

## Исследование влияния хода фокусирующей линзы зрительной трубы электронных тахеометров на место нуля

*А. В. Никонов<sup>1</sup>\*, Н. М. Рябова<sup>1</sup>, А. Д. Смирнов<sup>1</sup>, Д. М. Искаков<sup>1</sup>, Д. А. Баранников<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация  
\* e-mail: sibte@bk.ru

**Аннотация.** При необходимости определения отметок большого количества точек эффективно применять веерообразное тригонометрическое нивелирование. Длина визирного луча при этом может меняться в широких пределах, поэтому важно знать, какое влияние на место нуля тахеометра может оказать перемещение фокусирующей линзы. Целью исследования является определение зависимости места нуля от расстояния до визирной цели. В работе применялось три электронных тахеометра, место нуля определялось при расположении визирных марок на расстоянии от 3 до 100 м. Установлено, что при перемещении марки в диапазоне расстояний от 3 до 15 м место нуля может измениться на 5–10". У каждого электронного тахеометра при перемещении фокусирующей линзы место нуля изменяется индивидуально.

**Ключевые слова:** электронный тахеометр, место нуля, перефокусировка зрительной трубы, тригонометрическое нивелирование, ошибка

## Investigations of Movement Focusing Lens by Total Station Influence on the Vertical Index Error

*A. V. Nikonov<sup>1</sup>\*, N. M. Ryabova<sup>1</sup>, A. D. Smirnov<sup>1</sup>, D. M. Iskakov<sup>1</sup>, D. A. Barannikov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation  
\* e-mail: sibte@bk.ru

**Abstract.** If it is necessary to determine the heights of a large number of points, it is effective to use fan-shaped trigonometric leveling. The length of sights can change within a wide range, so it is important to know what influence the movement of the focusing lens in the vertical index error of the total station can have. The aim of the study is to determine the dependence of vertical index error on the distance to the surveying target. Three total stations were used in the work, the vertical index error was determined when the target was located at a distance of 3 to 100 m. It was established that when the target is moved in the distance range from 3 to 15 m, vertical index error change by 5–10". In each total station when moving the focusing lens, the location of vertical index error changes individually.

**Keywords:** total station, vertical index error, focusing sighting telescope, trigonometric leveling, error

### *Введение*

Традиционно при производстве точных геодезических работ углы измеряют при двух положениях вертикального круга: при круге слева и при круге справа (КЛ и КП соответственно). Это позволяет исключить ряд инструментальных погрешностей, в частности, вертикальные углы, измеренные полным приемом, свободны от влияния места нуля (М0). В то же время при работе с электронными тахеометрами имеется возможность в процессе поверки определить место нуля,

которое будет записано в память прибора и автоматически учтено при производстве последующих измерений, даже если они будут выполняться при одном положении круга. Это позволяет ускорить процесс измерений и обеспечить удобство работы с тахеометром, снабженным только одним дисплеем. В данном случае важно, чтобы место нуля сохранялось постоянным, иначе оно будет некорректно учитываться.

Непостоянство места нуля может быть связано с изменением температуры окружающей среды, либо с влиянием хода фокусирующей линзы. При заметном изменении температуры воздуха (более 10 °С) необходимо повторно выполнять поверку места нуля, а влияние хода фокусирующей линзы зависит от качества изготовления зрительной трубы. Известно, что в геодезических инструментах, изготавливаемых в 1970-ые гг., погрешности М0 за непрямолинейный ход фокусирующей линзы могли достигать 15'' при изменении расстояния от 2 до 10 м и 5'' при изменении расстояния от 10 м до бесконечности [1]. В настоящее время на практике имеется интерес к веерообразному тригонометрическому нивелированию [2–13]. При выполнении веерообразного нивелирования в целях определения осадки фундаментов зданий и сооружений длина визирного луча колеблется от 3 до 30 м, т.е. с одной точки стояния выполняются измерения на несколько точек, что повышает производительность работ. В связи с этим актуален вопрос влияния хода фокусирующей линзы на измеряемые тахеометрами углы наклона при длине визирного луча до 30 м.

### ***Методы и материалы***

Зависимость изменения места нуля от перемещения хода фокусирующей линзы можно получить путем выполнения поверки М0 при визировании на цель, расположенную на разных расстояниях от прибора. В исследованиях применялись три тахеометра: Leica TS-02+ ( $m_\alpha=5''$ ), GeoMax Zoom 25 ( $m_\alpha=5''$ ) и Leica TCRP 1201+ ( $m_\alpha=1''$ ). В качестве визирной цели использовались перекрестия с различной толщиной линий, что обеспечивало точное наведение биссектора сетки нитей при различном удалении цели.

Визирная цель устанавливалась на расстояния от 3 до 100 м до тахеометра. Поскольку перемещение цели на малых расстояниях требует наибольшего смещения фокусирующей линзы, то в диапазоне расстояний от 3 до 15 м цель перемещалась с интервалом 3 м. Для каждого расстояния выполнялось восьмикратное определение М0.

### ***Результаты***

Для каждой серии из восьми определений места нуля вычислялись средние значения  $M0_{cp}$  (табл. 1). Средняя квадратическая ошибка средних значений  $M0_{cp}$  определялась по формуле:

$$m_{cp} = \sqrt{\frac{[\Delta_i^2]}{n(n-1)}}, \quad (1)$$

где  $\Delta_i$  – отклонение  $i$ -го значения  $M_0$  от среднего по серии;  $n$  – количество определений  $M_0$  в серии ( $n=8$ ).

Таблица 1

Результаты определения места нуля

S, м	Leica TS-02+		GeoMax Zoom 25		Leica TCRP 1201+	
	$M_{0cp},''$	$m_{M_{0cp}},''$	$M_{0cp},''$	$m_{M_{0cp}},''$	$M_{0cp},''$	$m_{M_{0cp}},''$
3	20,1	$\pm 0,4$	-4,5	$\pm 0,4$	-10,8	$\pm 0,3$
6	18,6	$\pm 0,3$	-6,0	$\pm 0,7$	-6,3	$\pm 0,2$
9	20,3	$\pm 0,2$	-7,1	$\pm 0,4$	-3,3	$\pm 0,3$
12	19,6	$\pm 0,2$	-7,5	$\pm 0,7$	-2,9	$\pm 0,4$
15	18,1	$\pm 0,1$	-9,5	$\pm 0,4$	-1,5	$\pm 0,3$
20	17,4	$\pm 0,2$	-10,5	$\pm 0,4$	-1,6	$\pm 0,2$
25	17,3	$\pm 0,2$	-9,1	$\pm 0,5$	-2,4	$\pm 0,3$
30	18,0	$\pm 0,2$	-10,8	$\pm 0,5$	-2,5	$\pm 0,3$
50	17,8	$\pm 0,1$	-9,4	$\pm 0,5$	-1,9	$\pm 0,2$
100	19,5	$\pm 0,3$	-8,4	$\pm 0,7$	-1,4	$\pm 0,5$

Для наглядности зависимость изменения места нуля от расстояния для трех исследуемых тахеометров представлена на рис. 1.

**Обсуждение**

Из рис. 1 видно, что для тахеометров Leica TCRP1201+ и GeoMax Zoom 25 изменение места нуля, вызванное ходом фокусирующей линзы зрительной трубы, при перемещении визирной цели с 3 до 15 м от прибора существенно и составляет 5–10". Для тахеометра Leica TS-02+ заметных колебаний места нуля не выявлено. Следовательно, у каждого конкретного экземпляра тахеометра влияние хода фокусирующей линзы на  $M_0$  индивидуально. Даже у высокоточных тахеометров (Leica TCRP1201+) влияние перефокусировки зрительной трубы может на малых расстояниях (до 15 м) достигать величины 10".

Обычно поверку  $M_0$  на практике выполняют при визировании на цель, удаленную на 50–100 м от тахеометра. Следовательно, углы наклона, полученные при визировании на точки, расположенные на расстоянии 5–10 м от тахеометра могут содержать ошибку до 5", а при минимальных расстояниях (менее 5 м) – до 10".

Рассмотрим численный пример. Тахеометром выполняется веерообразное тригонометрическое нивелирование: расстояние до одной из точек 5 м, а до другой – 20 м. При визировании на дальнюю точку учет  $M_0$  производится тахеометром корректно, а при наведении сетки нитей на ближнюю точку систематическая ошибка при измерении угла наклона составит 6", что в линейной мере равно 0,15 мм. Таким образом, ошибка в измеряемом превышении, обусловленная перефокусировкой зрительной трубы, составит 0,15 мм, что сопоставимо с дискретностью получаемых тахеометром превышений (0,1 мм), т.е. пренебрежимо мало. Следует иметь в виду, что большое неравенство плеч (10–15 м) возникает при определении отметок промежуточных точек, и значит, рассматриваемая ошибка не будет накапливаться при проложении основного хода нивелирования.

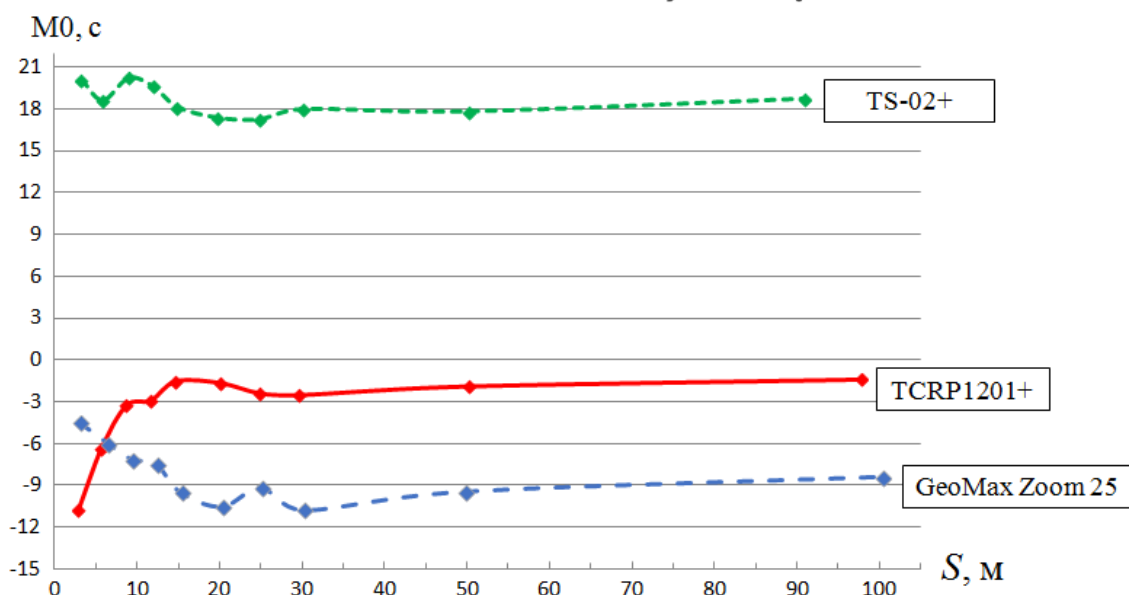


Рис. 1. Графики изменения места нуля от расстояния

### Заключение

Изменение места нуля в зависимости от перефокусировки зрительной трубы индивидуально для каждого тахеометра. Наиболее существенно (до 10'')  $M_0$  может изменяться при перемещении визирной цели в пределах от 3 до 15 м.

В наиболее худшем случае ( $S=3$  м) фактическое  $M_0$  отклоняется от значения в памяти прибора (из результатов поверки) на 10'', т.е. угол наклона будет измерен с систематической ошибкой 10'' (в линейной мере 0,15 мм), что для нивелирования II класса при контроле осадок фундаментов зданий и сооружений практически не существенно.

При необходимости достижения результатов наивысшей точности (при выверке по высоте технологического оборудования, контроле установки ответственных закладных деталей) для исключения непостоянства места нуля рекомендуется выполнять измерения несколькими приемами, при двух положениях вертикального круга.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рытов А. В. О способах определения угла  $i$  нивелира // Геодезия и картография. – 1972. – №4. – С. 30–35.
2. Уставич Г. А., Никонов А. В., Мезенцев И. А., Олейникова Е. А. Совершенствование методики веерообразного тригонометрического нивелирования // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 6. – С. 33–47. DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-6-33-47.
3. Клепиков И. В., Рыльщиков В. В. Определение весов превышений при веерообразном тригонометрическом нивелировании коротким лучом // The Scientific Heritage. – 2022. – № 84-1(84). – С. 45–51. DOI 10.24412/9215-0365-2022-84-1-45-51.
4. Клепиков И. В., Рыльщиков В. В. Априорная оценка точности веерообразного тригонометрического нивелирования коротким лучом // The Scientific Heritage. – 2022. – № 83-1(83). – С. 39–46. DOI 10.24412/9215-0365-2022-83-1-39-46.
5. Столбов Ю. В., Столбова С. Ю., Пронина Л. А., Пархоменко Н. А. Исследование точности определения высотных отметок конструкции линейного сооружения с использованием

разных геодезических приборов // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 44–57. DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-4-44-57.

6. Аврунев Е. И., Уставич Г. А., Грекова А. О., Никонов А. В., Мелкий В. А., Долгополов Д. В. Технологические решения в области обеспечения геопространственной информации о магистральных трубопроводах и объектах их инфраструктуры // Известия Томского политехнического университета. – 2020. – Т. 331, № 7. – С. 188–201.

7. Nestorovic Z. Trigonometric Levelling at Extremely Short Lines of Sight // INGENEO 2017 – 7th International Conference on Engineering Surveying, 18–20 October 2017. Электронный ресурс: [http://fig.net/resources/proceedings/2017/2017\\_10\\_INGEO/31\\_Poster1\\_Nestorovic.pdf](http://fig.net/resources/proceedings/2017/2017_10_INGEO/31_Poster1_Nestorovic.pdf)

8. Никонов А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдения за осадками сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 78–86.

9. Никонов А. В., Рябова Н. М., Алексеев С. П. Исследование влияния хода фокусирующей линзы зрительной трубы электронного тахеометра на положение визирной оси // Интерэкспо Гео-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 93–99. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-1-93-99

10. Никонов А. В., Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Применение высокоточного тригонометрического нивелирования при деформационном мониторинге гидротехнических сооружений // Интерэкспо Гео-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 85–92. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-1-85-92

11. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып.4 (24). – С. 12–18.

12. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Высокоточные геодезические измерения при деформационном мониторинге аквапарка // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 45–59.

13. Никонов А. В. Методика тригонометрического нивелирования первого и второго рядов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – №5/С. – С. 39–45.

© А. В. Никонов, Н. М. Рябова, А. Д. Смирнов, Д. М. Исаков, Д. А. Баранников, 2022