

УДК 528.531:681.783.24

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-59-68

Исследование точности измерения длин лазерными дальномерами электронных тахеометров

А. А. Шоломицкий¹✉, Н. С. Косарев¹, А. В. Никонов^{1,2}, Л. Е. Сердаков³, Е. Л. Соболева⁴

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

² АО «Сибтехэнерго», г. Новосибирск, Российская Федерация

³ Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

⁴ Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств,
г. Новосибирск, Российская Федерация

e-mail: sholomitskij@mail.ru

Аннотация. После введения санкционных ограничений в Российской Федерации стали труднодоступны все высокоточные электронные тахеометры и лазерные трекеры, которые используются в промышленной метрологии для мониторинга состояния и выверки оборудования. В связи с этим исследования, направленные на повышение точности измерения расстояний дальномерами электронных тахеометров, являются важными и актуальными, поскольку они помогут решить назревшую проблему геодезического обеспечения промышленного оборудования. В статье приведены результаты исследований точности измерения длин лазерными дальномерами электронных тахеометров Leica TM30, FOIF RTS005A, FOIF RTS362 с дальномером российского производства. Исследования показали, что в режиме измерений на призму для тахеометров Leica TM30 и FOIF RTS362 возможно повысить точность измерения расстояний путем исключения тренда.

Ключевые слова: лазерный дальномер, точность, электронный тахеометр, эталон, базис, отклонение, стабильность измерений

Для цитирования:

Шоломицкий А. А., Косарев Н. С., Никонов А. В., Сердаков Л. Е., Соболева Е. Л. Исследование точности измерения длин лазерными дальномерами электронных тахеометров // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29, № 5. – С. 59–68. – DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-5-59-68

Введение

С появлением нового класса высокоточных измерительных систем – лазерных трекеров – произошла переоценка роли электронных тахеометров в промышленной метрологии. Если раньше один из ведущих производителей геодезического оборудования фирма Leica [1] выпускала специальную серию метрологических тахеометров для промышленности – серию TDA(TDRA) с измерением расстояний до 300 м с точностью 0,5 мм [2], а на более коротких расстояниях и при индивидуальной калибровке дальномера – с точностью до 0,2 мм [3], то сейчас эта серия снята с про-

изводства. В настоящее время метрологическим электронным тахеометром считается Leica TS60 с точностью измерения расстояний на призму 0,6 мм [4]. В Российской Федерации в единичных экземплярах имеются электронные тахеометры, которые позволяют проводить измерения расстояний на призму с точностью 0,4 мм. Одним из таких тахеометров является Leica TM50, входящий в состав Государственного первичного специального эталона единицы длины ГЭТ 199-2018 [5]. Поэтому сейчас практически все высокоточные линейные измерения выполняются лазерными трекерами [6–12], высокая точность которых обеспечивается ин-

терференционным принципом измерения расстояний либо запатентованными «абсолютными» дальномерами. Однако эти приборы производятся в Швейцарии (Hexagon) и США (FARO и API), и вся их продукция внесена в санкционные списки и недоступна в Российской Федерации.

Кроме недоступности лазерных трекеров на отечественном рынке, они имеют серьезные ограничения на длину измеряемой линии (не более 160 м), в то время как в промышленной геодезии необходимо обеспечить точность измерений 0,1–0,2 мм при длине линий 200–300 м, чтобы создать высокоточные внутрицеховые сети и выполнять мониторинг и выверку крупногабаритного промышленного оборудования [13, 14]. Поэтому исследование стабильности и точности измерения расстояний лазерными дальномерами электронных тахеометров и возможности их индивидуальной калибровки является важной и актуальной задачей.

Методика проведения исследований электронных тахеометров Leica TM30, FOIF RTS005A

Методика проведения исследований электронных тахеометров Leica TM30, FOIF RTS005A включала в себя два основных этапа:

- калибровку пространственного эталонного базиса СГУГиТ им. О. П. Сучкова, которая была осуществлена с помощью лазерного трекера Leica AT 403, в мае и августе 2023 г. [15]. Вследствие ограничений дальности работы трекера на отражатель (не более 160 м) он устанавливался на пункте ВІ05. Далее проводились измерения по программе ВІ05–ВІ04 и до пункта ВІ01, а также ВІ05–ВІ06 и до пункта ВІ10. Точность определения эталонных длин составила не более 0,1 мм [16, 17];

- непосредственные измерения электронным тахеометром Leica TM30 и FOIF RTS005A на эталонном базисе.

Измерения выполнялись в отражательном и безотражательном режимах (рис. 1):

- сферический отражатель в отражательном режиме на призму диаметром 32 мм, имеющий постоянную равную 22,0 мм (рис. 1, а);

- специальное приспособление для безотражательных измерений, у которого отражательная поверхность однозначно центрируется над центром точки базиса (рис. 1, б);

- стандартную призму Leica GPR111 (рис. 1, в);

- мониторинговую мини-призму GEOBOX DMR07 (рис. 1, г).

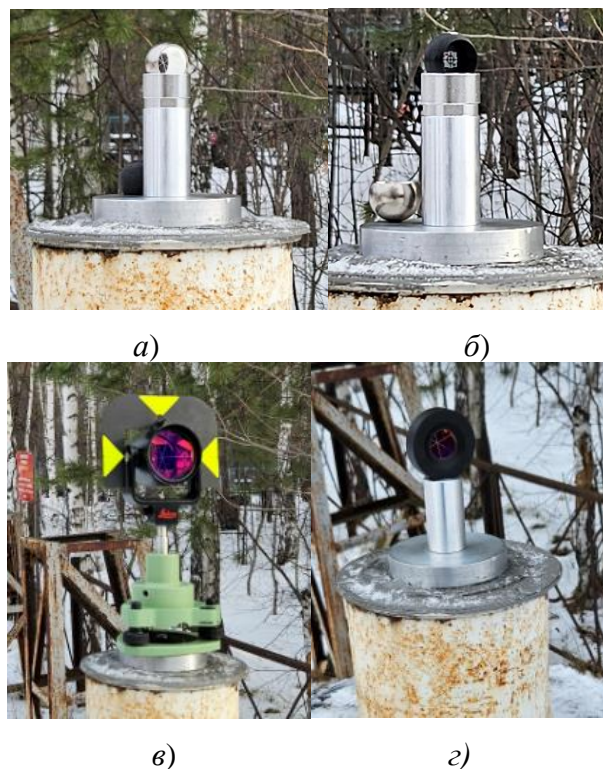


Рис. 1. Приспособления для измерений:
 а) измерение на сферическую призму $\varnothing 32$ мм;
 б) приспособление для безотражательных измерений;
 в) стандартная призма Leica GPR111;
 г) мини-призма GEOBOX DMR07

Измерения на призму выполнялись независимо в разные временные интервалы в режиме автонаведения 15 раз при круге лево и 15 раз при круге право, в безотражательном режиме 30 раз при одном круге.

По результатам измерений была оценена точность измерения расстояний, взяты отсчеты, выявлен разброс отсчетов от среднего значения для различных расстояний и режимов на разных расстояниях.

Результаты исследования лазерного дальномера тахеометра Leica TM30

Для тахеометра Leica TM30 были выполнены четыре серии измерений в отражательном режиме и четыре серии измерений в безотражательном. Параметры атмосферы для

электронного тахеометра Leica TM 30 вводились сразу при измерениях.

На рис. 2 и в таблице приведены результаты сравнения измеренных длин электронным тахеометром Leica TM30 в отражательном режиме с их эталонными значениями.

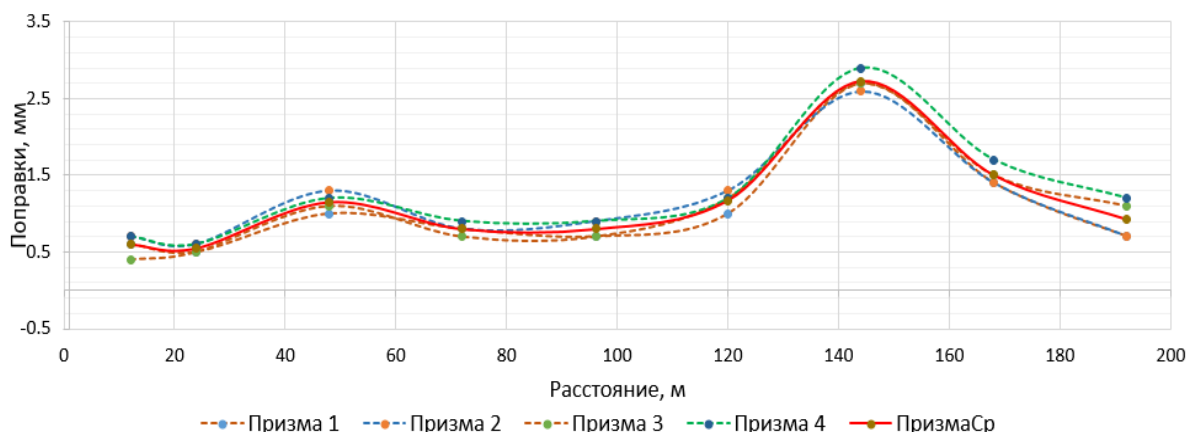


Рис. 2. Результаты сравнения измеренных длин электронным тахеометром Leica TM30 в отражательном режиме с их эталонными значениями

Результаты сравнений

Расстояние, м	Отклонения от эталонных значений, мм				П _{ср} , мм	Min, мм	Max, мм	Δ/2, мм
	Призма 1	Призма 2	Призма 3	Призма 4				
12	0,6	0,7	0,4	0,7	0,60	0,4	0,7	0,15
24	0,5	0,6	0,5	0,6	0,55	0,5	0,6	0,05
48	1,0	1,3	1,1	1,2	1,15	1,0	1,3	0,15
72	0,8	0,8	0,7	0,9	0,80	0,7	0,9	0,10
96	0,7	0,9	0,7	0,9	0,80	0,7	0,9	0,10
120	1,0	1,3	1,2	1,2	1,18	1,0	1,3	0,15
144	2,7	2,6	2,7	2,9	2,73	2,6	2,9	0,15
168	1,4	1,4	1,5	1,7	1,50	1,4	1,7	0,15
192	0,7	0,7	1,1	1,2	0,93	0,7	1,2	0,25

По результатам сравнения можно сделать вывод, что отклонения от эталонных значений имеют один знак, кроме того, наблюдаются явные локальные экстремумы, величины которых больше случайных отклонений. Можно предположить, что имеется некоторая нелинейная составляющая, которая не учитывается при измерении расстояний. Если использовать усредненные значения (П_{ср} в таблице) для учета этой составляющей, то для этого тахеометра

можно значительно повысить точность измерения расстояний при условии стабильной работы дальномера и небольших СКО измерений. В этом случае отклонения измеренных значений от эталона не будут превышать величины ±Δ/2.

В безотражательном режиме картина отклонений между сериями другая; вот почему в этом режиме измерений нельзя выявить общие закономерности в сериях измерений (рис. 3).

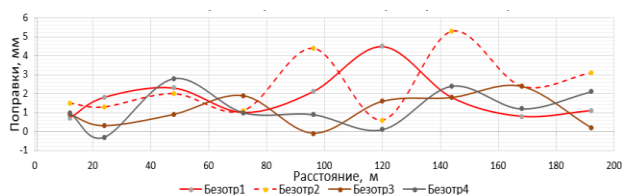


Рис. 3. Результаты сравнения измеренных длин электронным тахеометром Leica TM30 в безотражательном режиме с их эталонными значениями

На рис. 4 приведены СКО взятия отсчетов электронным тахеометром Leica TM30 для двух серий измерений в отражательном и безотражательном режимах.

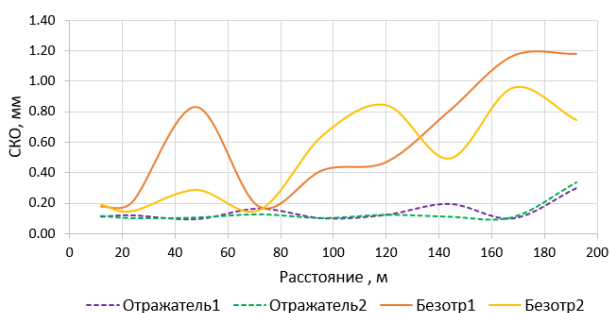


Рис. 4. СКО взятия отсчетов электронным тахеометром Leica TM30 для двух серий измерений в отражательном и безотражательном режимах

Приведенные СКО взятия отсчетов электронным тахеометром Leica TM30 (см. рис. 4) для двух серий измерений в разных режимах подтверждают, что для измерений на призму СКО взятия отсчетов значительно меньше поправок в измеренные расстояния (см. рис. 2). Безотражательные измерения имеют другую мощность сигнала и зависят от отражающей поверхности визирной цели. Отклонения измеренных в безотражательном режиме расстояний от эталонных значений выше, чем при измерениях на призму, и имеют случайный характер.

Результаты исследования лазерного дальномера тахеометра FOIF RTS005A

Электронным тахеометром FOIF RTS005A (серийный номер F60290) были выполнены восемь серий измерений в отражательном ре-

жиме, каждая серия включала в себя 30 отчетов. Перед выполнением измерений метеопараметры (температура и давление) вводились вручную. На рис. 5 показаны результаты сравнения измеренных длин электронным тахеометром FOIF RTS005A в отражательном режиме с их эталонными значениями.

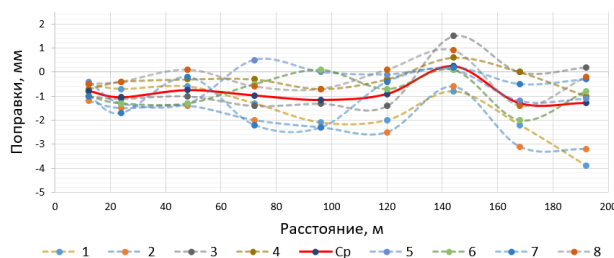


Рис. 5. Результаты сравнения измеренных длин электронным тахеометром FOIF RTS005A в отражательном режиме с их эталонными значениями

По результатам сравнения можно сделать следующие выводы:

- во-первых, большинство отклонений имеет отрицательные значения, что говорит о некоторой систематической составляющей;
- во-вторых, на расстоянии 144 м наблюдается локальный максимум, как и у электронного тахеометра Leica TM30. Возможно, имеется некоторая неучтенная погрешность измерений длин, при этом разброс отклонений на одних и тех же расстояниях больше, чем у электронного тахеометра Leica TM30.

Безотражательные измерения электронным тахеометром FOIF RTS005A также характеризуются большим разбросом отклонений в сериях, в которых нельзя найти закономерность, позволяющую уточнить измерение длин (рис. 6).

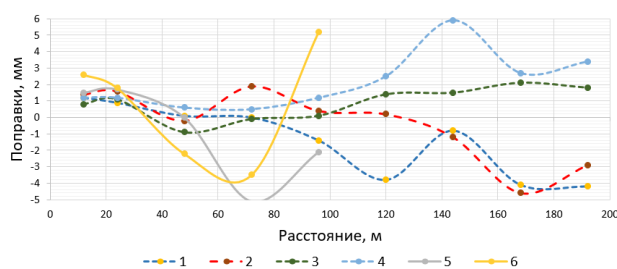


Рис. 6. Результаты сравнения измеренных длин электронным тахеометром FOIF RTS005A в безотражательном режиме с их эталонными значениями

По результатам исследований была обнаружена следующая закономерность. Серии 5 и 6 выполнялись при температуре -3°C . По результатам сравнения они имеют больший разброс, чем в сериях 1–4, которые проводились при положительной температуре окружающей среды. Также в этих сериях не удалось выполнить измерения длин линий на расстояниях 120, 144, 168 и 192 м, хотя при положительных температурах измерения они проводились.

На рис. 7 приведены СКО взятия отсчетов электронным тахеометром FOIF RTS005A в отражательном и безотражательном режимах.

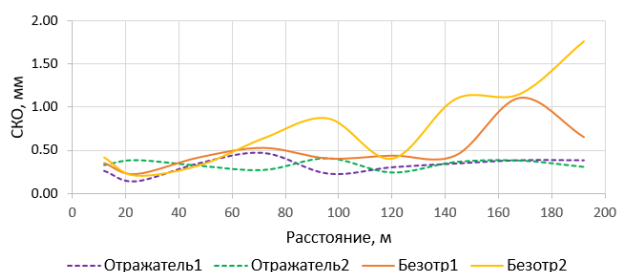


Рис. 7. СКО взятия отсчетов электронным тахеометром FOIF RTS005A в отражательном и безотражательном режимах

СКО взятия отсчетов при измерении длин в режиме измерений на призму не превышают 0,5 мм и имеют линейный характер, а СКО взятия отсчетов при измерении длин в безотражательном режиме больше, чем для режима измерений на призму. Безотражательный режим измерений практически соответствует заявленной производителем точности, а при измерении на призму фактические ошибки измерения расстояний превышают заявленную точность.

Методика проведения исследований лазерного дальномера тахеометров FOIF RTS362

Методика проведения исследований лазерного дальномера тахеометров FOIF RTS362 была следующей: на первом пункте поочередно устанавливали тахеометры FOIF RTS362

(серийные номера 100009 и 00056), далее вводили параметры атмосферы, производили десятикратные измерения на стандартную призму Leica GPR121 на шести точках базиса. Затем устанавливали тахеометр Leica TS60 и выполняли аналогичную программу измерений.

Особенностями тахеометров FOIF RTS362 было то, что в них установлены отечественные лазерные дальномеры, выпускаемые компанией ООО «СИНТЭЛА» [18].

По результатам измерений было вычислено среднее расстояние из десяти измерений для тахеометров FOIF, которое затем сравнивалось со средним значением расстояния, измеренного эталонным тахеометром. Отклонения измеренных электронными тахеометрами FOIF RTS362 расстояний от их эталонных значений показаны на рис. 8.

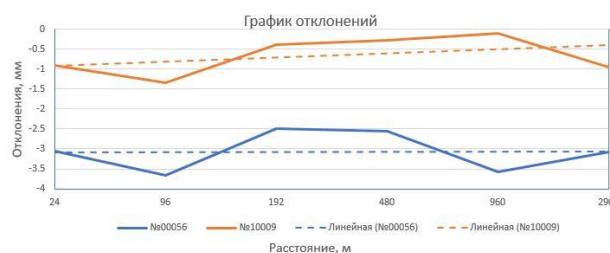


Рис. 8. Отклонения измеренных электронными тахеометрами FOIF RTS362 расстояний от их эталонных значений

Из рис. 8 видно, что отклонения имеют разную величину, максимальное отклонение для электронного тахеометра FOIF RTS362 (серия № 00056) составляет $-1,4$ мм, а для FOIF RTS362 (серия № 10009) $-3,6$ мм. Для тахеометра (серия № 00056) график тренда параллелен оси Y и опущен на величину $-3,06$ мм, что свидетельствует о смещении дальномера в зрительной трубе или неправильной установке постоянной дальномера; для второго тахеометра (серия № 10009) наблюдается небольшой линейный тренд.

Если из измеренных длин исключить линейный тренд, то отклонения измеренных электронными тахеометрами FOIF RTS362 расстояний от их эталонных значений будут находиться в диапазоне от $+0,6$ до $-0,6$ мм (рис. 9).

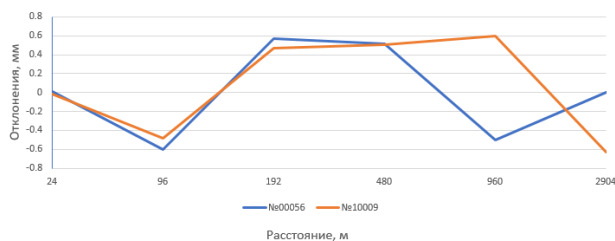


Рис. 9. Отклонения измеренных электронными тахеометрами FOIF RTS362 расстояний от их эталонных значений (после учета трендовой составляющей)

Выводы и рекомендации

По результатам проведенных исследований авторами установлено:

- лазерный дальномер электронного тахеометра Leica TM30 имеет лучшую стабильность работы, чем тахеометр FOIF RTS005A. СКО взятия отсчетов тахеометром Leica TM30 на расстоянии до 200 м не превышает 0,2 мм, при этом поправки в измеренные длины при измерениях на призму имеют закономерный характер и могут быть учтены при индивидуальной калибровке;

- лазерный дальномер электронного тахеометра FOIF RTS005A имеет меньшую стабильность, чем тахеометр Leica TM30. СКО взятия отсчетов не превышает 0,5 мм. СКО измерения длин на расстоянии до 60 м не превышает 1 мм, а на расстояниях до 200 м не пре-

вышает 2 мм. Учет средних величин поправок не приводит к заметному повышению точности измерения длин;

- в безотражательном режиме оба дальномера имеют СКО измерения длин до 5 мм и СКО взятия отсчетов до 2 мм;

- исследования лазерных дальномеров электронных тахеометров FOIF RTS362 показали, что они имеют небольшие отклонения от эталонных длин и линейный тренд, который может быть учтен при измерениях.

Авторы намерены продолжить исследования стабильности и точности измерений расстояний лазерными дальномерами электронных тахеометров и оценить возможность их индивидуальной калибровки. Для этого в онлайн-геодезическом измерительном комплексе «Визир 3D» имеется инструмент для учета тренда конкретного дальномера [19, 20]. Результаты исследований смогут повысить метрологию крупногабаритного промышленного оборудования и в какой-то мере уменьшить зависимость от зарубежных производителей.

Благодарность

Авторы выражают благодарность руководству ООО «РУСГЕОКОМ» и ООО «СИНТЭЛА» за предоставленную возможность исследовать дальномеры электронных тахеометров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт компании Leica Geosystems [Электронный ресурс]. – URL: <https://leica-geosystems.com>.
2. Высокоточный тахеометр Leica TDRA6000 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.promgeo.com/equipment/total-stations/total-station-leica-tdra6000/>.
3. Иванов М. А., Стёпкин А. Ю., Шкавера К. Н. Исследование точностных характеристик тахеометров и лазерной рулетки фирмы «Leica» // Записки Горного института. – 2002. – Т. 150, № 1. – С. 64–67.
4. Роботизированные электронные тахеометры Leica [Электронный ресурс]. – URL: <https://leica-geosystems.com/ru/products/total-stations/robotic-total-stations>.
5. 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.
6. 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.

7. 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.
8. Ерощков В. Ю. Использование мобильной координатно-измерительной машины на базе лазерного трекера для аттестации испытательного оборудования // Газотурбинные технологии. – 2019. – № 5 (164). – С. 26–30.
9. 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.
10. 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.
11. Кузин А. А., Петров В. В., Пештиев 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.
12. Мурзинцев П. П., Полянский А. В., Буренков Д. Б., Сердаков Л. Е. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства, эксплуатации и мониторинга ускорительно-накопительных комплексов. – Новосибирск : Сибпринт, 2021. – 232 с.
13. 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). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. – Vol. II. – P. 541–550. – URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_57.
14. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Лунев А. А., Сотников А. Л., Ватралик Э. М., Фролов И. С. Совершенствование технологий контроля положения и выставки оборудования МНЛЗ. Металлургические процессы и оборудование. – 2012. – № 3 (30). – С. 12–25.
15. 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.
16. Косарев Н. С., Шоломицкий А. А., Ханзадян М. А., Сердаков Л. Е., Крапивин В. С., Сучков И. О. Результаты сравнения длин линий на базисе пространственном эталонном СГУГиТ // Геодезия и картография. – 2024. – № 2. – С. 12–20. – DOI 10.22389/0016-7126-2024-1004-2-12-20.
17. Шоломицкий А. А., Косарев Н. С., Сердаков Л. Е., Лагутина Е. К., Сучков И. О. Исследование фазового светодальномера электронного тахеометра FOIF RTS005A на базисе пространственном эталонном СГУГиТ // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Том 29 (1). – С. 54–64. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-54-64.
18. Сайт ООО «СИНТЭЛА» [Электронный ресурс]. – URL: https://lasertechnics.org/SINTELA_RTS362.pdf.
19. Шоломицкий А. А., Сотникова А. Л. Применение измерительного комплекса «Визир-3D» на базе электронного тахеометра. Дефектоскопист – 2021: сборник трудов по неразрушающему контролю // Донецк: Технопарк «Университетские технологии», 2021. – С. 94–96.
20. Сайт продукта «Визир 3D» [Электронный ресурс]. – URL: <https://sholomitskij.wixsite.com/sholomitskij/vizir-3d>.

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.

Антон Викторович Никонов – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела; ведущий инженер.

Леонид Евгеньевич Сердаков – кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Екатерина Леонидовна Соболева – кандидат технических наук, декан факультета базовой подготовки.

Получено 10.04.2024

© А. А. Шоломицкий, Н. С. Косарев, А. В. Никонов,
Л. Е. Сердаков, Е. Л. Соболева, 2024

The length measurement accuracy research by laser range finders of electronic total stations

A. A. Sholomitskii¹, N. S. Kosarev¹, A. V. Nikonov^{1,2}, L. E. Serdakov³, E. L. Soboleva⁴

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

² АО «Sibtechenergo», Novosibirsk, Russian Federation

³ Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences (BINP SB RAS), Novosibirsk, Russian Federation

⁴ Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts, Novosibirsk, Russian Federation

e-mail: sholomitskij@mail.ru

Abstract. After the introduction of sanctions restrictions in the Russian Federation, all high-precision electronic total stations and trackers, which were used in industrial metrology for monitoring the condition and alignment of equipment, became unavailable. In this regard, research aimed at improving the accuracy of measuring distances with range finders of electronic total stations is important and relevant, since they will help solve the pressing problem of geodetic support for industrial equipment. The article presents studies of the accuracy of measuring lengths with laser rangefinders of electronic total stations Leica TM30, FOIF RTS005A, FOIF RTS362 with a Russian-made range-finder. Research has shown that in prism mode for the Leica TM30 and FOIF RTS362 total stations, it is possible to improve the accuracy of distance measurements by eliminating the trend.

Keywords: rangefinder, precision, total station, etalon, basis, error, stability

REFERENCES

1. Leica Geosystems website. Retrieved from <https://leica-geosystems.com> [in Russian].
2. High-precision total station Leica TDRA6000. Retrieved from: <https://www.promgeo.com/-equipment/total-stations/total-station-leica-tdra6000/> [in Russian].
3. Ivanov, M. A., Stepkin, A. Yu., & Shkavera, K. N. (2002) Study of the accuracy characteristics of tacheometers and laser tape measures from Leica. *Zapiski Gornogo instituta. [Notes of the Mining Institute]*, 150 (1), 64–67 [in Russian].
4. Leica robotic total stations. Retrieved from <https://leica-geosystems.com/ru/products/total-stations/robotic-total-stations> [in Russian].
5. 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.
6. 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].

7. 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]*, 2018, 20 (6–2), 284–288 [in Russian].
8. 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]*, 2019, 5 (164), 26–30 [in Russian].
9. 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]*, 2022, 35, 794–801 [in Russian].
10. 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]*, 2021, 7(4), 30–39. DOI 10.18287/2409-4579-2021-7-4-30-39 [in Russian].
11. 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.
12. Murzincev, P. P., Polyansky, A. V., Burenkov, D. B., & Serdakov, L. E. (2021) *Geodezicheskoe obespechenie proektirovaniya, stroitel'stva, ekspluatatsii i monitoringa uskoritel'no-nakopitel'nyh kompleksov [Geodetic support for the design, construction, operation and monitoring of accelerator-storage complexes]*. Novosibirsk: Agency «Sibprint», 232 p. [in Russian].
13. 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). ICIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, Vol. II, p.541 – 550 Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_57.
14. Mogilny, S. G., Sholomitskii, A. A., Lunev, A. A., Sotnikov, A. L., Vatralik, E. M., & Frolov, I. S. (2012) *Improving technologies for monitoring the position and alignment of continuous caster equipment. Metallurgical processes and equipment*, 3(30), 12–25 [in Russian].
15. 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. DOI10.3846/gac.2018.4051.
16. Kosarev, N. S., Sholomitskii, A. A., Khanzadyan, M. A., Serdakov, L. Ye., Krapivin, V. S., & Suchkov, I. O. (2024) Line lengths comparison results on the spatial reference basis SGUGIT. *Geodezia i Kartografija [Geodesy and cartography]*, 85 (2), 12–20 DOI 10.22389/0016-7126-2024-1004-2-12-20 [in Russian].
17. Sholomitskii, A. A., Kosarev, N. S., Serdakov, L. E., Lagutina, E. K., & Suchkov, I. O. (2024). Study of the phase rangefinder of the electronic total station FOIF RTS005A on the SSUGT spatial reference basis. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 29(1), 54–64. DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-54-64 [in Russian].
18. Website of SINTELA LLC. Retrieved from https://lasertechnics.org/SINTELA_RTS362.pdf [in Russian].
19. Sholomitsky, A. A., & Sotnikova, A. L. (2021). Application of the Vizir-3D measuring complex based on an electronic total station. Defectoscopist – 2021: collection of works on non-destructive testing. Donetsk: Technopark “University Technologies”, 2021. –P. 94–96 [in Russian]
20. Product website "Vizir 3D". Retrieved from <https://sholomitskij.wixsite.com/sholomitskij/vizir-3d> [in Russian].

About authors

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

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

Anton V. Nikonov – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying; Leading Engineer.

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

Ekaterina L. Soboleva – Ph. D., Associate Professor, Dean of the Basic Education Faculty.

Received 10.04.2024

© *A. A. Sholomitskii, N. S. Kosarev, A. V. Nikonov,
L. E. Serdakov, E. L. Soboleva, 2024*