

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХОДА ФОКУСИРУЮЩЕЙ ЛИНЗЫ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА НА ПОЛОЖЕНИЕ ВИЗИРНОЙ ОСИ**

*Антон Викторович Никонов*

АО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, ведущий инженер; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела e-mail: sibte@bk.ru

*Надежда Михайловна Рябова*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

*Сергей Павлович Алексеев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, обучающийся, e-mail: alekseevsp35@gmail.com

При проведении геодезических работ внутри производственных цехов или на строительной площадке приходится существенно менять фокусирование зрительной трубы. Перефокусировка зрительной трубы может привести к смещению визирной оси, и соответственно, к понижению точности угловых измерений. В статье приведены результаты лабораторных исследований по определению коллимационной ошибки и места нуля электронного тахеометра Leica для расстояний от 2 до 84 м. Для исследуемого тахеометра существенного влияния перефокусировки зрительной трубы на положение визирной оси не установлено. Следовательно, после выполнения поверки коллимации и места нуля и автоматическом учете их влияния, допускается выполнять геодезические измерения при одном положении вертикального круга. В частности, это позволяет ускорить выполнение веерообразного тригонометрического нивелирования короткими лучами, выполняемого при наблюдениях за осадками фундаментов промышленных зданий и сооружений.

**Ключевые слова:** электронный тахеометр, коллимационная ошибка, место нуля, ошибка фокусирования, визирная ось

## **STUDY OF THE ELECTRONIC TOTAL STATION TRAVEL FOCUSING LENS MOVEMENT INFLUENCE ON THE SIGHTING AXIS POSITION**

*Anton V. Nikonov*

Sibtechenergo, 18/1, Planirovochnaja St., Novosibirsk, 630032, Russia, Leading Engineer; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: sibte@bk.ru

*Nadezhda M. Ryabova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55

**Sergey P. Alekseev**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, e-mail: alekseevsp35@gmail.com

When carrying out geodetic work inside production shops or on a construction site, it is necessary to significantly change the focusing of the telescope. Refocusing the telescope can lead to a shift in the sighting axis, and, accordingly, to a decrease in the accuracy of angular measurements. The article presents the results of laboratory studies to determine the horizontal error of collimation and vertical index error of the Leica total station for distances from 2 to 84 m. Therefore, after checking the collimation and vertical index error and automatically taking into account their influence, it is allowed performing geodetic measurements at one position of the vertical circle. In particular, this makes it possible to speed up the execution of fan-shaped trigonometric leveling with short sights, which is performed when observing the settlements of the foundations of industrial buildings and structures.

**Keywords:** total station, horizontal error of collimation, vertical index error, error in focusing, line of sight

### ***Введение***

В настоящее время на заводах, различных промышленных предприятиях и электростанциях проводятся геодезические работы, связанные с установкой закладных деталей или технологического оборудования в проектное положение, наблюдением за осадками фундаментов зданий, определением деформаций строительных конструкций и т.д. Этим работам свойственен ряд особенностей:

– влияние на процесс геодезических измерений факторов, понижающих точность их результатов (вибрация и тепловое воздействие от работающего оборудования, плохая освещенность и пр. [1–8]);

– небольшие расстояния от прибора (нивелира, тахеометра) до визирной цели, составляющие обычно от 2 до 20 м, реже – до 100 м;

– установка прибора на жесткое основание (бетонный пол), что, в частности, при нивелировании позволяет выполнять наведение на рейки по не симметричной во времени программе (ЗЗПП вместо ЗППЗ).

Обычно перед проведением работ выполняют полевую поверку тахеометра, определяют коллимацию ( $c$ ) и место нуля ( $M_0$ ). Найденные значения записываются в память прибора и учитываются при выполнении измерений, что позволяет сократить время работы на станции за счет работы при одном положении круга (только при КЛ или КП).

При выставлении оборудования в проектное положение, выполнении исполнительных съемок приходится постоянно менять фокусировку зрительной трубы в значительных пределах. Такая же ситуация происходит при выполнении веерообразного тригонометрического нивелирования по осадочным маркам, так как длина визирного луча может варьироваться в пределах от 3 до 25 м [9]. Перемещение фокусирующей линзы может приводить к смещению визирной оси, то есть к изменению  $c$  и  $M_0$ , что негативно сказывается на точности измерений. Для зрительных труб теодолитов ОТ-02 колебание оправы фокусирующей линзы могло достигать десятков секунд [10].

## Методы и материалы

В полевых условиях ошибку за перефокусировку трубы, связанную с изменением расстояния визирования, определяют по колебаниям коллимационной ошибки  $c$  и места нуля МО. Для этого при двух положениях вертикального круга (КЛ и КП) выполняют измерения на марки, расположенные на разных расстояниях от прибора примерно в одном створе и на одном горизонте.

Для исследований был выбран тахеометр Leica TS-02 Ultra с паспортной точностью измерения углов  $m_\alpha=5''$ . Визирная марка устанавливалась на следующих расстояниях от прибора: 2, 8, 14, 18, 26, 39, 63 и 84 м. Для каждого расстояния выполнялась серия из восьми определений  $c$  и МО.

Для каждой серии измерений по формуле Бесселя подсчитывалась средняя квадратическая ошибка (СКО) определения  $c$  и МО. Ошибка определения коллимации находилась в пределах от 0,7'' до 2,9'', причем максимальные значения зафиксированы для расстояний 2–26 м. Ошибка определения места нуля не превысила 1,0''. Результаты определений  $c$  представлены в табл. 1, а МО – в табл. 2.

Таблица 1

Результаты определения коллимационной ошибки

Расстояние, м	$c_{\text{ср}}, ''$	$m_c, ''$	$c_{\text{max}} - c_{\text{min}}, ''$
1,9	6,3	2,9	8,3
8,0	3,5	2,5	7,0
13,9	2,9	2,1	6,1
17,8	3,1	2,0	6,1
25,8	4,2	1,8	5,0
38,0	4,6	1,4	4,7
62,8	4,9	0,8	3,0
84,5	4,8	0,7	2,0

Таблица 2

Результаты определения места нуля

Расстояние, м	МО <sub>ср</sub> , ''	$m_{\text{МО}}, ''$	МО <sub>max</sub> – МО <sub>min</sub> , ''
1,9	19,8	0,4	0,9
8,0	18,8	0,8	1,9
13,9	18,5	0,6	1,5
17,8	18,7	1,0	2,5
25,8	18,4	0,7	2,1
38,0	18,6	0,5	1,2
62,8	19,4	0,8	2,4
84,5	19,1	0,5	1,5

Средняя квадратическая ошибка изменения  $c$  или МО находится по формуле:

$$m_{\Delta} = \sqrt{m_i^{\text{cp}} + m_{i+1}^{\text{cp}}}, \quad (1)$$

где  $m_i^{\text{cp}}$  – СКО среднеарифметического значения  $c$  или МО для  $i$ -й серии, вычисляемая по формуле (2):

$$m_i^{\text{cp}} = \frac{m_i}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где  $n$  – число измерений в серии измерений.

Например,  $m_1^{\text{cp}} = 1,0''$ ,  $m_2^{\text{cp}} = 0,9''$ , тогда ошибка изменения коллимации, вычисленная по формуле (1), будет равна  $m_{\Delta} = 1,3''$ , а само изменение  $\Delta = 6,3'' - 3,5'' = 2,5''$ . Таким образом, изменение коллимации у данного тахеометра сопоставимо по величине с точностью его определения.

Анализируя данные табл. 2, видно, что изменение места нуля с увеличением расстояния до визирной марки не существенно и находится в пределах точности измерений.

В работе [11] установлены следующие допустимые значения  $\Delta c$  и  $\Delta \text{МО}$ : для теодолитов Т05 и Т1 – 2'', Т2 – 3'', Т5 – 9''. Однако, чтобы влиянием перефокусировки трубы на измеренный угол можно было пренебречь, изменение  $c$  или МО не должно превышать 1/2 от паспортной точности прибора. Т.е. для исследуемого тахеометра при измерении горизонтальных углов должно соблюдаться условие  $\Delta c < 2,5''$ , вертикальных –  $\Delta \text{МО} < 2,5''$ . По результатам исследований максимальное изменение коллимации составило 2,0'' (не принимаем во внимание  $c$  для  $S=2$  м), и места нуля – 1,4'', т.е. перефокусировка зрительной трубы не оказывает заметного влияния на положение визирной оси исследуемого тахеометра.

### **Обсуждение**

На тепловых электростанциях принято контролировать осадки фундаментов зданий, сооружений и оборудования. В частности, для этих целей на колоннах каркаса главного корпуса на высоте 0,5–0,8 м от уровня чистого пола устанавливают осадочные марки, по вертикальным перемещениям которых судят о перемещении фундаментов.

На этапе строительства одной из ТЭЦ осадочные марки были приварены на колонны каркаса главного корпуса с таким расчетом, чтобы их высота от уровня чистого пола составляла плюс 0,5 м. Однако, до подсыпки грунта и бетонирования пола марки оказались на высоте около 1,7 м от земли, т.е. недоступными для проложения по ним хода геометрического нивелирования. В этой ситуации применение тригонометрического нивелирования оказалось единственно возможным.

На рис. 1 показан фрагмент схемы веерообразного тригонометрического нивелирования по осадочным маркам. Цифрами показана длина визирного луча, которая для станции Ст.3 изменяется от 7,0 до 14,0 м. Из табл. 2 следует, что изменение места нуля при перефокусировке зрительной трубы для данного диапазона расстояний несущественно. Таким образом, веерообразное нивелирование может выполняться при одном положении круга, что особенно удобно при работе с тахеометрами, у которых один дисплей.

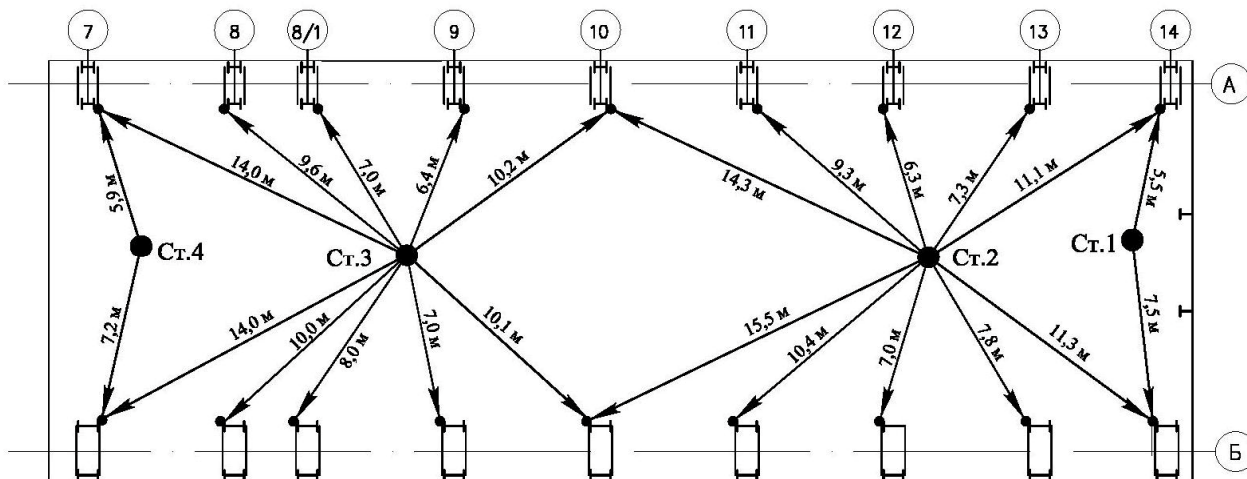


Рис. 1. Схема веерообразного тригонометрического нивелирования

Также перефокусировка зрительной трубы характерна для разбивочных работ на строительной площадке. Например, когда координаты станции определяются из обратной линейно-угловой засечки от исходных пунктов Г-1, Г-2, Г-3, ОП-36 (рис. 2), длина визирного луча составляет 50–80 м, а при разбивке анкеров под колонны здания – 10–20 м.

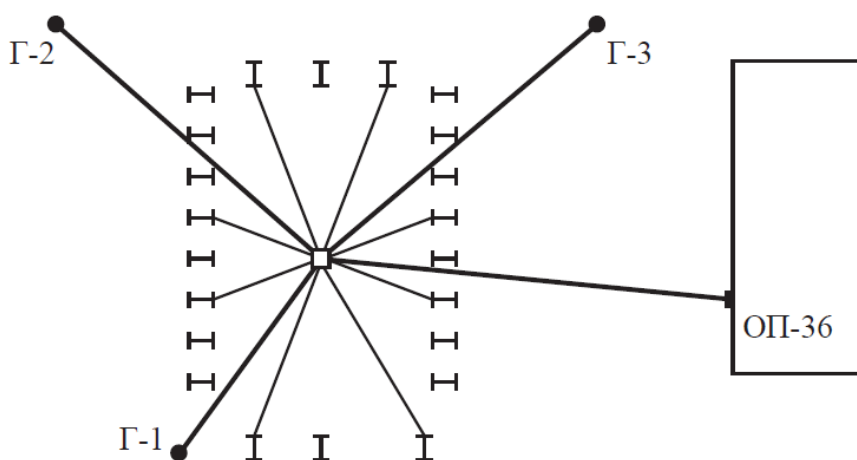


Рис. 2. Схема обратной линейно-угловой засечки

Из табл. 1 видно, что при перефокусировке трубы коллимация изменилась на величину порядка 2", что при расстоянии до анкером 20 м составит в линейной мере пренебрежимо малую величину – 0,2 мм.

### *Заключение*

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– при проведении геодезических работ, требующих заметной перефокусировки зрительной трубы, рекомендуется выполнить исследование влияния хода фокусирующей линзы на положение визирной оси. Если указанное влияние окажется несущественным, измерения можно проводить при одном положении круга (обычно КЛ), при этом следует периодически выполнять поверку коллимации и места нуля, особенно при резких перепадах температуры;

– при исследовании конкретного тахеометра для расстояний от 2 до 84 м перефокусировка зрительной трубы не оказала существенного влияния на положение визирной оси.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.

2. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – №1. – С.28–34.

3. Исследование влияния вибрации системы «штатив – нивелир» на точность измерений цифровым нивелиром / А. Бешр Ашраф, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр.: сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск: СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 28–32.

4. Новоселов Д. Б., Новоселов Б. А. Исследование работы высокоточного цифрового нивелира в условиях недостаточной освещенности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр., 15–26 апреля 2013 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. Т. 1. – Новосибирск : СГГА, 2013. – С 117–121.

5. Кирьянов Ю. В. Анализ влияния вибрации на точность визирования при высокоточном геометрическом нивелировании // Геодезия и картография. – 1990. – № 3. – С. 12–16.

6. Кметко И. Н., Пандул И. С., Литинский В. О. Влияние электромагнитного поля ЛЭП на результаты геометрического нивелирования // Геодезия и картография. – 1984. – №1. – С. 27–29.

7. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Исследование влияния турбулентности на погрешность визирования для автоматизированного тахеометра // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. – Т.1, № 1. – С. 217–222.

8. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Влияние перепадов температуры окружающей среды на главное условие цифрового нивелира при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып.2(34). – С. 24–33.

9. Никонов А. В. Методика тригонометрического нивелирования первого и второго рядов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – №5/С. – С. 39–45.
10. Гришин Б. С. Юстировка сложных оптических систем приборов. – М.: Машиностроение, 1976. – 205 с.
11. Спиридонов А. И., Кулагин Ю. Н., Кузьмин М. В. Поверка геодезических приборов. – М.: Недра, 1981. – 159 с.

© А. В. Никонов, Н. М. Рябова, С. П. Алексеев, 2021