



Определение констант призмённых отражателей для использования их в автоматизированных системах геодезического мониторинга

**Н.С. Косарев¹✉, Л.Е. Сердаков², А.А. Шоломицкий¹,
В.С. Крапивин²**

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Новосибирск, Россия

² Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской
академии наук, Новосибирск, Россия

✉ kosarevnsk@yandex.ru

цитирование

Косарев Н.С., Сердаков Л.Е., Шоломицкий А.А., Крапивин В.С. Определение констант призмённых отражателей для использования их в автоматизированных системах геодезического мониторинга // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2026. Т. 70, № 2. С. 8–19. DOI:10.30533/GiA-2026-012.

ключевые слова

калибровка, константа призмы, автоматизированная система геодезического мониторинга, компаратор, лазерный трекер, электронный тахеометр

аннотация

В статье представлены результаты экспериментального исследования по определению постоянных (констант) китайских геодезических призм-аналогов, широко используемых в автоматизированных системах геодезического мониторинга в условиях ограниченной доступности оборудования ведущих мировых производителей. Исследования проводились на компараторе Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения РАН с применением высокоточного оборудования: лазерного трекера Leica AT403 и тахеометра Sokkia NET05AXII. Были исследованы две группы призм: 360-градусные мини-призмы (аналоги Leica GRZ101) и деформационные призмы (аналоги Leica GMP104). Для каждой из десяти призм в группе было выполнено 20 измерений. Установлено, что значения постоянных для призм одного типа имеют заметный разброс: от –26,3 до –27,1 мм и от –5,9 до –6,7 мм для аналогов Leica GMP104 и Leica GRZ101 соответственно. Выявлены ключевые факторы, влияющие на точность измерений: изменение оптического пути при неперпендикулярности призмы визирному лучу, несоосность адаптера и призмы, а также воздействие внешних условий. Особенно значительные отклонения обнаружены у 360-градусных призм при их вращении, что связано с изменением оптической длины пути в зависимости от угла падения луча. Сделан вывод о необходимости обязательной индивидуальной калибровки таких призм перед их применением

в высокоточных измерениях. Для обеспечения требуемой точности и повторяемости результатов предлагается создать специализированный метрологический стенд в термостатированном помещении с контролируемыми условиями.

1 Введение

Роботизированные тахеометры относятся к ключевым элементам автоматизированных систем геодезического мониторинга (АСГМ) и используются для мониторинга плотин, оползней, оценки устойчивости туннельных конструкций и других объектов высокой опасности [1–5]. При этом достижимая точность измерений всегда зависит от типа прибора и призмы, а также от атмосферных условий, которые оказывают влияние на распространение электромагнитного сигнала [6–8].

В исследованиях, проведенных зарубежными учеными, показано, что определенные конфигурации и типы призм не подходят для проведения мониторинга [9]. Так, применение 360-градусных призм не рекомендуется, поскольку горизонтальные и вертикальные углы, а также измеренные наклонные расстояния изменяются в зависимости от ориентации призмы, хотя именно этот тип призм используется практически во всех АСГМ. Отклонения могут достигать нескольких миллиметров, что было показано в ходе испытаний в различных исследовательских институтах^{1,2}.

В последние годы производители геодезического оборудования модернизировали некоторые типы призм. Появились также новые роботизированные тахеометры с улучшенными возможностями измерения расстояний и более совершенными системами автоматизированного наведения на цель [10–11]. Однако такие образцы роботизированных тахеометров для АСГМ в настоящее время недоступны в Российской Федерации в связи с зарубежными санкциями. Для проведения мониторинга сейчас можно использовать геодезическое оборудование дружественных стран, в основном китайское. Сюда относятся тахеометры фирм FOIF, South и др. Стоит отметить, что использование данного оборудования без подтверждения его метрологических характеристик недопустимо на объектах критической инфраструктуры РФ. В этой связи сотрудники Сибирского государственного университета геосистем и технологий совместно с коллегами из Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН) регулярно проводят исследования китайских роботизированных тахеометров в различных режимах на базе пространственного эталонного имени О.П. Сучкова для оценки возможности дальнейшего их применения в АСГМ [12].

Как отмечалось выше, точность измерений зависит не только от типа тахеометра, но и от типа призмы. Процесс калибровки призм является ответственной частью для надежной работы АСГМ. Все геодезические призмы известных производителей (Leica, Topcon и др.) проходят производственный контроль. Кроме постоянной призмы, контролируются следующие параметры: смещения оптического центра отражателя от механической оси вращения отражателя; качество изготовления поверхности зеркала и ребер призмы (определение однородности фазы); качество отражающего покрытия призмы. Это далеко не полный перечень производственного контроля на соответствие паспортных характеристик каждой отражательной призмы, что определяет высокую стоимость изделий таких производителей, как Leica, Trimble и др.

1 Favre C., Hennes M. Zum Einfluss der geometrischen Ausrichtung von 360°-Reflektoren bei Messungen mit automatischer Zielerfassung // Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik. 2000. Vol. 2. S. 72–78.

2 Ingensand H. Systematische Einflüsse auf praktische Messungen mit dem Tachymeter und Digitalnivellier // DVW-Schriftenreihe. 2001. Vol. 42. S. 120–137.

В результате калибровки на лабораторных стендах производителя определяется постоянная отражателя (или константа призмы), причем для разного типа призм константа будет изменяться из-за размеров и коэффициента преломления используемого стекла. Величины поправки, наиболее часто встречающиеся в современных отражателях фирмы Leica, имеют широкий диапазон³ и равны 0,0 мм, 17,5 мм, 23,1 мм, 30,0 мм и 34,4 мм. В то же время при использовании призм, которые являются аналогами изделий известных производителей, нет уверенности в том, что постоянная отражателя корректно определена на заводе-изготовителе. В связи с этим встает вопрос об индивидуальных калибровках таких призм.

В данной статье приведены результаты определения на компараторе ИЯФ СО РАН констант 360-градусных мини-призм и деформационных призм, выпускаемых китайскими производителями, с целью возможного применения этих отражателей в АСГМ.

2 Материалы и методы

2.1 Общие сведения о величине постоянной призмы и методах ее определения

Прохождение светового луча электронного дальномера через световозвращающую тетраэдрическую призму (или отражатель) представляет собой сумму измеренного расстояния и постоянных дальномера и отражателя (рис. 1)⁴.

В аналитическом виде измеренное расстояние описывается формулой

$$D = D' + k = D' + (C_I + C_P),$$

где D — исправленное поправками расстояние;

D' — измеренное расстояние;

k — постоянная прибора;

C_I — постоянная дальномера;

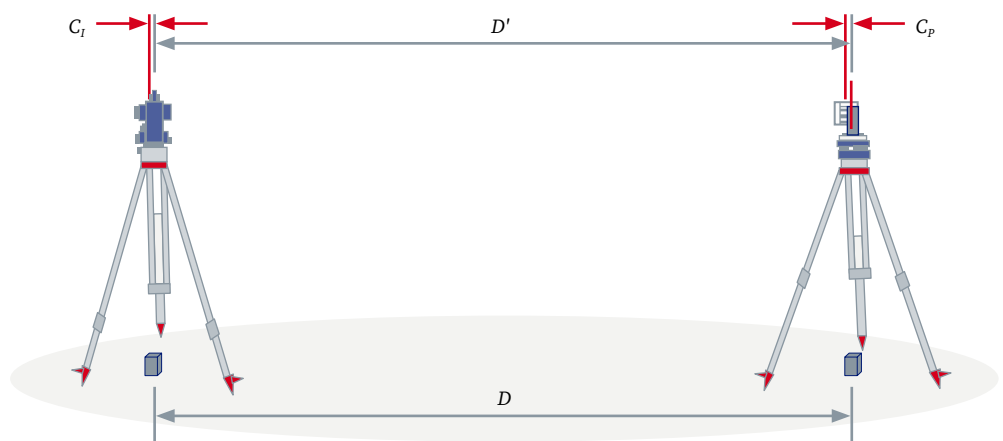
C_P — постоянная отражателя.

Рис. 1 ➔

Геометрия измеренного расстояния

Fig. 1

Geometry of the measured distance



³ Mao J., Nindl D. Surveying Reflectors / Leica Geosystems AG., 2009. 13 p.

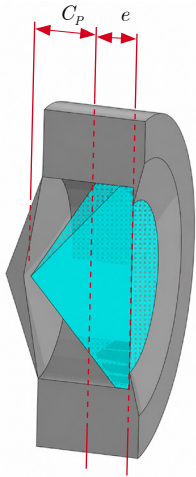
⁴ Electronic Distance: Combined Constant // Open Access Surveying Library. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.jerryamahun.com/index.php/home/open-access/44-x-equipment-check-adjustment/165-edm-chap-b-2> (дата обращения: 01.11.2025).

Рис. 2 ▼

Геометрическая интерпретация параметров, представленных в формуле (3)

Fig. 2

Geometric interpretation of the parameters presented in formula 3



Призмы в основном изготавливаются из стекла, которое имеет отличный показатель преломления по сравнению с воздухом — средой, где обычно распространяются электромагнитные сигналы. Скорость распространения электромагнитной волны при входе в стеклянное тело замедляется, поэтому фактическое измеряемое расстояние увеличивается. Оптическая длина пути L_{opt} внутри стеклянного тела призмы будет рассчитываться следующим образом:

2 ➔

$$L_{opt} = L_{geom}n,$$

где L_{geom} — геометрическая длина пути внутри тела призмы;
 n — коэффициент преломления стекла.

С учетом оптической длины в призме постоянная призмы определяется так:

3 ➔

$$C_P = e - L_{opt},$$

где e — расстояние от зеркальной поверхности призмы до механической оси вращения призмленного отражателя (рис. 2).

Поверка постоянной призмы может быть выполнена путем измерения эталонных расстояний (базисный способ) либо измерением линии и составляющих ее отрезков (безбазисный способ) [13, 14].

2.2 Методика определения постоянной призмы в помещении компаратора ИЯФ СО РАН

Рис. 3 ▼

Призма типа Leica GRZ101 (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 3

Leica GRZ101-type prism (photo by Leonid E. Serdakov)



Рис. 4 ▼

Призма типа Leica GMP104 (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 4

Leica GMP104-type prism (photo by Leonid E. Serdakov)



Определение постоянных китайских призм (аналогов призм фирмы Leica) проводилось в помещении компаратора ИЯФ СО РАН, который предназначался для поверок струн и мерных лент длиной до 25 м. В настоящее время он включает в себя: интерферометр Hewlett-Packard 5529A; тумбы направляющих с геодезическими знаками на них; каретку отражателя интерферометра [15]. Всего было определено 20 значений постоянных отражателя: 10 значений для 360-градусных мини-призм (конструктивно схожих с Leica GRZ101) и 10 значений для деформационных призм (конструктивно схожих с Leica GMP104). На рис. 3–4 показаны примеры этих призм.

Поверка постоянной призмы выполнялась базисным способом. Эталонные длины были заданы лазерным трекером Leica AT403, а непосредственное определение постоянных призм производилось тахеометром Sokkia NET05AXII. Основные технические характеристики приборов приведены в табл. 1.

Для удобства проведения измерений были выбраны два геодезических знака на расстоянии 11,4 м друг от друга. Знаки представляют собой доработанную конструкцию, предложенную Н.Н. Лебедевым [15]. Втулка центрального дюймового отверстия имеет возможность юстировки для приведения ее верхней поверхности двухосевым уровнем к горизонту (рис. 5).

Базисная линия определялась лазерным трекером Leica AT403 с двух станций: станции между геодезическими знаками P1 и P2 и станции, смещенной за знак P2. В измерениях использовался высокоточный пустотелый сферический отражатель (англ. Red-Ring Reflector, RRR) и дюймовый адаптер.

Таблица 1 ▼

Технические характеристики приборов, участвующих в определении постоянных призм

Table 1

Technical specifications of the instruments used for prism constant determination

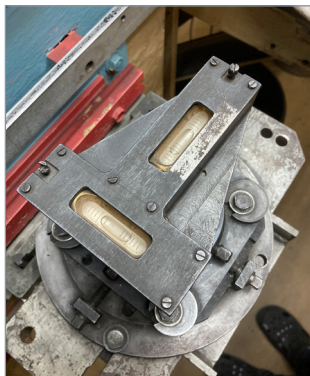
Прибор	Погрешность определения расстояния (отражатель), мм	Погрешность определения углов, сек.
Leica AT403	$0,015 + 0,006 \times L_m$	0,07
Sokkia NET05AXII	$0,8 + 1 \times 10^{-6} \times L_{mm}$	0,50

Рис. 5 ✓

Двухосевой уровень на геодезическом знаке компараторной ИЯФ СО РАН (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 5

Dual-axis level on the geodetic marker of the INP SB RAS comparator (photo by Leonid E. Serdakov)

**Рис. 6** ✓

Конструкция адаптера под призму типа Leica GRZ101 (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 6

Adapter design for Leica GRZ101-type prism (photo by Leonid E. Serdakov)

**Рис. 7** ✓

Конструкция адаптера под призму типа Leica GMP104 (фото Л.Е. Сердакова)

Fig. 7

Adapter design for Leica GMP104-type prism (photo by Leonid E. Serdakov)



Постоянная призмы рассчитывалась на основании измерений тахеометром Sokkia NET05AXII. Для центрирования призмы в геодезическом знаке были изготовлены адаптеры, показанные на рис. 6–7.

Измерения, выполняемые для нахождения постоянной, проводились по 5 раз для каждой стоянки и каждой призмы. Постоянная отражателя рассчитывалась по формуле

4

$$C_P = \frac{D' - B}{2},$$

где D' — измеренное расстояние;

B — длина базовой линии.

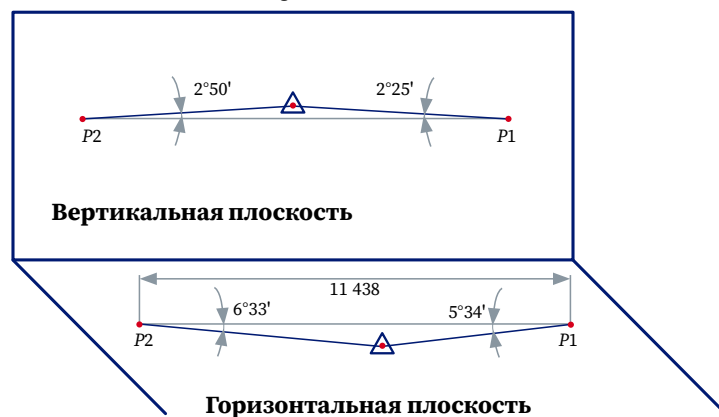
После измерений со станции за базисной линией выполнялась коррекция постоянной для призмы и повторялись измерения между геодезическими знаками с целью проверки. Для призм типа Leica GRZ101 проводились аналогичные измерения, но с оценкой центрирования самой призмы. С этой целью измерялось расстояние в шести разных позициях призмы с углом поворота 60° . На рис. 8–9 показано взаимное расположение геодезических знаков и тахеометра (обозначен треугольником) при проведении процедуры калибровки призм базисным способом.

Рис. 8 ✓

Взаимное расположение геодезических знаков и тахеометра в случае размещения станции между отражателями

Fig. 8

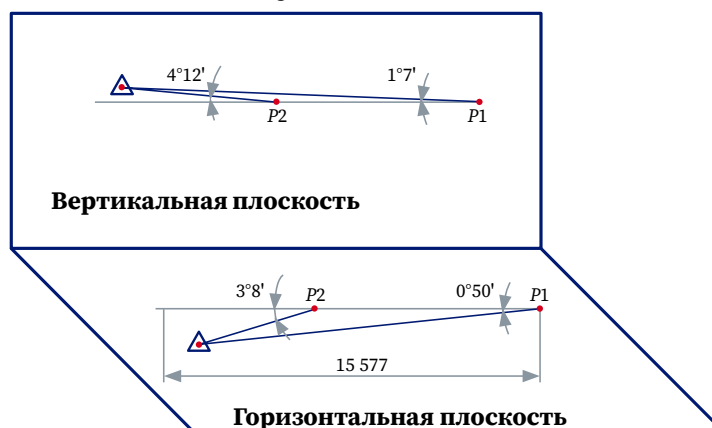
Relative positions of geodetic markers and the total station in the case of the instrument station being located between the reflectors

**Рис. 9** ✓

Взаимное расположение геодезических знаков и тахеометра в случае размещения станции за отражателями

Fig. 9

Relative positions of geodetic markers and the total station in the case of the instrument station being located behind the reflectors



3 Результаты

В табл. 2–3 приведены результаты расчета постоянных призм Leica GMP104 и Leica GRZ101. Призмы типа Leica GMP104 маркированы литерой Р и порядковым номером, а призмы типа Leica GRZ101 — литерой С и порядковым номером. В столбце «Постоянная» указана поправка для каждой призмы, в столбцах «Станция между знаками» и «Станция за знаками» приведена разница между базисной линией, измеренной лазерным трекером, и длиной, измеренной тахеометром Sokkia NET05AXII.

Таблица 2 ➤

Полученные значения постоянной для призм типа Leica GMP104

Table 2

Determined constant values for the Leica GMP104-type prism

Призма	Постоянная, мм	Станция между знаками, мм	Станция за знаками, мм
P01	–26,7	0,006	–0,192
P02	–27,0	0,190	–0,107
P03	–26,7	0,088	–0,289
P04	–26,7	0,174	–0,078
P05	–27,1	–0,207	–0,275
P06	–27,1	0,047	–0,262
P07	–26,3	0,533	–0,149
P08	–26,8	0,515	–0,211
P09	–26,8	0,310	–0,057
P10	–26,8	0,262	–0,208

Таблица 3 ➤

Полученные значения постоянной для призм типа Leica GRZ101

Table 3

Determined constant values for Leica GRZ101-type prisms

Призма	Постоянная, мм	Станция между знаками, мм	Станция за знаками, мм
C01	–6,4	0,061	0,051
C02	–5,9	0,101	–0,139
C03	–6,6	0,130	–0,330
C04	–6,5	–0,380	–0,430
C05	–6,6	0,220	–0,430
C06	–6,7	0,220	0,450
C07	–6,4	0,010	–0,250
C08	–6,6	0,070	0,020
C09	–6,6	–0,110	0,290
C10	–6,7	0,080	–0,250

Данные значения определены методом подбора по многократным измерениям для получения минимальных отклонений относительно базисной линии. Трудоемкость процесса тем не менее не гарантирует оптимальных итоговых значений постоянных призм. Ключевыми факторами, влияющими на результат измерений, являются:

- изменение оптического пути прохождения при неперпендикулярности плоскости стекла призмы визирному лучу прибора;
- несоосность адаптера и призмы, погрешность повторной установки адаптера во втулку гео знака;
- изменение температуры, влажности, наличие пылевой взвеси в воздухе помещения.

На рис. 10 показан график смещения центра призмы типа Leica GRZ101 при повороте адаптера с призмой во втулке геодезического знака с шагом 60°. На графике изменение высотной координаты на каждый поворот призмы вокруг оси можно объяснить изменением оптической длины прохождения сигнала в теле линзы в зависимости от угла, образованного визирным лучом прибора и стеклянной поверхностью 360-градусной призмы.

Рис. 10 ➔

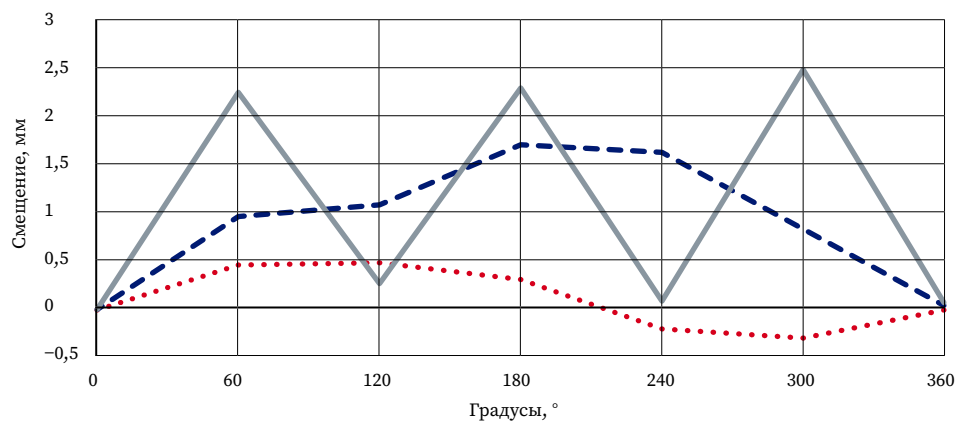
График изменения центра 360-градусной призмы при ее вращении через 60° по часовой стрелке

Fig. 10

Displacement diagram of the 360° prism center during its rotation in 60° clockwise increments

Условные обозначения

- X — продольное смещение
- — — Y — поперечное горизонтальное смещение
- Z — поперечное вертикальное смещение



4 Обсуждение

На основании проведенных исследований можно сделать заключение о необходимости создания специализированного метрологического стенда, позволяющего калибровать различные виды призм. При этом стенд следует располагать в термостатированном помещении, соответствующем классам 5–6 чистых помещений⁵.

При проведении процедуры калибровки отражателей требуется:

- создать условия для установки призмы и прибора в створном направлении с целью минимизации влияния ошибок при измерениях горизонтальных углов;
- обеспечить по возможности установку призмы и прибора на один и тот же горизонт с целью минимизации влияния ошибок при измерениях вертикальных углов;
- осуществлять контроль перпендикулярности плоскости призмы визирному лучу прибора.

По результатам проведенной калибровки можно сделать следующие выводы:

1. Набор призм типа Leica GMP104 подходит для задач деформационного мониторинга только тогда, когда обеспечивается перпендикулярность призмы визирной оси прибора. В противном случае ошибка измеряемого расстояния может достигать величины 0,7 мм.
2. Набор призм типа Leica GRZ101 возможно использовать для задач деформационного мониторинга, если учитывать ориентировку ее плоскостей к измеряемому прибору. Каждая призма также должна иметь таблицу поправок смещения оси для каждой стеклянной плоскости.
3. Для получения однозначной повторяемости измеренных расстояний с рассматриваемыми типами призм необходимо проводить серию измерений на специализированных метрологических стендах, что позволит оценивать качество любых типов призм и давать рекомендации по возможности их использования в составе АСГМ.

Чтобы обеспечить высокую точность геодезического мониторинга, когда измерения выполняются с двух (или большего количества) точек стояния тахеометра на призму типа Leica GRZ101, критически важно учитывать угловую зависимость постоянной призмы. Хотя величина этой поправки для разных направлений невелика, ее игнорирование приводит к систематическому искажению результатов. В этой связи рекомендуется заранее определить величину поправки для различных углов и хранить ее в базе данных АСГМ с целью автоматического введения в результаты измерений. Кроме того, знание фактической константы призмы будет полезно, если необходимо по какой-либо причине заменить одну призму на другую в АСГМ.

⁵ ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Ч. 1: Классификация чистоты воздуха по концентрации частиц. М.: Стандартинформ, 2017. 29 с.

5 Выводы

По результатам проведенных исследований были определены постоянные (константы) китайских аналогов геодезических призм Leica GRZ101 и GMP104, широко применяемых в АСГМ. Экспериментальные работы, выполненные на компараторе ИЯФ СО РАН с использованием высокоточного оборудования, выявили значительный разброс значений постоянных призм в пределах одной партии: от –26,3 до –27,1 мм для призм типа Leica GMP104; от –5,9 до –6,7 мм для призм типа Leica GRZ101.

Анализ результатов показал, что определяющее влияние на точность измерений оказывает пространственная ориентация призмы относительно визирного луча тахеометра. Для 360-градусных мини-призм дополнительным критическим фактором оказалось смещение оптического центра при вращении, что требует их жесткого крепления на объектах мониторинга.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что использование китайских аналогов призм в высокоточных геодезических измерениях допустимо только после обязательной индивидуальной калибровки и при строгом соблюдении условий эксплуатации. Для обеспечения требуемой точности измерений необходима разработка специализированного метрологического стенда, размещенного в термостатированном помещении с контролируемыми параметрами среды. Реализация предложенных мер позволит обеспечить надежность геодезического мониторинга критически важных объектов Российской Федерации в условиях ограниченной доступности оборудования ведущих зарубежных производителей.

библиография

1. Lienhart W. Geotechnical Monitoring Using Total Stations and Laser Scanners: Critical Aspects and Solutions // *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2017. Vol. 7. P. 315–324. DOI:10.1007/s13349-017-0228-5.
2. Schulte F., Schneider L., Losler M., et al. Automatic Geodetic Monitoring with Total Stations Based on the Open Source Software Library JAG3D – Case Study of a Rockfall in Trier/Germany // *Proceedings of the 6th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*. Karlsruhe, 2025. P. 1–8. DOI:10.5445/IR/1000179761.
3. Хиллер Б., Ли В.Т., Сухов И.В. Автоматизированная система деформационного мониторинга (АСДМ) на Саяно-Шушенской ГЭС // *Инженерная защита*. 2014. № 4 (4). С. 36–43.
4. Vrce E., Bojić M. Physical, Geodetic Methods and Automatic Monitoring System // *Advanced Technologies, Systems, and Applications VI. IAT 2021*. Cham: Springer, 2022. Vol. 316. P. 532–548. DOI:10.1007/978-3-030-90055-7_42.
5. Ознамец В.В., Наануа Ю.Х. Современные геодезические методы и их интеграция для автоматизированного мониторинга плотины Караун в реальном времени // *Информация и космос*. 2025. № 1. С. 143–150.
6. Вшивкова О.В., Решетило С.Ю. Комбинированный способ учета влияния вертикальной рефракции в электронной тахеометрии // *Геодезия и картография*. 2019. Т. 80, № 11. С. 15–21. DOI:10.22389/0016-7126-2019-953-11-15-21.
7. Vshivkova O.V., Kalugin I.V. Refraction Corrections from Complex Measurements of Atmospheric Parameters for Electronic Tacheometry // *Survey Review*. 2013. Vol. 45. Iss. 328. P. 68–75. DOI:10.1179/1752270612Y.0000000009.
8. Дементьев В.Е., Васютинский И.Ю., Дементьев Д.В. Современное состояние проблемы определения вертикальной рефракции в приземном слое атмосферы // *Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка»*. 2021. Т. 65, № 1. С. 20–29. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-1-20-29.
9. Lackner S., Lienhart W. Impact of Prism Type and Prism Orientation on the Accuracy of Automated Total Station Measurements // *Proceedings of the 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*. Vienna, 2016. P. 1–8.
10. Шевченко Г.Г., Гура Д.А., Байрачная А.А. Сравнительный анализ функциональных возможностей роботизированных тахеометров и наземных лазерных сканеров при выполнении определенных работ // *Научные труды КубГТУ*. 2017. № 9. С. 36–46.

11. 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. Iss. 3. P. 131–142. DOI:10.1515/jag-2016-0043.
12. Косарев Н.С., Шоломицкий А.А., Ханзадян М.А. и др. 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.
13. Ворошилов А.П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра // Геопрофи. 2005. № 4. С. 46–47.
14. Никонов А.В., Чешева И.Н., Лифашина Г.В. К вопросу об определении постоянной поправки дальномера электронного тахеометра // Вестник СГУГиТ. 2015. № 1 (29). С. 54–61.
15. Мурзинцев П.П., Полянский А.В., Буренков Д.Б. и др. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства, эксплуатации и мониторинга ускорительно-накопительных комплексов: монография. Новосибирск: Сибпринт, 2021. 232 с.

авторы**Косарев Николай Сергеевич**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»,
Новосибирск, Россия
кафедра инженерной геодезии и маркшейдерского дела,
Институт геодезии и менеджмента
канд. техн. наук, доцент
 0000-0003-1806-3651

Сердаков Леонид Евгеньевич

 leoserd@yandex.ru
ФГБУН «Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения
Российской академии наук», Новосибирск, Россия
сектор 1-31
канд. техн. наук
 0000-0002-8437-4944

Шоломицкий Андрей Аркадьевич

 sholomitskij@mail.ru
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»,
Новосибирск, Россия
кафедра инженерной геодезии и маркшейдерского дела,
Институт геодезии и менеджмента
д-р техн. наук, профессор
 0000-0002-4543-1096

Крапивин Владимир Сергеевич

 mr.kellivard@gmail.com
ФГБУН «Институт ядерной физики имени Г.И. Будкера Сибирского отделения
Российской академии наук», Новосибирск, Россия
сектор 1-31

Поступила 05.11.2025. Принята к публикации 24.04.2026. Опубликовано 30.04.2026.



Determination of Prism Constant Values for Prism Reflectors Intended for Use in Automated Geodetic Monitoring Systems

**Nikolai S. Kosarev¹✉, Leonid E. Serdakov²,
Andrei A. Sholomitskii¹, Vladimir S. Krapivin²**

¹ Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

² Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

✉ kosarevnsk@yandex.ru

citation Kosarev NS, Serdakov LE, Sholomitskii AA, Krapivin VS. Determination of Prism Constant Values for Prism Reflectors Intended for Use in Automated Geodetic Monitoring Systems. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2026;70(2): 8–19. DOI:10.30533/GiA-2026-012.

keywords calibration, prism constant, automated geodetic monitoring system, baseline comparator, laser tracker, total station

abstract The paper presents the results of an experimental study to determine the constants of Chinese geodetic prism analogs, which are widely used in automated geodetic monitoring systems under conditions of limited access to equipment from leading global manufacturers. The research was conducted using the comparator at the Institute of Nuclear Physics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences with high-precision equipment: a Leica AT403 laser tracker and a Sokkia NET05AXII total station. Two groups of prisms were investigated: 360° mini-prisms (analogs of the Leica GRZ101) and deformation prisms (analogs of the Leica GMP104). For each of the ten prisms in a group, 20 measurements were performed. It was established that the constant values for prisms of the same type exhibit significant scatter: from –26.3 mm to –27.1 mm for the Leica GMP104 analogs, and from –5.9 mm to –6.7 mm for the Leica GRZ101 analogs. Key factors affecting measurement accuracy were identified: changes in the optical path due to non-perpendicularity of the prism to the line of sight, misalignment between the adapter and the prism, and the influence of environmental conditions. Particularly significant deviations were found in the 360° prisms during rotation, which is associated with changes in the optical path length depending on the angle of incidence. The study concludes that individual calibration of such prisms is mandatory before their use in high-precision measurements. To ensure the required accuracy and repeatability of results, the authors propose the creation of a specialized metrological test bench in a thermostatically controlled room with regulated environmental conditions.

references

1. Lienhart W. Geotechnical Monitoring Using Total Stations and Laser Scanners: Critical Aspects and Solutions. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*. 2017;7: 315–324. DOI:10.1007/s13349-017-0228-5.
2. Schulte F, Schneider L, Losler M, et al. Automatic Geodetic Monitoring with Total Stations Based on the Open Source Software Library JAG3D – Case Study of a Rockfall in Trier/Germany. *Proceedings of the 6th Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*. Karlsruhe, 2025: 1–8. DOI:10.5445/IR/1000179761.
3. Hiller B, Li VT, Sukhov IV. Avtomatizirovannaya sistema deformatsionnogo monitoringa (ASDM) na Sayano-Shushenskoi GES [Automated Deformation Monitoring System (ASDM) at the Sayano-Shushenskaya HPP]. *Engineering Protection*. 2014;4(4): 36–43. (In Russian).
4. Vrce E, Bojić M. Physical, Geodetic Methods and Automatic Monitoring System. *Advanced Technologies, Systems, and Applications VI. IAT 2021*. Vol. 316. Cham: Springer; 2022: 532–548. DOI:10.1007/978-3-030-90055-7_42.
5. Oznamets VV, Naanua YuKh. Sovremennye geodezicheskie metody i ikh integratsiya dlya avtomatizirovannogo monitoringa plotiny Karaun v real'nom vremeni [Modern Geodetic Methods and Their Integration for Automated Real-Time Monitoring of Qaraun Dam]. *Information and Space*. 2025;1: 143–150. (In Russian).
6. Vshivkova OV, Reshetilo SYu. Kombinirovannyi sposob ucheta vliyaniya vertikal'noi refraktsii v elektronnoi takheometrii [Combined Method for Accounting for the Influence of Vertical Refraction in Electronic Tacheometry]. *Geodesy and Cartography*. 2019;80(11): 15–21. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2019-953-11-15-21.
7. Vshivkova OV, Kalugin IV. Refraction Corrections from Complex Measurements of Atmospheric Parameters for Electronic Tacheometry. *Survey Review*. 2013;45(328): 68–75. DOI:10.1179/1752270612Y.0000000009.
8. Dementiev VE, Vasiutinskii IYu, Dementiev DV. Sovremennoe sostoyanie problemy opredeleniya vertikal'noi refraktsii v prizemnom sloe atmosfery [The Current State of the Problem of Determining the Vertical Refraction in the Surface Layer of the Atmosphere]. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2021;65(1): 20–29. (In Russian). DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-1-20-29.
9. Lackner S, Lienhart W. Impact of Prism Type and Prism Orientation on the Accuracy of Automated Total Station Measurements. *Proceedings of the 3rd Joint International Symposium on Deformation Monitoring (JISDM)*. Vienna; 2016: 1–8.
10. Shevchenko GG, Gura DA, Bairachnaya AA. Sravnitel'nyi analiz funktsional'nykh vozmozhnostei robotizirovannykh takheometrov i nazemnykh lazernykh skanerov pri vypolnenii opredelennykh rabot [Comparative Analysis of the Functional Voices of Robotized Tacheometers and Landscape Laser Scanners for the Performance of Determined Works]. *Scientific Works of KubSTU*. 2017;9: 36–46. (In Russian).
11. Ehrhart M, Lienhart W. Object Tracking with Robotic Total Stations: Current Technologies and Improvements Based on Image Data. *Journal of Applied Geodesy*. 2017;11(3): 131–142. DOI:10.1515/jag-2016-0043.
12. Kosarev NS, Sholomitskii AA, Khanzadyan MA, et al. Rezul'taty sravneniya dlin linii na bazise prostranstvennom etalonnom SGUGiT [Line Lengths Comparison Results on the Spatial Reference Basis SGUGiT]. *Geodesy and Cartography*. 2024;85(2): 12–20. (In Russian). DOI:10.22389/0016-7126-2024-1004-2-12-20.
13. Voroshilov AP. Opredelenie postoyannoi popravki dal'nomera elektronnoho takheometra [Determination of the Constant Correction of an Electronic Total Station's Rangefinder]. *Geoprofi*. 2005;4: 46–47. (In Russian).
14. Nikonov AV, Chesheva IN, Lifashina GV. K voprosu ob opredelenii postoyannoi popravki dal'nomera elektronnoho takheometra [Determination of Total Station Stadia Constant]. *Vestnik SSUGT*. 2015;29(1): 54–61. (In Russian).
15. Murzintsev PP, Polyanskii AV, Burenkov DB, et al. *Geodezicheskoe obespechenie proektirovaniya, stroitel'stva, ekspluatatsii i monitoringa uskoritel'no-nakopitel'nykh kompleksov* [Geodetic Support for the Design, Construction, Operation and Monitoring of Accelerator-Storage Complexes] [monograph]. Novosibirsk: Sibprint; 2021. 232 p. (In Russian).

authors

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying,
Institute of Geodesy and Management
PhD in Engineering, Associate Professor

 0000-0003-1806-3651

Leonid E. Serdakov

 leoserd@yandex.ru

Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia
Sector 1-31

PhD in Engineering

 0000-0002-8437-4944

Andrei A. Sholomitskii

 sholomitskij@mail.ru

Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying,
Institute of Geodesy and Management
Dr. of Sci. (Engineering), Professor

 0000-0002-4543-1096

Vladimir S. Krapivin

 mr.kellivard@gmail.com

Budker Institute of Nuclear Physics of Siberian Branch Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia
Sector 1-31

Submitted: November 5, 2025. Accepted: April 24, 2026. Published: April 30, 2026.