

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВИЗИРОВАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ НА КОРОТКИХ РАССТОЯНИЯХ

RESEARCH OF ACCURACY OF AUTOMATIC TARGETING BY ROBOTIC TOTAL STATION AT SHORT DISTANCES

A. Puporevich,

post-graduate student,

M. Vystrchil,

candidate of engineering sciences,
associate professor;

A. Aparin,

post-graduate student,

Saint-Petersburg Mining University,

Saint-Petersburg.

The paper deals with the accuracy of automatic targeting at the prism reflector of two robotic total stations – Sokkia-SX101P with Auto-Pointing function and Trimble S8 with Autolock function. The study was carried out for short distances (up to 15 m) with the reflector oriented towards the instrument. Sighting on the target was carried out automatically and manually, measurements were simultaneously carried out along the horizontal and vertical circles. Comparison of the root mean square error of measurements for both methods is evaluated. In this case, the value of the error during automatic targeting does not exceed the declared by the manufacturer. The actual position of the sighting point was also compared, it was found that for both robotic total stations it is located above the intersection of the prism faces, however, in the Trimble S8 there is no definite dependence in the horizontal displacements, unlike the Sokkia SX-101P, where the displacements are unidirectional.

Keywords: automatic targeting, robotic total station, root mean square, prism, short basis.

А. А. Пупоревич,

аспирант;

М. Г. Выстрчил,

кандидат технических наук,
доцент,

А. Г. Апарин,

аспирант,

Санкт-Петербургский горный университет,

г. Санкт-Петербург.

Ключевые слова: автоматическое наведение, роботизированный тахеометр, средняя квадратическая погрешность, призма, короткое расстояние.

ки производит серию измерений на отражателе. Смещения оценивают после сравнения результатов нескольких серий наблюдений.

3. Автоматизированный контроль за промышленным оборудованием и механизмами, где нужна высокая точность результатов [3].

Автоматический мониторинг применяется в различных областях, например деформационные наблюдения: за зданиями [4-8]; за инженерными сооружениями, такими как дамбы [9-11] и железнодорожные мосты [12, 13]; тоннели метрополитена [14]; на строительных площадках, а также наблюдения за оползневыми процессами [15-17]. Автоматическое наведение на цель применяется в промышленной геодезии, где используют лазерные трекеры [18] и специальные призмы [19], а также для ведения механизированных тоннелепроходческих комплексов (МТПК) [20, 21].

В маркшейдерском деле применение роботизированных тахеометров неразрывно связано с работами по развитию подземной городской инфраструктуры, так как именно в этой области чаще всего требуется высокая точность ведения работ. Приборы используются при геотехническом мониторинге [22-24], при ведении МТПК, создании опорных и съемочных сетей, а также как угломерные части гироскопических приборов [25].

Автоматическое наведение предназначено в первую очередь для работ с геодезическими призмами, однако для некоторых типов работ также используются отражающие пленки. При этом на точность роботизированного тахеометра влияет выбранный отражатель и отклонение визирного луча от нормали [26-28].

Несмотря на то, что роботизированные тахеометры применяются в различных областях, их главной задачей является проведение измерений без непосредственного участия исполнителя. От современных тахеометров ожидают безотказную работу в сочетании с получением надежных результатов. В связи с чем появляется необходимость точно знать действительные возможности приборов в тех или иных условиях. При планировании работ используют априорную оценку точности, которая практически всегда выше апостериорной.

Н а сегодняшний день в практику геодезистов и маркшейдеров вошли роботизированные тахеометры. В приборах присутствует функция автоматического наведения – когда сам прибор находит отражающую призму или пленку и их центр. Наиболее известные представители Trimble S6/S8, Leica System 1200+/TS12, Topcon GPT-9000 и Sokkia SRX.

Автоматическое наведение на цель широко используется в нескольких сферах:

1. Работа исполнителя в одиночку, когда осуществляется удаленный контроль над тахеометром [1]. Данный способ служит для экономии кадровых ресурсов.

2. Проведение мониторинговых наблюдений [2]. При этом прибор установлен на одной станции статично в прямой видимости на деформационные и опорные отражатели, и через определенные промежутки времени он автоматичес-

риорной, так как не учитывает различные условия проведения измерений [29-31]. При этом получение информации о действительной точности в рабочей среде затруднено в связи с невозможностью моделирования всех случайных факторов [17, 32-33].

Также подобные приборы используются для проведения автоматизированных наблюдений в условиях городской застройки. При этом может создаваться сеть наблюдательных станций, на которых будут установлены разные тахеометры для проведения мониторинга, но зона наблюдений которых может частично перекрываться. Это влечет за собой дополнительную трудность — анализ результатов, полученных на одни и те же деформационные призмы с разных приборов. Необходимо точно знать всегда ли тахеометр наводится на одну и ту же точку (условный центр) и совпадает ли она при различных положениях тахеометра относительно призмы.

В данной статье предлагается исследовать возможности автоматического наведения двух тахеометров на классическую призму. Основная цель работы — оценить точность измерений в зависимости от длины стороны и определить реальную точку визирования при автоматическом режиме наведения.

Применяемое оборудование

В работе исследовались два тахеометра — Trimble S8 и Sokkia SX-101P с функцией самонаведения. Данные приборы в первую очередь предназначены для геотехнического мониторинга и инженерных изысканий. В дополнение роботизированный тахеометр Sokkia SX-101P является угломерной частью для гиросприставки Gyro IX.

Характеристики приборов представлены в *табл. 1*.

Таблица 1

Основные характеристики приборов.

	Trimble S8	Sokkia SRX 101P
Точность измерения угла	1"	1"
Точность измерения расстояний		
без отражателя	2 мм + 2 мм/км	2 мм + 2 мм/км
на пленку	2 мм + 2 мм/км	0.5мм + 2мм/км
на отражатель	2 мм + 2 мм/км	1.5мм + 2мм/км
Точность в режиме автоматического наведения		
	2 мм на 200 м	-
	10 мм на 2500 м	-

В Trimble S8 реализуется два способа автоматического наведения: Autolock и Finelock. Finelock представляет из себя улучшение функции Autolock, где используется детектор с узким полем зрения с целью снижения помех от соседних призм и выполнения точного наведения на центр каждой призмы. Finelock применяется при расстоянии до призмы свыше 15 м и в данной статье не рассматривается.

Для Sokkia SX-101P также существуют два режима работы: Auto-Pointing и Auto-Tracking. Первый используется для поиска призмы, а второй для непрерывного слежения за ней.

Визирная цель представляет собой классическую призму.

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Все работы проводились в лабораторных условиях. Измерения осуществлялись на коротких сторонах (от 3 до 10 м с шагом 1 м; 15 м) с помощью автоматического наведения и вручную. Призма и тахеометр устанавливались в створ. Для каждой точки выполнялось 50-60 измерений. Отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругу брались одновременно. При этом на сторонах 3 м, 5 м, 10 м и 15 м измерения выполнены двумя наблюдателями.

После проведения эксперимента обрабатывались сырые данные (угловые измерения) и вычислялись средние квадратические погрешности (СКП) отсчетов на одну и ту же точку по горизонтальному и вертикальному кругам.

Результаты расчетов для тахеометра Trimble S8 приведены в *табл. 2* и *табл. 3*.

Таблица 2

СКП наведения на призму тахеометром Trimble S8 для горизонтального круга.

Расстояние до призмы	Автоматическое наведение (Autolock)	Ручное наведение	
		I	II
3 м	1.63"	3.03"	3.55"
4 м	1.66"	2.60"	
5 м	1.20"	1.98"	4.11"
6 м	1.89"	1.94"	
7 м	1.70"	1.79"	
8 м	2.76"	2.62"	
9 м	0.52"	2.27"	
10 м	0.40"	2.63"	3.33"
15 м	0.43"	3.15"	3.05"

Таблица 3

СКП наведения на призму тахеометром Trimble S8 для вертикального круга.

Расстояние до призмы	Автоматическое наведение (Autolock)	Ручное наведение	
		I	II
3 м	2.83"	2.09"	3.64"
4 м	3.31"	2.35"	
5 м	1.97"	1.64"	2.85"
6 м	1.54"	1.64"	
7 м	1.74"	1.65"	
8 м	1.27"	2.81"	
9 м	0.73"	1.64"	
10 м	0.71"	1.88"	3.38"
15 м	0.49"	1.95"	2.99"

Как видно из таблиц, погрешность автоматического наведения снижается с увеличением расстояния даже в автоматическом режиме, то есть он тоже оказался зависим от длины стороны. Однако при использовании Autolock разброс значений измерений на одной точке все же ниже, чем при ручном наведении.

Результаты расчетов для тахеометра Sokkia SX-101P приведены в табл. 4 и табл. 5.

Таблица 4

СКП наведения на призму тахеометром Sokkia SX-101P для горизонтального круга.

Расстояние до призмы	Автоматическое наведение (Autolock)	Ручное наведение	
		I	II
3 м	1.24"	2.00"	3.76"
4 м	0.81"	1.88"	
5 м	0.65"	1.75"	3.07"
6 м	1.31"	1.71"	
7 м	0.99"	1.88"	
8 м	0.90"	1.68"	
9 м	0.68"	2.06"	
10 м	0.61"	2.14"	2.65"
15 м	0.75"	2.56"	2.91"

Таблица 5

СКП наведения на призму тахеометром Sokkia SX-101P для вертикального круга.

Расстояние до призмы	Автоматическое наведение (Autolock)	Ручное наведение	
		I	II
3 м	1.18"	1.99"	2.86"
4 м	0.60"	2.16"	
5 м	1.06"	1.68"	3.44"
6 м	0.60"	2.93"	
7 м	0.47"	1.84"	
8 м	0.66"	1.69"	
9 м	0.26"	2.17"	
10 м	0.91"	2.09"	3.90"
15 м	1.01"	3.23"	4.32"

Результаты для тахеометра Sokkia получились аналогичными Trimble: автоматическое наведение точнее ручного. Однако для данного прибора зависимость понижения СКП с увеличением расстояния до призмы не так сильна.

Для наглядного изображения положение визирной цели при ручном и автоматическом режимах были созданы графики (рис. 1, рис. 2). За центр графика (0 мм, 0 мм) были приняты результаты из ручного наведения.

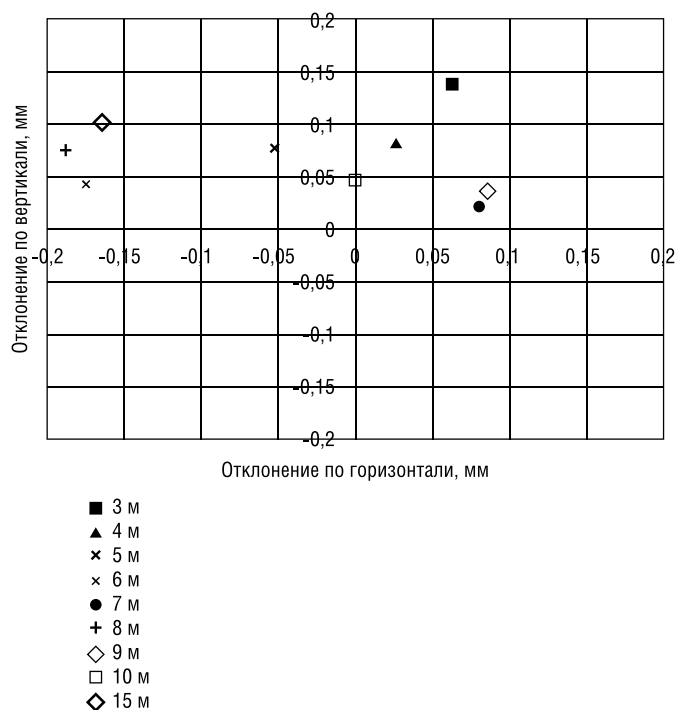


Рис. 1. Разница в определении точки визирования при автоматическом и ручном наведении для тахеометра Trimble S8.

Из графика видно, точка визирования при измерениях в автоматическом режиме всегда находится выше центра призмы. При этом отклонения по горизонтали имеют различные знаки, что может быть объяснено неточностью выставления призмы и тахеометра в створ.

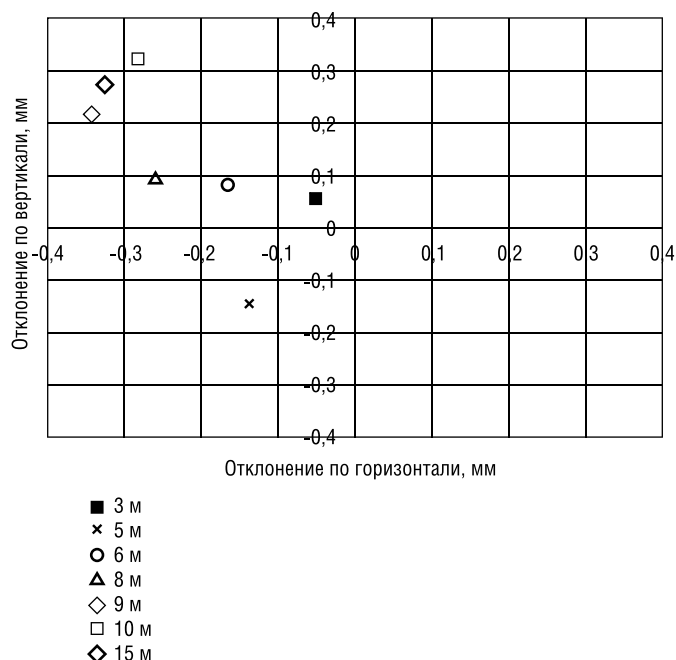


Рис. 2. Разница в определении точки визирования при автоматическом и ручном наведении для тахеометра Sokkia SX-101P.

Для тахеометра Sokkia также характерно наведение выше пересечения ребер призмы, по горизонтали все отклонения также отрицательны. Результат полученный для 5 м выбивается из общей тенденции и может быть объяснен проведением

ем дополнительных испытаний. При этом точка визирования располагается дальше от физического центра призмы, чем при измерении тахеометром Trimble.

Заключение

В работе были исследовано автоматическое наведение для двух приборов – Sokkia SX-101P и Trimble S8. Измерения производились на одну призму при падении луча по нормали к призме. Считается, что при таком положении цели автоматическое наведение точнее всего.

В обоих приборах СКП угловых измерений на коротких расстояниях соответствует заявленным при автоматическом наведении. При визировании вручную разброс значений отсчета на одну точку может достигать 4". Однако данное

значение получено при измерении на классический призмочный отражатель, который редко применяется на таких сторонах. Ожидается, что использование мини-призмы повысит точность ручного наведения. В связи с этим, можно сделать вывод о том, что использование автоматического наведения предпочтительнее.

Также исследование истинного положения точки, куда автоматически наводится тахеометр, показали, что она располагается не на пересечении граней призмы, как могло ожидать: в обоих случаях она смещена выше по вертикали, однако для Trimble S8 не наблюдалось зависимости в горизонтальном смещении, тогда как у Sokkia SX-101P истинное положение точки визирования смещено левее. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Ehrhart M., Lienhart W. Object tracking with robotic total stations: Current technologies and improvements based on image data. *Journal of Applied Geodesy*. 2017. Vol. 11. No. 3. Pp. 131-142. DOI: 10.1515/jag-2016-0043.
2. Чистогова В. А., Тютюков А. С., Богданец Е. С. Создание системы автоматизированного мониторинга оседаний земной поверхности в городе Березники // *Актуальные проблемы охраны труда и безопасности производства, добычи и использования калийно-магневых солей*. - 2018. - С. 369-377.
3. Автоматизированный мониторинг деформаций при монтаже уникальных и ответственных конструкций, а также при строительстве зданий в условиях плотной городской застройки / В. Н. Алёхин, М. В. Плетнёв, А. А. Антипин, С. Н. Городилов, А. Б. Ханина, М. А. Зубрицкий // *Современный город: проектирование, строительство и развитие (Ельцинские чтения) : сборник материалов международной научно-практической конференции по строительству и архитектуре (Екатеринбург, 23-24 апреля 2014)*. - Екатеринбург: УрФУ, 2014. - С. 281-290.
4. Рыбакова Т. А., Гермонова Е. А. Современные технологии обеспечения строительства и реконструкции промышленных предприятий // *Инновационные перспективы Донбасса*. - 2019. - С. 20-24.
5. da Silva I., Ibanez W., Poleszuk G. Experience of using total station and GNSS technologies for tall building construction monitoring // *International Congress and Exhibition «Sustainable Civil Infrastructures: Innovative Infrastructure Geotechnology»*. Springer, Cham, 2017. Pp. 471-486.
6. Барина Т. А., Катрич А. Е. Деформационный мониторинг зданий и сооружений / *Научные достижения и открытия современной молодёжи*. - 2017. - С. 1575-1576.
7. Шевченко Г. Г., Гура Д. А., Байрачная А. А. Сравнительный анализ функциональных возможностей роботизированных тахеометров и наземных лазерных сканеров при выполнении определенных работ // *Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ»* - 2017. - №. 9. - С. 36-46.
8. Хиллер Б., Ямбаев Х. К. Разработка и натурные испытания автоматизированной системы деформационного мониторинга // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. - 2016. - №. 1 (33).
9. Мустафин М. Г., Аль Ф. Х. Д., Хатум Х. М. Некоторые особенности мониторинга деформационных процессов на горно-гидротехнических объектах // *Маркшейдерский вестник*. - 2020. - №. 6. - С. 51-60.
10. Устинов А. В. Результаты мониторинга вертикальных перемещений в процессе компенсационного нагнетания на опытном участке Загорской ГАЭС-2 // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. - 2018. - Т. 23. - №. 4.
11. Zhou J., Shi B., Liu G., Ju, S. Accuracy analysis of dam deformation monitoring and correction of refraction with robotic total station // *Plos one*. 2021. Vol. 16. No. 5. Pp. e0251281. DOI: 10.1371/journal.pone.0251281.
12. Experimental assessment of high sampling-rate robotic total station for monitoring bridge dynamic responses. Yu J., Zhu P., Xu B., & Meng X. *Measurement*. 2017. Vol. 104. Pp. 60-69. DOI: 10.1016/j.measurement.2017.03.014.
13. Wyczalek I., Olaszek P., Sala D., Kokot M. Monitoring of the static and dynamic displacements of railway bridges with the use of the total station and set of the electronic devices // *Proceedings of the 4th Joint International Symposium on Deformation Monitoring, Athens, Greece*. 2019. Pp. 15-17.
14. Баловцев С. В., Шевчук Р. В. Автоматизированный деформационный мониторинг состояния тоннелей метрополитенов // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. - 2017. - №. 5.
15. Brown N., Kaloustian S., Roeckle M. Monitoring of open pit mines using combined GNSS satellite receivers and robotic total stations // *Proceedings of the 2007 International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering*. Australian Centre for Geomechanics, 2007. Pp. 417-429.
16. Сайидкосимов С. С., Беляев Е. Н. Способы минимизации производственных рисков при организации автоматизированной системы маркшейдерского деформационного мониторинга на открытых горных разработках // *XXI век. Техносферная безопасность*. - 2020. - Т. 5. - №. 4 (20).
17. Glueer F. et al. Robotic total station monitoring in high alpine paraglacial environments: Challenges and solutions from the Great Aletsch region (Valais, Switzerland). Glueer F., Loew S., Seifert R., Aaron J., Grämiger L., Conzett S., Limpach P., Wieser A., Manconi A. *Geosciences*. 2021. Vol. 11. No 11. Pp. 471. DOI: 10.3390/geosciences11110471.

18. Kuzin A. A., Palkin P. O. Coordinate method for determining position in geodetic monitoring of cracks. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. Vol. 1728. No. 1. Pp. 012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012010.
19. Palkin P. O., Kuzin A. A. Using high accuracy geodetic measurements to fix the main bases of the ship in shipbuilding and ship-repairing //Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2021. Vol. 1728. No. 1. Pp. 012015. DOI: 10.1088/1742-6596/1728/1/012015.
20. Pan G., Fan W. Automatic Guidance System for Long-Distance Curved Pipe-Jacking // KSCE Journal of Civil Engineering. 2020. Vol. 24. No. 8. Pp. 2505-2518.
21. Shen X., Lu M., Chen W. Automatically Tracking and Guiding Underground Tunnel Boring Machines during Microtunneling and Pipe Jacking Operations //Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice. 2010. Pp. 81-90.
22. Волохов Е. М., Новоженин С. Ю., Киреева В. И. Проблемы организации натурных маркшейдерских исследований и геотехнического мониторинга при применении современных технологий строительства подземных сооружений //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2015. - № 7.
23. Korff M., Maccabiani J. Building damage related to Amsterdam subway: Comparison of traditional monitoring with satellite monitoring results // Proceedings of the 4th International Conference on Computational Methods in Tunnelling and Subsurface Engineering, Innsbruck, Austria. 2017. Pp. 18-20.
24. Automatic subway tunnel displacement monitoring using robotic total station. Zhou J., Xiao H., Jiang W., Bai W., Liu G. Measurement. 2020. Vol. 151. P. 107251.
25. Глейзер В. И., Кон М. С. Новый прибор для гироскопического ориентирования // Маркшейдерский вестник. - 2013. - № 4 - С. 19-21.
26. Braun J. Testing of the automatic targeting of total station Trimble S8 on reflective targets //SGEM. 2015. Vol. 2. No. 2. Pp. 491.
27. Lackner S., Lienhart W. Impact of prism type and prism orientation on the accuracy of automated total station measurements //Proc. 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring. 2016.
28. Vystrechil M., Novozhenin S. Estimation of autolock mode accuracy of robotic total stations with various configurations reflectors. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM. 2017. Vol. 17. Pp. 281-287. DOI: 10.5593/sgem2017/22/S09.035.
29. Accurate vision-based displacement and vibration analysis of bridge structures by means of an image-assisted total station. Omidalizarandi M., Kargoli B., Paffenholz J. A., Neumann I. Advances in Mechanical Engineering. 2018. Vol. 10. No. 6. Pp. 1687814018780052. DOI: 10.1177/1687814018780052.
30. Хатум Х. М., Мустафин М. Г. Проектирование и оценка геодезических наблюдений за деформациями обнажений выемки при строительстве станции метрополитена //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). - 2020. - Т. 25. - № 4.
31. Горяинов И. В. Экспериментальные исследования применения обратной линейно-угловой засечки для оценки стабильности пунктов плановой деформационной геодезической сети //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). - 2018. - Т. 23. - № 1.
32. Неволин А. Г., Медведская Т. М. К вопросу о влиянии ошибок исходных данных на точность определения геометрических параметров технологического оборудования //Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). - 2019. - Т. 24. - № 1.
33. Lienhart W. Geotechnical monitoring using total stations and laser scanners: critical aspects and solutions //Journal of civil structural health monitoring. 2017. Vol. 7. No. 3. Pp. 315-324.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

Информируем Вас

В период 12-18 сентября 2022 г. в городе Севастополе (с проведением и проживанием в пансионате «Изумруд» в бухте Ласпи на Южном берегу Крыма) Международный союз машиностроителей, ДонНТУ, БГТУ, ЛНУ им. В. Даля и ряд университетов и организаций различных стран проводят XXIX международную научно-техническую конференцию:
«МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА».

Более детальная информация приведена на сайтах:
<http://konf-sev.donntu.org>, <http://iumb.donntu.org>, <http://tm.donntu.org>

WWW.N-GN.RU