

*Д. В. Бирюков<sup>1✉</sup>, Д. А. Баранников<sup>2</sup>, А. М. Астапов<sup>1</sup>*

## **Исследование влияния наклона зрительной трубы цифрового нивелира на точность измерения превышения на станции**

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Новосибирский техникум геодезии и картографии,  
г. Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

**Аннотация.** Для обеспечения измерения превышения на станции цифровыми нивелирами со средней квадратической ошибкой (СКО) порядка 0,05-0,08 мм необходимо учитывать влияние различных источников ошибок, включая и инструментальные. К такой ошибке относится ошибка, обусловленная наклоном зрительной трубы цифрового нивелира. При выполнении высокоточного нивелирования, как правило, круглый уровень устанавливается в пределах рабочего диапазона компенсатора, который равен 10-15'. Вместе с тем такой наклон зрительной трубы нивелира может привести к появлению в результатах измерений систематической ошибки, которая зависит от длины зрительной трубы. Для определения величины влияния наклона зрительной трубы цифрового нивелира на измеряемое превышение были выполнены исследования, которые показали, что даже при установке компенсатора в пределах рабочего диапазона величина систематической ошибки может достигать 0,08 мм. В связи с этим нами рекомендуется при выполнении нивелирования круглый уровень устанавливать строго посередине ампулы, несмотря на фактический предел работы компенсатора.

**Ключевые слова:** цифровые нивелиры, наклон зрительной трубы, СКО измерения превышения, рабочий предел работы компенсатора

*D. V. Biryukov<sup>1✉</sup>, D. A. Barannikov<sup>2</sup>, A. M. Astapov<sup>1</sup>*

## **Investigation of the effect of the tilt of the digital leveling telescope on the accuracy of elevation measurement at the station**

1 Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

2 Novosibirsk Technical College of Geodesy and Cartography, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

**Abstract.** To ensure the measurement of the excess at the station with digital levels with an average square error of about 0.05-0.08 mm, it is necessary to take into account the influence of various sources of errors, including instrumental ones. This error includes an error caused by the tilt of the telescope of the digital level. When performing high-precision leveling, as a rule, the round level is set within the operating range of the compensator, which is 10-15'. At the same time, such a tilt of the leveling telescope can lead to the appearance of a systematic error in the measurement results, which depends on the length of the telescope. To determine the magnitude of the effect of the tilt of the digital leveling telescope on the measured excess, studies were performed that showed that even when installing a compensator within the operating range, the systematic error can reach 0.08 mm. In this regard, we recommend that when leveling, the round level should be set strictly in the middle of the ampoule, despite the actual operating limit of the compensator.

**Keywords:** digital levels, tilt of the telescope, measurement time of excess, operating limit of the compensator

### Введение

При проведении измерений превышения на нивелирной станции зрительная труба уровенного и цифрового нивелиров располагается в различных позициях. Это связано с различиями в механизмах установления визирных осей в горизонтальном положении. В связи с этим имеются различия в происхождении основных источников ошибок [1-10].

В уровенном нивелире визирная ось остается неизменной и на протяжении всего процесса измерений (зрительная труба – внешняя воздушная среда) сохраняет горизонтальное положение, соответствующее текущему углу  $i$ . При визировании на заднюю и переднюю рейки центры объектива  $O_1$  и  $O_2$  (Рис 1, а) находятся практически на одном уровне. Разность высот  $\Delta h=O_1-O_2$  определяется лишь ошибкой совмещения концов пузырька уровня, которая составляет  $m_{совм}=0,17-0,21''$ . При расстоянии от оси вращения до объектива в 220 мм получаем  $\Delta h=O_1-O_2=0,0002$  мм, что является незначительным и влияет на измеренное превышение случайным образом.

В нивелире с компенсатором визирная ось представляет собой ломаную линию, проходящую через сетку нитей и оптические элементы, включая компенсатор. Поскольку нивелир выравнивается по круглому уровню, то ось  $NN_1$  вращения нивелира всегда будет находиться в наклонном положении (Рис 1, б). В результате при визировании на заднюю рейку центр объектива будет находиться в точке  $O_1$ , а на переднюю – в точке  $O_2$ . Это приводит к искажению отсчетов по задней и передней рейкам на величины  $A'O_1N$  и  $B'O_2N$  соответственно.

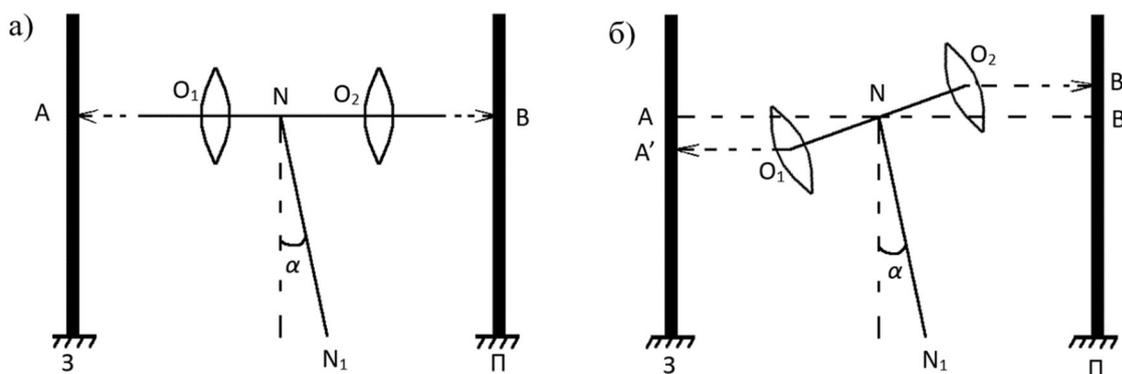


Рис. 1. Влияние наклона оси вращения нивелира с компенсатором на измеряемое превышение

Вследствие этого отсчеты по задней и передней рейкам будут искажены на величины, соответственно,  $AA'$  и  $BB'$ , которые будут равны

$$\left. \begin{aligned} AA' &= NO_1 \sin \alpha \\ BB' &= NO_2 \sin \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Тогда величина суммарного  $\delta_h$  влияния на величину измеряемого превышения будет равна

$$AA' + BB' = \delta_h = NO_1 \sin \alpha + NO_2 \sin \alpha = 2NO_1 \sin \alpha. \quad (2)$$

При  $NO_1 = NO_2 = 100$  мм и  $m_\alpha = 1,0'$  (ошибка установки нивелира по круглому уровню) получим  $\delta_h = 0,03$  мм.

Эта ошибка имеет систематический характер и может быть значительной при высокоточном нивелировании, особенно короткими лучами с требуемой СКО порядка 0,03-0,05 мм для монтажа уникального инженерного оборудования.

### *Методы и материалы*

Для определения фактического влияния наклона зрительной трубы были проведены исследования в лабораторных условиях. Для этого на расстоянии 5,9 и 10,3 м от нивелира Dini 03 устанавливалась рейка, по которой производились отсчеты тремя сериями по 20 отсчетов в серии.

Программа исследований включала в себя:

- взятие отсчетов при установке пузырька уровня строго по центру (рисунок 2, а).
- взятие отсчетов при отклонении пузырька уровня от центра с шагом около  $5,0'$  (рисунок 2, б, в).
- взятие отсчетов при установке пузырька уровня на краю ампулы (рисунок 2, г).

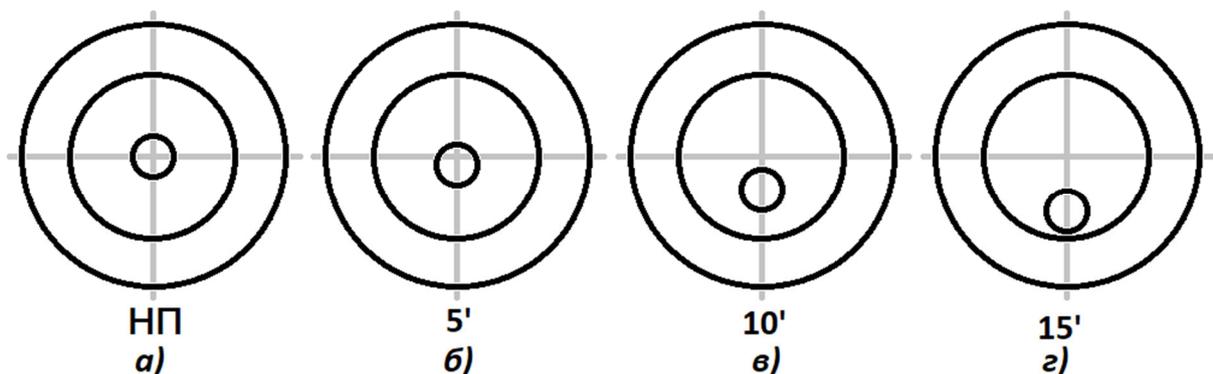


Рис. 2. Положение пузырька круглого уровня при взятии отсчетов

В результате проведенных измерений были получены следующие отклонения от нулевого горизонта (таблица 1):

- при отклонении пузырька на 5,0' изменение отсчета для расстояния 5,9 м составило 0,04 мм, а для расстояния 10,3 м составило 0,03 мм;
- при отклонении пузырька на 10,0' изменение отсчета для расстояния 5,9 м составило 0,05 мм, а для расстояния 10,3 м составило 0,05 мм;
- при отклонении пузырька на 15,0' изменение отсчета для расстояния 5,9 м составило 0,08 мм, а для расстояния 10,3 м составило 0,09 мм.

*Таблица 1*

Результаты исследования влияния наклона зрительной трубы на отсчет по рейке

№ отсчетов	Расстояние 5,867 м				Расстояние 10,327 м			
	НП	1/3	2/3	3/3	НП	1/3	2/3	3/3
1	1,53461	1,53457	1,53454	1,53451	1,55064	1,55059	1,55058	1,55055
2	1,53462	1,53456	1,53454	1,53451	1,55063	1,55059	1,55059	1,55056
3	1,53462	1,53456	1,53455	1,53451	1,55063	1,55061	1,55059	1,55054
4	1,53462	1,53457	1,53454	1,53451	1,55063	1,55061	1,55058	1,55054
5	1,53461	1,53457	1,53455	1,53452	1,55063	1,55061	1,55058	1,55054
6	1,53460	1,53457	1,53455	1,53452	1,55062	1,55060	1,55058	1,55054
7	1,53461	1,53456	1,53456	1,53451	1,55062	1,55059	1,55059	1,55054
8	1,53459	1,53457	1,53456	1,53452	1,55063	1,55060	1,55059	1,55055
9	1,53460	1,53456	1,53455	1,53451	1,55064	1,55061	1,55059	1,55055
10	1,53459	1,53457	1,53455	1,53452	1,55063	1,55060	1,55058	1,55055
11	1,53459	1,53456	1,53454	1,53452	1,55062	1,55061	1,55058	1,55054
12	1,53460	1,53455	1,53455	1,53452	1,55061	1,55061	1,55057	1,55053
13	1,53461	1,53456	1,53455	1,53451	1,55062	1,55061	1,55058	1,55053
14	1,53460	1,53455	1,53454	1,53451	1,55063	1,55062	1,55058	1,55055
15	1,53460	1,53455	1,53454	1,53451	1,55063	1,55061	1,55058	1,55055
16	1,53460	1,53455	1,53455	1,53451	1,55063	1,55060	1,55057	1,55055
17	1,53460	1,53455	1,53455	1,53452	1,55062	1,55060	1,55058	1,55054
18	1,53460	1,53455	1,53455	1,53452	1,55062	1,55060	1,55056	1,55055
19	1,53460	1,53455	1,53454	1,53452	1,55063	1,55058	1,55057	1,55055
20	1,53460	1,53455	1,53455	1,53452	1,55062	1,55059	1,55057	1,55053
<b>среднее</b>	<b>1,53460</b>	<b>1,53456</b>	<b>1,53455</b>	<b>1,53452</b>	<b>1,55063</b>	<b>1,55060</b>	<b>1,55058</b>	<b>1,55054</b>

Для снижения влияния наклона зрительной трубы необходимо:

- тщательно выполнять поверку и юстировку круглого уровня;
- при выполнении измерений устанавливать уровень строго по центру;
- следить за положением уровня во время работы, особенно на неустойчивом грунте.

Также значительное уменьшение влияния наклона достигается соблюдением симметричных программ наблюдений как на станции, так и в ходе нивелирования. При высокоточном нивелировании I и II классов следует применять симметричные программы наблюдений [11].

## *Заключение*

При выполнении высокоточного нивелирования I и II классов должны применяться симметричные программы наблюдений на станции или в нивелирном ходе, а также соответствующая последовательность приведения уровня в нуль-пункт. Если применяется программа наблюдений ЗППЗ (нечетная станция) и ПЗЗП (четная станция) и нивелирование выполняется по одной линии, то последовательность действий должна быть следующей:

### 1. Нечетная станция:

- наведение на заднюю рейку и тщательная установка уровня в нуль-пункт;
- взятие отсчета по задней рейке;
- наведение на переднюю рейку и взятие отсчета;
- смена горизонта инструмента;
- повторное наведение на переднюю рейку и тщательная установка (контроль) уровня в нуль-пункт;
- взятие отсчета по передней рейке;
- наведение на заднюю рейку и взятие отсчета.

### 2. Четная станция:

- наведение на переднюю рейку и тщательная установка уровня в нуль-пункт;
- взятие отсчета по передней рейке;
- наведение на заднюю рейку и взятие отсчета;
- смена горизонта инструмента;
- повторное наведение на заднюю рейку и тщательная установка (контроль) уровня в нуль-пункт;
- взятие отсчета по задней рейке;
- наведение на переднюю рейку и взятие отсчета.

Такой последовательностью действий соблюдается симметричность наклона (вверх и вниз) зрительной трубы как на нечетной, так и четной станциях и, тем самым, практически полностью исключается влияние указанной ошибки.

При выполнении нивелирования по двум линиям последовательность действий на станции должна быть такая же.

При наблюдении за осадками инженерных сооружений измерение превышений между осадочными марками высокоточным нивелированием короткими лучами часто производится по программе ЗППЗ без смены горизонта инструмента со сдвоенными отсчетами. Данная программа применяется при установке штатива на бетонное основание. В этом случае не будет происходить исключение из полученных превышений систематической ошибки за наклон зрительной трубы. Поэтому при выполнении высокоточного нивелирования 1 разряда наблюдения на нивелирной станции необходимо выполнять с использованием симметричной программы ЗППЗ-ПЗЗП.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Визиров, Ю. В. Особенности метрологического и сервисного обслуживания цифровых нивелиров / Ю. В. Визиров, С. В. Ковалёв, А. И. Спиридонов // Геодезия и картография. – 2002. – № 3. – С. 17 – 19.
2. Голыгин, Н. Х. Поверка и калибровка цифровых нивелиров и штрих-кодовых реек / Н. Х. Голыгин // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 2. – С. 93 – 97.
3. Голыгин, Н. Х. Исследование внутришаговой короткопериодической погрешности цифрового нивелира DiNi 10 / Н. Х. Голыгин, Д. А. Шаимкулов // Изв. вузов. Сер. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2003. – № 5. – С. 106 – 116.
4. Мещерский, И. Н. Об ошибках высокоточного нивелирования // Геодезия и картография. – 1987. – № 7. – С. 48 – 52.
5. Травкин, С. В. Метод определения погрешностей измерения превышения высокоточными нивелирами с использованием концевых мер / С. В. Травкин // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 3. – С. 97 – 100.
6. Уставич, Г. А. Исследование цифровых нивелиров и реек / Г. А. Уставич, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина // Геодезия и картография. – 2011. – № 4. – С. 9 – 15.
7. Уставич, Г. А. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, А. Н. Теплых // Вестник СГГА. – 2010. – № 2. – С. 3 – 8.
8. Уставич, Г. А., Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» / Г. А. Уставич, Х. К. Ямбаев // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 8 – 13.
9. Уставич, Г. А. Схема полевого высотного стенда для поверки системы «цифровой нивелир–штрихкодовые рейки» / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – №4/С. – С. 51–55.
10. Шалыгина, Е. Л. Цифровое нивелирование - основные источники ошибок / Е. Л. Шалыгина // Геодезия и картография. – 2005. – № 5. – С. 15 – 17.
11. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА) – 03-010-03.2004. – М.: ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.

© Д. В. Бирюков, Д. А. Баранников, А. М. Астапов, 2025