

УДК 528.516/.517

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОСТОЯННОЙ ПОПРАВКИ ДАЛЬНОМЕРА ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА

Антон Викторович Никонов

ОАО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, инженер-геодезист, e-mail: sibte@bk.ru

Ирина Николаевна Чешева

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

Галина Викторовна Лифашина

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

В статье рассматриваются существующие схемы определения постоянной поправки дальномера безбазисным способом. Предложена схема измерений, в которой нет необходимости устанавливать прибор на концах линии, используемой при поверке. Данная схема позволяет определить поправку дальномера при измерении расстояний в безотражательном режиме. Приводятся результаты лабораторных измерений, в ходе которых найдена постоянная дальномера $K = -0,6$ мм для конкретного тахеометра TS-02 фирмы Leica.

Ключевые слова: тахеометр, лазерный дальномер, постоянная поправка.

DETERMINATION OF TOTAL STATION STADIA CONSTANT

Anton V. Nikonov

«Sibtechenergo», 630032, Russia, Novosibirsk, 18/1 Planirovochnaya St., Geodetic engineer, e-mail: sibte@bk.ru

Irina N. Chesheva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Galina V. Lifashina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Senior lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

The existing techniques for stadia constant determination without baseline are considered. Measurement technique offered by the authors does not require setting the instrument at both ends of the control sight line. The technique allows for determining the stadia constant while measuring distance in reflectionless conditions. The results of laboratory measurements are presented. In the course of these measurements the stadia constant $K = -0,6$ mm for certain Leica total station TS-02 was found.

Key words: total station, laser distance meter, stadia constant.

Для надежного измерения расстояний электронными тахеометрами необходимо учитывать постоянную прибора и отражателя, а также вводить в память прибора метеоданные (температуру и давление) [1]. Измеренные тахеометром расстояния могут содержать систематическую ошибку, вызванную отличием поправки прибора (дальномера) от нуля [2]. Обычно постоянная прибора имеет неизменное значение [3]. Поверка постоянной прибора может быть выполнена путем измерения эталонных расстояний (базисный способ) либо измерением линии и составляющих ее отрезков (безбазисный способ) [2–4].

Базисный способ, как правило, применяется специализированными организациями при аттестации приборов [5–9]. Предполагается, что разность эталонной и измеренной тахеометром длины базиса является постоянной прибора. Однако, следует учитывать, что на точность определения этой постоянной влияют ошибки центрирования, ошибка отражателя, ошибка собственно базиса, а при значительных расстояниях – и ошибки, обусловленные внешними условиями [3].

В безбазисном способе измерения выполняют по трехштативной системе для исключения ошибок центрирования. На горизонтальном участке устанавливают два штатива *A* и *B* на расстоянии примерно 100 м. Тахеометр размещают на пункте *A* и измеряют расстояние *AB*, после чего намечают место установки третьего штатива – точку *C*, которая должна располагаться в створе *AB* (рис. 1).

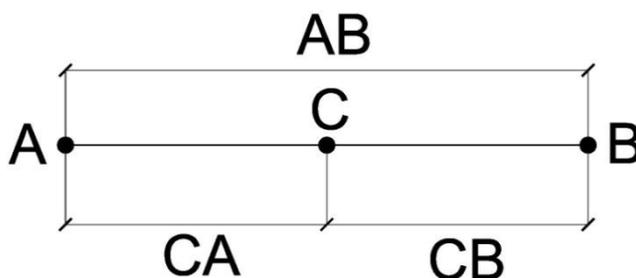


Рис. 1. Схема безбазисного способа определения постоянной дальномера (схема 1)

Далее, переносят тахеометр на створный пункт *C* и измеряют расстояния *CA* и *CB*. Длина *AB*, измеренная с пункта *A*, содержит ошибку, равную постоянной дальномера *K*, в то же время длина *AB*, найденная как сумма длин отрезков *CA* и *CB*, содержит удвоенную ошибку ($2K$). В результате постоянная дальномера вычисляется по формуле [4]:

$$K = AB - (CA + CB). \quad (1)$$

В работе [3] предлагается измерять отрезки *AC*, *AB* и *BC*, не устанавливая прибор на створном пункте *C*. Тогда постоянная находится как

$$K = AC + BC - AB. \quad (2)$$

К недостаткам описанных схем можно отнести необходимость производить измерения с концов базиса AB , что может привести к нарушению исходного положения отражателя при его извлечении из трегера и повторной установке.

Нами предлагается выполнять измерения в следующем порядке. После установки штативов A и B ($AB \approx 100$ м), тахеометр располагают в точке C , расположенной посередине между ними, приблизительно в створе. Измеряют расстояния CA и CB и горизонтальный угол $\angle ACB$ (α). После этого штатив с прибором переносят на пункт D , расположенный на продолжении створа AB ($DB \approx 10$ м) и измеряют расстояния DB и DA (рис. 2).

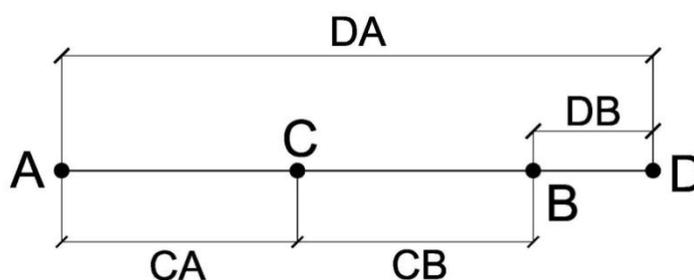


Рис. 2. Схема безбазисного способа определения постоянной дальномера (схема 2)

Длина отрезка AB , вычисленная из измерений на пункте D , не содержит ошибки, связанной с постоянной дальномера, а найденная по измерениям с пункта C – содержит удвоенную ошибку ($2K$). При выполнении измерений по предложенной схеме поправка находится по формуле

$$K = \frac{(DA - DB) - AB_C}{2}, \quad (3)$$

где AB_C – длина отрезка AB , найденная по измерениям с пункта C .

Величина AB_C находится с учетом нестворности пункта C по теореме косинусов

$$AB_C = \sqrt{CA^2 + CB^2 - 2 \cdot CA \cdot CB \cdot \cos \alpha}. \quad (4)$$

Если пункт C располагается строго в створе AB , тогда для вычисления постоянной дальномера применима формула:

$$K = \frac{(DA - DB) - (CA + CB)}{2}. \quad (5)$$

Нами были выполнены измерения по описанной схеме (см. рис. 2), при этом нестворность пункта C составила $12,5'$. Для контроля были измерены расстояния AB и BA при установке тахеометра на пунктах A и B соответственно. Использовался тахеометр Leica TS-02, при этом фиксировались отсчеты по вертикальному и горизонтальному кругу, а расстояния измерялись десятикратно. Поверка проводилась в лабораторных условиях, в коридоре СГУГиТ. Результаты измерений представлены в табл. 1. Средняя квадратическая ошибка измерения расстояния в каждой серии вычислялась по формуле Бесселя.

Таблица 1

Результаты измерений, выполненных по схеме 2

| Отрезок | S , мм | m_s , мм |
|---------|------------|------------|
| CA | 48 200,60 | 0,12 |
| CB | 48 105,27 | 0,11 |
| DB | 8 175,24 | 0,07 |
| DA | 104 479,78 | 0,07 |
| BA | 96 305,14 | 0,10 |
| AB | 96 305,48 | 0,15 |

Теоретическая длина отрезка AB находится как $DA - DB = 96\,304,54$ мм, так как при этом исключается постоянная поправка дальномера. Длина отрезка AB по измеренным на пункте C расстояниям с учетом нестворности пункта C , вычислялась по теореме косинусов (формула (4)) и составила $AB = 96\,305,76$ мм. Подставляя полученные значения в формулу (3), можно вычислить постоянную дальномера:

$$K = \frac{96\,304,54 - 96\,305,76}{2} = -0,61 \text{ мм.} \quad (6)$$

Найденная поправка дальномера $K < 0$, то есть поправку в расстояния следует вводить со знаком «минус». Из табл. 1 видно, что длина отрезка AB , измеренная с пункта B , отличается от результатов измерений с пункта A на $0,34$ мм. Вычислим значения постоянной поправки K по формуле (1), подставляя поочередно величину AB , измеренную с пункта B (BA) и с пункта A (AB). Получим два значения K , равные соответственно $-0,62$ и $-0,28$ мм. Из анализа полученных результатов можно предположить, что ошибочно измерено расстояние с пункта A .

По предложенной нами схеме (см. рис. 2) также можно определить постоянную дальномера при измерении расстояний в безотражательном режиме. Для этого на пунктах A и B устанавливаются плоские визирные цели, например визирные марки применяемые для измерения горизонтальных углов в полигонометрии (рис. 3). В процессе поверки металлические щитки визирных марок ос-

таются неподвижными (не разворачиваются). Поправка в этом случае находится по формуле

$$K = \frac{(DA - DB) - (CA + CB + d)}{2}, \quad (7)$$

где d – толщина визирной марки, измеряемая штангенциркулем.

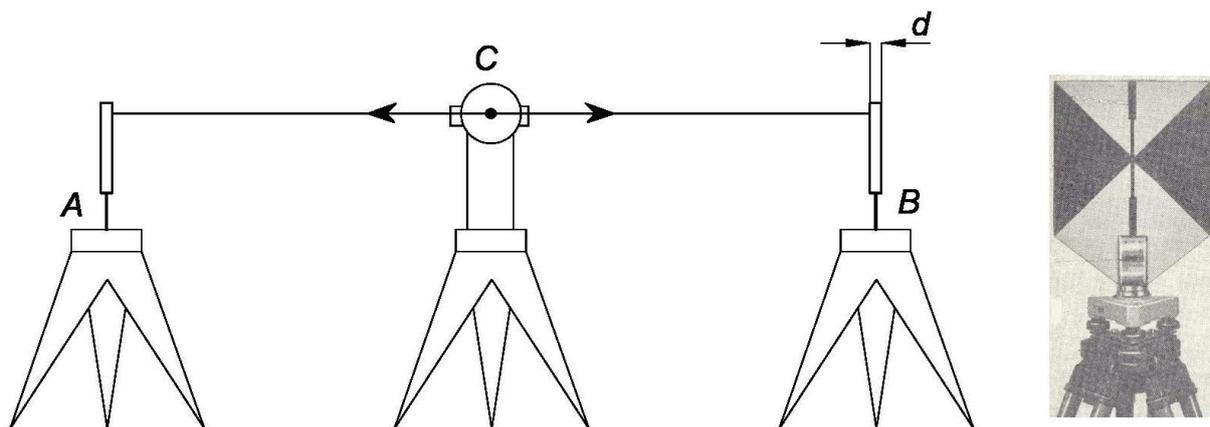


Рис. 3. Схема измерений в безотражательном режиме

Вычислим СКО определения постоянной дальномера, найденной по формуле (5), применяя закон распространения средней квадратической ошибки [10]:

$$m_K = \frac{1}{2} \sqrt{4m_S^2} = m_S. \quad (8)$$

Принимая в соответствии с табл. 1 среднюю квадратическую ошибку измерения расстояния $m_S = 0,1$ мм (из внутренней сходимости), найдем СКО постоянной дальномера как $m_K = 0,1$ мм. Если постоянная дальномера определялась дважды – на базисах разной длины (например, 50 и 100 м), то ошибка разности $\Delta = K_{100} - K_{50}$ составит

$$m_{\Delta} = \sqrt{m_{K100}^2 + m_{K50}^2} = \sqrt{2} \cdot m_K = \sqrt{2} \cdot m_S \approx 0,15 \text{ мм}. \quad (9)$$

Таким образом, если постоянные дальномера, найденные из многократных измерений при длине базиса 50 и 100 м, не отличаются друг от друга более чем на 0,3 мм ($2m_{\Delta}$), можно считать результаты поверки удовлетворительными и учитывать постоянную поправку дальномера при высокоточных измерениях. Следует иметь в виду, что найденная постоянная дальномера актуальна при работе с комплектом отражателей, которые использовались при поверке.

Из анализа точности измерения расстояний, указанных в свидетельствах о поверке нескольких тахеометров (табл. 2), можно сделать вывод об увеличении погрешности измерений с увеличением расстояния.

Таблица 2

Результаты метрологической поверки тахеометров

| Электронный тахеометр | Год выпуска прибора | Точность измерения расстояния (мм) при длине базиса (м) | | | | | |
|-----------------------|---------------------|--|-----|-----|-----|-----|-------|
| | | 48 | 72 | 96 | 363 | 432 | 1 056 |
| Sokkia SET 230PK3 | 2008 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 1,8 | 2,3 | 2,6 |
| Sokkia CX-102L | 2012 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,3 | 1,6 |
| Sokkia SET2X | 2011 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,2 | 1,2 | 1,4 |
| Leica TS-02 | 2011 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,7 |
| Leica TS-02 | 2011 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,9 | 2,3 | 2,5 |
| Leica TS-06 | 2012 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 1,2 | 1,3 | 1,9 |

Из табл. 2 видно, что найденная в ходе наших исследований постоянная дальномера $K = -0,61$ мм сравнима по величине с СКО измерения коротких длин линий и должна учитываться при проведении ответственных работ, особенно при выверке технологического оборудования [11, 12] и выполнении высокоточного тригонометрического нивелирования при углах наклона более 20° [13]. Также постоянную дальномера необходимо учитывать при построении высокоточных геодезических сетей, особенно способом трилатерации [14–18].

Есть мнение [7], что во всех современных электронных тахеометрах [19] используется некорректный индекс показателя преломления, в связи с чем измеренные расстояния превосходят их действительные значения. Например, ожидаемая ошибка измерения линии длиной 5 км, обусловленная некорректным показателем преломления, составляет 24,6 мм [7]. В настоящее время, расстояние между пунктами, удаленными друг от друга на расстояние порядка 5 км, может быть определено с помощью ГНСС-измерений (из решения обратной геодезической задачи) с ошибкой, не превышающей 5 мм [20, 21]. Сравнение длин линии, полученных разными методами, вероятно, может подтвердить или опровергнуть утверждение о некорректности индекса показателя преломления, который используется в современных светодальнометрах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубов А. В., Зубова Т. В. Особенности точных линейно-угловых измерений электронными тахеометрами // Геопрофи. – 2005. – № 4. – С. 50–51.
2. Ворошилов А. П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра // Геопрофи. – 2005. – № 4. – С. 46–47.

3. Дементьев В. Е. Современная геодезическая техника и ее применение: учеб. пособие для вузов. – М.: Академический Проект, 2008. – 591 с.
4. Ворошилов А. П. Спутниковые системы и электронные тахеометры в обеспечении строительных работ: учеб. пособие. – Челябинск: АКСВЕЛЛ, 2007. – 163 с.
5. Сучков И. О. Базис пространственный эталонный им. О. П. Сучкова // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 237–241.
6. Середович В. А., Сучков И. О. Опыт измерения длины базиса инварными проволоками и электронным тахеометром // Геодезия и картография. – 2010. – № 1. – С. 16–19.
7. Учет корректного показателя преломления атмосферы в результатах измерений современными дальномерами и электронными тахеометрами / А. В. Кошелев, А. П. Карпик, С. С. Овчинников, А. А. Дубинина // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 67–71.
8. Об аттестации современных светодальномеров на эталонных линейных базисах / А. В. Кошелев, А. П. Карпик, Г. А. Уставич, А. К. Синякин, В. А. Кошелев, С. С. Титов, Ю. В. Скипа, А. А. Дубинина, Н. В. Заржецкая // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 5, ч. 2. – С. 108–112.
9. Об аттестации светодальномеров, электронных тахеометров и GPS-приемников на эталонных линейных базисах / А. В. Кошелев, Г. А. Уставич, В. А. Кошелев, С. С. Титов, Ю. В. Скипа, А. А. Дубинина, Н. В. Заржецкая // Геодезия и картография. – 2011. – № 6. – С. 18–21.
10. Кузьмин Б. С. Основы теории ошибок измерений. – М.: Воен. изд., 1946. – 116 с.
11. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Технологическая схема геодезического обеспечения реконструкции гидрогенератора // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 46–51.
12. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Фролов И. С. Геодезический мониторинг и выверка металлургического оборудования // 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. 132–143.
13. Никонов А. В. Конструкция визирной цели для выполнения высокоточного тригонометрического нивелирования // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 19–26.
14. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Создание высокоточных малых линейно-угловых сетей с применением электронных тахеометров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 83–86.
15. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Совершенствование схем планового обоснования для определения горизонтальных смещений гидротехнических сооружений // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 1, ч. 2. – С. 97–100.
16. Скрипникова М. А. Возможности применения автоматизированных высокоточных электронных тахеометров при измерении деформаций инженерных сооружений // 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. 131–134.
17. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. К вопросу проектирования схем планового обоснования для определения горизонтальных смещений гидротехнических сооружений //

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. 60–62.

18. Скрипников В. А. Применение высокоточных оптико-электронных приборов при измерении деформаций инженерных сооружений // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 170–172.

19. Хорошилов В. С., Пономарев В. А. Современная геодезическая техника // Вестник СГГА. – 2005. – Вып. 10. – С. 99–103.

20. Антонович К. М., Косарев Н. С., Липатников Л. А. Контроль фазовых измерений ГНСС-приемника с атомными часами // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 3–20.

21. Дударев В. И. Уравнивание геодезических сетей по результатам относительных GPS-измерений // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 2 (15). – С. 7–15.

Получено 11.02.2015

© А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина, 2015