

УДК 528.517:528.531

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-54-64

Исследование фазового светодаЛЬНОмера электронного тахеометра FOIF RTS005A на базе пространственном эталонном СГУГиТ

А. А. Шоломицкий¹, Н. С. Косарев^{1*}, Л. Е. Сердаков², Е. К. Лагутина¹, И. О. Сучков³

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

² Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН), г. Новосибирск, Российская Федерация

³ ООО «СибГС», г. Новосибирск, Российская Федерация

* e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Аннотация. Требования к повышению точности инженерных геодезических работ в промышленности привели к появлению новых средств измерений – высокоточных метрологических тахеометров и трекеров. После введения санкций эти инструменты стали недоступными в Российской Федерации. Поэтому актуальной задачей является переход на измерительную технику собственного производства или технику, доступную в настоящее время на рынке геодезического оборудования. Одним из возможных вариантов замещения является роботизированный электронный тахеометр FOIF RTS005A. Для контроля и подтверждения характеристик точности измерения расстояний для таких приборов необходимо иметь поверенные сертифицированные эталонные базы. В статье описывается решение двух задач. Первая задача заключалась в выполнении калибровки пространственного эталонного базиса СГУГиТ им. О. П. Сучкова с помощью трекера Leica AT 403, а вторая – исследования электронного тахеометра FOIF RTS005A на эталонном базисе. Исследования показали, что автоматический режим измерений температуры и давления электронным тахеометром приводит к большим погрешностям, чем ручной ввод этих параметров. Измерения, выполненные в безотражательном режиме, соответствуют точности, заявленной производителем. Режим измерений на призму не соответствует заявленной паспортной точности, имеет закономерный характер и требует дополнительных исследований.

Ключевые слова: электронный тахеометр, лазерный трекер, лазерный дальномер, базис пространственный эталонный, точность, прослеживаемость, погрешность, стабильность

Введение

Требования промышленности к точности геодезических измерений постоянно повышаются. В настоящее время точность выверки промышленного оборудования приближается к 0,5–0,2 мм [1, 2], а в некоторых случаях составляет микрометры [3]. Такую точность можно обеспечить с помощью лазерных трекеров, которые активно используются в космической, авиационной, судостроительной и атомной отраслях [4–7], либо высокоточными электронными тахеометрами с применением специальных методов измерений [1, 2, 8]. Еще одной областью, где требуется высокая точность измерений, является геодезический мониторинг зданий, сооружений и горнотехнических объектов [9]. В статье [10] была проведена оригинальная работа по применению лазерных трекеров для геодези-

ческого обеспечения при выверке формы, отражающей поверхности главного зеркала радиотелескопа.

К сожалению, высокоточные электронные тахеометры и лазерные трекеры после введения санкций стали практически недоступны, поэтому сейчас остро стоит вопрос их замены на оборудование, которое производится либо в Российской Федерации, либо в дружественных странах. Одним из возможных вариантов замены является роботизированный электронный тахеометр FOIF RTS005A, имеющий высокие технические характеристики, а именно, точность измерения углов, равную 0,5", точность измерения расстояний на призму $\pm (1+1 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ мм [11].

Для подтверждения заявленных технических характеристик необходимо проводить процедуру калибровки данного средства измерения, которая осуществляется на специ-

альных линейных базисах, представляющих собой геодезическое построение, состоящее из закрепленных на местности специальных фундаментальных конструкций, образующих интервалы, длины которых известны с заданной точностью.

Конструкции линейных базисов практически схожи и отличаются, в основном, только длиной и количеством пунктов. В табл. 1 приведена сводная информация с описанием конструкций некоторых линейных базисов.

Таблица 1

Особенности конструкций некоторых линейных базисов

Название базиса (страна)	Год создания	Длина базиса, м	Число пунктов базиса	Длины секций, м
Линейный базис Nummela (Финляндия) [12]	1947	864	6	24, 72, 216, 432, 864
Линейный базис ВНИИФТРИ (Россия) [13]	-	3 275	10	915, 1 285, 1 294, 1 318, 1 366, 1 531, 1 638, 2 538, 3 275
Линейный базис Chengdu (Китай) [12]	1998	1 488	12	384, 576, 720, 762, 773, 788, 828, 888, 1 008, 1 248, 1 488
Линейный базис РТВ (Германия)* [14]	-	600	8	50, 100, 150, 250, 350, 500, 600
Линейный базис BEV (Австрия) [15]	2006	1 080	7	30, 120, 270, 480, 750, 1 080
Линейный базис UPV (Испания) [16, 17]	2007	330	6	28, 94, 198, 282, 330
Линейный базис Kuviskes (Литва) [18]	1996	1 320	6	100, 360, 1 120, 1 300, 1 320
Линейный базис Gödöllő (Венгрия) [19, 20]	1986	864	5	24, 216, 432, 864
Линейный базис Vääna (Эстония) [21]	1987	1 344	13	374, 376, 380, 384, 408, 432, 480, 576, 768, 960, 1 152, 1 344
Линейный базис Košice (Чехия) [22, 23]	1979	1 450	12	25, 58, 133, 228, 333, 460, 609, 787, 978, 1 120, 1 450

* 60 температурных датчиков вдоль линии измерения, 6 датчиков определения влажности, 2 датчика определения атмосферного давления

В полевых условиях калибровку электронных тахеометров можно проводить на универсальном полевом стенде, разработанном авторами [24, 25].

Для подтверждения заявленных технических характеристик светодальномерной части электронного тахеометра FOIF RTS005A авторы провели экспериментальные работы по калибровке данного устройства на базисе пространственном эталонном СГУГиТ.

Общие сведения о Полигоне геодезическом эталонном СГУГиТ

В настоящее время эталонный комплекс СГУГиТ представляет собой Полигон геодезический эталонный (ПГЭ), на котором

с 1997 г. проводятся поверки спутниковой ГНСС-аппаратуры и исследования в области геопространственных технологий (рис. 1) [26–28]. ПГЭ является эталоном 3-го разряда.

В геодезическую сеть ПГЭ входят три базиса: Базис пространственный эталонный (БПЭ) им. О. П. Сучкова длиной 1 104 м, Коченевский базис длиной 8 432 м и линейный базис Кремлевка–Алексеевка (Krem-Alex), являющийся выходной стороной в звене Государственной сети триангуляции первого класса, с длиной 26 892 м [26, 28]. На БПЭ им. О. П. Сучкова и Коченевском базисе были выполнены светодальномерные измерения, кроме того, на БПЭ с определенной периодичностью дополнительно производится высокоточные створные и высотные определения [27].

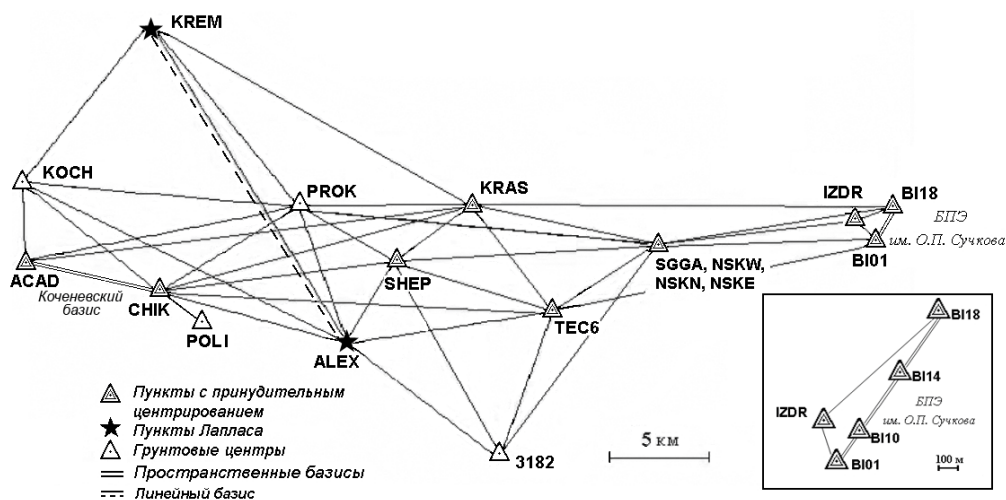


Рис. 1. Схема геодезической сети Полигона геодезического эталонного (ПГЭ) и Базиса пространственного эталонного (БПЭ) СГУГиТ

БПЭ имени О. П. Сучкова состоит из 22 трубчатых металлических сваенабивных центров глубокого заложения в соответствии с требованиями [29]. Для спутниковых определений, по которым проводится метрологическая поверка ГНСС-аппаратуры, используются четыре пункта базиса: BI01, BI10, BI14, BI18 [28]. На базис БПЭ выдано бессрочное Свидетельство об утверждении типа RU.E.27.007.A № 25883, в котором он зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений под № 33176-06 и допущен к применению в Российской Федерации. СКП в расстояниях базиса БПЭ при температуре от минус 10 до плюс 30 °С, мм, составляют на интервале: 0-192 м ±0,5 мм, на интервале 192-1104 ± (0,3+1·10⁻⁶ L). В 2021 году проводилась поверка ПГЭ, в рамках которой были произведены измерения на четырех пунктах линейного базиса, входящих в состав полигона. Измерения выполнялись с использованием высокоточного фазового светодальномера Leica TM50 из состава Государственного первичного специального эталона единицы длины ГЭТ 199-2018.

Методика проведения исследования фазового светодальномера электронного тахеометра FOIF RTS005A на полигоне геодезическом эталонном СГУГиТ

Поскольку для промышленности характерны небольшие размеры сетей – внутрицеховые сети редко имеют размеры более 200 м,

то основное внимание при проведении исследований было сосредоточено на коротких расстояниях от 12 до 192 м.

Исследование фазового светодальномера электронного тахеометра FOIF RTS005A включало в себя два этапа. На первом этапе определялись эталонные длины линий базиса пространственного эталонного СГУГиТ. В качестве эталонного измерительного прибора использовался лазерный трекер Leica AT 403. Среднеквадратические погрешности измерения расстояний, указанные в паспорте трекеров Leica AT 400-й серии, составляют ±10 мкм. СКП угловых измерений, вычисляются по формуле

$$m_{\beta} = m_{\alpha} = 15 \cdot 10^{-3} + 6 \cdot 10^{-3} \cdot L \text{ (м)}.$$

Первая серия измерений была выполнена 22.05.2023. Вследствие ограничений дальности работы на отражатель (максимальное расстояние 160 м), трекер устанавливался на пункте принудительного центрирования BI05, для максимально возможного охвата пунктов базиса. Наблюдения проводились на высокоточный сферический отражатель Leica RRR 1,5" (рис. 2).

Измерения на отражатель производились серией по 30 раз. Результаты измерений обрабатывались в программном продукте Spatial Analyzer.

Повторная серия измерений длин базиса была проведена 03.08.2023. Для дополнитель-

ного контроля определения длин линий базиса измерения проводились с нескольких точек с перекрытием измеряемых интервалов.

В табл. 2 приведены результаты сравнений измеренных длин линий базиса трекером Leica AT 403 и дана оценка их точности.



Рис. 2. Измерение базиса лазерным трекером Leica AT 403:

а) трекер Leica AT 403 на пункте В105; б) сферический отражатель Leica RRR 1,5" на пункте базиса

Таблица 2

Результаты сравнений измеренных длин линий базиса трекером Leica AT 403

Линия базиса	Измеренная длина, мм		СКП определения измеренной длины, мм		Δ, мм
	22.05.23	03.08.23	22.05.23	03.08.23	
В101 – В102	12 085,42	12 085,37	0,02	0,01	0,05
В101 – В103	23 974,42	23 973,12	0,01	0,01	1,30
В101 – В104	47 997,29	47 996,88	0,01	0,01	0,41
В101 – В105	72 018,40	72 015,47	0,01	0,01	2,93
В101 – В106	96 082,98	96 082,16	0,01	0,01	0,82
В101 – В107	120 036,71	120 034,33	0,01	0,01	2,38
В101 – В108	144 010,10	144 009,51	0,02	0,01	0,59
В101 – В109	168 037,14	168 034,71	0,01	0,01	2,43
В101 – В110	192 077,30	192 073,85	0,07	0,01	3,45

* Эталонное значение длины линии В101 – В110, определенное с использованием высокоточного фазового светодаляномера Leica TM50 из состава Государственного первичного специального эталона единицы длины ГЭТ 199–2018, составляет 192 072,27 мм

Изменения за 70 дней между поверками достаточно большие и неравномерные, однако есть вероятность, что первое контрольное измерение базиса выполнялось с одной точки на предельных для трекера расстояниях, а второе измерение было выполнено по частям, и расстояния были определены более надежно. Это подтверждается и средними

квадратическими отклонениями измеренных расстояний.

Вторым этапом исследований было измерение электронным тахеометром FOIF RTS005A расстояний между пунктами базиса в отражательном и безотражательном режимах и сравнение полученных длин с их эталонными значениями (рис. 3).

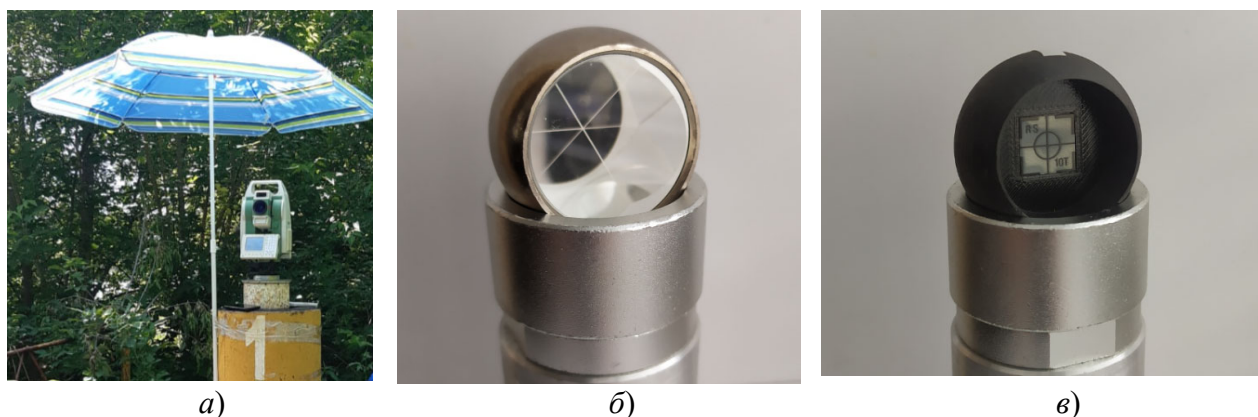


Рис. 3. Измерение длин линий базиса тахеометром FOIF RTS 005A:

а) тахеометр RTS 005A на пункте BI01; б) сферический отражатель; в) приспособление для безотражательных измерений

Методика наблюдений включала в себя следующие последовательные операции. Вначале в ложе устройства принудительного центрирования укладывались сферический призмный отражатель и электронный тахеометр, размещенный на пункте базиса BI01, выполнялось автоматическое наведение на призму, далее наблюдатель осуществлял визуальный контроль наведения на призму, после чего производилась серия из 30 измерений. После измерений на призму, в ложе помещалось устройство для безотражательных измерений, и выполнялась серия из 30 измерений. Наблюдения выполнялись в автоматическом режиме с помощью программного комплекса «Визир 3D».

Для измерения в безотражательном режиме было разработано специальное сферическое измерительное приспособление, в углублении которого наклеена отражающая пленка, причем перекрестье пленки находится в центре сферы (рис. 3, в). Само приспособление было напечатано на 3D-принтере.

На рис. 4, а показаны средние квадратические ошибки взятия отсчетов на разных расстояниях при измерении на призму, а на рис. 4, б и 4, в приведены гистограммы отклонения расстояний от среднего значения для некоторых точек и режимов наблюдений.

Как видно из графика на рис. 4, а, средние квадратические погрешности взятия отсчетов, при измерении на призму, имеют вполне

приемлемые значения, кроме расстояния в 12 м, но и эта погрешность лежит в пределах точности, заявленной производителем. В безотражательном режиме с увеличением расстояния разброс от среднего значения увеличивается.

Далее авторами была проведена серия измерений в отражательном режиме на призму 22.05.23, 15.06.23, 23.06.23 и 18.08.23 (рис. 5). На легенде к рис. 5 эти серии названы: Призма 1, Призма 2, Призма 3 и Призма 4.

Первые три серии измерений были выполнены в режиме: Авто – автоопределение температуры и давления. Благодаря встроенному датчику определения температуры и давления они измеряются автоматически. Только при измерении 4-й серии параметры атмосферы были введены вручную по показаниям метеостанции. Первые три измерения демонстрируют некоторую закономерность результатов, но отклонения (на графике – поправки) от эталонных значений имеют значительные величины от 4 до 10 мм. Четвертая серия измерений отличается от расстояний эталона на величины от 2 до 3,2 мм при средней квадратической величине отклонений в 2,6 мм. Кроме того, все поправки в длины имеют положительные значения – вполне возможно, что существует неучтенная систематическая составляющая в этом режиме измерений.

В безотражательном режиме было выполнено две серии измерений «безотр1» и «безотр2» (рис. 6).

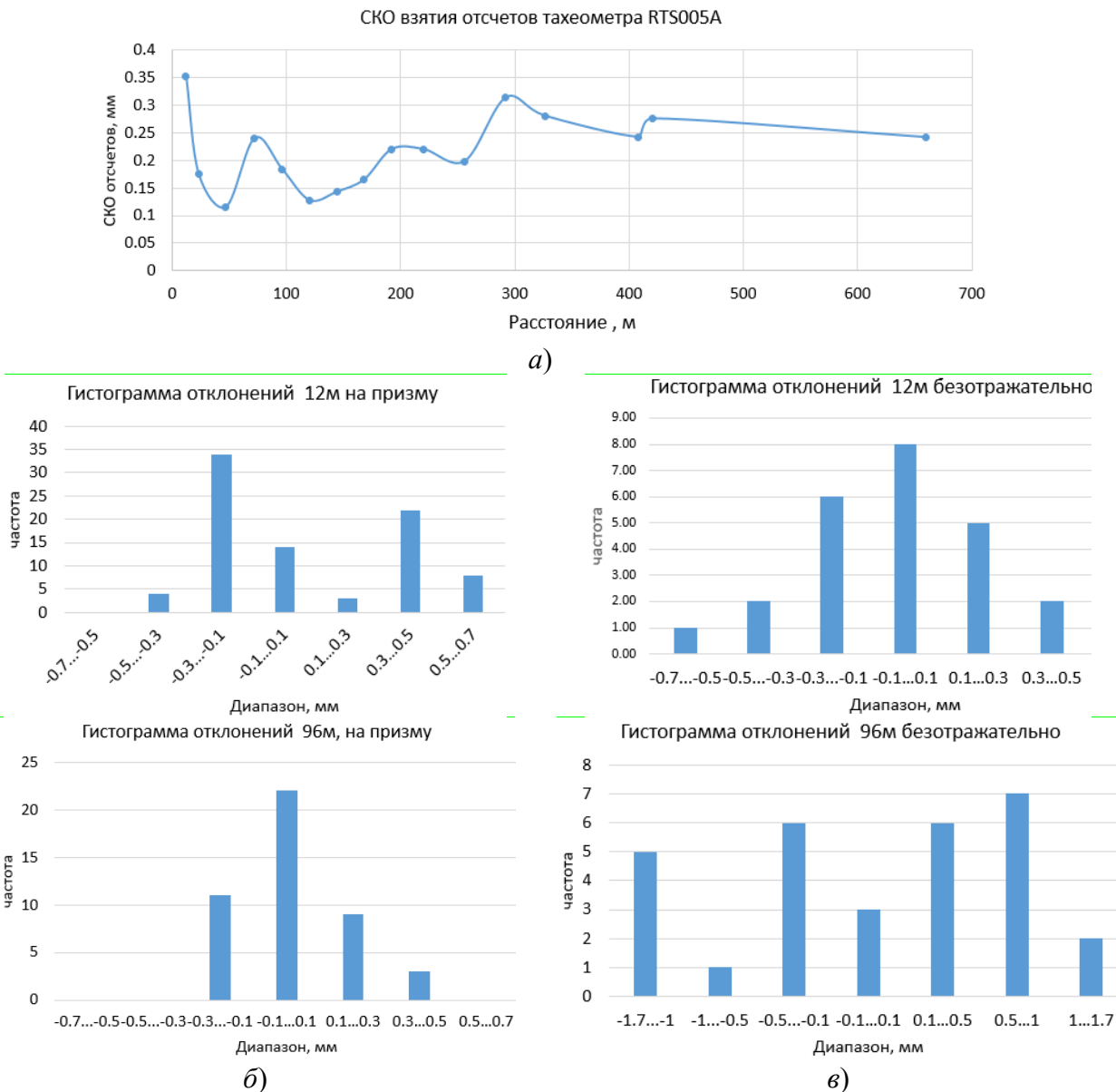


Рис. 4. СКО взятия отсчетов и гистограммы отклонений:

а) режим измерений на призму; б) измерения на призму; в) измерения в безотражательном режиме

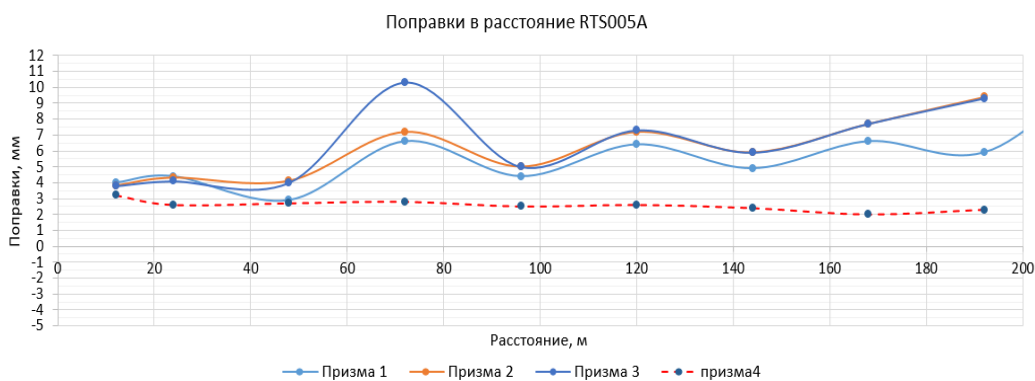


Рис. 5. Поправки в расстояния при измерении на призму

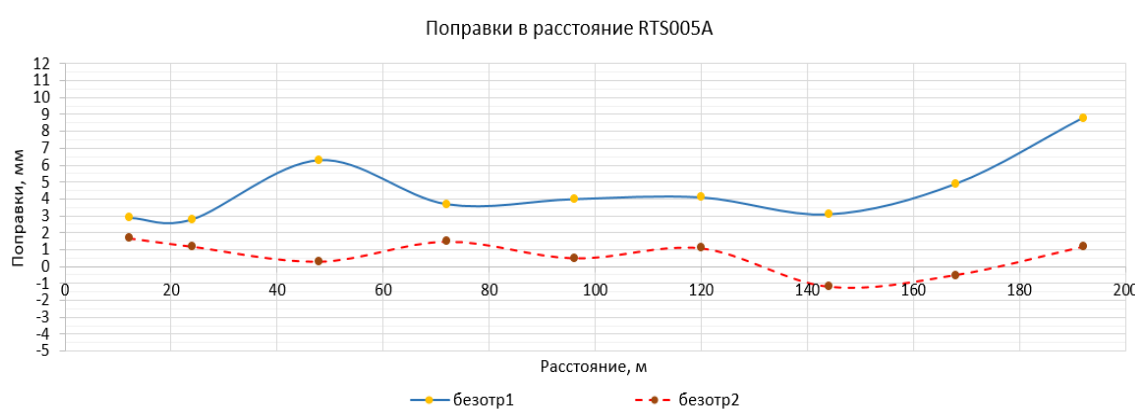


Рис. 6. Поправки в длины в безотражательном режиме измерений

Первая в режиме: Авто – автоопределение температуры и давления, вторая – при ручном вводе параметров. Первая серия имеет отклонения от эталонного значения длины в диапазоне от 2,9 до 8,8 мм, а вторая – от –1,2 до 1,7 мм. Отклонения второй серии безотражательных измерений вполне укладываются в заявленную производителем точность измерений.

Исследования выявили недостаточную точность режима автоматического ввода поправок в длины за температуру и давление, а эти поправки изменяются в больших пределах, так для последней серии измерений при изменении температуры от 16 до 27,5 °С и давлении в 994 hPa изменение коэффициента составило более 10 мм на 1 км измеряемой длины (рис. 7).

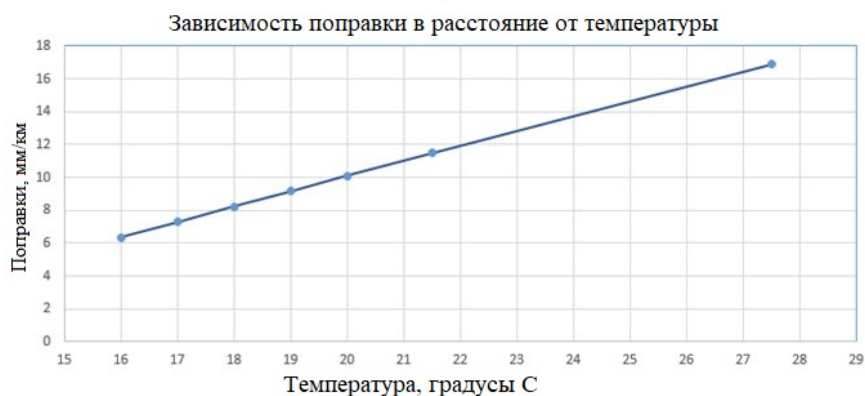


Рис. 7. Зависимость величины поправки в измеренные расстояния от температуры

Заключение

Исследования точности измерения расстояний электронным тахеометром FOIF RTS005A №60188 показали, что до расстояний 200 м в безотражательном режиме обеспечивается заявленная производителем точность. В режиме измерений на призму точность измерения расстояний ниже заявленной производителем, но при этом авторами была выявлена возможная неучтенная систематическая составляющая. Для полноты ис-

следования необходимо провести еще ряд измерений и определить стабильность фазового светодальномера, тогда появится возможность учесть все систематические погрешности измерений, и провести индивидуальную калибровку дальномера.

Кроме того, необходимо провести исследования нескольких тахеометров этой серии, чтобы убедиться, что неправильный учет показаний датчиков температуры и давления – это особенность конкретного прибора, а не всей серии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Sotnikov A., Sholomitskii A. Position control and alignment of CCM equipment [Electronic resource] // Materials Science Forum. – 2019. – Vol. 946. – P. 644–649. – Mode of access: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.946.644>.
2. Mogilny S. G., Sholomitskii, A. A., Sotnikov, A. L. Technical Audit of Rotary Aggregates Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019) // Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Springer, Cham, 2019. – Vol. II. – P. 541–550.
3. Полянский А. В., Крапивин В. С., Буренков Д. Б., Вонда Е. С., Сердаков Л. Е. О геодезическом обеспечении создания комплекса «Скиф» // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 5. – С. 67–76. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-5-67-76.
4. Ефремкин О. С., Шапошников С. Н. Определение отклонений внутреннего контура цилиндрических конструкций лазерным трекером // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, № 6-2 (86). – С. 284–288.
5. Ерошков В. Ю. Использование мобильной координатно-измерительной машины на базе лазерного трекера для аттестации испытательного оборудования // Газотурбинные технологии. – 2019. – № 5 (164). – С. 26–30.
6. Брежнев В. Г., Колесникова Ю. В. Совершенствование методики контроля геометрических параметров воздушного судна с помощью лазерного трекера // Современные проблемы лингвистики и методики преподавания русского языка в ВУЗе и школе. – 2022. – № 35. – С. 794–801.
7. Сазонникова Н. А., Илюхин В. Н., Сурудин С. В., Мезенцев Д. А. Контроль оснастки для инкрементального формообразования с помощью лазерного трекера // Динамика и виброакустика. – 2021. – Т. 7, № 4. – С. 30–39. – DOI: 10.18287/2409-4579-2021-7-4-30-39.
8. Sholomitskii A., Lagutina E. Design and preliminary calculation of the accuracy of special geodetic and mine surveying networks // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 272. – P. 022010. – DOI 10.1088/1755-1315/272/2/022010.
9. Шоломицкий А. А., Ахмедов Б. Н. Геодезический мониторинг большепролетных сооружений с пространственной металлической конструкцией // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 117–126. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-117-126.
10. Кузин А. А., Петров В. В., Пефтиев А. А. Геодезическое обеспечение выверки формы отражающей поверхности главного зеркала радиотелескопа с применением лазерных трекеров // Вестник СГУГиТ. – 2023. – Т. 28, № 1. – С. 22–32. – DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-22-32.
11. Сайт компании Русгеоком – официального дистрибьютора компании FOIF в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nsk.rusgeocom.ru/products/robotizirovannyy-takheometr-foif-rt005a-r1000-0-5>.
12. Jokela J. Length in Geodesy – On Metrological Traceability of a Geospatial Measurand [Electronic resource] : Doctoral dissertation. – Espoo: School of Engineering, Aalto University School of Science. – Mode of access: <https://aalto.fi/handle/123456789/14055>.
13. Shchipunov A. N., Tatarenkov V. M., Denisenko O. V., Sil'vestrov I. S., Fedotov V. N., Vasil'ev M. Yu., Sokolov D. A. A set of standards for support of the uniformity of measurements of length in the range above 24 m: current state and prospects for further development // Measurement Techniques. – 2019. – Vol. 57 (11). – P. 1228–1232. – DOI 10.1007/s11018-015-0610-9.
14. Pollinger F., Meyer T., Beyer J., Doloca N. R., Schellin W., Niemeier W., Jokela J., Hakli P., Abou-Zeid A., Meiners-Hagen K. The upgraded PTB 600 m baseline: a high-accuracy reference for the calibration and the development of long distance measurement devices // Measurement Science Technology. – 2012. – Vol. 23. – P. 094018. – DOI 10.1088/0957-0233/23/9/094018.
15. Jokela J., Häkli P., Kugler R., Skorpil H., Matus M., Poutanen M. Calibration of the BEV Geodetic Baseline [Electronic resource] // FIG Congress 2010, April 11–16. – Sydney, Australia, 2010. Mode of access: https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2010/papers/ts05c/ts05c_jokela_hakli_et_al_3873.pdf.
16. García-Asenjo L., Baselga S., Garrigues P. Deformation monitoring of the submillimetric UPV calibration baseline // Journal of Applied Geodesy. – 2016. – Vol. 11 (2). – P. 107–114. – DOI 10.1515/jag-2016-0018/.
17. García-Asenjo L., Baselga S., Atkins C., Garrigues P. Development of a submillimetric GNSS-based distance meter for length metrology // Sensors. – 2021. – Vol. 21. – P. 1145. – DOI 10.3390/s21041145.

18. Būga A., Birvydienė R., Kolosovskis R., Krikštaponis B., Obuchovski R., Paršeliūnas E., Putrimas R., Šlikas D. Analysis of the calibration quality of the Kyviškės Calibration Baseline // Acta Geodaetica et Geophysica. – 2016. – Vol. 51. – P. 505–514. – DOI 10.1007/s40328-015-0140-6.
19. Mihály S. Space referencing core data for GI in Hungary [Electronic resource] // FIG Congress 2005, April 16–21. – Cairo, Egypt, 2005. – Mode of access: https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/cairo/papers/ts_21/ts21_04_mihaly.pdf.
20. Geodetic Operations in Finland 2000 – 2003 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/NationalReports2003/Finland.pdf>.
21. Agne V. Elektrooniliste kaugusmõõturite kalibreerimine [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/2138>.
22. Lechner J., Kosarev N. S., Trevoho I. S. Conversion of units of length from the Czech state standard to the geodetic baseline Javoriv // Acta Polytechnica. – 2022. – Vol. 62 (6). – P. 618–622. – DOI 10.14311/AP.2022.62.0618.
23. Kosarev N. S., Lechner J., Padve V. A., Umnov I. A. Results of Many Years' Measurements Conducted at the Czech State Long Distances Measuring Standard Košnice // Science and Technique. – 2023. – Vol. 22 (1). – P. 13–19. – DOI 10.21122/2227-1031-2023-23-1-13-19.
24. Уставич Г. А., Косарев Н. С., Баранников Д. А., Мезенцев И. А., Бирюков Д. В. Разработка универсального полевого стенда для поверки геодезических приборов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2021. – Т. 65. № 4. – С. 379–387. – DOI 10.30533/0536-101X-2021-65-4-379-387.
25. Уставич Г. А., Косарев Н. С., Баранников Д. А., Мезенцев И. А. О., Бирюков Д. В. Совершенствование методики метрологической аттестации тахеометров и светодалномеров // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 146–159. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-146-159.
26. Сурнин Ю. В. Полевой астрогравигеодезический эталон для метрологических испытаний геодезической аппаратуры // Измерительная техника. – 2004. – № 9. – С. 3–7.
27. Середович В. А., Сучков И. О. Об опыте исследования способа измерения расстояний в комбинациях на эталонном базисе // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № S/4. – С. 62–66.
28. Karpik A. P., Kosarev N. S., Antonovich K. M., Ganagina I. G., Timofeev V. Y. Operational experience of GNSS receivers with Chip Scale Atomic Clocks for baseline measurements // Geodesy and Cartography. – 2018. – Vol. 44 (4). – P. 140–145. – DOI 10.3846/gac.2018.4051.
29. СТО 02570823-19-05. Базисы линейные эталонные. Общие технические требования. – М. : ЦНИИГАиК, 2005. – 42 с.

Об авторах

Андрей Аркадьевич Шоломицкий – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Николай Сергеевич Косарев – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Леонид Евгеньевич Сердаков – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института ядерной физики им. Г. И. Будкера.

Елена Константиновна Лагутина – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Илья Олегович Сучков – главный инженер-геодезист.

Получено 08.11.2023

© А. А. Шоломицкий, Н. С. Косарев, Л. Е. Сердаков,
Е. К. Лагутина, И. О. Сучков, 2024

Study of the phase rangefinder of the electronic total station FOIF RTS005A on the SSUGT spatial reference basis

A. A. Sholomitskii¹, N. S. Kosarev^{1}, L. E. Serdakov², E. K. Lagutina¹, I. O. Suchkov³*

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

² Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (BINP SB RAS), Novosibirsk, Russian Federation

³ LLS «SibGS», Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Abstract. Requirements to improve the accuracy of engineering geodetic work in industry have led to the emergence of new measuring instruments – high-precision metrological total stations and trackers. After the introduction of sanctions, these tools became unavailable in the Russian Federation. Therefore, an urgent task is to switch to measuring equipment of our own production or equipment currently available on the geodetic equipment market. One possible replacement option is the FOIF RTS005A robotic electronic total station. To control and confirm the accuracy characteristics of distance measurement for such devices, it is necessary to have verified certified reference bases. The article describes the solution to two tasks. The first task was the calibration of the SSUGT spatial reference basis using a Leica AT 403 tracker. At the second task, studies of the FOIF RTS005A electronic total station on a reference basis were carried out. Studies showed that the automatic mode of measuring temperature and pressure with an electronic total station leads to larger errors than manually entering these parameters. Measurements taken in reflectorless mode correspond to the accuracy declared by the manufacturer. The prism measurement mode does not correspond to the stated certified accuracy, is of a natural nature and requires additional research.

Keywords: total station, laser tracker, rangefinder, spatial reference basis, precision, traceability, error, stability

REFERENCES

1. Sotnikov, A., & Sholomitskii, A. (2019). Position control and alignment of CCM equipment. *Materials Science Forum*, 946, 644–649. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.946.644
2. Mogilny, S. G., Sholomitskii, A. A., & Sotnikov, A. L. (2019). Technical Audit of Rotary Aggregates Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). *Lecture Notes in Mechanical Engineering, Vol. II.*, 541–550. Springer, Cham.
3. Polyansky, A. V., Krapivin, V. S., Burenkov, D. B., Vonda, E. S., & Serdakov, L. E. (2022). The alignment strategy for the SKIF synchrotron radiation source *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(5), 67–76. DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-5-67-76 [in Russian].
4. Efremkin, O. S., & Shaposhnikov, S. N. (2018). Determination of deviations of the internal contour of cylindrical structures by a laser tracker. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, Vol. 20, No. 6-2 (86), 284–288 [in Russian].
5. Eroshkov, V. Yu. (2019). Using a mobile coordinate measuring machine based on a laser tracker for certification of testing equipment. *Gazoturbinnye tekhnologii [Gas Turbine Technologies]*, 5(164), 26–30 [in Russian].
6. Brezhnev, V. G., & Kolesnikova, Yu. V. (2022). Improving methods for monitoring aircraft geometric parameters using a laser tracker. *Sovremennye problemy lingvistiki i metodiki prepodavaniya russkogo yazyka v VUZe i shkole [Modern Problems of Linguistics and Methods of Teaching the Russian Language at Universities and Schools]*, 35, 794–801 [in Russian].
7. Sazonnikova, N. A., Ilyuhin, V. N., Surudin, S. V., & Mezencev, D. A. (2021). Control of equipment for incremental forming using a laser tracker. *Dinamika i vibroakustika [Dynamics and Vibroacoustics]*, 7(4), 30–39. DOI 10.18287/2409-4579-2021-7-4-30-39 [in Russian].
8. Sholomitskii, A., & Lagutina, E. (2019). Design and preliminary calculation of the accuracy of special geodetic and mine surveying networks. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 272, P. 022010. DOI:10.1088/1755-1315/272/2/022010.
9. Sholomitskii, A. A., & Akhmedov, B. N. (2020). Geodesic monitoring of large-span constructions with spatial metal structure. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(3), 117–126. DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-117-126 [in Russian].
10. Kuzin, A. A., Petrov, V. V., & Peftiev, A. A. (2023). Geodetic supply of alignment the reflecting surface's shape of the main mirror of a radio telescope using laser trackers. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 28(1), 22–32. DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-1-22-32 [in Russian].
11. Rusgeocom company website. (n. d.). Retrieved from <https://nsk.rusgeocom.ru/products/robotizirovannyi-takheometr-foif-rts005a-r1000-0-5> [in Russian].
12. Jokela, J. (2014). Length in Geodesy – On Metrological Traceability of a Geospatial Measurand. *Doctor's thesis*. Espoo: School of Engineering, Aalto University School of Science. Retrieved from <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/14055>.
13. Shchipunov, A. N., Tatarenkov, V. M., Denisenko, O. V., Sil'vestrov, I. S., Fedotov, V. N., Vasil'ev, M. Yu., & Sokolov, D. A. (2015). A set of standards for support of the uniformity of measurements of length in the range above 24 m: current state and prospects for further development. *Measurement Techniques*, 57(11), 1228–1232. DOI 10.1007/s11018-015-0610-9.

14. Pollinger, F., Meyer, T., Beyer, J., Doloca, N. R., Schellin, W.; Niemeier, W., Jokela, J., Hakli, P., Abou-Zeid, A., & Meiners-Hagen, K. (2012). The upgraded PTB 600 m baseline: a high-accuracy reference for the calibration and the development of long distance measurement devices. *Measurement Science Technology*, 23, P. 094018. DOI 10.1088/0957-0233/23/9/094018.
15. Jokela, J., Häkli, P., Kugler R., Skorpil H., Matus, M., & Poutanen, M. (2010). Calibration of the BEV Geodetic Baseline. *FIG Congress 2010*. Sydney, Australia. Retrieved from https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2010/papers/ts05c/ts05c_jokela_hakli_et_al_3873.pdf
16. García-Asenjo, L., Baselga, S., & Garrigues, P. (2016). Deformation monitoring of the submillimetric UPV calibration baseline. *Journal of Applied Geodesy*, 11(2), 107–114. DOI 10.1515/jag-2016-0018
17. García-Asenjo, L., Baselga, S., Atkins, C., & Garrigues, P. (2021). Development of a submillimetric GNSS-based distance meter for length metrology. *Sensors*, 21, P. 1145. DOI 10.3390/s21041145
18. Būga, A., Birvydienė, R., Kolosovskis, R., Krikštaponis, B., Obuchovski, R., Paršeliūnas, E., Putrimas, R. & Šlikas, D. (2016). Analysis of the calibration quality of the Kyviškės Calibration Baseline. *Acta Geodae-tica et Geophysica*, 51, 505–514. DOI 10.1007/s40328-015-0140-6.
19. Mihály, S. (2005). Space referencing core data for GI in Hungary. *FIG Congress 2005*. Cairo, Egypt. Retrieved from https://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/cairo/papers/ts_21/ts21_04_mihaly.pdf
20. Geodetic Operations in Finland 2000–2003. Retrieved from <https://iag.dgfi.tum.de/fileadmin/IAG-docs/NationalReports2003/Finland.pdf>.
21. Agne, V. (2015). *Elektrooniliste kaugusmõõturite kalibreerimine [Calibration of electronic distance meters]*. Retrieved from <https://dspace.emu.ee/xmlui/handle/10492/2138>
22. Lechner, J., Kosarev, N. S., & Trevocho, I. S. (2022). Conversion of units of length from the Czech state standard to the geodetic baseline Javoriv. *Acta Polytechnica*, 62(6), 618–622. DOI 10.14311/AP.2022.62.0618.
23. Kosarev, N. S., Lechner, J., Padve, V. A., & Umnov, I. A. (2023). Results of Many Years' Measurements Conducted at the Czech State Long Distances Measuring Standard Košnice. *Science and Technique*, 22(1), 13–19. DOI 10.21122/1029-7448-2023-22-1-13-19.
24. Ustavich, G. A., Kosarev, N. S., Barannikov, D. A., Mezentsev, I. A., & Birukov, D. V. (2021). Creating of a universal field stand to verificate geodetic instruments. *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 65(4), 379–387. DOI 10.30533/0536-101X-2021-65-4-379-387 [in Russian].
25. Ustavich, G. A., Kosarev, N. S., Barannikov, D. A., Mezentsev, I. A., & Birukov, D. V. (2021). Improving the methodology for metrological certification of total stations and light range finders. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(4), 78–97. DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-146-159 [in Russian].
26. Surnin, Yu. V. (2004). Field astrograviodetic standard for metrological testing of geodetic equipment. *Measurements Technique [Izmeritel'naya tekhnika]*, 9, 3–7 [in Russian].
27. Seredovoch, V. A., & Suchkov, I. O. (2014). About the experience of the research method of measuring distances in combinations on the reference geodetic basis. *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, S/4, 62–66 [in Russian].
28. Karpik, A. P., Kosarev, N. S., Antonovich, K. M., Ganagina, I. G., & Timofeev, V. Y. (2018). Operational experience of GNSS receivers with Chip Scale Atomic Clocks for baseline measurements. *Geodesy and Cartography*, 44(4), 140–145. DOI 10.3846/gac.2018.4051.
29. Standard organization. (2005). STO 02570823-19-05. Linear reference bases. General technical requirements. Moscow: Central Research Institute of Geodesy, Aerial Photography and Cartography Publ., 42 p. [in Russian].

About authors

Andrey A. Sholomitskii – D. Sc., Professor, Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Nikolai S. Kosarev – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Leonid E. Serdakov – Ph. D., Senior Researcher.

Elena K. Lagutina – Ph.D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Ilya O. Suchkov – Chief Surveyor Engineer.

Received 08.11.2023

© A. A. Sholomitskii, N. S. Kosarev, L. E. Serdakov,
E. K. Lagutina, I. O. Suchkov, 2024