

УДК 528.482.4:528.541

ИССЛЕДОВАНИЕ ШТРИХ-КODOVЫХ РЕЕК ПРИ ВЫСОКОТОЧНОМ НИВЕЛИРОВАНИИ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Куликовский Д.Р., Фунг Чунг Тхань

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству»,
Москва, e-mail: jordi1111@mail.ru

Для решения специальных инженерно-технических задач при высокоточном нивелировании применяется система – «Цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка». Вместе с тем монтаж уникального оборудования в труднодоступных местах (подвалы, паттерны в ГЭС, условия с низкими потолками, узкими коридорами), высокоточный геодезический мониторинг за деформацией зданий и сооружений в местах уплотненной застройки, строительство различных уникальных объектов – все это краткий перечень специальных инженерно-технических задач, где применение нивелирных комплектов со стандартными штрих-кодовыми рейками затруднительно либо вообще невозможно. В статье описаны исследования нивелирного комплекта «Нивелир Dini-03 и штрих-кодовая рейка». Проведены три исследования приборного нивелирного комплекта: 1) влияние горизонтального поворота штрих-кодовой рейки; 2) влияние вертикального угла наклона штрих-кодовой рейки; 3) диапазон охватываемой части штрих-кодовой рейки в поле зрительной трубы прибора. Одной из основных характеристик нивелира является средняя квадратическая ошибка на 1 км двойного хода (характеристика указывается в техническом паспорте прибора). При этом стоит отметить, что в инженерно-техническом нивелировании одним из важнейших показателей является средняя квадратическая ошибка на станции. Таким образом, по величине ошибки на станции можно оценить пригодность нивелира к выполнению работ требуемой точности. Перечисленные исследования направлены на изучение влияния нестандартного положения штрих-кодовой рейки на среднюю квадратическую ошибку на станции, а также условия возможности выполнения измерений при использовании нивелирного комплекта «Нивелир Dini-03 и штрих-кодовая рейка».

Ключевые слова: цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка, средняя квадратическая ошибка на станции

EXAMINATION OF BARCODE RAILS FOR HIGH-PRECISION LEVELING FOR SPECIAL ENGINEERING TASKS

Kulikovskiy D.R., Phung Trung Thanh

State University of Land Management, Moscow, e-mail: jordi1111@mail.ru

To solve special engineering and technical problems in high-precision leveling, a system is used – «Digital level – barcode rail». At the same time, the installation of unique equipment in hard-to-reach places (basements, patterns in hydroelectric power plants, conditions with low ceilings, narrow corridors), high-precision geodetic monitoring of the deformation of buildings and structures in places of dense development, construction of various unique objects – all this is a short list of special engineering technical tasks where the use of leveling kits with standard barcode rails is difficult, or even impossible. The article describes the research of the leveling kit «Dini-03 level and barcode rail». Three studies of the instrument leveling set have been carried out: 1) the influence of horizontal rotation of the barcode rail; 2) the influence of the vertical angle of inclination of the barcode rail; 3) the range of the covered part of the barcode rod in the field of the telescope of the device. One of the main characteristics of the level is the root mean square error per 1 km of double stroke (the characteristic is indicated in the technical passport of the device). It should be noted that in engineering and technical leveling, one of the most important indicators is the root-mean-square error at the station. Thus, by the magnitude of the error at the station, it is possible to assess the suitability of the level to perform work of the required accuracy. The above studies are aimed at studying the influence of the non-standard position of the barcode rail on the average quadratic error at the station, as well as the conditions for the possibility of performing measurements when using the leveling kit «Level Dini-03 and barcode rail».

Keywords: digital level – bar code rail, root mean square error at the station

В настоящее время имеется достаточное количество метрологических исследований системы (цифровой нивелир – штрих-кодовая рейка):

1. Влияние оседания штатива.
2. Определение зависимости СКО измерения превышения от длины плеч.
3. Исследование влияния освещенности на отсчеты по рейке.
4. Влияние вибрации на результаты нивелирования.

5. Влияние перепадов температуры окружающей среды на главное условие цифрового нивелира и др.

Существуют комплекты высокоточных цифровых нивелиров, которые укомплектованы нивелиром и инварными рейками (1; 1,7; 3 м). Данные комплекты пригодны для выполнения измерений при создании государственной высотной сети и проведении геодезического мониторинга в стандартных условиях [1].

Цель исследования:

1. Влияние горизонтального и вертикального отклонения штрих-кодовой рейки на точность отсчета.

2. Влияние диапазона видимости штрих-кодовой рейки в поле зрения трубы, цифрового нивелира Trimble Dini 0.3.

Материалы и методы исследования

В целях достижения указанной цели было проведено три опыта с использованием приборного нивелирного комплекта «Нивелир Trimble Dini 0.3 и штрих-кодвая рейка».

Опыт № 1. Исследование влияния горизонтального поворота штрих-кодвой рейки на точность взятия отсчета.

В инженерно-техническом нивелировании наиболее важным показателем является средняя квадратическая ошибка на станции [2]. В данном исследовании требовалось определить СКО на станции для различных углов поворота рейки, на различных расстояниях.

Прибор был установлен на бетонном жёстком основании, исключающем оседание штатива, так как перемещения штатива во время выполнения измерений проявляются в виде выпирания или оседания в зависимости от типа грунта [3].

Нивелир и штатив первоначально опускаются на минимально возможную высоту с таким расчётом, чтобы можно было измерить превышение, используя нижние части реек. После приведения нивелира в рабочее положение по рейке производится по 15–20 отсчётов, на основании которых вычисляется величина «ошибки взгляда», а также превышение для данного горизонта инструмента [4].

Рейка устанавливается на дюбель, имеющий сферическую форму. Дюбеля забиты в бетон. Рейка крепится к специальному удерживающему кронштейну.

Порядок исследования на станции.

1. Разбит базис в виде створа с шагом 5 м (рис. 1, а).

2. Рядом с дюбелями створа отмечены углы поворота 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 градусов (рис. 1, б).

3. Устанавливаем нивелир над точкой А, на дюбель точки 1. Плоскость рейки устанавливается перпендикулярно визирной линии ($i = 0^\circ$) (линии створа).

4. При $i = 0$ берем одиночный отсчет h .

5. Рейка с дюбеля снимается.

6. Нивелир наводится на заново установленную рейку при $i = 0^\circ$.

7. Берем одиночный отсчет h .

8. Ориентировка прибора сбивается, рейка с башмака снимается.

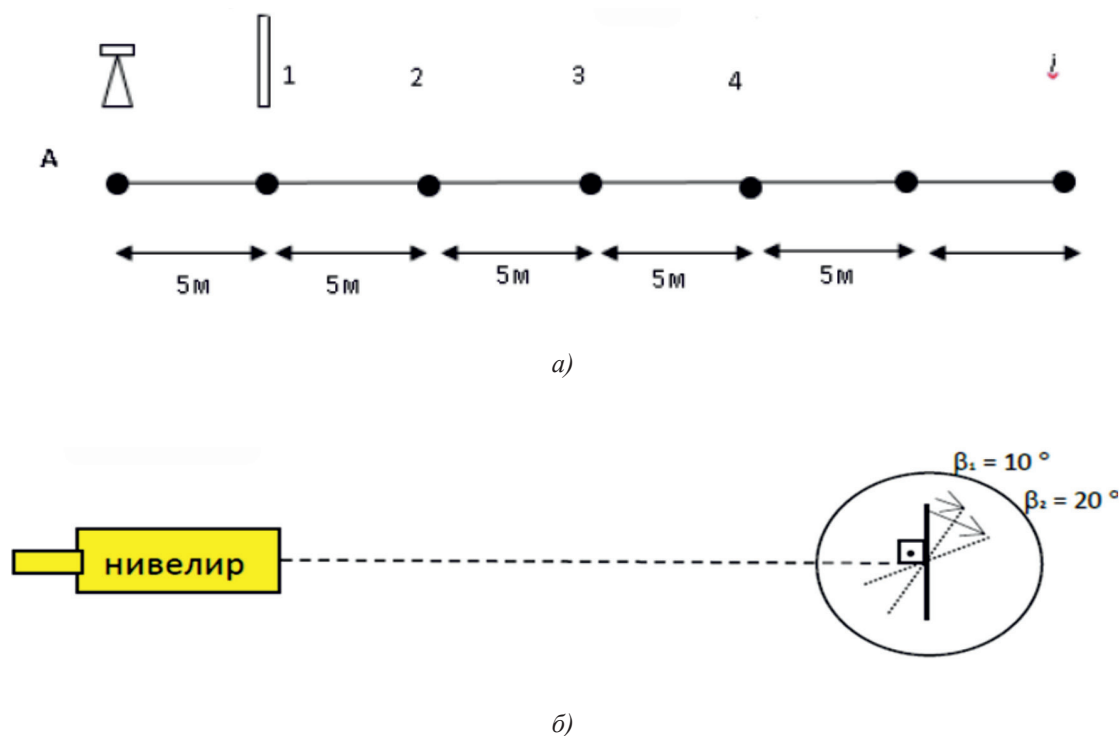


Рис. 1. а) базис-створ; б) схема расположения нивелира и кодвой рейки

9. Нивелир наводится на заново установленную рейку при $i = 0^\circ$.

10. Отсчеты h' , h'' , h''' записать в таблицу и найти из них среднее h_{cp}^0 .

11. Выполняем действия пунктов 4–11 при $i = 10^\circ$.

12. Выполняются действия пунктов 4–11 при $i = 20^\circ$.

13. Действия, аналогичные п. 12–13, выполняются до отказа прибора «взять отсчет».

14. Рейка переставляется на следующую точку (точка 2).

15. Выполняются действия, аналогичные п. 3–14, для каждой последующей точки.

В данном исследовании проведены исследования на 7 станциях, максимальное расстояние от нивелира до рейки составило 40 метров.

Изначально было получено h_{cp}^0 при линии визирования $i = 0^\circ$.

Далее вычислялись абсолютные погрешности при каждом измерении, но уже с отличным от нуля углом линии визирования.

$$\Delta_1 = h^\Delta - h_{cp}^0$$

$$\Delta_2 = h'' - h_{cp}^0$$

$$\Delta_3 = h''' - h_{cp}^0$$

Далее по формуле (1) вычислялась средняя квадратическая ошибка на станции при различном повороте рейки к линии визирования.

$$mh = \frac{\sqrt{\Delta^2}}{n} \quad (1)$$

Результаты исследований нивелира Dini-03 и штрих-кодовой рейки по данной методике для расстояния 5 м приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты исследований нивелира Dini-03 и штрих-кодовой рейки

Угол i – азимут разворота рейки (в град.)	h' h'' h''' (м)		h_{cp}^0 (при $i = 0$) _(м)	$\Delta_1 = h' - h_{cp}^0$ $\Delta_2 = h'' - h_{cp}^0$ $\Delta_3 = h''' - h_{cp}^0$ мм	Δ^2	$mh = \frac{\sqrt{\Delta^2}}{n}$
	1	2				
0	h'	1,43098	1,43095			
	h''	1,43090				
	h'''	1,43097				
10	h'	1,43098	Δ_1	0,03	0,001	0,02
	h''	1,43096	Δ_2	0,01	0,000	
	h'''	1,43095	Δ_3	0,00	0,000	
20	h'	1,43097	Δ_1	0,02	0,000	0,02
	h''	1,43095	Δ_2	0,00	0,000	
	h'''	1,43098	Δ_3	0,03	0,001	
30	h'	1,43097	Δ_1	0,02	0,000	0,02
	h''	1,43097	Δ_2	0,02	0,000	
	h'''	1,43096	Δ_3	0,01	0,000	
40	h'	1,43096	Δ_1	0,01	0,000	0,01
	h''	1,43096	Δ_2	0,01	0,000	
	h'''	1,43095	Δ_3	0,00	0,000	
50	h'	1,43099	Δ_1	0,04	0,002	0,03
	h''	1,43096	Δ_2	0,01	0,000	
	h'''	1,43093	Δ_3	-0,02	0,000	
60	h'	1,43094	Δ_1	-0,01	0,000	0,01
	h''	1,43095	Δ_2	0,00	0,000	
	h'''	1,43094	Δ_3	-0,01	0,000	
70	h'	1,43098	Δ_1	0,03	0,001	0,02
	h''	1,43096	Δ_2	0,01	0,000	
	h'''	1,43096	Δ_3	0,01	0,000	
80	h'	1,43094	Δ_1	-0,01	0,000	0,01
	h''	1,43095	Δ_2	0,00	0,000	
	h'''	1,43094	Δ_3	-0,01	0,000	

Также хотелось сказать, что при каждом новом перемещении рейки проверялось изменение угла i нивелира.

В табл. 2 и на рис. 2 показаны конечные результаты СКО на станции при расстояниях 5–40 м.

Результаты исследования и их обсуждение

1. СКО измерения нивелиром Dini-03 не превышает 0,07 мм (рис. 2).

2. Угол поворота рейки влияет на СКО на станции. Максимальные значения ошибки были получены на расстояниях 30 и 40 метров до рейки.

3. Значения СКО на станции соответствуют по точности программам нивелирования I и II классов точности по ГОСТ 24846–81 [5].

1.2 Исследование влияния вертикального угла наклона штрих-кодовой рейки на точность взятия отсчета.

В данном исследовании предлагается рассмотреть влияние вертикального поворота штрих-кодовой рейки на точность взятия отсчета. Определить, при каком угле наклона рейки измерение на рейку становится невозможным, а также определить, как меняется значение отсчета на станции при различных углах наклона рейки и расстоянии до рейки.

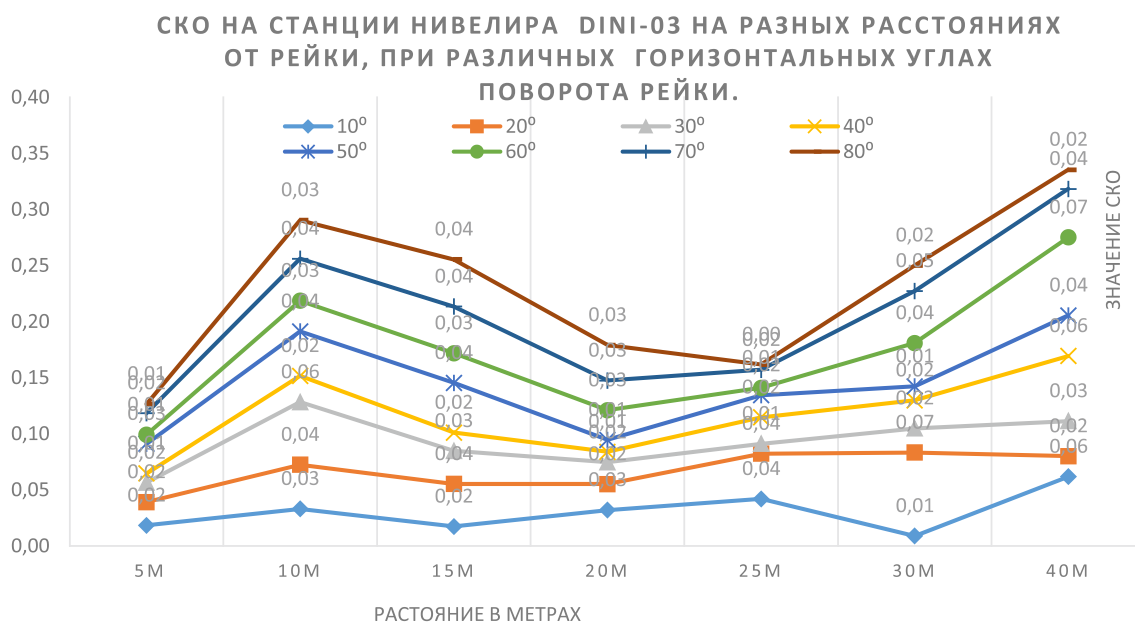


Рис. 2. График СКО на станции

Таблица 2

Конечные результаты СКО на станции при расстояниях 5–40 м

Угол i -азим. рейки (гр.)	Расстояние до рейки						
	5 м	10 м	15 м	20 м	25 м	30 м	40 м
10°	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,01	0,06
20°	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,07	0,02
30°	0,02	0,06	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03
40°	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,06
50°	0,03	0,04	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04
60°	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,04	0,07
70°	0,02	0,04	0,04	0,03	0,02	0,05	0,04
80°	0,01	0,03	0,04	0,03	0,00	0,02	0,02

Исследования проводились на ровной поверхности, покрытой бетоном. Перед началом измерений цифровой нивелир Dini-03 был вынесен из теплого помещения на улицу и установлен на штативе. Спустя 10–15 минут цифровой нивелир принимал температуру окружающего воздуха, после чего начинались производиться измерения [6]. Для установки рейки и выверки ее в вертикальное и нужное эксперименту положение, при выполнении измерений применяли отвес и угломерный строительный электронный транспортир, а также специальные подпорки.

Дан детальный порядок исследования на станции.

1. Разбит базис-створ с шагом (1.5 м – 20 м) (рис. 3, а).

2. Устанавливаем нивелир над точкой А, на дюбель точки 1, рейка устанавливается перпендикулярно визирной линии ($i = 0^\circ$).

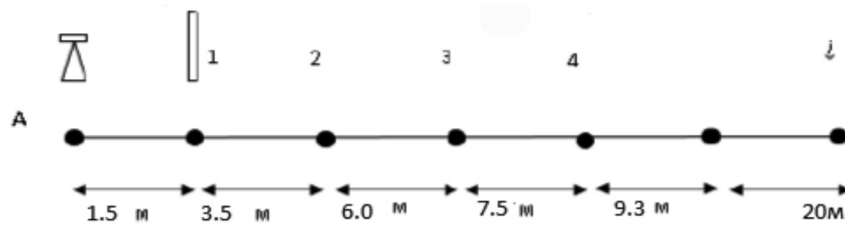
3. При $i = 0$ визируются на центр рейки и берут одиночный отсчет h и D .

4. Далее постепенно наклоняем рейку на 1 градус (рис. 3. б) в сторону наблюдателя, берем отсчет.

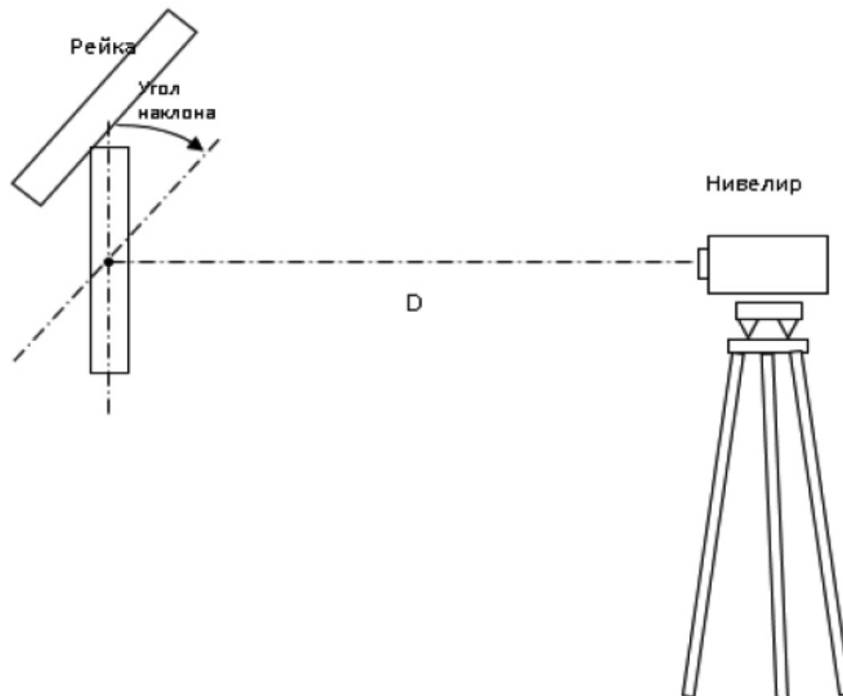
5. При каждом взятии отсчета фиксируется превышение и расстояние до штрих-кодовой рейки.

6. Действия, аналогичные п. 2–5, выполняются до отказа прибора «взять отсчет».

7. Выполняем действия пунктов 2–6 для расстояний (нивелир – штрих-кодвая рейка) 3.5–20 м. Действия также выполняются до отказа прибора «взять отсчет».



а)



б)

Рис. 3 а) базис-створ; б) схема наблюдения

В данном исследовании выполнены наблюдения на рейку на 10 станциях, на расстоянии до 20 м.

На каждом пункте брались три измерения и вычислялось среднее значение как превышений, так и расстояний. Результаты измерений при расстоянии 1.5 м представлены в табл. 3. Значение отсчета в таблице в мм.

На рис. 4 и 5 показаны результаты исследования при различных углах наклона штрих-кодовой рейки, а также зависимость изменения расстояний от наклона рейки.

Увеличение вертикального угла наклона рейки более существенно сказывается на отсчетах при близком положении рейки.

При угле наклона более 10 градусов и расстоянии более 6 метров от нивелира до рейки отсчеты не берутся, это, видимо, связано с тем, что штриховой код, записанный в память прибора, сравнивается с формируемым с помощью ПЗС-приемника сигналом. В данном случае сигнал из ПЗС-приемника очень искажен. Оптимизируются два параметра, а именно, высота и масштаб. Изменяется масштаб изображения штрихов кода как функция расстояния прибор-рейка.

Нивелир Dini-03 брал отсчет при угле наклона рейки в 21 градус и среднем расстоянии 9.3 метра.

Таблица 3

Результаты измерений при расстоянии 1.5 м

Угол наклона, град.	Отсчёт,		Отсчёт (средн.), мм	Расстояние D, мм
	мм			
1	2		3	4
0	63	746	746	1492
		746		1492
		747		1492
1	63	739	739	1491
		740		1491
		738		1491
2	63	729	729	1490
		731		
		728		
3	63	720	715	1489
		715		
		710		
4	63	697	697	1487
		697		
		697		
5	63	685	685	1485
		685		
		685		
6	63	673	674	1483
		674		
		674		
7	63	661	661	1480
		661		
		661		
8	63	643	644	1477
		642		
		646		
9	63	631	623	1473
		619		
		620		
10	63	605	601	1468
		600		
		599		
11	63	588	592	1464
		593		
		595		

Окончание табл. 3				
1	2		3	4
12	63	579	572	1458
		566		
		572		
13	63	559	561	1453
		560		
		563		
14	63	548	545	1447
		545		
		543		
15	63	527	530	1441
		527		
		536		
16	63	508	504	1433
		501		
		504		
17	63	491	494	1427
		500		
		490		
18	63	480	486	1419
		489		
		489		
19	63	477	474	1411
		476		
		469		
20	63	454	448	1402
		446		
		445		
21	63	412	408	1393
		411		
		400		

Исследование нивелира DINI-03 на разных расстояниях от рейки
(Изменение значения высоты при различных углах наклона рейки)

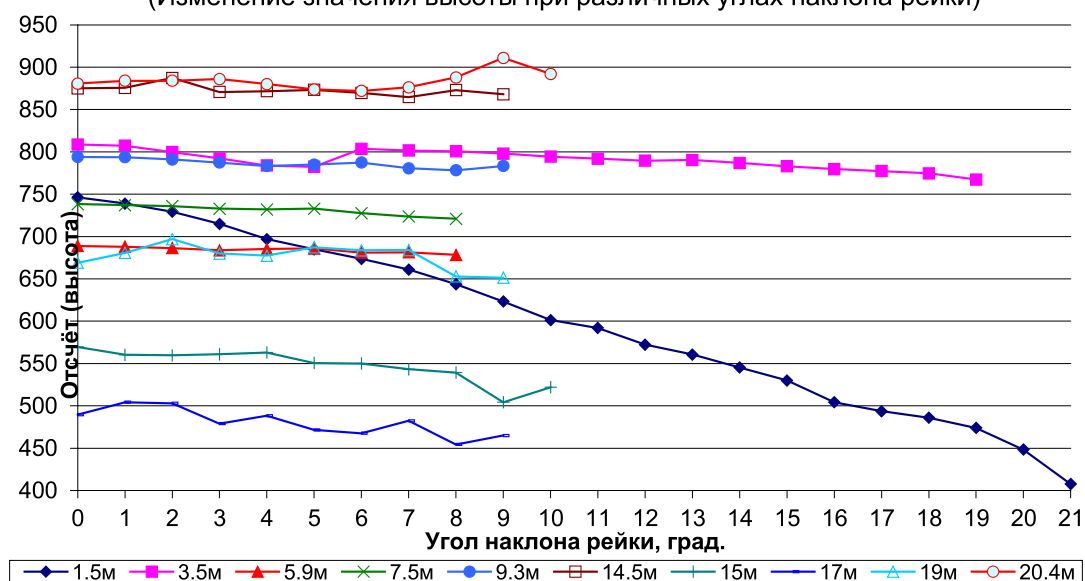


Рис. 4. Учет значений последних трех цифр в отсчете в мм

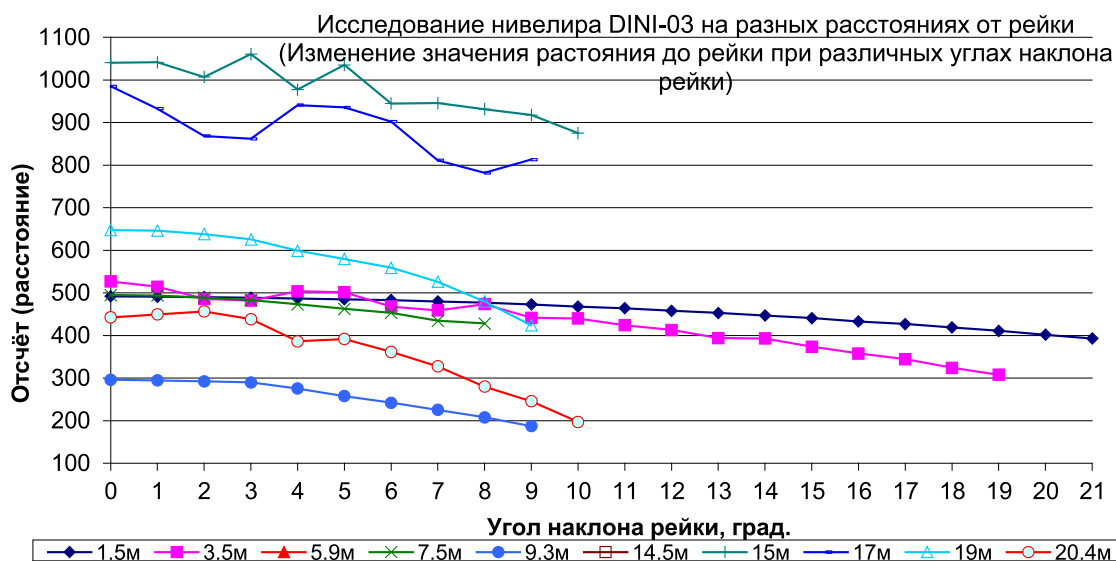


Рис. 5. Учет значений последних трех цифр в отсчете после запятой

Исследование диапазона видимости рейки в зависимости от расстояния до рейки, цифрового нивелира Dini-03

В данном исследовании предлагается исследовать диапазон использования рейки при взятии отсчета. Определить, какой диапазон рейки неприемлем для взятия отсчета. В руководстве пользователя [7] рекомендуется длина видимого участка 30 см. Данное исследование поможет нам при дальнейшем исследовании деформационных кодовых марок, а именно, выбор подходящей длины данной марки. Исследования проводились на ровной поверхности. Рейка устанавливалась на металлические дюбеля со сферической головкой, вбитые в бетонный пол на различном расстоянии от нивелира.

Разбит базис с шагом 1 м, куда устанавливалась рейка. На рейке брался минимальный диапазон видимости (рейка закрывалась двумя листами формата А4).

1. Мы разбили базис-створ с шагом 1 м на примере рис. 1.

2. Установлен нивелир над точкой А, на дюбель точка 1. Рейка устанавливается перпендикулярно визирной линии ($i = 0^\circ$).

3. При $i = 0$ визируем на центр рейки, закрываем плоскость рейки двумя листами, постепенно уменьшаем расстояние между ними до момента, когда прибор не может взять отсчет.

4. Далее выполняем те же действия, передвигая рейку дальше от нивелира.

Результаты исследования показаны в табл. 4.

Таблица 4
Результаты исследования

Расстояние в м	Диапазон видимости рейки в см
1	-
2	12
3	12
4	14
5	18
6	22
7	22
8	22
9	22
10	22
11	24
12	24
13	24
14	24
15	24
16	24
17	24
18	24
19	24
20	24
21	24
22	24
23	24
24	24
25	24

Выводы

По результатам исследования можно сделать вывод, что минимально видимый диапазон штрих-кодовой рейки цифрового нивелира Dini-03 равен 12 см.

Однако наиболее предпочтительным является диапазон не менее 24 см.

Также были проведены исследования по части выбора наиболее благоприятного участка штрих-кодовой рейки, однако разницы именно в части уменьшения видимости диапазона замечено не было.

Список литературы / References

- Куликовский Д.Р., Баранов В.Н. Исследование высокоточного нивелирования для специальных инженерно-технических задач // Актуальные проблемы картографо-геодезического обеспечения землеустройства, кадастров и охраны земель: сборник трудов Международной научно-практической конференции. М.: ГУЗ, 2020. С. 100–106.
- Kulikovsky D.R., Baranov V.N. Research of high-precision leveling for special engineering and technical problems // Aktual'nyye problemy kartografo-geodezicheskogo obespecheniya zemleustroystva, kadaastrov i okhrany zemel': sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. M.: GUZ, 2020. P. 100–106 (in Russian).
- Колесников Г.В., Киселев М.В. Некоторые аспекты измерения превышений методом анализа штрих-кода // Геопрофи. 2008. № 1. С. 16–20.
- Kolesnikov G.V., Kiselev M.V. Some aspects of measuring elevations by barcode analysis // Geoprofi. 2008. № 1. P. 16–20 (in Russian).
- Уставич Г.А. Некоторые вопросы технологии выполнения высокоточного нивелирования цифровыми нивелирами // Интерэкспо Гео-Сибирь: сборник статей по материалам международного научного конгресса. Новосибирск. 2014. № 1. С. 17–23.
- Ustavich G.A. Some questions of the technology for performing high-precision leveling with digital levels // Interekspro Geo-Sibir': sbornik statey po materialam mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa. Novosibirsk. 2014. № 1. P. 17–23 (in Russian).
- Уставич Г.А., Рябова Н.М., Сальников В.Г., Теплых А.Н. Исследование штрих-кодowych реек цифровых нивелиров // Вестник сибирской государственной геодезической академии. 2010. № 2 (13). С. 3–8.
- Ustavich G.A., Ryabova N.M., Salnikov V.G., Teplykh A.N. Study of barcode rails of digital levels // Vestnik sibirskoy gosudarstvennoy geodezicheskoy akademii. 2010. № 2 (13). P. 3–8 (in Russian).
- ГОСТ 24846-81 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений». Госстандарт. 1981. 30 с.
- Рябова Н.М., Чешева И.Н., Лифашина Г.В. Исследование величины изменения угла i цифрового нивелира в зависимости от изменения температуры // Вестник сибирской государственной геодезической академии. 2013. № 4 (24). С. 19–24.
- Ryabova N.M., Chesheva I.N., Lifashina G.V. Investigation of the magnitude of the change in the angle i of the digital level depending on the temperature change // Vestnik sibirskoy gosudarstvennoy geodezicheskoy akademii. 2013. № 4 (24). P. 19–24 (in Russian).
- Руководство пользователя Trimble DiNi, версия 01.00, артикул 57345002. Trimble Navigation Limited. 2006. С. 41–42.