

УДК 528.54:006

DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-2-59-71

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ МАСШТАБА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО РАЗНОСТЯМ ПРЕВЫШЕНИЙ, ИЗМЕРЕННЫХ ЭТАЛОННЫМ И ПОВЕРЯЕМЫМ ЦИФРОВЫМИ НИВЕЛИРАМИ

Георгий Афанасьевич Уставич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

Иван Абид оглы Мезентцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (923)241-80-42, e-mail: vania.mezentzew@yandex.ru

Дмитрий Витальевич Бирюков

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)895-78-66, e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

Дмитрий Андреевич Баранников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)753-95-82, e-mail: eddieogilvie@yandex.ru

Для обеспечения производства нивелирования системой «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» необходимо ежегодно выполнять периодическую поверку по определению масштаба ее изображения (среднюю длину метра). В настоящее время данная поверка производится на стационарном интерференционном компараторе. Недостатком данной методики поверки является значительная трудность в организации ее выполнения, а также ее стоимость. Это обусловлено тем, что число интерференционных компараторов крайне мало. Так, за Уралом они находятся только в Новосибирске в Сибирском государственном университете геосистем и технологий, а также в институте метрологии. Если организации, находящейся в Якутии, требуется выполнить поверку данной системы, то весь объем работ (перевозка системы на самолете, командировочные расходы, проведение собственно поверки) обойдется примерно в 150–200 тыс. рублей. Кроме ежегодной периодической поверки часто возникает необходимость проведения внеочередной поверки. Это связано с тем, что в процессе выполнения нивелирования, особенно на промплощадке, имеют место случайные механические удары, порой значительные, по корпусу цифрового нивелира, которые могут привести к необходимости его ремонта. В этом случае встает вопрос о сохранности величины масштаба изображения системы. Для этого необходимо будет снова проводить ее поверку на стационарном интерференционном компараторе со всеми организационными и финансовыми затратами. Для значительного упрощения процедуры внеочередной поверки предлагается методика, основанная на использовании другого высокоточного цифрового нивелира, которая позволяет выполнять поверку непосредственно на месте производства нивелирных работ без использования интерференционного компаратора.

Ключевые слова: система «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка», периодическая и внеочередная поверка, стационарный интерференционный компаратор, высокоточный цифровой нивелир

Введение

При выполнении геодезических измерений обязательным требованием является проведение ежегодной периодической метрологиче-

ской поверки применяемых приборов. Так, при выполнении высокоточного нивелирования поверке подвергается нивелир и две рейки. Одной из основных поверок является поверка линейных частей нивелирного комплекта.

В случае выполнения высокоточного нивелирования системой «нивелир с визуальным отсчитыванием – инварные штриховые рейки» поверке подвергаются цена деления барабанчика оптического микрометра нивелира типа Н-05 и длина метровых (дециметровых) интервалов реек типа Р-05 [1, 2]. При этом такие поверки выполняются с использованием метрических средств измерений отдельно для нивелира и для пары инварных штриховых реек. Так, цена деления барабанчика оптического микрометра определяется с применением эталонной шкалы, интервалы которой также предварительно эталонируются со средней квадратической ошибкой (СКО) не хуже 0,007 мм. Поверка правильности нанесения метровых (дециметровых) интервалов инварных реек производится контрольной (женевской) линейкой, которая также поверяется на компараторе типа МК-1 [3]. Этими действиями обеспечивается передача единицы длины от исходного государственного эталона на цену деления барабанчика микрометра и штрихов инварной рейки.

Конструкция системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» предусматривает одновременную и совместную работу двух ее составляющих частей [4–9, 10–14]. Поэтому, в отличие от нивелиров с визуальным отсчитыванием и штриховых инварных реек, исполнителю невозможно выполнить поверку отдельно цифрового нивелира и комплекта штрих-кодовых реек. Это обусловлено тем, что нанесение штрихов на рейку производится по специальному коду, разработанному каждой фирмой, выпускающей эти системы. При этом формула перевода метрических интервалов в кодовые и последующего нанесения этих кодированных штрихов на рейку (длины их интервалов и толщина штрихов) фирмой не разглашается. Последующее декодирование нанесенного на рейку штрих-кода (его перевод в метрическую систему с сохранением масштаба изображения) производится электронным устройством цифрового нивелира (во время взятия отсчета), принцип работы которого исполнителю также неизвестен. В связи с этим исполнителю не представляется возможным выполнить раздельно поверку правильности работы электронного

устройства цифрового нивелира, а также нанесения этих кодовых штрихов на рейку с помощью контрольной линейки. Такую поверку цифрового нивелира и штрих-кодовых реек можно выполнить только на заводе, где они выпускаются.

В связи с этим поверка системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» производится специализированными организациями в лабораторных условиях с применением дополнительного измерительного устройства – стационарного интерференционного компаратора, который является эталонным средством линейных измерений. Сущность такой поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» заключается в сравнении длин интервалов рейки, декодированных электронным устройством цифрового нивелира, с их эталонными значениями, выраженными в метрической мере. Это сравнение производится с применением горизонтальных или вертикальных интерференционных компараторов, которые обеспечивают СКО измерений (воспроизведение единицы длины) не хуже 0,001 мм при температуре воздуха около 20 °С. Следовательно, такие компараторы обеспечивают СКО измерений на порядок точнее, чем система «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка».

При этом необходимо отметить, что, согласно положениям метрологии, эталонное средство измерений должно быть точнее поверяемого минимум в три раза [15, 16].

Поверка длин интервалов реек с метрической шкалой производится путем сравнения длин поверяемых интервалов с длинами эталонных интервалов, например, интервала L с диапазоном от 00,00 до 100,00 мм рейки с таким же интервалом контрольной линейки. В этом случае при совмещении нулевого штриха 00,00 мм контрольной линейки с нулевым штрихом инварной рейки штрих 100,00 мм контрольной линейки должен совместиться с таким же штрихом инварной рейки (теоретически, при правильности нанесения штриха 100,00 на поверяемой рейке). В этом случае СКО в длине указанного интервала рейки (метрового или дециметрового) зависит только от СКО нанесения двух этих штрихов. При проведении поверки системы

«цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» производится сравнение разности двух отсчетов по шкале интерферометра (например, вертикально расположенного) с разностями двух условных (электронных) отсчетов по штрих-кодовой рейке, полученных цифровым нивелиром. Таким образом, проведение ежегодной поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» является довольно трудоемкой задачей.

Целью проведения исследования является совершенствование методики метрологической поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» в части определения масштаба изображения после его декодирования электронным устройством цифрового нивелира, которую можно, во-первых, применить без использования интерференционного компаратора и, во-вторых, в организации, непосредственно выполняющей высокоточное нивелирование.

Сущность данной методики заключается в применении в качестве эталонного средства измерений исправного (ранее поверенного на компараторе) высокоточного цифрового нивелира. Однако в этом случае нарушается метрологическое требование к эталонным средствам измерений, которое устанавливает, что эталон должен быть точнее поверяемого средства не менее чем в три раза. В связи с этим необходимо пояснить, что применение данной методики преследует собой цель не проведения метрологической аттестации цифрового нивелира после ремонта (определение величины отклонения средней длины метра), а поверки его работоспособности, т. е. измерения превышения с регламентированной для него точностью. Если в результате поверки поверяемый цифровой нивелир будет обеспечивать регламентированную СКО измерения превышения на станции и в нивелирном ходе, то наблюдатель может продолжать выполнять нивелирование. Затем, по окончании полевого сезона (работ на объекте), система «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» проходит поверку на интерференционном компараторе, где и определяется величина отклонения средней длины метра с последующим введением данной поправки в измеренные превышения между реперами нивелирных ходов.

Ниже представлена методика проведения исследований с полученными результатами и сделанными по результатам исследований выводами.

Исходные данные и методика определения масштаба изображения штрих-кодовых реек

Пусть в процессе выполнения нивелирования произошел механический удар по корпусу высокоточного цифрового нивелира, в результате чего он оказался неработоспособным (в нашем случае в нивелире Dini 03 № 771608 был нарушен ход лучей, из-за чего отсутствовало изображение штрих-кодовой рейки) и поэтому был выполнен его ремонт в специализированной организации. По окончании ремонта нивелира была выполнена поверка сохранности масштаба изображения на горизонтальном интерференционном компараторе СГУГиТ. После этого также была выполнена поверка с применением предлагаемой методики, которая предполагает использование второго, исправного высокоточного цифрового нивелира.

Поверка с применением горизонтального интерференционного компаратора. Горизонтальный компаратор, на котором выполнялись исследования, в отличие от вертикального состоит (рис. 1) из бетонной тумбы *A*, на который устанавливаются поверяемый цифровой нивелир *1* и лазерный интерферометр *2*. На фундаменте *3* располагаются направляющие длиной до 30,0 м, по которым на двух каретках перемещается горизонтально уложенная штрих-кодовая рейка. Для передачи в объектив цифрового нивелира изображения от горизонтально уложенной рейки *4* используется высококачественное зеркало *5*, которое располагается над штрих-кодовой рейкой на расстоянии 0,5–0,6 м.

При выполнении поверки за эталонное значение принимается величина перемещения L_1 штрих-кодовой рейки, определяемая с помощью интерферометра, которое сравнивается с измеренной величиной. Эта измеренная величина получается как разность отсчетов по штрих-кодовой рейке, полученных поверяемым цифровым нивелиром. Величина (шаг) перемещения выбирается обычно равной 90–110 мм.

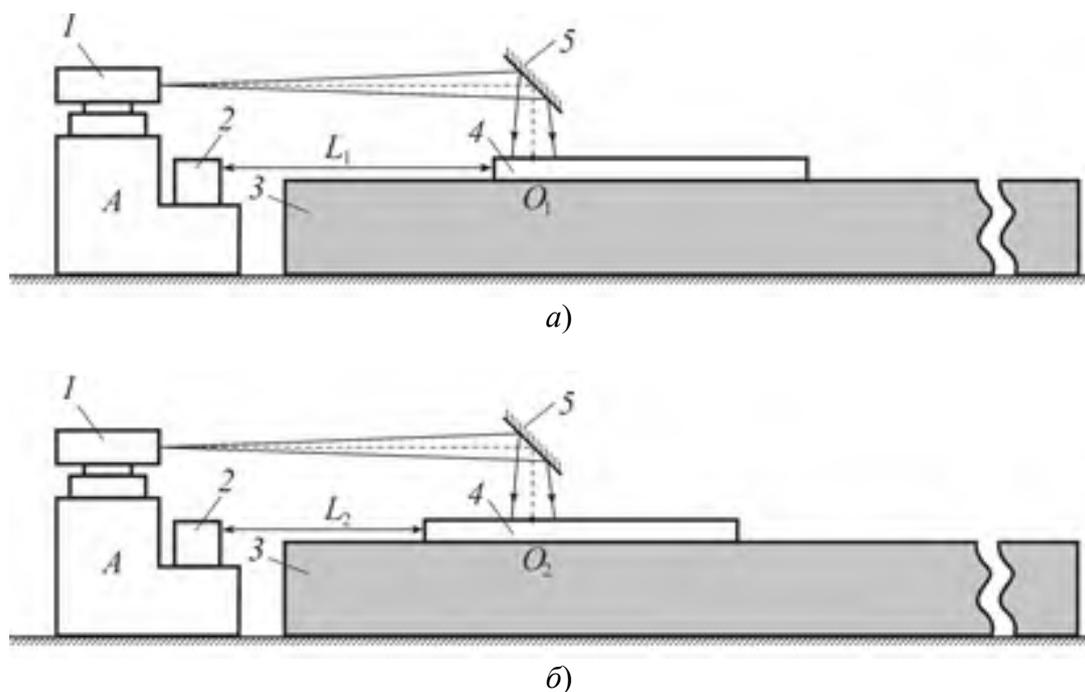


Рис. 1. Схема выполнения поверки на горизонтальном интерференционном компараторе:
 а) при начальном положении рейки; б) при измененном положении рейки

При выполнении наших исследований данная поверка включала в себя:

- производство измерений с использованием пары штрих-кодовых реек;
- взятие отсчетов по компаратору и цифровому нивелиру в прямом и обратном направлениях;
- определение масштаба изображения (средней длины метра) для каждой штрих-кодовой рейки и для комплекта реек;
- ошибку совмещения начала шкалы отсчета штрих-кодовой рейки с плоскостью пятки.

Результаты измерений для рейки Trimble LD12 № 31885 следующие:

- ошибка совмещения начала отсчета шкалы рейки с плоскостью пятки – 0,15 мм;
- средняя длина метра (масштаб изображения) – 1,000 130 1;
- отклонение средней длины метра – 0,130 1 мм;
- СКО измерения системы «нивелир – рейка» – 0,126 мм.

Результаты измерений для рейки Trimble LD12 № 31362 следующие:

- ошибка совмещения начала отсчета шкалы рейки с плоскостью пятки – 0,08 мм;

- средняя длина метра (масштаб изображения) – 1,000 111 7;
- отклонение средней длины метра – 0,111 7 мм;
- СКО измерения системы «нивелир – рейка» – 0,075 мм.

Затем вычисляются значения для комплекта штрих-кодовых реек, которые оказались равны:

- средняя длина метра комплекта реек (масштаб изображения) – 1,000 120 9;
- отклонение средней длины метра комплекта реек – 0,120 9 мм;
- СКО измерения системы «нивелир – комплект реек» – 0,147 мм.

Затем была выполнена поверка с применением эталонного цифрового нивелира.

Поверка с применением эталонного цифрового нивелира. Данная поверка включает в себя:

- производство измерений с использованием пары штрих-кодовых реек;
- взятие отсчетов по каждой штрих-кодовой рейке комплекта эталонным и поверяемым нивелиром при трех горизонтах;
- определение масштаба изображения (средней длины метра) для каждой штрих-кодовой рейки и для комплекта реек.

Рассмотрим данную методику определения масштаба изображения штрих-кодовых реек (оно образуется после декодирования его электронным устройством цифрового нивелира) с применением второго высокоточного цифрового нивелира, а также выполним сравнение полученных результатов с результатами поверки на интерференционном компараторе. Ее реализацию удобно проводить в лабораторных условиях (в подвальном помещении). С целью исключения вертикального перемещения системы «штатив – цифровой нивелир» поверку необходимо выполнять с установкой штатива на шероховатом бетонном полу и в местах, где имеется возможность установки штрих-кодовой рейки на двух и более горизонтах (рис. 2). При этом превышение между этими горизонтами должно быть равным примерно 1 100,0–1 300,0 мм для штрих-кодовых реек длиной до 2,0 м и 1 500,0–2 100,0 мм длиной до 3,0 м.

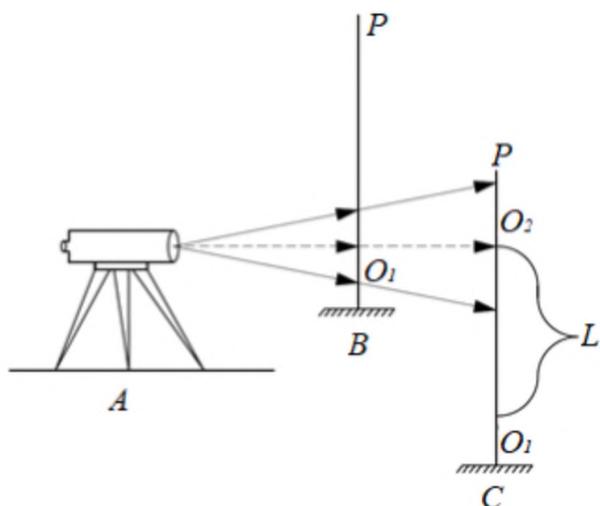


Рис. 2. Схема выполнения измерений с использованием исправного (эталонного) и поврежденного (поверяемого) цифровых нивелиров

Для уверенного взятия отсчетов по штрих-кодовой рейке освещение должно быть равномерным и без образования бликов по всей ее длине. Также должно обеспечиваться удержание рейки по круглому уровню в вертикальном положении без ее колебания. С целью получения максимально возможной точности выполнения измерений расстояние от цифрового нивелира до штрих-кодовой рейки

не должно быть больше 5,0–6,0 м. Для обеспечения большей устойчивости системы «штатив – нивелир» в процессе выполнения измерений целесообразно к станковому винту подвесить груз массой 3,0–4,0 кг.

Непосредственно измерения выполняются в следующей последовательности. В точке *A* устанавливается исправный (принимаемый за эталонный) цифровой нивелир, а в точке *B* – штрих-кодовая рейка. Высота нивелира выбирается с таким расчетом, чтобы по рейке был взят минимальный отсчет O_1 . После этого по штрих-кодовой рейке производится не менее 20 отсчетов с последующим нахождением среднего O_{1cp} . Затем рейка опускается на максимально возможную величину в точку *C* и также производится 20 отсчетов с последующим нахождением среднего O_{2cp} .

Этими действиями эталонным нивелиром измеряется превышение (линейный интервал по штрих-кодовой рейке) $h_{BC} = O_1 - O_2 = L$.

После этого со штатива снимается эталонный цифровой нивелир и на его место устанавливается поверяемый, с помощью которого аналогичными действиями измеряется линейный интервал l .

Необходимо отметить, что при перестановках нивелиров положение рейки должно быть неизменным. В этом случае результаты измерений не будут отягощены ошибками, обусловленными наклоном штрих-кодовой рейки, так как они будут входить в отсчеты эталонного и поверяемого нивелиров, а их разность будет свободна от этого влияния.

При исправной работе поверяемого нивелира линейные интервалы L и l должны быть равны между собой в пределах точности выполненных измерений, в нашем случае в пределах 0,02–0,03 мм.

Завершающим этапом исследований является вычисление масштаба изображения по формуле

$$M = \Delta l / \Delta L,$$

где Δl – разность отсчетов, полученных поверяемым нивелиром;

ΔL – разность отсчетов, полученных эталонным нивелиром.

Этими действиями выполняется один прием измерений, результаты которого приведены в табл. 1.

Результаты измерений с рейкой Trimble LD12 № 31885

№ п/п	Отсчеты по низу рейки, мм		Отсчеты по верху рейки, мм	
	Эталонный нивелир	Поверяемый нивелир	Эталонный нивелир	Поверяемый нивелир
1	317,92	361,30	1 635,45	1 678,84
2	317,92	361,34	1 635,44	1 678,84
3	317,92	361,31	1 635,44	1 678,84
4	317,92	361,31	1 635,44	1 678,84
5	317,91	361,29	1 635,44	1 678,85
6	317,91	361,27	1 635,45	1 678,84
7	317,91	361,29	1 635,44	1 678,84
8	317,92	361,27	1 635,43	1 678,84
9	317,92	361,31	1 635,44	1 678,84
10	317,91	361,27	1 635,45	1 678,84
11	317,92	361,29	1 635,44	1 678,85
12	317,93	361,30	1 635,45	1 678,85
13	317,91	361,31	1 635,45	1 678,84
14	317,91	361,29	1 635,44	1 678,84
15	317,92	361,29	1 635,44	1 678,84
16	317,91	361,30	1 635,44	1 678,84
17	317,92	361,30	1 635,45	1 678,84
18	317,92	361,29	1 635,44	1 678,85
19	317,91	361,31	1 635,44	1 678,84
20	317,91	361,30	1 635,44	1 678,84
Среднее значение	317,916	361,297	1 635,442	1 678,842

Разность средних отсчетов эталонного нивелира – 1 317,526 мм.

Разность средних отсчетов поверяемого нивелира – 1 317,545 мм.

Средняя длина метра – 1,000 014 4 мм.

Отклонение от средней длины метра – 0,014 4 мм.

СКО измерений $m = 0,014$ мм.

Для определения масштаба изображения (средней длины метра) комплекта штрих-кодовых реек измерения выполняются аналогичными действиями с другой рейкой с последующим вычислением среднего его значения.

Окончательные результаты вычислений (измерения не приводятся) для рейки № 31362 следующие:

– разность средних отсчетов (превышение) эталонного нивелира – 1 244,706 мм;

– разность средних отсчетов (превышение) поверяемого нивелира – 1 244,744 мм;

– средняя длина метра – 1,000 030 5 мм;

– отклонение от средней длины метра – 0,030 5 мм;

– СКО измерений $m = 0,017$ мм.

Тогда для комплекта штрих-кодовых реек окончательно будем иметь:

– среднюю длину метра комплекта реек – 1,000 022 4 м;

– отклонение средней длины метра – 0,022 4 мм;

– СКО измерений $m = 0,021$ мм.

Этими действиями выполняется один прием измерений. С целью повышения точности определения масштаба изображения таких приемов необходимо выполнить не менее трех с последующим нахождением среднего значения. В нашем случае из трех приемов получились следующие результаты измерений:

– средняя длина метра комплекта реек – 1,000 038 4 м;

– отклонение средней длины метра – 0,038 4 мм;

– СКО измерений $m = 0,023$ мм.

Необходимо отметить, что согласно исследованиям [4] при работе системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» имеют место внутришаговые короткопериодические

ошибки цифрового нивелира. В нашем случае для их обнаружения необходимо выполнять измерения на разных участках штрих-кодовой рейки. Для этого ножками штатива изменяется высота штатива на 80–150 мм, вследствие чего измерения будут выполняться с помощью другой комбинации кодовых штрихов (рис. 3).

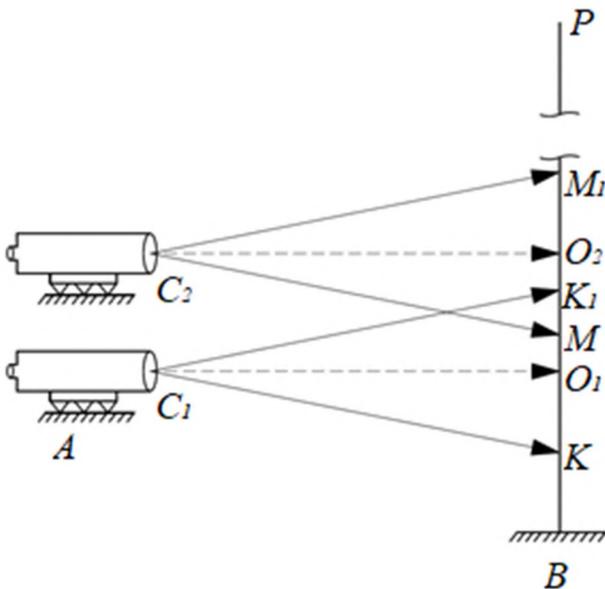


Рис. 3. Исследование влияния внутришаговой ошибки

Тогда первый электронный отсчет, например, $O_1 = 101,36$ мм по рейке при первой C_1 установке нивелира образуется набором нанесенных на нее штрих-кодовых штрихов, заключенных в интервале этой рейки, равным не менее $KK_1 = l = 300,0$ мм. В этом случае СКО в длине поверяемого интервала штрих-кодовой рейки зависит от среднего значения

СКО нанесения набора кодовых штрихов только в интервале $KK_1 = l = 300,0$ мм (число таких штрихов равно 12–14). При второй установке C_2 нивелира число штрихов также будет равно 12–14. В этом случае в измерении длины интервала O_2-O_1 по штрих-кодовой рейке цифровым нивелиром будет участвовать 24–28 кодовых штрихов. При этом часть из этих штрихов, в нашем случае заключенных в интервале MK_1 , будет принимать участие в обоих отсчетах (начальном O_1 и втором O_2) по рейке, так как они будут накладываться.

Необходимо отметить, что участие 12–14 кодовых штрихов во взятии отсчета по рейке значительно уменьшает СКО взятия этого отсчета (по аналогии с ошибкой взгляда). Это обусловлено тем, что случайные ошибки нанесения каждого из этих кодовых штрихов на рейку будут в значительной степени компенсироваться и, следовательно, повышать точность отсчитывания (уменьшать ошибку взгляда).

Для повышения удобства поверку измерения необходимо выполнять с применением двух штативов A и A_1 (см. рис. 2), на которых устанавливаются эталонный и поверяемый нивелиры. В этом случае отпадает необходимость в перестановках нивелиров.

Для проведения более детального исследования поверяемой системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» рекомендуется три (рис. 4) установки реек (измерять три разных превышения).

Результаты измерений с применением такой схемы приведены в табл. 2.

Результаты вычислений значений средней длины метра приведены в табл. 3.

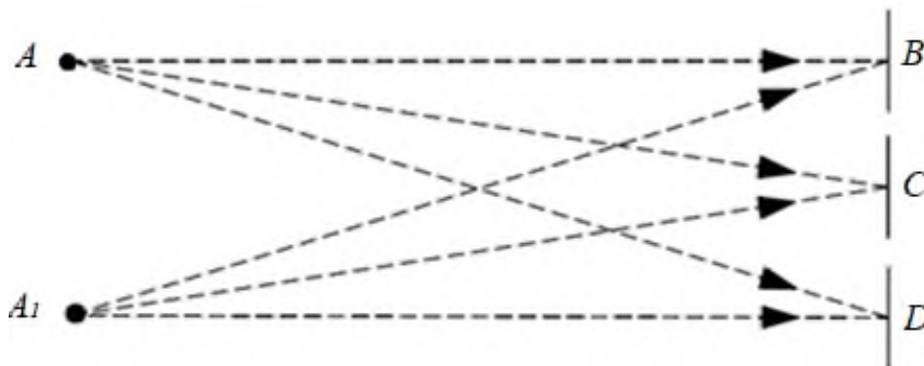


Рис. 4. Поверка нивелира по трем точкам

Таблица 2

Результаты измерений с рейкой Trimble LD12 № 31885

№	Положение рейки В		Положение рейки С		Положение рейки D	
	Эталонный нивелир	Поверяемый нивелир	Эталонный нивелир	Поверяемый нивелир	Эталонный нивелир	Поверяемый нивелир
1	1 220,38	1 253,67	1 439,13	1 472,34	1 693,10	1 726,35
2	1 220,40	1 253,66	1 439,15	1 472,34	1 693,09	1 726,35
3	1 220,40	1 253,66	1 439,15	1 472,34	1 693,10	1 726,34
4	1 220,38	1 253,66	1 439,15	1 472,35	1 693,09	1 726,33
5	1 220,41	1 253,66	1 439,16	1 472,36	1 693,09	1 726,34
6	1 220,40	1 253,66	1 439,16	1 472,36	1 693,09	1 726,35
7	1 220,40	1 253,66	1 439,16	1 472,36	1 693,09	1 726,33
8	1 220,40	1 253,67	1 439,16	1 472,35	1 693,09	1 726,33
9	1 220,41	1 253,65	1 439,15	1 472,34	1 693,07	1 726,35
10	1 220,38	1 253,65	1 439,15	1 472,35	1 693,07	1 726,34
11	1 220,41	1 253,65	1 439,15	1 472,35	1 693,08	1 726,34
12	1 220,38	1 253,65	1 439,15	1 472,35	1 693,09	1 726,35
13	1 220,39	1 253,65	1 439,16	1 472,35	1 693,09	1 726,34
14	1 220,41	1 253,65	1 439,15	1 472,34	1 693,08	1 726,34
15	1 220,41	1 253,65	1 439,16	1 472,34	1 693,09	1 726,34
16	1 220,38	1 253,65	1 439,15	1 472,34	1 693,10	1 726,36
17	1 220,41	1 253,65	1 439,15	1 472,34	1 693,10	1 726,36
18	1 220,42	1 253,66	1 439,15	1 472,35	1 693,10	1 726,35
19	1 220,38	1 253,66	1 439,15	1 472,34	1 693,11	1 726,34
20	1 220,41	1 253,65	1 439,16	1 472,35	1 693,10	1 726,35
Среднее значение	1 220,40	1253,66	1439,15	1 472,35	1 693,09	1 726,34

Таблица 3

Значения средней длины метра

Номера измеренных превышений	Эталонные превышения, мм	Измеренные превышения, мм	Масштаб изображения поверяемой системы
<i>B-C</i>	218,75	218,69	0,999 725
<i>C-D</i>	253,94	254,00	1,000 230
<i>B-D</i>	472,69	472,69	1,000 000

Средняя длина метра рейки – 0,999 985 м.

Отклонение средней длины метра – 0,015 мм.

СКО измерений $m = 0,018$ мм.

Тогда для комплекта штрих-кодовых реек Trimble LD12 № 3188 и № 31362 будем иметь:

– среднюю длину метра комплекта реек – 1,000 020 4 м;

– отклонение средней длины метра – 0,020 4 мм;

– СКО измерений $m = 0,028$ мм.

Завершающим этапом проверки является прокладывание замкнутого нивелирного хода поверяемым нивелиром. В лабораторных условиях такой ход удобно выполнять по схеме, показанной на рис. 5.

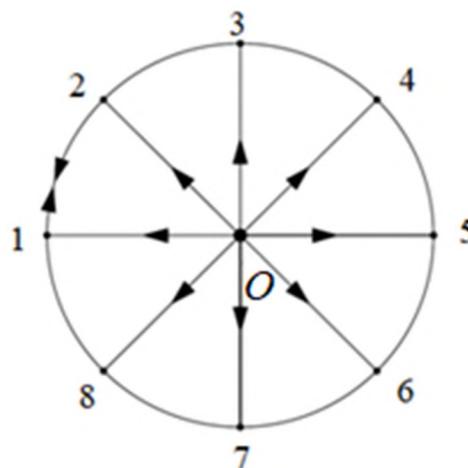


Рис. 5. Схема прокладывания контрольного нивелирного хода

Для этого в точке O на шероховатом бетонном основании устанавливается поверяемый нивелир, а по окружности радиусом 6,0–7,0 м на 6–8 башмаках строго вертикально устанавливаются рейки. После этого производится измерение превышений в ходе, начиная, например, с точки I , со сменой горизонта нивелира на 3,0–4,0 мм. Число нивелирных станций должно быть не меньше 16. В нашем случае при числе точек равным восьми нивелирование дважды производится в прямом и обратном направлениях. Если число точек будет равно шести, то нивелирование производится три раза по кругу в прямом и обратном направлениях.

С целью повышения точности измерений необходимо:

- на каждой точке хода производить по 8–10 отсчетов с последующим нахождением среднего;

- для исключения ошибки за пяточную разность нивелирование выполнять одной рейкой;

- для ослабления влияния наклона рейки нивелирование выполнять с низкого штатива.

По окончании нивелирования подсчитываются невязки для прямого и обратного ходов, а также для среднего значения, по фор-

муле $f_{\text{доп}} = 0,10 \text{ мм} \sqrt{n}$. Величина 0,10 мм взята потому, что в лабораторных условиях при малых расстояниях и 8–10 отсчетах СКО «взгляда» не будет превышать 0,03–0,04 мм.

В табл. 4 приведены результаты нивелирования поверяемым нивелиром.

В результате прокладывания нивелирного хода установлено, что невязка оказалась равной $f_{\text{пол}} = 0,12 \text{ мм}$ и это также свидетельствует о работоспособности поверяемого нивелира. В связи с этим, как уже указывалось ранее, наблюдатель данным нивелиром может продолжать выполнять работы на данном объекте. Однако введение поправок в превышения между реперами хода с целью определения окончательных измеренных превышений должно производиться после проведения повторной поверки на компараторе.

В заключение применительно к технологической поверке предлагаются схемы ее проведения (рис. 6) с использованием эталонного цифрового нивелира или высотного станда.

При использовании эталонного цифрового нивелира поверка производится путем непосредственного сличения измеренных превышений. Высотный стенд обеспечивает прямое измерение известного превышения.

Таблица 4

Результаты контрольного нивелирного хода

Номер точек хода	Ход прямо	Ход обратно	Среднее
1	3,82 / 3,80	3,85 / 3,78	3,82
2	–4,74 / –4,78	–4,72 / –4,81	–4,76
3	–4,03 / –3,92	–4,05 / –3,94	–3,99
4	5,80 / 5,76	5,76 / 5,74	5,77
5	–2,75 / –2,66	–2,78 / –2,64	–2,71
6	6,90 / 6,77	6,94 / 6,76	6,84
7	–3,74 / –3,56	–3,74 / –3,58	–3,66
8	–1,20 / –1,28	–1,22 / –1,30	–1,25
1			

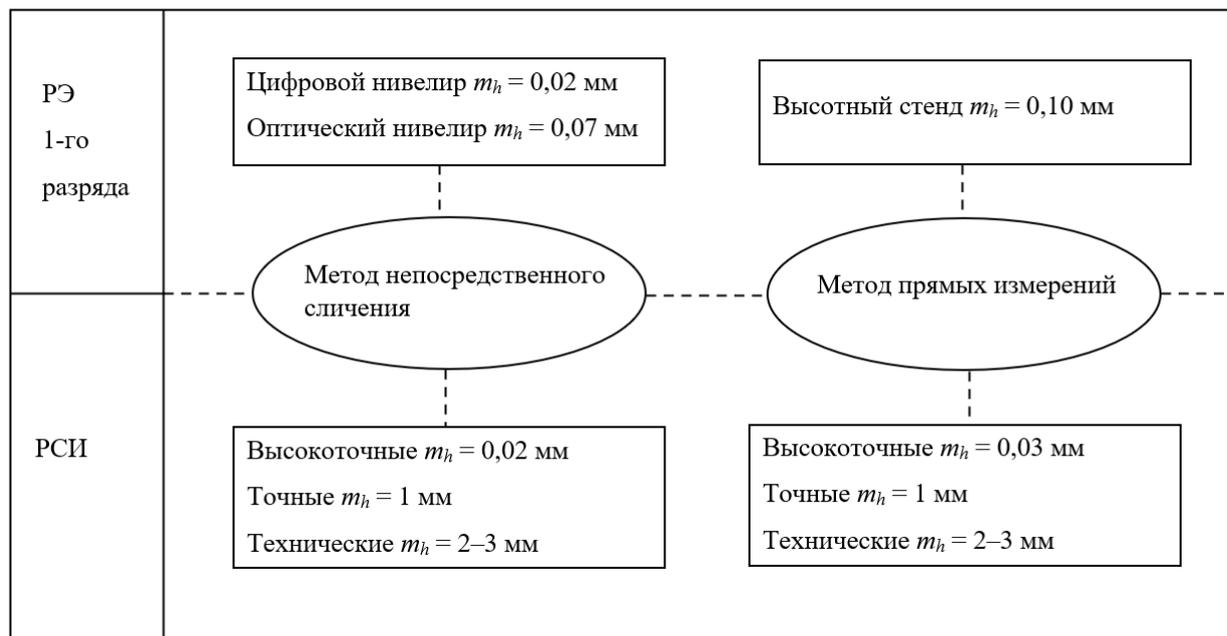


Рис. 6. Схемы технологической поверки

Выводы

В результате выполненных исследований усовершенствована методика проведения внеочередной (технологической) поверки системы «цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка» в части определения фактического масштаба изображения (средней длины метра) с использованием в качестве эталона исправного (ранее поверенного) высокоточного цифрового нивелира.

Для уменьшения величины СКО измерения превышения на станции рекомендуется длину визирного луча делать не более 5,0–6,0 м. В этом случае СКО определения средней длины комплекта реек будет составлять величину m порядка 0,015–0,025 мм. Для повышения точности выполнения измерений поверку рекомендуется делать путем измерения нескольких превышений. Поскольку в качестве эталонной меры длины выступает высокоточный цифровой нивелир, то поверку можно производить непосредственно на объекте выполнения нивелирования. В этом случае отпа-

дает необходимость в транспортировке цифрового нивелира в специализированную организацию с целью проведения соответствующей поверки, что исключит значительных организационных и финансовых затрат. Данная методика поверки является дополнением к существующей методике с применением интерференционного компаратора и может применяться в ситуации случайных механических ударов по корпусу нивелира.

Применительно к нашему случаю установлено, что прошедший ремонт поверяемый нивелир отвечает требованиям, предъявляемым к высокоточным цифровым нивелирам, и им можно продолжать выполнять высокоточное нивелирование. По окончании работ на объекте на компараторе проводится повторная периодическая поверка и полученная поправка за среднюю длину метра вводится в измеренные превышения между реперами нивелирного хода. Для поверяемого нивелира Dini 03 № 771608 с комплектом реек Trimble LD12 № 3188 и № 31362 средняя длина метра равна 1,000 120 9 м = 1 000,120 9 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03.2004. – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.
2. Крылов В. Д., Спиридонов А. И. Роль компараторов в обеспечении единства измерений // Геодезия и картография. – 2003. – № 10. – С. 46–50.

3. Травкин С. В. Метод определения погрешностей измерения превышения высокоточными нивелирами с использованием концевых мер // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 3. – С. 97–100.
4. Уставич Г. А., Демин С. В., Шалыгина Е. Л., Пошивайло Я. Г. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С. 12–14.
5. Васильев В. В., Морозов А. И. Исследование штрих-кодовой рейки и выработка предложений по созданию штрих-кодовой марки // Геодезия и картография. – 2010. – № 12. – С. 19–24.
6. Визиров Ю. В., Ковалев С. В., Спиридонов А. И. Особенности метрологического и сервисного обслуживания цифровых нивелиров // Геодезия и картография. – 2002. – № 3. – С. 17–19.
7. Голыгин Н. Х. [и др.]. Поверка и калибровка цифровых нивелиров и штрих-кодowych реек // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 2. – С. 93–97.
8. Голыгин Н. Х., Шаимкулов Д. А. Исследование внутришаговой короткопериодической погрешности цифрового нивелира DiNi 10 // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2003. – № 5. – С. 106–116.
9. Голыгин Н. Х., Федосеев Ю. Е., Черепанов П. А. Перспективы использования измерительных систем «цифровой нивелир + штрих-коддовая рейка» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 13–16.
10. Голыгин Н. Х., Травкин С. В. Стенд для аттестации вертикальных угловых измерительных систем геодезических приборов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 2. – С. 128–131.
11. Уставич Г. А., Рябова Н. М., Сальников В. Г., Теплых А. Н. Исследование штрих-кодowych реек цифровых нивелиров // Вестник СГГА. – 2010. – Вып. 2 (13). – С. 3–8.
12. Уставич Г. А., Ямбаев Х. К. Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир + штрих-коддовая рейка» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 8–13.
13. Уставич Г. А., Сальников В. Г., Рябова Н. М. Схема полевого высотного стенда для поверки системы «цифровой нивелир – штрих-коддовые рейки» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 51–55.
14. Черепанов П. А. Поверка и калибровка измерительных систем «цифровой нивелир + две штрих-коддовые рейки» // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 119–122.
15. Шалыгина Е. Л. Цифровое нивелирование – основные источники ошибок // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С. 15–17.
16. Спиридонов А. И. Основы геодезической метрологии. – М. : Геодезиздат, 2003. – 247 с.

Получено 04.02.2022

© Г. А. Уставич, Иван Абид оглы Мезенцев, Д. В. Бирюков, Д. А. Баранников, 2022

THE TECHNIQUE OF TECHNOLOGICAL VERIFICATION OF THE IMAGE SCALE BY THE DIFFERENCES OF THE EXCEEDANCES MEASURED BY THE REFERENCE AND VERIFIABLE DIGITAL LEVELS

Georgij A. Ustavich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

Ivan A. Mezentsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (923)241-80-42, e-mail: vania.mezentzew@yandex.ru

Dmitriy V. Birukov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)895-78-66, e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

Dmitriy A. Barannikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)753-95-82, e-mail: eddieogilvie@yandex.ru

To ensure the production of leveling by the "digital leveling – barcode rail" system, it is necessary to perform periodic verification annually to determine the scale of its image (the average length of a meter). Currently, this verification is performed on a stationary interference comparator. The disadvantage of this verification technique is the significant difficulty in organizing its implementation, as well as its significant cost. This is due to the fact that the number of interference comparators is extremely small. So beyond the Urals, they are located only in Novosibirsk at the Siberian State University of Geosystems and Technologies, as well as at the Institute of Metrology. If, for example, an organization located in Yakutia needs to perform verification of this system, then the entire amount of work (transportation of the system by plane, travel expenses for conducting the actual verification) will cost approximately 150–200 thousand rubles. In addition to the annual periodic verification, it is often necessary to conduct an extraordinary such verification. This is due to the fact that in the process of leveling, especially on the industrial site, accidental mechanical shocks, sometimes significant, occur on the body of the digital level, which may even lead to the need for its repair. In this case, the question arises about the preservation of the scale of the image of the system. To do this, it will be necessary to carry out its verification again on a stationary interference comparator with all organizational and financial costs. To significantly simplify the procedure of extraordinary verification, this article proposes a technique based on the use of another high-precision digital level, which allows this verification to be performed directly at the site of leveling operations without the use of an interference comparator.

Keywords: system "digital level – barcode rail", periodic and extraordinary verification, stationary interference comparator, high-precision digital level

REFERENCES

1. Geodetic, Cartographic Instructions, Norms and Regulations. (2004). GKINP (GNTA) - 03-010-03.2004. Instructions for leveling classes I, II, III and IV. Moscow: TSNIIGAiK, 226 p. [in Russian].
2. Krylov, V. D., & Spiridonov, A. I. (2003). The role of comparators in ensuring the uniformity of measurements. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 46–50 [in Russian].
3. Travkin, S. V. (2006). Method for determining the measurement errors of excess by high-precision levels using end measures. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 3, 97–100 [in Russian].
4. Ustavich, G. A., Demin, S. V., Shalygina, E. L., & Poshivailo, Ya. G. (2005). Development and improvement of engineering-geodetic leveling technology. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 5, 12–14 [in Russian].
5. Vasiliev, V. V., & Morozov, A. I. (2010). The study of the barcode rail and the development of proposals for the creation of a barcode stamp. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 12, 19–24 [in Russian].
6. Vizirov, Yu. V., Kovalev, S. V., & Spiridonov, A. I. (2002). Features of metrological and service maintenance of digital levels. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 3, 17–19 [in Russian].
7. Golygin, N. H., & et al. (2009). Verification and calibration of digital levels and barcode rails. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 2, 93–97 [in Russian].
8. Golygin, N. H., & Shaimkulov, D. A. (2003). Investigation of the intrastep short-period error of the digital level DiNi 10. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 5, 106–116 [in Russian].
9. Golygin, N. H., Fedoseev, Yu. E., & Cherepanov, P. A. (2013). Prospects for the use of measuring systems "digital level + barcode rail". *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 6, 13–16 [in Russian].
10. Golygin, N. H., & Travkin, S. V. (2006). Stand for certification of vertical angular measuring systems of geodetic instruments. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 2, 128–131 [in Russian].

11. Ustavich, G. A., Ryabova, N. M., Salnikov, V. G., & Teplykh, A. N. (2010). Research of barcode rails of digital levels. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 2, 3–8 [in Russian].
12. Ustavich, G. A., & Yambaev, H. K. (2013). The methodology of the extraordinary verification of the system "digital level + barcode rail". *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 6, 8–13 [in Russian].
13. Ustavich, G. A., Salnikov, V. G., & Ryabova, N. M. (2014). Scheme of a field high-rise stand for verification of the system "digital leveling - barcode rails". *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 4/S, 51–55 [IN Russian].
14. Cherepanov, P. A. (2012). Verification and calibration of measuring systems "digital level + two barcode rails". *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 3, 119–122 [in Russian].
15. Shalygina, E. L. (2005). Digital leveling - the main sources of errors. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 5, 15–17 [in Russian].
16. Spiridonov, A. I. (2003). *Osnovy geodezicheskoy metrologii [Fundamentals of geodetic metrology]*. Moscow: Geodesizdat Publ., 247 p. [in Russian].

Received 04.02.2022

© G. A. Ustavich, I. A. Mezentsev, D. V. Birukov, D. A. Barannikov, 2022