

Научно-исследовательская статья/Applied research article

УДК 528.531

<https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-27-36>

Исследование методик высокоточного определения постоянной поправки комплекта тахеометра

Г. А. Уставич¹, Д. А. Баранников¹, Н. М. Рябова¹, Р. Е. Калиакпаров¹✉

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: kaliakparov1@vk.com

Аннотация. При выполнении высокоточных линейных измерений используются тахеометры или светодальномеры, в комплект которых входит отражатель со своим значением постоянной поправки. Однако в целом ряде случаев измерения расстояний производятся с использованием отражателей из комплекта других тахеометров. При этом значение постоянной поправки бывает неизвестным и в связи с этим приходится производить ее определение. Кроме того, при измерении высокоточными тахеометрами коротких (до 15–20 м) расстояний для целей монтажа технологического оборудования постоянная поправка отражателя должна быть известна со средней квадратической ошибкой (СКО) не более 0,10–0,20 мм. Другой поправкой при измерении расстояний является постоянная прибора. В сумме они дают поправку, которую называют постоянной поправкой комплекта тахеометра. Для повышения точности определения постоянной поправки комплекта тахеометра в статье рассматриваются схемы выполнения измерений. При их реализации используются короткие (до 20–25 м) расстояния, измеряемые высокоточным фазовым тахеометром методом прямых измерений. Измерения выполняются только в лабораторных условиях. При измерениях штативы с трегерами устанавливаются в створе измеряемых линий с ошибкой 2,0–3,0 мм. Целью выполненных исследований является подтверждение возможности точного определения постоянной поправки в лабораторных условиях путем измерения линейных отрезков высокоточным фазовым тахеометром. Величина этой постоянной поправки уточняется методом последовательных приближений, при котором после ее первого определения она снова вводится в тахеометр и снова измеряются расстояния. Таких приближений может быть два-три. Исследованиями установлено, что определение величины постоянной поправки высокоточного комплекта тахеометра в лабораторных условиях производится с СКО порядка 0,10–0,20 мм.

Ключевые слова: схемы поверки, высокоточное измерение расстояний, метод последовательных приближений, створ, центрирование эталонного тахеометра и отражателя, СКО измерений

Для цитирования:

Уставич Г. А., Баранников Д. А., Рябова Н. М., Калиакпаров Р. Е. Исследование методик высокоточного определения постоянной поправки комплекта тахеометра. *Вестник СГУГиТ*. 2026. Т. 31, № 3. С. 27–36. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-27-36>

A comparative study of techniques for precise determination of total station kit constant correction

G. A. Ustavich¹, D. A. Barannikov¹, N. M. Ryabova¹, R. E. Kaliakparov¹✉

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

e-mail: kaliakparov1@vk.com

Abstract. High-precision linear measurements are commonly performed with total stations or electronic distance meters that use reflectors, each having an associated reflector constant correction. In practice, measurements are often made with reflectors originating from different instrument kits, so the reflector constant may be unknown and must be determined. When installing industrial equipment and measuring distances of up to 15–20 m with high-precision instruments, the reflector constant correction must be known with a root-mean-square error (RMSE) no greater than 0.10–0.20 mm. Both instrument constant correction and reflector constant correction comprise the total station kit constant correction. The study evaluates measurement configurations designed to improve the accuracy of determining the kit constant correction. Experiments were conducted in laboratory conditions using a high-precision phase total station and direct distance measurements over baselines of 20–25 m. Tripods with tribraches were aligned along measurement lines with a placement error of 2.0–3.0 mm. The total station kit constant correction was refined by successive approximation: after an initial estimate was entered into the total station, distances were remeasured, and the process repeated two to three times. Results demonstrate that, under controlled laboratory conditions, the kit constant correction of a high-precision total station can be determined with an RMSE of approximately 0.10–0.20 mm. The findings support the feasibility of achieving sub-millimeter accuracy for instrument calibration required in precision engineering and equipment installation.

Keywords: high-precision total station, verification method, distance, alignment, forced centering, standard deviation of measurements

For citation:

Ustavich G. A., Barannikov D. A., Ryabova N. M., Kaliakparov R. E. (2026). A comparative study of techniques for precise determination of total station kit constant correction. *Vestnik SSUGiТ [Vestnik SSUGT]* Vol. 31, No. 3. pp. 27–36. <https://doi.org/10.33764/2411-1759-2026-31-3-27-36>

Введение

Единство и точность линейных измерений при использовании тахеометров обеспечиваются посредством выполнения метрологических поверок, регламентированных действующими стандартами и методиками. Среди них можно отметить федеральный закон, государственные стандарты (Об обеспечении единства измерений : федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ. – URL: <http://www.consultant.ru>. – Текст : электронный; Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты : ГОСТ 8.129–99. – Москва : Стандартинформ, 2013. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294822/4294822137.pdf>. – Текст : электронный; Государственная система обеспечений единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 24 до 75 000 м : ГОСТ 8.503–84. – Москва : Издательство стандартов, 1984. – URL: <https://meganorm.ru/Data/295/29566.pdf>. – Текст : электрон-

ный) и методические указания института ЦНИИГАиК (МИ БГЕИ 40–03. Базисы эталонные. Методы поверки. Методика института. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293849/4293849400.htm>. – Текст : электронный; Применение светодалномера СП-2 (Топаз) для аттестации базисов. Методика института : МИ БГЕИ 30–94. – Москва : ЦНИИГАиК, 1995. – 8 с. – Текст : непосредственный; Светодалномеры. Методика и средства поверки: МИ БГЕИ 15-03. – Методика института. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849443.pdf>. – Текст : электронный; Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения : РД 68-8.17–98. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200053492>. – Москва : ЦНИИГАиК, 1999. – Текст : электронный; Определение приборной поправки светодалномера способом «во всех комбинациях». – РТМ 68-8.21–94. – Москва : ЦНИИГАиК, 1994. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849489.htm>. – Текст : электронный).

В рамках поверки обязательным этапом является определение постоянной поправки Δ комплекта тахеометра, которая представляет собой сумму двух составляющих: поправки прибора (тахеометра) Δ_1 и Δ_2 отражателя [Светодальномеры. Методика и средства поверки: МИ БГЕИ 15–03. – Методика института. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849443.pdf>. – Текст : электронный]. Величина рассматриваемой поправки оказывает непосредственное влияние на точность измерений расстояний, что особенно важно при высоких требованиях к полученным результатам.

Как правило, на практике измерения тахеометром выполняются только в комплекте со своими стандартными отражателями, однако по разным причинам при выполнении измерений часто применяются отражатели других фирм или отражатели от комплекта другого тахеометра. При этом для каждого отражателя в паспорте указывается величина его постоянной поправки. Вместе с тем при выполнении измерений, особенно высокоточных, необходимо знать суммарную величину Δ этих поправок с более высокой точностью. В этом случае необходимым будет определение нового значения постоянной поправки Δ комплекта тахеометра.

Постоянная поправка комплекта тахеометра, как правило, определяется на эталонном линейном базисе способом «во всех комбинациях» [1–9, Определение приборной поправки светодальномера способом «во всех комбинациях». – РТМ 68-8.21–94. – М. : ЦНИИГАиК, 1994. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293849/4293849489.htm>. – Текст : электронный]. Ранее также определение этой поправки производилось в лабораторных условиях с применением в качестве эталонного средства измерений компарированной стальной рулетки.

Недостатками определения поправки на эталонных базисах являются:

- определенные организационные трудности, связанные с выездом на этот базис для выполнения измерений;

- выполнение измерений при плохих внешних условиях, особенно при минусовых температурах;

- необходимость ввода поправок за метеосостояния, которые практически всегда в значительной степени являются приближенными из-за различных длин измеряемых линий.

Недостатком схемы поверки с использованием компарированной рулетки являлась сравнительно низкая точность ее определения, порядка 2,0–3,0 мм. Она применялась для светодальномеров технической точности и первых конструкций тахеометров.

Кроме того, линейные базисы на территории РФ в настоящее время находятся в крайне неудовлетворительном состоянии, и они практически перестали функционировать (за исключением эталонного базиса 1-го разряда ВНИИФТРИ), так как не производится их периодическая метрологическая аттестация. Также в настоящее время имеются несколько эталонных базисов только 3-го разряда, что не позволяет выполнять метрологическую поверку высокоточных тахеометров, в том числе определение постоянной поправки комплекта тахеометра. Необходимо отметить, что эталонный базис 3-го разряда имеет относительную точность измерения линейных отрезков не выше 1 : 400 000 (МИ БГЕИ 40–03. Базисы эталонные. Методы поверки. Методика института. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293849/4293849400.htm>. – Текст : электронный). В тоже время точность измерений высокоточными тахеометрами не меньше 1 : 600 000. Вместе с тем согласно требованиям метрологии эталонное средство, например, эталонный базис, должно быть точнее поверяемого (рабочего) средства измерений минимум в три раза. Кроме того, учитывая, что пункты эталонного базиса с течением времени изменяют свое положение, то перед началом поверки расстояние между двумя смежными пунктами необходимо периодически измерять высокоточными средствами, например, тахеометром или трекером [10–12].

В связи с этим в последнее время для проведения метрологической поверки тахеометров (определения относительной ошибки измерений) вместо эталонных стационарных базисов рекомендуется применять в качестве эталонных средств измерений высокоточные

фазовые светодальномеры (тахеометры), устанавливаемые на устойчивые, без люфтов в соединениях, штативы [13–19]. В редких случаях из-за сложности выполнения измерений используются также лазерные интерферометры.

С целью исключения недостатков в применении стационарных базисов и повышения точности измерений в данной статье рассматриваются схемы выполнения метрологической поверки. Их отличие от известных схем состоит в том, что с целью высокоточного определения постоянной поправки используется метод последовательных приближений, т. е. после первоначального определения этой поправки ее уточненная величина и она снова вводится в тахеометр, после чего определение производится еще раз или два. Таких приближений может быть два-три до момента учета ее величины с точностью до 0,10–0,20 мм.

При реализации этих схем измерения выполняются:

- в лабораторных условиях с применением устойчивых штативов, что исключает необходимость выезда на эталонный линейный базис;

- при одинаковых метеоусловиях, что исключает необходимость введения поправок в получаемые результаты измерений;

- с обеспечением устойчивости штативов путем их установки в углубления на шероховатом бетонном основании и подвешиванием к станковым винтам грузов ориентировочно весом 5–7 кг;

- при коротких (до 15,0–20,0 м) расстояниях, что обеспечивает высокую точность измерения линейных отрезков методом прямых измерений высокоточным фазовым тахеометром включая и поверяемым.

Применение предлагаемых схем позволит выполнить технические требования к точности определения постоянной поправки комплекта поверяемых тахеометров, особенно высокоточных (не хуже 0,20 мм), и будет полезно геодезическому производству.

Схемы выполнения поверки и результаты

Определение постоянной поправки комплекта поверяемого тахеометра с повышен-

ной точностью может быть реализовано с применением трех схем выполнения измерений [4, 9]:

- с установкой тахеометра в створе двух отражателей и с однократным определением величины поправки;

- установкой тахеометра в створе между двумя установками отражателя и с двукратным определением величины поправки;

- выполнением измерений с установкой отражателя в створе между двумя установками тахеометра.

Так как определение величины поправки производится при коротких расстояниях, то, с целью исключения ошибки за нестворность измеряемых линий, при выполнении измерений взаимная установка отражателей и тахеометра в створ должна производиться с отклонением не более 2,0–3,0 мм. Допустимую величину влияния нестворности на измеряемое расстояние можно вычислить по известной формуле

$$\Delta_s = \frac{h^2}{2S}, \quad (1)$$

где h – величина нестворности.

При $h = 3,0$ мм и $S = 20,0$ м будем иметь $\Delta_s = 0,002$ мм.

1. *Установка тахеометра в створе двух отражателей.* При реализации данной схемы в помещении на шероховатом бетонном полу в углублениях в точках A , B и C устанавливаются штативы (рисунок), которые не должны иметь люфтов во всех соединениях.

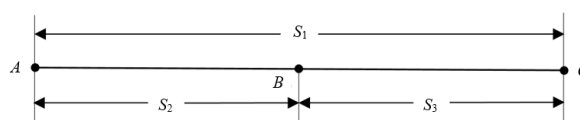


Схема измерений по определению величины постоянной поправки комплекта тахеометра

Выполнение измерений осуществляется в определенной последовательности. На бетонном основании в лабораторных условиях в точках B и C устанавливаются штативы с трегерами, а в точке A , расположенной

в створе точек B и C , устанавливается высокоточный тахеометр. Расстояние между точками (штативами) B и C устанавливается в пределах 7–10 м, а между A и B 4–5 м. Затем на штатив A устанавливается высокоточный тахеометр, а на штатив C по уровню устанавливается отражатель и производится серия из 30 измерений расстояния $AC = S_1$. Расстояния измеряются с точностью отсчитывания до 0,1 мм с последующим нахождением среднего значения.

Как известно, в этом случае измеренное расстояние AC будет равно и включать истинное значение поправки:

$$AC = S_1 = S'_1 + \Delta, \quad (2)$$

где $\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$ – постоянная (суммарная) поправка комплекта тахеометра (тахеометра и отражателя);

$$AC - AB = (S'_1 + \Delta) - (S'_2 + \Delta) = S'_1 - S'_2 = BC_{\text{выч}} = S_3. \quad (3)$$

Таким образом, вычисленное расстояние $BC_{\text{выч}} = S_3$ не будет содержать в себе поправку Δ и его можно принять за теоретическое, т. е. $BC_{\text{выч}} = BC_{\text{теор}}$.

После этого тахеометр переставляется в трегер штатива B (или C) и расстояние BC уже измеряется такой же серией измерений. В этом случае измеренное расстояние $BC_{\text{изм}}$ будет содержать в себе измеренную величину S'_3 и суммарную поправку Δ комплекта тахеометра, т. е. $BC_{\text{изм}} = S'_3 + \Delta$.

Разность вычисленного по формуле (3) расстояния $BC_{\text{выч}}$ и измеренного $BC_{\text{изм}} = S'_3 + \Delta$ будет давать величину постоянной поправки, т. е.

$$BC_{\text{выч}} - BC_{\text{изм}} = BC_{\text{выч}} - (S'_3 + \Delta) = \Delta. \quad (4)$$

Величина СКО определения поправки Δ будет зависеть практически только от ошибок измерения расстояний, которая для высокоточного тахеометра в лабораторных условиях, например, Leica TM30, была уверенно определена с СКО 0,10–0,20 мм.

С целью подтверждения высокой точности определения поправки Δ с помощью

S'_1 – измеренное расстояние без учета поправки Δ .

Необходимо отметить, что измерение расстояния можно осуществлять и при произвольной поправке отражателя комплекта.

Затем отражатель устанавливается в трегер штатива B и аналогичная серия измерений расстояния $AB = S_2 = S'_2 + \Delta$ повторяется. Здесь S'_2 – также измеренное расстояние без учета поправки Δ .

После этого вычисляется величина расстояния $BC_{\text{выч}} = S_3$ как разность измеренных расстояний $S_1 - S_2$. Так как расстояния AB и AC измерялись при одном значении постоянной отражателя Δ_2 , то вычисленное расстояние $BC_{\text{выч}} = S_3$ будет свободно от этой величины, т. е. истинным его значением

данной схемы поверки были выполнены исследования в лабораторных условиях при температуре + 22 °С. СКО измерения расстояний, вычисленная по формуле Бесселя, оказалась равной 0,08–0,12 мм.

При выполнении измерения высокоточным тахеометром Leica TM30 были получены следующие результаты. Перед первым определением постоянной поправки (первое измерение расстояний) сначала было установлено произвольное значение поправки, равное $\Delta_1 = -34,4$ мм (индекс 1 и далее означают последовательность определения поправки), хотя в техническом паспорте была указана величина $\Delta_{\text{паспорт}} = -30,0$ мм. При этом значении поправки средняя величина вычисленного (теоретического) расстояния S_3 оказалась равной 7 м 639,94 мм, а измеренного расстояния $BC = S'_3 + \Delta$ равной 7 м 634,28 мм.

Таким образом, разность вычисленного и измеренного расстояний ($BC_{\text{выч}} - BC_{\text{изм}}$) оказалась равной +5,66 мм. После внесения этой разности поправка оказалась равной

$$\Delta_2 = -34,40 \text{ мм} + 5,66 \text{ мм} = -28,74 \text{ мм} = -28,7 \text{ мм}.$$

С учетом данной поправки были выполнены повторные, контрольные, измерения

указанных расстояний и было получено значение поправки $\Delta_3 = -28,92 \text{ мм} = -28,9 \text{ мм}$.

Разность значений поправок оказалась равной $\delta_1 = -28,74 - (-28,92) = 0,18$ мм. Необходимо указать, что разность δ является остаточной, пока еще не исправленной, частью общей поправки Δ_3 .

И, наконец, после введения и этой остаточной части поправки было установлено окончательное ее значение $\Delta_4 = -28,8$ мм. Выполненные с этим значением поправки контрольные измерения показали, что остаточная величина δ_2 оказалась равной 0,06 мм и это практически равно точности отсчитывания.

Для повышения точности и надежности определения окончательного значения величины поправки Δ_4 измерения можно выполнить еще раз без изменения положения штативов с трегерами следующим образом. После введения полученной поправки Δ_4 измеряются уже расстояния AC и BC , а затем аналогичным образом вычисляется уже расстояние $AB_{\text{выч}} = (S'_1 + \Delta_4) - (S'_3 + \Delta_4)$.

Выполненные затем контрольные измерения по данной схеме позволили получить контрольную величину поправки, равную $\Delta_{\text{контр}} = -28,8$ мм, а остаточную ее величину $\delta_3 = -0,08$ мм, что подтвердило полученные ранее результаты.

Таким образом, с использованием данной методики можно дважды получить вычисленные (теоретические) величины расстояний $AB_{\text{выч}}$ и $BC_{\text{выч}}$.

Еще одним дополнительным контролем определения поправки Δ является непосредственное измерение расстояний AC , AB и BC после получения и введения окончательного значения поправки Δ_4 . Для этого поочередно указанной серией измерений со штатива A измеряются расстояния AB и AC . После этого тахеометр устанавливается в трегер штатива B и измеряется расстояние BC .

На основании контрольных измерений были получены следующие результаты: $AC = S_1 = 14$ м 248,3 мм, $AB = S_2 = 6$ м 608,2 мм и $BC = S_3 = 7$ м 639,9 мм. Остаточная разность $S_1 - (S_2 + S_3)$ оказалась равной $\delta = 0,20$ мм, что еще раз подтверждает правильность и надежность определения величины поправки Δ_4 .

Таким образом, разность указанной в техническом паспорте поправки $\Delta_{\text{пас}} = -30,0$ мм

и полученной из измерений $\Delta_{\text{пол}} = -28,8$ мм, равная 1,2 мм, является недопустимой при выполнении инженерно-геодезических измерений высокоточным тахеометром. Поэтому при выполнении высокоточных инженерно-геодезических измерений необходимо предварительно дополнительно тщательно выполнить определение величины поправки Δ в лабораторных условиях и при коротких расстояниях.

2. *Установка тахеометра в створе между двух отражателей.* Для реализации предлагаемой схемы измерений тахеометр устанавливается в трегер штатива B , а отражатель – в трегер штатива A (см. рисунок). При этом тахеометр также должен находиться в створе AC с ошибкой не более 2,0–3,0 мм. Величина нестворности тахеометра проверяется визированием его зрительной трубой сначала на отражатель A . Затем отражатель устанавливается в трегер штатива C , зрительная труба переворачивается через зенит и визируется на отражатель C . Если тахеометр не будет находиться в створе AC , то сетка нитей зрительной трубы будет смещена с центра призмы отражателя C . Устранение этой нестворности производится перемещением штатива B с тахеометром или, предварительно ослабив становой винт, только перемещением тахеометра по головке штатива. Величина смещения сетки нитей с центра призмы отражателя не должна быть больше 2,0–3,0 мм (оценивается визуально наблюдателем).

После этого производится измерение расстояния $AB = S_2 = S'_2 + \Delta$ и расстояния $BC = S_3 = S'_3 + \Delta$. Затем тахеометр устанавливается в трегер штатива A и измеряется расстояние $AC = S_1 = S'_1 + \Delta$.

Тогда будем иметь

$$AB + BC = (S'_2 + \Delta) + (S'_3 + \Delta) = (S'_1 + 2\Delta). \quad (5)$$

В сумме измеренных расстояний AB и BC будет двойная величина поправки Δ , т. е. 2Δ . Поэтому разность этой суммы с расстоянием $AC = S'_1 + \Delta$ дает величину поправки Δ

$$(S'_2 + S'_3 + 2\Delta) - (S'_1 + \Delta) = \Delta. \quad (6)$$

Контролем определения поправки Δ также является непосредственное измерение рас-

стояний AC , AB и BC после получения и введения окончательного значения поправки Δ .

Выполненное определение поправки Δ и последующие контрольные измерения расстояний после ее введения дали следующие результаты: $\Delta = -28,8$ мм, $AC = S_1 = 14$ м 436,5 мм, $AB = S_2 = 6$ м 748,4 мм и $BC = S_3 = 7$ м 688,0 мм. Остаточная разность $S_1 - (S_2 + S_3)$, равная $\delta = 0,10$ мм, также подтверждает правильность и надежность определения величины поправки Δ с применением данной схемы.

3. *Установка отражателя в створе между двумя установками тахеометра.* При реализации данной схемы в трегер штатива A устанавливается тахеометр, а в трегер штатива C – отражатель (см. рисунок). После этого измеряется расстояние AC , которое также будет равно $AC = S_1 = S'_1 + \Delta$.

Затем отражатель устанавливается в трегер штатива B таким образом, чтобы он находился в створе AC , и аналогичным образом измеряется расстояние AB , которое будет равно $AB = S_2 = S'_2 + \Delta$. После этого тахеометр переносится и устанавливается в трегер штатива C , а отражатель остается в трегере штатива B . Отражатель затем поворачивается на 180° и измеряется расстояние BC , которое будет равно $BC = S_3 = S'_3 + \Delta$.

Очевидно, что, как и в предыдущем случае, сумма расстояний $(S'_2 + \Delta) + (S'_3 + \Delta)$ дает двойную величину поправки Δ , т. е. 2Δ . Поэтому разность этой суммы с расстоянием $S'_1 + \Delta$ также дает величину поправки Δ .

После определения величины поправки Δ также производятся контрольные измерения с целью выявления остаточной величины δ с последующим ее учетом. Затем также непосредственно измеряются расстояния AC , AB и BC .

Выполненное определение величины поправки Δ и последующие контрольные измерения расстояний после ее введения дали следующие результаты: $\Delta = -28,8$ мм, $AC = S_1 = 14$ м 710,8 мм, $AB = S_2 = 6$ м 418,2 мм и $BC = S_3 = 8$ м 292,4 мм. Остаточная разность $S_1 - (S_2 + S_3)$, равная $\delta = 0,20$ мм, также подтверждает правильность и надежность определения величины поправки Δ с применением данной методики.

Важным достоинством рассматриваемых схем проверок является тот факт, что с их по-

мощью можно с повышенной точностью определять (или уточнить) величину поправки Δ для точных и технических тахеометров следующим образом. Для этого поверенным высокоточным тахеометром с использованием двух штативов измеряется расстояние AC (см. рисунок), которое будет приниматься как эталонное. Далее это расстояние измеряется комплектом точного или технического тахеометра с последующим нахождением (или уточнением) величины поправки Δ .

Так как СКО измерения точными и техническими тахеометрами даже коротких расстояний не превышает 1,0 мм, то после получения поправки высокоточным тахеометром она будет вводиться при измерениях также с точностью до 1,0 мм.

Заключение

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- результаты исследований по определению постоянной поправки Δ в лабораторных условиях подтвердили возможность выполнения ее без использования полевого эталонного линейного базиса;
- измерение коротких (в нашем случае до 15,0–20,0 м) расстояний в лабораторных условиях высокоточными тахеометрами со СКО порядка 0,10–0,20 мм позволяет обеспечить с применением рассматриваемых схем определение постоянной поправки Δ методом последовательных приближений также с СКО не хуже 0,20 мм;
- так как точность установления величины поправки Δ не будет превышать 0,10–0,20 мм, это позволит выполнять высокоточные измерения коротких расстояний при монтаже технологического оборудования со СКО порядка 0,10–0,15 мм (при наличии вибрации в цеху от работающего оборудования СКО измерений может быть больше в 1,5–2,0 раза);
- отсутствие необходимости введения поправки за метеоусловия на коротких (до 15–20 м) расстояниях и выполнение измерений в одинаковых условиях позволяет получать реальные значения этих расстояний;
- на выполнение проверки бригадой из двух человек в лабораторных условиях требуется не более двух часов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бронштейн Г. С., Симонович В. Н. Выявление и учет постоянной ошибки светодальномера при измерении расстояний в комбинациях. *Геодезия и картография*. 1973. № 7. С. 17–25.
2. Ворошилов А. П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра. *Геопрофи*. 2005. № 4. С. 46–47.
3. 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.
4. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. К вопросу об определении постоянной поправки дальномера электронного тахеометра. *Вестник СГУГиТ*. 2015. Вып. 1(29). С. 54–61.
5. Середович В. А., Сучков О. П. Об опыте исследования способа измерения расстояний в комбинациях на эталонном базисе. *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2014. № 5/4. С. 62–66.
6. Уставич Г. А. К вопросу создания эталонных базисов для аттестации спутниковой аппаратуры и светодальномеров. *Геодезия и картография*. 1999. № 9. С. 7–14.
7. Крылов В. Д., Спиридонов А. И. Роль компараторов и обеспечения единства измерений. *Геодезия и картография*. 2003. № 10. С. 46–50.
8. Генике А. А., Бланк А. М., Чудновский В. С. О мерах метрологического контроля спутниковых координатных определений. *Геодезия и картография*. 2002. № 12. С. 25–29.
9. Уставич Г. А. *Геодезия. Учебник для вузов. Ч. 2*. Новосибирск : Наука, 2012. 510 с.
10. Шоломицкий А. А., Косарев Н. С., Сердаков Л. Е., Лагутина Е. К., Сучков И. О. Исследование фазового светодальномера электронного тахеометра FOIF RTS 005A на базисе пространственном эталонном СГУГиТ. *Вестник СГУГиТ*. 2024. Т. 29, № 1. С. 54–64.
11. Шоломицкий А. А., Косарев Н. С., Никонов А. В., Сердаков Л. Е., Соболева Е. Л. Исследование точности измерения длин лазерным дальнометром электронных тахеометров. *Вестник СГУГиТ*. 2024. Т. 29, № 5. С. 59–68.
12. Косарев Н. С., Шоломицкий А. А., Ханзадян М. А., Сердаков Л. Е., Лагутина Е. К., Сучков И. О. Результаты сравнения длин линий на базисе пространственном эталонном СГУГиТ. *Геодезия и картография*. 2024. № 2. С. 12–20.
13. Кошелев А. В., Уставич Г. А., Кошелев В. А., Титов С. С., Скипа Ю. В., Дубинина А. А., Заржецкая Н. В. Об аттестации светодальномеров, электронных тахеометров и GPS-приемников на эталонных линейных базисах. *Геодезия и картография*. 2011. № 6. С. 18–21.
14. Середович В. А., Сучков И. О. Опыт измерения длины базиса инварными проволоками и электронным тахеометром. *Геодезия и картография*. 2010. № 1. С. 16.
15. Уставич Г. А., Косарев Н. С., Мезенцев И. А., Баранников Д. А., Бирюков Д. В. Совершенствование методики аттестации тахеометров и светодальномеров. *Вестник СГУГиТ*. 2021. Т. 26, № 4. С. 146–159.
16. Баранников Д. А. Разработка и совершенствование способов метрологической поверки светодальномеров и тахеометров : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Баранников Дмитрий Андреевич. Новосибирск, 2022. 156 с.
17. Уставич Г. А., Васютинский И. Ю., Баранников Д. А., Горилько А. С. Разработка стационарного лабораторного стенда для поверки тахеометров. *Вестник СГУГиТ*. 2024. Т. 29, № 1. С. 45–53.
18. Уставич Г. А., Косарев Н. С., Баранников Д. А. [и др.] Совершенствование методики метрологической аттестации тахеометров и светодальномеров. *Вестник СГУГиТ*. 2021. Т. 26, № 4. С. 146–159.
19. Уставич Г. А., Васютинский И. Ю., Баранников Д. А. [и др.] Совершенствование методики поверки тахеометров методом сличения без компаратора. *Вестник СГУГиТ*. 2024. Т. 29, № 2. С. 17–30. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-17-30.

REFERENCES

1. Bronshteyn, G. S., Simonovich, V. N. (1973). Identification and Accounting for the Constant Error of a Rangefinder in Measuring Distances in Combinations. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 7, pp. 17–25 [in Russian].
2. Voroshilov, A. P. (2005). Determination of the Constant Correction of the Rangefinder of an Electronic Total Station. *[Geoprofi] Geoprofi*. No. 4, Pp. 46–47 [in Russian].
3. Suchkov, I. O. (2009). Spatial Standard Basis named after O. P. Suchkov. GEO-Siberia-2009. V Int. Scientific Congress: Collection of Materials in 6 Volumes (Novosibirsk, April 20–24, 2009). Novosibirsk : SGGa, Vol. 1, part 1. Pp. 237–241 [in Russian].
4. Nikonov A. V., Chesheva I. N., Lifashina G. V. (2015). On the issue of determining the constant correction for the rangefinder of an electronic tacheometer. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, I. 1(29). Pp. 54–61 [in Russian].
5. Seredovich V. A., Suchkov O. P. (2014). On the experience of studying the method of measuring distances in combinations on a standard basis. *Izv. Vuzov. Geodeziya i aerofotos"yemka. [News of Universities. Geodesy and Aerial Photography]*. No. S/4. Pp. 62–66 [in Russian].
6. Ustavich G. A. (1999). On the issue of creating standard bases for the certification of satellite equipment and light rangefinders. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 9. Pp. 7–14 [in Russian].
7. Krylov V. D., Spiridonov A. I. (2003). The Role of Comparators and Ensuring the Uniformity of Measurements *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 10. Pp. 46–50 [in Russian].
8. Genike A. A., Blank A. M., Chudnovsky V. S. (2002). On Metrological Control Measures for Satellite Coordinate Definitions. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 12. Pp. 25–29 [in Russian].
9. Ustavich G. A. (2012). *Geodesy. Textbook for Universities. Part 2*. Novosibirsk, Nauka, 510 p. [in Russian].
10. Sholomitsky A. A., Kosarev N. S., Serdakov L. E., Lagutina E. K., Suchkov I. O. (2024). Study of the phase rangefinder of the FOIF RTS 005A electronic total station on the spatial standard basis of SGUGiT. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 29(1). P. 54–64 [in Russian].
11. Sholomitsky A. A., Kosarev N. S., Nikonov A. V., Serdakov E. L., Soboleva E. L. (2024). Study of the accuracy of length measurement by a laser rangefinder of electronic total stations *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 29(5). P. 59–68 [in Russian].
12. Kosarev N. S., Sholomitsky A. A., Khanzadyan M. A., Serdakov L. E., Lagutina E. K., Suchkov I. O. (2024). Results of comparison of line lengths on the spatial standard basis of SGUGiT. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 2. Pp. 12–20 [in Russian].
13. Koshelev A. V., Ustavich G. A., Koshelev V. A., Titov S. S., Skipa Yu. V., Dubinina A. A., Zarzhetskaya N. V. (2011). On the Certification of Distance Measuring Instruments, Electronic Total Stations, and GPS Receivers on Standard Linear Baselines. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 6. Pp. 18–21 [in Russian].
14. Seredovich V. A., Suchkov I. O. (2010). Experience in Measuring the Length of a Baseline with Invar Wires and an Electronic Total Station. *Geodeziya i kartografiya. [Geodesy and Cartography]*. No. 1. P. 16 [in Russian].
15. Ustavich G. A., Kosarev N. S., Mezentsev I. A., Barannikov D. A., Biryukov D. V. (2021). Improving the Certification Methodology for Total Stations and Range Finders *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 26, No. 4. Pp. 146–159 [in Russian].
16. Barannikov, D. A. (2022). Development and Improvement of Methods for Metrological Verification of Range Finders and Total Stations: Abstract of Cand. Sci. (Eng.) Dissertation. Novosibirsk, 156 p. [in Russian].
17. Ustavich G. A., Vasyutinsky I. Yu., Barannikov D. A., Gorilko A. S. (2024). Development of a Stationary Laboratory Rig for Verifying Total Stations. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 29, No. 1. Pp. 45–53 [in Russian].

18. Ustavich G. A., Kosarev N. S., Barannikov D. A. [et al.] (2021). Improving the methodology for metrological certification of tachymeters and light rangefinders. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 26, No. 4. Pp. 146–159 [in Russian].

19. Ustavich G. A., Vasyutinsky I. Yu., Barannikov D. A. [et al.] (2024). Improving the methodology for verifying tachymeters by comparison without a comparator. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, Vol. 29, No. 2. Pp. 17–30. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-17-30 [in Russian].

Об авторах

Георгий Афанасьевич Уставич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Дмитрий Андреевич Баранников – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Надежда Михайловна Рябова – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Рахат Ерланович Калиакпаров – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Author details

Georgiy A. Ustavich – D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mining Surveying.

Dmitriy A. Barannikov – Ph. D., Senior Lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mining Surveying.

Nadezhda M. Ryabova – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mining Surveying.

Rakhath E. Kaliakparov – Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mining Surveying.

Получено / Received 06.05.2025

Поступила после рецензирования / Revised 24.02.2026

Принята к публикации / Accepted 15.04.2026