

УДК 528

ГЕОДЕЗИЯ

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ВНЕОЧЕРЕДНОЙ ПОВЕРКИ СИСТЕМЫ «ЦИФРОВОЙ НИВЕЛИР+ШТРИХ-КОДОВАЯ РЕЙКА»

Профессор, доктор техн. наук Г.А. Уставич¹, профессор, доктор техн. наук Х.К. Ямбаев²

¹Сибирская государственная геодезическая академия,

²Московский государственный университет геодезии и картографии

yambaev@miigaik.ru

Аннотация. Предлагается для текущей (технологической) поверки метрологических характеристик системы «цифровой нивелир+штрих-кодированная рейка» цельные штрих-кодовые рейки снабдить двумя равноценными пятками на её противоположных концах, определять тем или иным способом точное расстояние между пятками рейки. Таким образом рейка будет представлять собой концевую меру известной длины. Нивелирование проводить с поочерёдной установкой рейки на нижнюю и противоположную (верхнюю) пятку рейки. Сумма отсчётов должна быть равна длине такой концевой меры, что и является метрологическим контролем рассматриваемой системы.

Ключевые слова: цифровой нивелир, штрих-код, рейка, пятка, уровень круглый, поверка

Abstract. It is proposed to supply whole barcode staffs with to equal butts at both ends in current «digital level+barcode staff» system. Accurate distance between the butts is supposed to be determined anyhow. Thus, the staff will represent an end measure of a known length. The stationed ends are supposed to alternate for every next following measurement. The total of measurements should be equal to such an and measure – which is a metrological control of the proposed system.

Keywords: digital level, barcode, staff, butt, circular level, verification

Для обеспечения требуемой точности и надежности результатов нивелирования, получаемых измерительной системой «цифровой нивелир+штрих-кодированная рейка», необходимо проводить ее периодическую метрологическую аттестацию (исследования геометрических параметров).

Применительно к системе «оптический нивелир-рейка», в которой используется нивелир с визуальным отсчитыванием и шашечная или штриховая инварная рейка, эти исследования выполняются отдельно для нивелира и для рейки. Применительно к системе «цифровой нивелир+штрих-кодированная рейка», в которой используется цифровой нивелир и штрих-кодированная рейка, выполнить исследование отдельно в полном объеме только для нивелира и только для штрих-кодированной рейки чрезвычайно сложно. Это обусловлено тем, что штрих-кодированная рейка, во-первых, не имеет метрическую шкалу, с равномерно нанесёнными 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 принимает не два соседних штриха рейки, а последовательность из многих штрихов различной ширины. Выполнить исследования отдельно цифрового нивелира и штрих-кодированной рейки можно только в специализированной лаборатории. В этом случае для исследования только цифрового нивелира необходимо иметь эталонную штрих-кодированную меру, положение штрихов на которой соответствует их теоретическим значениям.

Для исследования фактического положения отдельных штрихов кода только штрих-кодированной рейки (комплекта реек) и сравнения их с теоретическими значениями применяются вертикальные или горизонтальные интерференционные компараторы [1]. Завершающим этапом исследований является исследование на интерференционном компараторе единой системы «цифровой нивелир+штрих-кодированная

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 средней квадратической ошибки измерения линейной величины, аналогичная средней квадратической ошибке измерения превышения на станции (без влияния внешних условий).

Применительно к исследованию системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» необходимо отметить следующее. В настоящее время в России такая специализированная лаборатория по проведению вышеуказанных исследований имеется только в МИИГАиК. Поэтому для организаций из удалённых районов России обязательное ежегодное проведение этих исследований (метрологическая аттестация) является дорогостоящим мероприятием. Кроме того, при выполнении нивелирования или при транспортировке (хранении) цифрового нивелира имеют место случайные механические удары, которые могут привести к нарушению юстировки его электронной системы. В таких случаях необходимо выполнить внеочередную (повторную) поверку системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка». Применительно к оптическим нивелирам проведение таких поверок не вызывает особых затруднений, как в лабораторных так и в полевых условиях. Поверку же системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» необходимо будет выполнять в вышеназванной лаборатории.

С учётом этого в работе [2] предлагаются методики проведения внеочередной поверки (аттестации) системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка», которые можно применять в лабораторных условиях производственной организации, имеющей эти нивелирные системы, а также и в полевых условиях при выполнении нивелирования. Одна из методик поверки основана на конструктивных особенностях цифровых нивелиров, позволяющих производить взятие отсчетов по прямому и обратному (по перевёрнутой рейке) изображению штрих-кода рейки.

Однако в предлагаемом варианте ее применения она не позволяет при проведении по-

верки использовать фактическую (истинную) длину штрих-кодовой полосы. Кроме того, при повороте рейки на 180° она устанавливается на сферическую поверхность (марку) верхней плоскостью корпуса рейки, которая не может являться полноценной пяткой. В связи с этим для обеспечения проведения полноценной внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» нами предлагается цельные штрих-кодовые рейки снабжать двумя равноценными пятками, на которые поочередно можно устанавливать рейку. Для обеспечения установки рейки в вертикальное положение при ее двух положениях необходимо иметь два круглых уровня 1 и 2 (рис. 1). С учетом данного предложения указанная методика поверки производится следующим образом.

В лабораторных условиях на бетонном жёстком основании в точке A устанавливается цифровой нивелир, а в точке M , расположенной на расстоянии 4–5 м от цифрового нивелира, с помощью круглого уровня штрих-кодовая рейка тщательно устанавливается в вертикальное положение (см. рис. 1, a). Для удобства выполнения измерения и повышения их точности удерживать рейку в вертикальном положении необходимо с помощью подпорок или специальных стаканов. Освещение рейки должно быть достаточным и равномерным, без образования бликов.

Цифровой нивелир со штативом первоначально опускаются на минимально возможную высоту с таким расчётом, чтобы можно было взять отсчёт по самой нижней части штрих-кодовой рейки. После приведения нивелира в

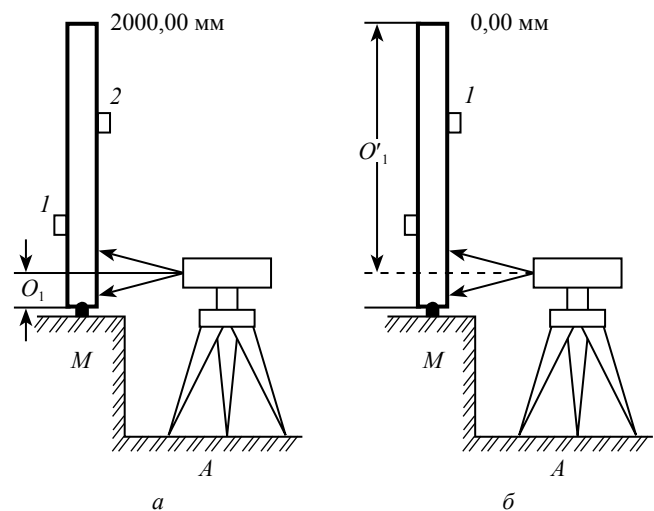


Рис. 1. Схема выполнения поверки

рабочее положение на точку M пяткой устанавливается рейка и по ней производится 15–20 отсчётов O_1 . Из полученных отсчетов вычисляется среднее их значение. Затем рейка переворачивается на 180° и устанавливается второй пяткой на эту же точку M (см. рис. 1, б), после чего по ней также производится 15–20 отсчётов O'_1 с последующим нахождением среднего значения. Для исключения влияния остаточной неперпендикулярности пятки оси рейки установка ее производится средней частью этих пятки.

После этого с помощью штатива производится изменение горизонта нивелира (его подъём) на 10–15 см и измерения выполняются аналогичным образом: сначала по прямому изображению штрих-кодовой рейки, а затем по обратному. Изменение горизонта нивелира и производство отсчетов выполняется до тех пор, пока измерения не будут выполнены по всей длине рейки. После этого аналогичные измерения производятся в обратном направлении: нивелир также опускается с интервалом 10–15 см.

С целью определения величин ошибок «взгляда» для разных расстояний до рейки, а также для определения внутришаговых короткопериодических ошибок, измерения выполняются при различных расстояниях.

Если проверка выполняется в полевых условиях, то нивелир также устанавливается на жёсткое основание, например на сухую проезжую часть просёлочной автомобильной дороги, а рейки устанавливаются на хорошо вбитые в землю костыли или на кольца с гвоздями и удерживаются подпорками. С целью ослабления влияния оседания или выпучивания нивелира со штативом и костылей (колева) необходимо после их установки дать некоторое время (10–15 мин) на стабилизацию их поло-

жения. Также, с целью ослабления этого влияния на результаты измерений, ноги наблюдателя в процессе взятия отсчётов по рейкам не должны находиться близко к ножкам штатива. После каждой смены горизонта нивелира также необходимо давать время на стабилизацию положения нивелира и штатива. Выполнение исследований целесообразно выполнять в пасмурную, без осадков, погоду. Если же исследования выполняются в ясную погоду, то измерения необходимо производить утром или вечером. При этом, с целью исключения попадания солнечных лучей в объектив нивелира, рейка должна располагаться в противоположном направлении по отношению к положению Солнца. Также обязательно применение геодезического зонта. После завершения измерений с одной рейкой аналогичным образом производятся измерения и со второй рейкой.

Завершив измерения по двум рейкам, приступают к обработке полученных результатов. При обработке используются:

истинные значения длины штрих-кодовой шкалы $L_{ш}$ и длины L_p корпуса рейки (расстояние между пятками);

результаты многократных измерений (отсчетов), полученных при разных горизонтах цифрового нивелира.

Истинные значения длины штрих-кодовой шкалы $L_{ш}$ и длины L_p корпуса рейки получают при проведении первоначальной метрологической аттестации в вышеназванной специализированной лаборатории с помощью интерференционного или оптико-механического компараторов. Необходимо отметить, что длина штрих-кодовой шкалы $L_{ш}$ и длина L_p корпуса рейки в общем случае отличаются. Так, если теоретически эти длины будут равны, то в этом случае, если взять отсчёт O_1 по прямой (см. рис. 1, а) и отсчёт O'_1 по перевернутой рейке (см. рис. 1, б), то сумма этих отсчётов будет равна длине $L_{ш}$ штрих-кодовой шкалы и длине L_p корпуса рейки (рис. 2, а):

$$O_1 + O'_1 = L_{ш} = L_p = L_1. \quad (1)$$

Кроме того, если такие отсчёты производить при разной высоте нивелира, то при исправной работе системы «цифровой нивелир+штрих-кодová рейка» сумма этих отсчётов при двух положениях рейки должна быть постоянной, т.е.

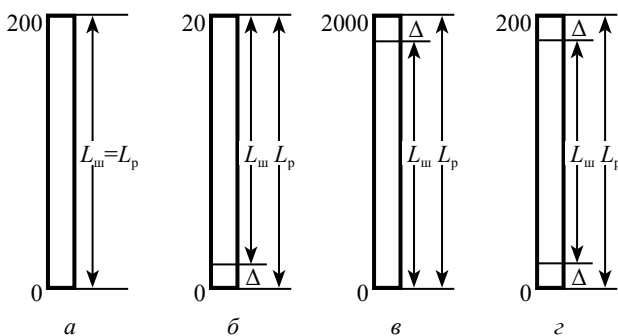


Рис. 2. К длине штрих-кодовой шкалы и рейки

$$\begin{aligned}
 O_1 + O'_1 &= L_{\text{ш}} = L_{\text{п}} = L_1; \\
 O_2 + O'_2 &= L_{\text{ш}} = L_{\text{п}} = L_2; \\
 &\dots\dots\dots \\
 O_n + O'_n &= L_{\text{ш}} = L_{\text{п}} = L_n.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

При этом также должно соблюдаться (в пределах точности измерений) условие

$$L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n = \text{const.} \tag{3}$$

Нарушение условия (3) на величину больше ошибки измерений будет свидетельствовать о наличии в работе системы «цифровой нивелир+штрих- кодовая рейка» определённой систематической, например, пяточной разности.

Пяточная разность Δ_1 может быть у основания штрих-кодовой шкалы (рис. 2, б), вверху шкалы Δ_2 (рис. 2, в) и сразу вверху и внизу $\Delta_1 + \Delta_2$ (рис. 2, г). В этих случаях будем иметь, соответственно:

$$\begin{aligned}
 O_1 + O'_1 &= L_{\text{ш}} - L_{\text{п}} = \Delta_1; \\
 O_1 + O'_1 &= L_{\text{ш}} - L_{\text{п}} = \Delta_2; \\
 O_1 + O'_1 &= L_{\text{ш}} - L_{\text{п}} = \Delta_1 + \Delta_2.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

После выполнения измерений вычисляются: по формуле (2) сумма отсчётов по прямой и перевёрнутой рейке для каждого горизонта в прямом и обратном ходах (например, для пер-

вого горизонта $320,120+1680,041=2000,161$ и $325,684+1674,470=2000,154$);

среднее из суммы отсчётов по прямой и перевёрнутой рейке для каждого горизонта в прямом и обратном ходах (например, $2000,161+2000,154=2000,158$);

разность δ_1 между суммой отсчётов смежных горизонтов;

разность δ_2 между суммой отсчётов в прямом и обратном ходах для каждого горизонта;

средняя разность δ_1 из всех горизонтов для прямого и обратного хода, а также средняя разность δ_2 между прямым и обратным ходами, в том числе и по абсолютной величине;

разность δ_3 между средним значением $L_{\text{ср}}$ из прямого и обратного ходов и эталонной длиной $L_{\text{п}}$;

средняя квадратическая ошибка измерения (по отклонениям от среднего) системой «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка».

средние квадратические ошибки «взгляда» по прямой и перевёрнутой рейке для каждого горизонта и расстояния (по отклонениям от среднего);

Результаты поверки цифрового нивелира DiNi 1012 и двухметровой штрих-кодовой рейки по данной методике для расстояния 4,2 м приведены в таблице.

Высота визирования, м	Длина L прямо, м	δ_1 , м	Длина L обратно, м	δ_1 , м	δ_2 , м
0,32	320,120+1680,041=2000,161		325,684+1674,470=2000,154		
		-0,005		0,016	0,007
0,45	451,344+1548,812=2000,156		453,852+1546,318=2000,170		
		-0,004		-0,004	0,014
0,61	609,562+1390,590=2000,152		612,435+1387,731=2000,166		
		0,018		0,006	0,014
0,78	785,435+1214,735=2000,170		782,212+1217,960=2000,172		
		0,002		-0,010	0,002
0,94	946,786+1053,386=2000,172		938,692+1061,470=2000,162		
		-0,006		-0,004	0,010
1,10	1103,792+896,374=2000,166		1106,295+893,863=2000,158		
		0,008		0,017	0,008
1,22	1218,648+781,526=2000,174		1220,184+779,991=2000,175		
		-0,016		-0,009	0,001
1,35	1349,564+650,594=2000,158		1353,816+646,350=2000,166		
		0,002		0,008	-0,008
1,51	1512,774+487,386=2000,160		1507,445+492,729=2000,174		
		-0,006		-0,006	-0,014
1,63	1625,816+374,338=2000,154		1634,338+365,830=2000,168		
		0,014		-0,010	-0,014
1,77	1764,883+235,285=2000,168		1773,386+226,772=2000,158		
					0,010

$$\begin{aligned}
 \text{ср} &= 0,0006 \\
 |\text{ср}| &= 0,007
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ср} &= 0,0005 \\
 |\text{ср}| &= 0,008
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ср} &= 0,003 \\
 |\text{ср}| &= 0,009
 \end{aligned}$$

$$m_{\text{взгл}} = 0,011 \text{ мм} = 0,01 \text{ мм}$$

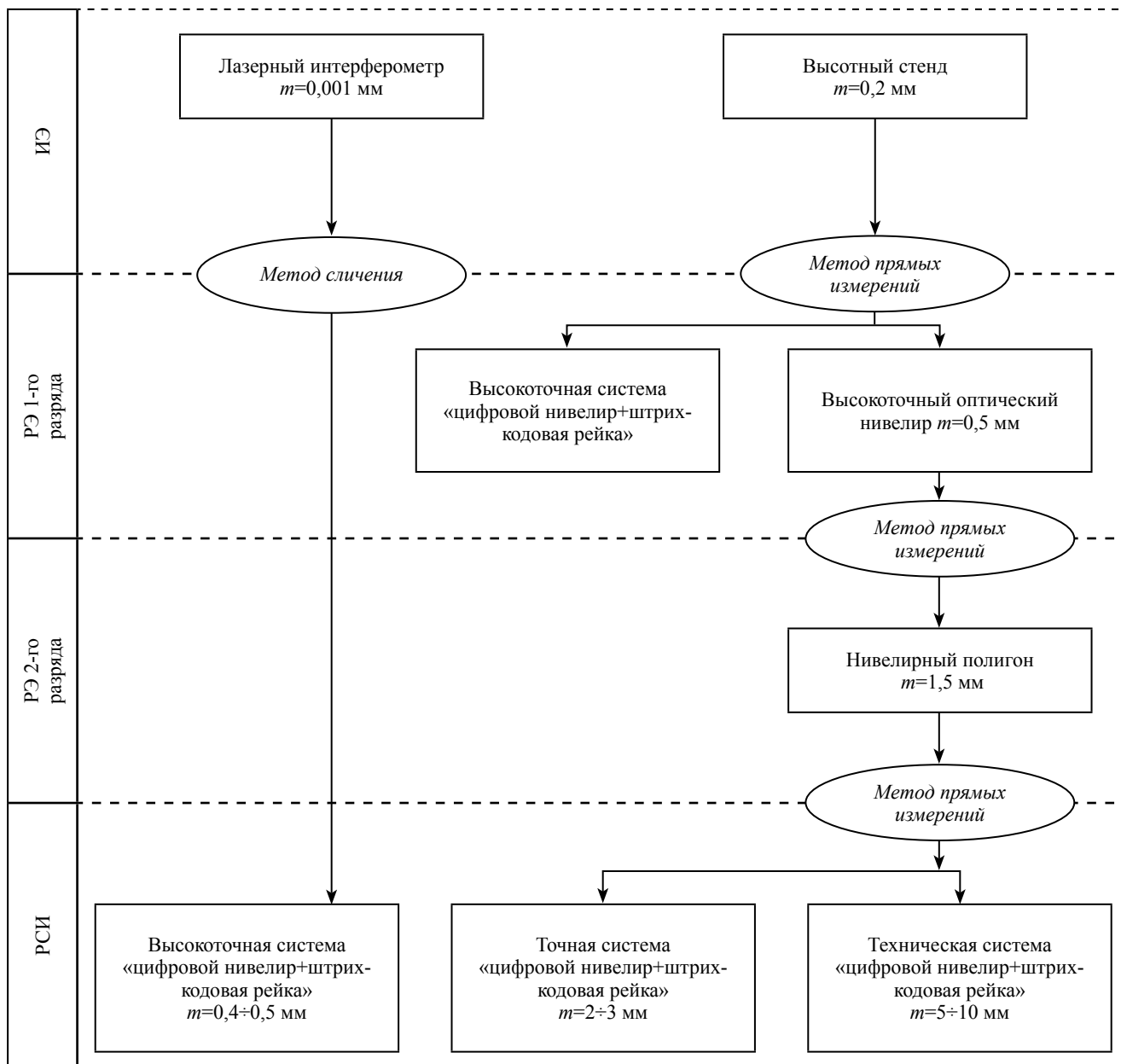


Рис. 3. Локальная поверочная схема системы «цифровой нивелир+штрих-кодочная рейка»

Предположим, что в результате эталонирования на компараторе длина L_p оказалась равной 2000,110 мм. По результатам наших исследований значение L_{cp} оказалось равным 2000,164 мм, тогда разность $\delta_3 = L_{cp} - L_p = 0,054$ мм.

Необходимо отметить, что пяточная разность Δ_1 не вносит систематической ошибки в измеряемое превышение на нивелирной станции при использовании одной штрих-кодочной рейки, а также в результаты нивелирного хода при использовании двух реек и при четном числе станций.

Предлагаемая методика внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодочная рейка» обеспечивает проведение ее в лабораторных и полевых условиях с точностью порядка 0,01–0,02 мм, и она может быть использована для поверки оптических нивелиров с шашечными или штриховыми рейками.

Для обеспечения единства измерений при проведении поверки нивелиров и реек применяются ведомственные локальные поверочные схемы (ЛПС). Эти схемы относятся к обеспечению поверок отдельно для нивелиров с ви-

зуальным отсчитыванием и отдельно для метрических реек [3]. Применительно к поверке системы «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка» эти схемы применять невозможно. В связи с этим для обеспечения такой поверки нами предлагается схема ЛПС (рис. 3), в которой учтены особенности выполнения измерений системой «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка». Предлагаемая схема содержит две поверочные ветви.

Первой из этих ветвей производится поверка только высокоточной (РСИ) системы «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка», а другой ветвью — высокоточные, точные и технические РСИ. При этом в качестве рабо-

чего эталона 1-го разряда может служить высокоточный оптический нивелир с визуальным отсчитыванием (типа Н05) или высокоточная система «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка».

ЛИТЕРАТУРА

1. Травкин С.В. Метод определения погрешностей измерения превышения высокоточными нивелирами с использованием концевых мер// Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка». –2006. –№ 3. –С. 97–100.
2. Уставич Г.А. Исследование цифровых нивелиров и реек [Текст]/ Г.А. Уставич, Н.М. Рябова, В.Г. Сальников, М.Е. Рахымбердина // Геодезия и картография. –2011. –№4. –С. 9–15.
3. Спиридонов А.И. Основы геодезической метрологии. –М. Картогеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 247 с.

Принята к печати 26 июня 2013 г.

Рекомендована кафедрой геодезии МИИГАиК

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ «ЦИФРОВОЙ НИВЕЛИР+ШТРИХ-КОДОВАЯ РЕЙКА»

Кандидат техн.наук **Н.Х. Голыгин**, кандидат техн.наук **Ю.Е. Федосеев**,
аспирант **П.А. Черепанов**

Московский государственный университет геодезии и картографии

metlab@miigaik.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы, связанные с метрологическим обеспечением измерительных систем «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка» и методикой выполнения высокоточного геометрического нивелирования с их помощью.

Ключевые слова: поверка, калибровка, поверочная установка МИИГАиК УМК-М, цифровой нивелир, штрих-кодвая рейка, нивелирование I и II классов

Abstract. The questions connected with metrological maintenance of measuring systems «digital level+barcode staff» and technique of execution of high-precision geometric leveling with their help are considered.

Keywords: verification and calibration, calibration setting MIIGAik UMC-M, digital product, barcode staff, leveling classes I and II

Быстрое развитие современных оптико-электронных приборов, как правило, многофункциональных, с элементами автоматизации, как измерений, так и обработки результатов, более подверженных влиянию внешних условий и старению отдельных элементов, требует проведения тщательных их исследований с целью повышения точности измерений. Настоящая работа посвящена экспериментальным исследованиям точности измерений измерительной системой (ИС) «цифровой нивелир+штрих-кодвая рейка», а также разработке методов высокоточного геометрического нивелирования с использованием современных измерительных систем.

В связи с поставленной задачей, очевидно, резко возрастает трудоемкость процесса по-

верки средств измерений (СИ), на первый план выступают их калибровка в заявленных диапазонах измерений и выявление внутришаговых (короткопериодических) детерминированных неопределенностей измерений, что требует больших материальных затрат и времени.

На российском рынке находится широкая гамма моделей цифровых нивелиров иностранного производства, отечественными потребителями приобретены уже десятки тысяч таких приборов. Однако в настоящее время отсутствуют нормативные документы, позволяющие выполнять высокоточные классы нивелирования указанными выше приборами. Проблема состоит в том, что при работе на станции здесь отсутствуют известные геодезистам из оптического нивелирования контроли