 такую длину.

Методика с применением микромет-
ренного винта. Данная методика основана
 на измерении приращения превышения,
 которое можно задавать микрометренным
 винтом или набором концевых мер [5]; эти
 перемещения принимаются как эталонные
 (истинные). В связи с тем, что концевые
 меры имеются только в специализирован-
 ных лабораториях, в производственных
 организациях для задания истинных пере-
 мещений удобно использовать микромет-
 ренные винты.

Данную методику можно применить
 в лабораторных условиях. Для этого микро-
 метренный винт вертикально закрепляется
 на кронштейне, который в свою очередь
 крепится к стене (рис. 3).

При выполнении измерений нивелир
 устанавливают в точке А, а рейку (очень
 аккуратно) – на подвижной штوك микро-
 метра. Точность измерений микрометра не
 должна быть хуже 0,01 мм. Можно также
 применять индикатор часового типа. В этом
 случае конструкция устройства перемеще-
 ния рейки несколько изменяется. В первом
 положении нивелир устанавливают таким

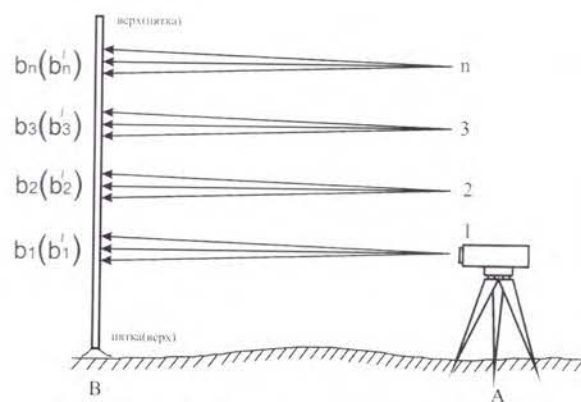


Рис. 2. Измерение по прямой
 и перевернутой рейке

образом, чтобы высота визирного луча
 над пяткой рейки была минимальной,
 например 0,3 м. В таком положении по
 рейке производят 15–20 отсчетов, а затем
 вычисляют среднее b_{cp1} . После этого рейку

Таблица 2
 Ведомость исследований нивелира и двухметровой
 рейки при $S = 4,2$ м

Высота инстру- мента, м	$L_{\text{прямо}}$	δ_1 , мм	$L_{\text{обратно}}$	δ_1 , мм	δ_2 , мм
0,32	2000,161		2000,154		0,007
		-0,005		0,016	
0,45	2000,156		2000,170		0,014
		-0,004		-0,004	
0,61	2000,152		2000,166		0,014
		0,018		0,006	
0,78	2000,170		2000,172		0,002
		0,002		-0,100	
0,94	2000,172		2000,162		0,010
		-0,006		-0,004	
1,10	2000,166		2000,158		0,008
		0,008		0,017	
1,22	2000,174		2000,175		0,001
		-0,016		-0,609	
1,35	2000,158		2000,166		-0,008
		0,002		0,008	
1,51	2000,160		2000,174		-0,014
		-0,006		-0,006	
1,63	2000,154		2000,168		-0,014
		0,014		-0,010	
1,77	2000,168		2000,158		0,010
		$cp = 0,000$		0,000	0,003
		$ cp = 0,007$		$ cp = 0,008$	0,009
		$m = 0,011 = 0,01$ мм			

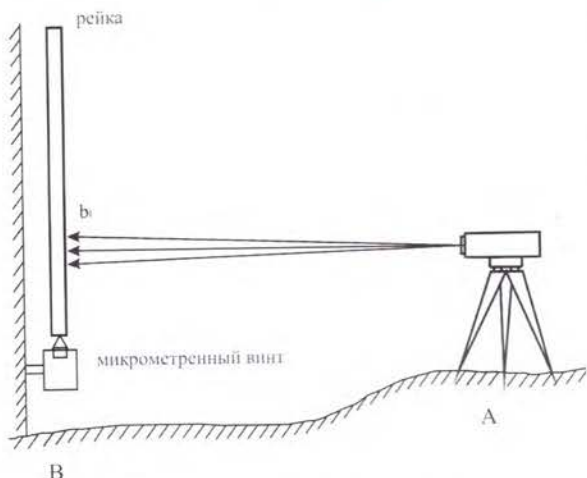


Рис. 3. Измерение с применением микрометричного винта

снимают с винта. Вращением подвижной части микрометра наконечник этого винта поднимают на заданную величину. Затем рейку снова аккуратно устанавливают на винт. Изменение высоты наконечника винта, а, следовательно, и рейки можно осуществлять двумя способами.

В первом способе высоту изменяют на весь предел работы микрометра, например на 25,000 мм. В этом случае после установки рейки на винт по ней производят 15–20 отсчетов. Затем рейку снимают, винт

Таблица 3
Ведомость исследования нивелира и рейки с применением микрометричного винта (способ 1)
 $S = 5,1$ м

Ход прямо

Высота инструмента, м	Отсчет по рейке, мм	$l_{изм}$, мм	$l_{микро}$, мм	Δ , мм
0,31	310,832	25,012	25,000	0,012
	285,820			-0,018
0,42	420,544	25,004	25,000	0,004
	395,540			-0,007
0,56	561,328	24,982	25,000	0,008
	536,346			-0,018
1,78	1780,167	24,987	25,000	0,004
	1755,180			-0,013

$m = 0,012$ мм

поднимают на 25,000 мм, и по рейке снова производят 15–20 отсчетов с последующим нахождением среднего $b_{ср2}$. После этого изменяют высоту горизонта и измерения повторяют для всей длины рейки (табл. 3). Измерения производятся в прямом и обратном направлениях. При этом также изменяется расстояние до рейки.

При реализации второго способа для каждого горизонта высота изменяется с шагом 1,000 или 5,000 мм (табл. 4).

В обратном ходе наконечник винта опускают.

После выполнения измерений вычисляют: СКО «взгляда» для каждого горизонта и расстояния; СКО измерения (по отклонениям от эталонного) системой «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка».

Методика с использованием эталонного превышения. Данную методику мож-

Таблица 4
Ведомость исследования нивелира и рейки с применением микрометричного винта (способ 2)
 $S = 5,1$ м

Ход прямо

Высота инструмента, м	Отсчет по рейке, мм	$l_{изм}$, мм	$l_{микро}$, мм	Δ , мм
0,31	310,832	5,012	5,000	0,012
	305,13	4,992	5,000	-0,008
	300,138	5,006	5,000	0,006
	295,132	4,988	5,000	-0,012
	290,144	5,004	5,000	0,004
	285,140			
1,75	1753,224	5,016	5,000	0,016
	1748,208	4,993	5,000	-0,007
	1743,215	5,008	5,000	0,008
	1738,207	5,004	5,000	0,004
	1735,203	4,985	5,000	-0,015
	1728,218			

$m = 0,010$ мм

по рейке снова последующим. После этого а и измерения рейки (табл. 3) в прямом и обратном также изменя-

о способа для а изменяется (табл. 4).

нечник винта

ерений вычис- дного горизонта ия (по уклоне- юй «цифровой йка».

нием эталон- методику мож-

Таблица 4
Тира и рейки
винта (способ 2)

$l_{\text{метр}}$ мм	Δ , мм
5,000	0,012
5,000	-0,008
5,000	0,006
5,000	-0,012
5,000	0,004

5,000	0,016
5,000	-0,007
5,000	0,008
5,000	0,004
5,000	-0,015

не применять при аттестации нивелиров, которые предназначены для измерения превышений на станции с СКО 0,8 и 2,0 мм, т. е., соответственно, точных (типа НЗ) и технических (типа Н10).

При реализации данной методики в лабораторных или полевых условиях между точками В и С (см. рис. 1) высокоточным нивелиром типа Н05 или аттестованным высокоточным цифровым нивелиром измеряется превышение с СКО порядка 0,05–0,05 мм. Измерение превышения с такой точностью нивелиром типа Н05 достигается по программе геометрического нивелирования короткими лучами (в нашем случае до 5–7 м) при двух–трех горизонтах инструмента. Это превышение принимается как эталонное $h_{\text{эт}}$. После этого в точке А устанавливают исследуемый нивелир и по методике, описанной на с. 10, выполняют измерения. При выполнении исследований рейки, предназначенные для технического нивелирования, должны быть снабжены круглым уровнем.

После выполнения измерений вычисляют (табл. 5):

среднее из отсчетов для каждого горизонта;

значение СКО «взгляда» для каждого горизонта и расстояния (по уклонениям от среднего);

измеренные превышения между рейками для каждого горизонта в прямом и обратном ходах;

разность между превышениями для каждого горизонта и эталонным превышением;

СКО измерения (по уклонениям от эталонного) системой «цифровой нивелир – штрих-кодированная рейка».

Таблица 5
Величина исследования нивелира и рейки с использованием эталонного превышения $S = 5,1$ м

Высота инструмента, м	$h_{\text{изм}}$ мм	$h_{\text{теор}}$ мм	Δ , мм
0,29	123,4	123,28	0,12
0,45	123,0	123,28	-0,28
0,58	123,5	123,28	-0,22
2,64	123,8	123,28	0,52
2,78	123,9	123,28	0,62

$$m = 0,48 = 0,5 \text{ мм}$$

Необходимо отметить, что при проведении аттестации системы «цифровой нивелир – штрих-кодированная рейка» можно использовать несколько методик. Например, при аттестации высокоточной системы «цифровой нивелир – штрих-кодированная рейка» можно использовать первую и вторую методику, а при аттестации точной или технической системы – любые из рассмотренных.

По окончании выполнения исследований рекомендуется проложить замкнутый нивелирный ход длиной 1,0–1,5 км. После этого можно дать объективное заключение о работе системы «цифровой нивелир – штрих-кодированная рейка».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Визиров Ю. В., Ковалёв С. В., Спиридонов А. И. Особенности метрологического и сервисного обслуживания цифровых нивелиров // Геодезия и картография. – 2002. – № 3. – С. 17–19.
2. Голыгин Н. Х., Шаимкулов Д. А. Исследование внутришаговой короткопериодической погрешности цифрового нивелира DiNi 10 // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2003. – № 5. – С. 106–116.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 225 с.
4. Травкин С. В. Разработка методов и средств поверки и калибровки геодезических приборов для измерения превышений. – Дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – М.: МИИГАиК, 2007.
5. Травкин С. В. Метод определения погрешностей измерения превышения высокоточными нивелирами с использованием концевых мер // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 3. – С. 97–100.

Summary

The article deals with the methods for investigating the system «digital level – bar-code rod» in the laboratory and field conditions. The research may be conducted both with reference instruments and without them. It is pointed out that the mean square error of height difference determination at different rod locations does not exceed 0,015 mm. ■