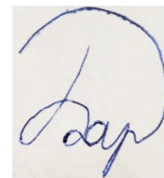


На правах рукописи

Баранников Дмитрий Андреевич



Разработка и совершенствование способов
метрологической поверки светодальномеров и тахеометров

1.6.22. Геодезия

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» (СГУГиТ).

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Уставич Георгий Афанасьевич

Официальные оппоненты:

Столбов Юрий Викторович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский аграрный государственный университет им. П. А. Столыпина», профессор кафедры геодезии и дистанционного зондирования;

Сердаков Леонид Евгеньевич, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера» Сибирского отделения Российской академии наук, старший научный сотрудник сектора 1-31.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет геодезии и картографии» (г. Москва).

Защита состоится 22 декабря 2022 г. в 12-00 час. на заседании диссертационного совета 24.2.402.01 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плеханова, д. 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <https://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/barannikov-dmitriy-andreevich/>

Автореферат разослан 1 ноября 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Аврунев Евгений Ильич

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 18.10.2022. Формат 60×84 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 163.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плеханова, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, Плеханова, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Для надежного функционирования системы геодезического обеспечения многочисленных отраслей экономики Российской Федерации необходима надежная совокупность метрологической поверки измерительного технологического оборудования. Данные способы должны обеспечивать передачу размера единицы измеряемой величины от эталонных базисов различных разрядов к измерительным технологическим средствам. Под единством измерений понимается такое состояние выполненных измерений, при котором полученные результаты выражены в узаконенных соответствующими нормативными актами единицах, а величины ошибок этих измерений известны с заданной вероятностью

Для обеспечения такого единства измерений государственными органами разработаны и узаконены соответствующие поверочные схемы, с помощью которых производится передача размера единицы измерений от принятого государственного эталона к рабочим средствам измерений. Применительно к геодезическим измерениям одной такой единицей является единица длины, которая используется при выполнении линейных измерений (линий, превышений).

Кроме обеспечения единства измерений, необходимо производить качественную и количественную оценку результатов измерений, которые в значительной степени зависят от правильности выбранной методики производства геодезических работ с использованием соответствующего измерительного технологического оборудования. В свою очередь, применяемые инструменты должны также соответствовать заявленным техническим параметрам и сохранять их в течение определенного промежутка времени, регламентированного нормативными документами. Контроль и обеспечение сохранности технических и геометрических параметров осуществляются с помощью соответствующих процедур, к которым относятся определение величины средней квадратической ошибки (СКО) измерений геодезическими инструментами, например, расстояний тахеометрами. Данная метрологическая поверка производится с применением соответствующей локальной поверочной схемы один раз в год в течение

всего срока их эксплуатации. От своевременности проведения такой поверки напрямую зависит качество выполняемых геодезических работ, особенно в трудных условиях, где случаются механические удары по корпусу тахеометра. В этих случаях необходимо снова выполнять данную поверку, для чего тахеометр транспортируется в специализированную организацию, где на стационарных эталонных базисах производятся соответствующие технологические операции, что обуславливает значительные временные и финансовые затраты.

Поэтому разработка способов и методик метрологической (технологической) поверки тахеометров методом сличения без использования стационарных эталонных базисов является актуальной научно-технической задачей.

Степень разработанности темы. Разработкой способов и методик метрологических поверок геодезических приборов различного назначения занимались Бронштейн Г. С., Васютинский И. Ю., Визиров Ю. В., Генике А. А., Голубев А. Н., Голыгин Н. Х., Деймлих Ф., Елисеев С. В., Захаров А. И., Иордан В., Карпик А. П., Кафтан В. И., Кузнецов П. Н., Кулагин Ю. Н., Мещерский И. Н., Михеечев В. С., Пискунов М. Е., Прилепин М. Т., Прусаков А. Н., Спиридонов А. И., Сердаков Л. Е., Столбов Ю. В., Староверов С. В., Татевян Р. А., Травкин С. В., Тревого И. С., Черепанов П. А., Широф Ф. В., Ямбаев Х. К., Kukkamaki T. I., Naufn M., Haierster H., Hübner E. I. и многие другие. Этими авторами были разработаны и внедрены в геодезическое производство способы проведения метрологических поверок для приборов с визуальным и электронным отсчитыванием. Однако, в целом ряде случаев их применение требует дальнейшего усовершенствования применительно к производству геодезических работ в трудных внешних условиях.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является разработка и совершенствование способов метрологической поверки светодальномеров и тахеометров в части определения СКО измерения расстояния без использования стационарного эталонного базиса.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

– выполнить анализ существующих способов, методик и поверочных схем метрологической поверки тахеометров и светодальномеров;

- выполнить совершенствование и разработку способов метрологической поверки светодалномеров и тахеометров, основанных на использовании метода сличения без компаратора;

- на основе разработанных способов предложить методики поверки светодалномеров и тахеометров с их перестановкой в трегерах путем задания по одному или двум створам нескольких эталонных (произвольных или фиксированных) расстояний;

- с целью значительного сокращения времени на выполнение поверки разработать методику ее проведения с использованием автомобиля, которая позволит мобильно задавать длины эталонных расстояний (произвольных или фиксированных) длиной от сотен метров до нескольких километров;

- для выполнения поверки светодалномеров и тахеометров при значительных низких температурах разработать лабораторный стенд, позволяющий производить измерение задаваемых эталонных расстояний длиной до 1,0 км;

- для выполнения метрологических поверок в полевых условиях разработать полевой стенд, позволяющий проводить на нем поверки светодалномеров, тахеометров, нивелиров и спутниковых приемников;

- провести апробацию предлагаемых способов поверки с целью подтверждения разработанных на их основе методик выполнения измерений.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются метрологические параметры тахеометров и светодалномеров.

Предметом исследования являются способы метрологической поверки тахеометров и светодалномеров.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- разработаны способы метрологической поверки светодалномеров и тахеометров, основанные на использовании метода сличения без компаратора, с применением в качестве рабочего эталона соответствующего разряда высокоточного фазового светодалномера (тахеометра) или их группы, позволяющие выполнять эту поверку без использования эталонного базиса;

- с использованием разработанных способов предложены методики поверки светодалномеров и тахеометров с их перестановкой в трегерах путем задания

по одному или двум створам нескольких эталонных (произвольных или фиксированных) расстояний, которые позволят производить поверку при расстояниях длиной до 2,0–3,0 км, а также повысить надежность полученных результатов;

– с целью сокращения времени на выполнение поверки разработана методика (мобильный стенд) ее проведения с использованием автомобиля, которая позволит мобильно задавать длины эталонных расстояний (произвольных или фиксированных) длиной от сотен метров до нескольких километров;

– для выполнения поверки светодальномеров и тахеометров при значительных низких температурах разработан лабораторный стенд, позволяющий производить измерение задаваемых эталонных расстояний длиной до 1,0 км;

– для выполнения метрологических поверок в полевых условиях разработан полевой стенд, позволяющий проводить на нем поверки светодальномеров, тахеометров, нивелиров и спутниковых приемников.

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке и совершенствовании способов метрологической поверки тахеометров с применением в качестве задания эталонного размера единицы длины высокоточных фазовых светодальномеров (тахеометров).

Практическая значимость работы заключается в разработке, совершенствовании и апробации способов проведения метрологической поверки тахеометров без применения эталонного линейного базиса.

Методология и методы исследования включают в себя использование теории ошибок измерений, статистическую обработку результатов измерений, методы математического моделирования и априорной оценки точности. Для обработки производственных измерений использовалось программное обеспечение: Microsoft Excel, AutoCAD, Credo DAT.

Положения, выносимые на защиту:

– разработанные и усовершенствованные способы метрологической поверки светодальномеров и тахеометров, основанные на использовании метода сличения, с применением в качестве рабочего эталона соответствующего разряда высокоточного фазового светодальномера (тахеометра) или их группы, позволяют выполнять поверку без эталонного базиса;

– предложенные на основе разработанных способов методики поверки светодалномеров и тахеометров с их перестановкой в трегерах путем задания по одному или двум створам нескольких эталонных (произвольных или фиксированных) расстояний позволяют производить поверку при расстояниях длиной до 2,0–3,0 км, а также повысить надежность полученных результатов;

– разработанная методика (мобильный стенд) проведения поверки с использованием автомобиля позволяет мобильно задавать длины эталонных расстояний длиной от сотен метров до нескольких километров и тем самым значительно сокращать время на выполнение измерений;

– разработанный для выполнения поверки светодалномеров и тахеометров при значительных низких температурах лабораторный стенд позволяет производить измерение задаваемых эталонных расстояний длиной до 1,0 км;

– разработанный для выполнения метрологических поверок в полевых условиях полевой стенд, позволяет проводить поверки светодалномеров, тахеометров, нивелиров и спутниковых приемников.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Тематика и содержание диссертации соответствуют области исследования: 13 – Геодезическая метрология. Разработка методов, средств и нормативных документов для метрологического обеспечения геодезических средств измерений. Создание и функционирование эталонных геодезических полигонов, базисов и компараторов для поверки, калибровки и аттестации геодезических средств измерений паспорта научной специальности 25.00.32 – Геодезия, разработанного экспертным советом ВАК Минобрнауки России.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность выполненных исследований подтверждается практическими результатами научно-исследовательской и производственной деятельности СГУГиТ в области прикладной геодезии. Материалы исследований использовались в лекционных материалах, а также при написании выпускных квалификационных работ. Результаты исследований, практические рекомендации и выводы докладывались и обсуждались на международном научном конгрессе «Интерэкспо ГЕО-Сибирь (18–20 мая 2022 г., Новосибирск).

Публикации по теме диссертации. Основные результаты исследований представлены в 6 научных работах, из которых 3 опубликованы в изданиях, входящих в перечень российских рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук, 1 – патент РФ на изобретения.

Структура диссертации. Общий объем диссертации составляет 156 страниц машинописного текста. Диссертация состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка литературы, включающего 118 наименований, содержит 26 таблиц, 46 рисунков, 11 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы исследований, формулируется цель и задачи этих исследований, их научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность результатов исследования, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе рассматриваются существующие способы и методики метрологической поверки тахеометров и светодальномеров, их виды и применяемые локальные поверочные схемы. На основании выполненного анализа современного состояния теории и практики выполнения этих поверок делается вывод о том, что существующие поверочные схемы могут быть усовершенствованы путем разработки и внедрения способов с применением высокоточных фазовых светодальномеров и метода сличения.

В связи с этим автором сформулирована актуальность рассматриваемой темы и произведена постановка задач исследований.

Во втором разделе предложены и усовершенствованы способы метрологической поверки светодальномеров и тахеометров, основанные на использовании метода сличения, с применением в качестве эталона высокоточного фазового светодальномера (тахеометра) или их группы, а также выполнены поверки этими способами в лабораторных условиях.

Сущность способов, а также методик их реализации, заключается в измерении одного и того же расстояния (расстояний) эталонным и поверяемым тахеометрами с последующим сличением полученных результатов.

Поверки были выполнены нами как в лабораторных, так и в полевых условиях (рисунок 1) измерением:

- отдельного расстояния AB (рисунок 1, а) или нескольких AB , AC , AD (рисунок 1, б), расположенных по одному створу;
- двух (AC и BC) (рисунок 1, в) или нескольких расстояний $AK + BK$, $AD + BD$, $AC + BC$ (рисунок 1, г), расположенных по двум створам с перестановкой тахеометров в трегерах с последующим нахождением их среднего значения;
- нескольких расстояний из середины AD , AB , AE , AC (рисунок 1, д).

При выполнении наших исследований в качестве эталонных тахеометров принимались тахеометры Leica TM30, а поверяемых – Leica TCR405 и GeoMax.

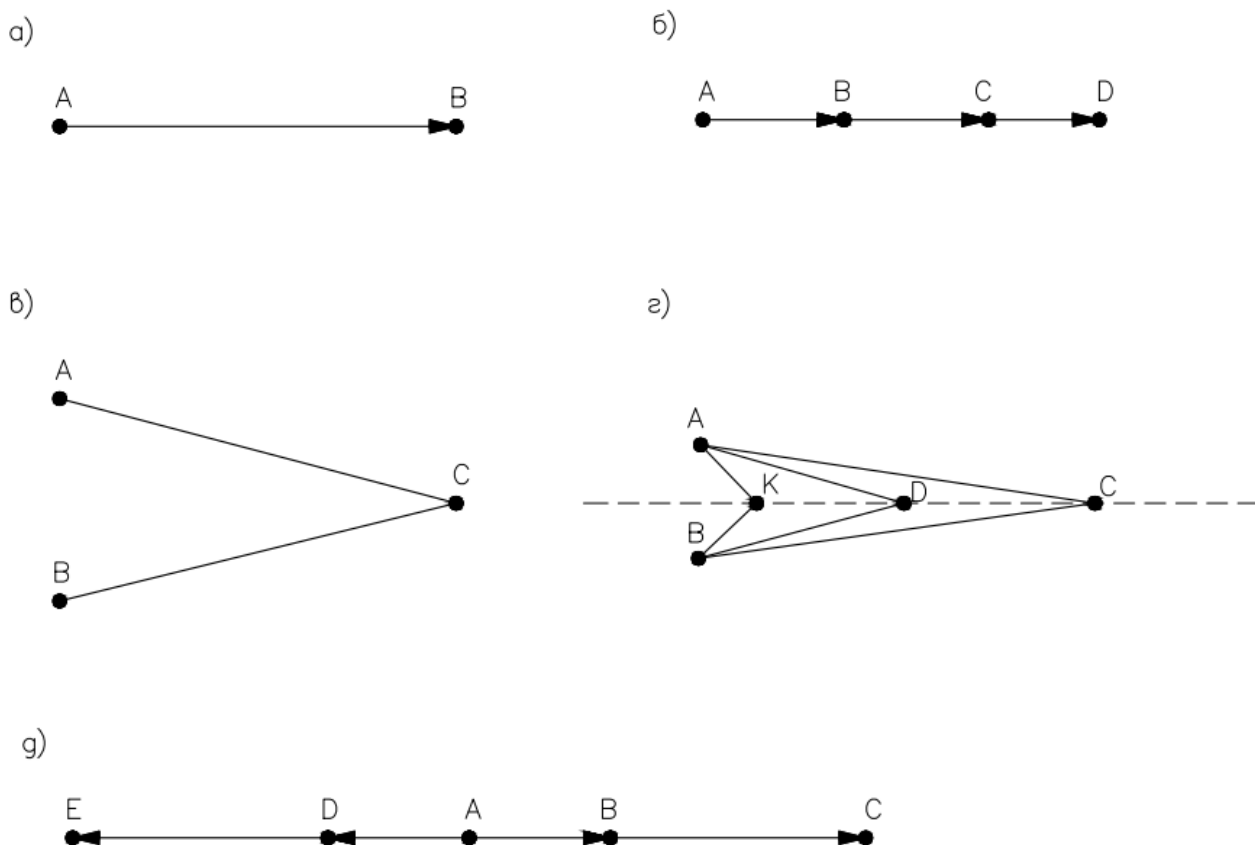


Рисунок 1 – Схемы измерения эталонных расстояний

При поверке измерением отдельного расстояния в точках A и B (см. рисунок 1, a) устанавливаются эталонный тахеометр и отражатель и 8–10 сериями по 15 отсчетов в серии производятся измерения. Затем эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый, и измерения выполняются снова. После этого вычисляются разности измеренных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами (рисунок 2).

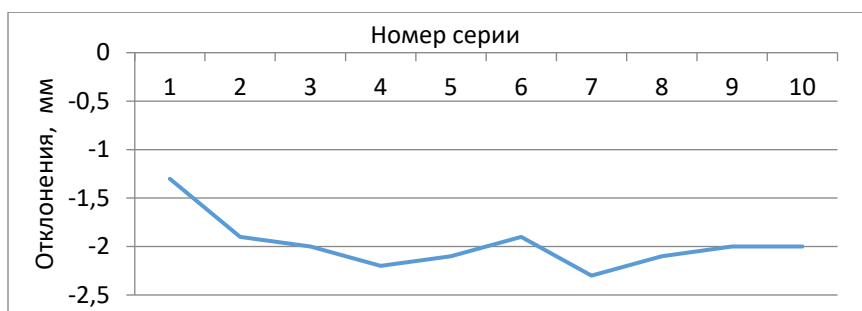


Рисунок 2 – График отклонений измеренных расстояний от эталонных значений

Поверка измерением расположенных по одному створу нескольких расстояний (см. рисунок 1, b) производится аналогичным образом с вычислением разностей для каждого расстояния.

При выполнении поверки измерением расположенных по двум створам двух расстояний с перестановкой тахеометров в трегерах на штативах A и B на расстоянии 40–50 см друг от друга (см. рисунок 1, $в$) устанавливаются, соответственно, эталонный и поверяемый тахеометры, а в точке B – отражатель. После этого наблюдатель поочередно, с интервалом 3–5 с (можно и одновременно), выполняет измерение линий AC и BC . Тахеометры затем аккуратно вынимаются из трегетов, переставляются местами, и снова производится измерение этих линий.

Последовательность обработки результатов измерений следующая:

- вычисляется среднее значение измеренного расстояния в каждой серии для эталонного и поверяемого тахеометров и СКО по формуле Бесселя;
- вычисляются средние значения измеренных расстояний $(S_1 + S_2) / 2$ для всех 8–10 циклов для эталонного и поверяемого тахеометров по формуле

$$2\Delta = (S_{1\text{ ср}} + S_{2\text{ ср}})_{\text{этaл. прибор}} - (S_{1\text{ ср}} + S_{2\text{ ср}})_{\text{повер. прибор}}; \quad (1)$$

– вычисляются разности средних значений в сериях (рисунок 3).

Так как эталонным и поверяемым тахеометрами измеряются по два расстояния, то полученную разность необходимо разделить на 2.



Рисунок 3 – График отклонений измеренных расстояний от эталонных значений

Одним из недостатков стационарных базисов является определенная трудность проведения поверки тахеометров в зимний период при наличии снежного покрова, а также значительных низких температур. С учетом этого для выполнения технологической поверки разработаны две схемы, которые можно реализовать в лабораторных условиях: измерением одного или двух эталонных расстояний (рисунок 4). Для этого на подоконнике с бетонной плитой стационарно закрепляются два трегера, а на соседнем здании на расстоянии 100–500 м – отражатель *B* (рисунок 4, *a*). После этого окно открывается, и расстояние *AB* измеряется 8–10 сериями эталонным и поверяемым тахеометрами с последующим вычислением их разностей.

Выполненными нашими исследованиями было установлено что разности измеренных расстояний ($S = 87\text{ м } 893\text{ мм}$) составили от -0,19 до -0,65 мм.

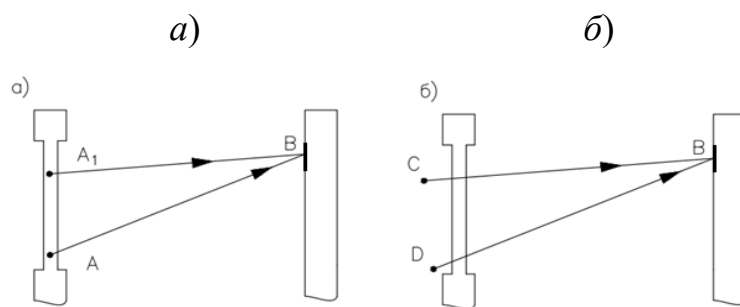


Рисунок 4 – Схема поверки лабораторным базисом

Поверка может быть выполнена и по схеме измерения двух эталонных расстояний $(A_1B + AB) / 2$ с перестановкой тахеометров.

Если выполнить установку тахеометров на плите не представляется возможным, то поверка может выполняться с двух штативов (рисунок 4, б), установленных рядом с окном (таблица 1).

Таблица 1 – Средние значения из двойных расстояний, м (окно открыто)

Номера циклов	Тахеометры на штативах		Двойные разности Δ , мм	Разности, мм
	TCR1201	TCR405	TCR 1201 – TCR405	TCR 1201 – TCR405
1	126 м 316,89 мм	126 м 316,25 мм	0,64	0,32
2	126 м 316,80 мм	126 м 316,22 мм	0,58	0,29
3	126 м 316,92 мм	126 м 316,38 мм	0,54	0,27
4	126 м 316,78 мм	126 м 316,20 мм	0,58	0,29
5	126 м 316,82 мм	126 м 316,18 мм	0,64	0,32

При низких температурах при открытом окне будут иметь место турбулентные явления на границе раздела двух сред. Нашими исследованиями установлено, что в этих случаях технологическую поверку можно выполнять и через стекло (стеклопакет). Исследованиями установлено, что разности расстояний, измеренных через открытое (см. таблицу 1) и закрытое (таблица 2) окно, имеют один знак и практически одинаковы по величине, что свидетельствует о работоспособности данной методики технологической поверки. При этом среднее зна-

чение разности измеренных расстояний через открытое и закрытое окно составило 9,36 мм. Эта разность расстояний обусловлена удлинением пути при прохождении стеклянных пластин окна.

Таблица 2 – Средние значения из двойных расстояний, м (окно закрыто)

Номера циклов	Тахеометры на штативах		Двойные разности Δ , мм	Разности, мм
	TCR1201	TCR405	TCR 1201 – TCR405	TCR 1201 – TCR405
1	126 м 323,04 мм	126 м 322,55 мм	0,49	0,24
2	126 м 323,12 мм	126 м 322,45 мм	0,67	0,34
3	126 м 323,17 мм	126 м 322,52 мм	0,65	0,32
4	126 м 323,24 мм	126 м 322,54 мм	0,70	0,35
5	126 м 323,00 мм	126 м 322,57 мм	0,43	0,22

В третьем разделе приводятся результаты выполненных поверок в полевых условиях с использованием предлагаемых методик.

Так, при реализации способа измерением по одному створу эталонных расстояний могут быть использованы следующие две методики:

- с применением одного стационарного штатива, на который поочередно устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, и одного отражателя, который переставляется по мере увеличения длин измеряемых линий;
- с применением одного стационарного штатива, на который поочередно устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, и заранее установленных штативов, на которые устанавливается отражатель.

При реализации первой методики в точках *A* и *B* (рисунок 5) устанавливаются, соответственно, эталонный тахеометр и отражатель с грузом. После стабилизации положения отражателя производится измерение расстояния *AB* 8–10 сериями. Затем эталонный тахеометр вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр, и измерения повторяются. После этого отражатель переносится в произвольные точки *C*, *D*, *E* и аналогичным образом измерения повторяются.

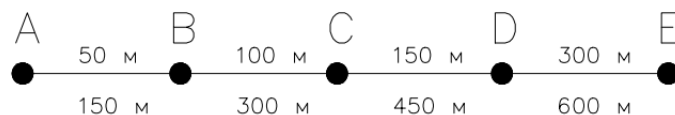


Рисунок 5 – Схема выполнения поверки путем измерения эталонных линий по одному створу

При реализации второй методики в точке *A* устанавливается эталонный тахеометр, а в точках *B*, *C*, *D* и *E* – стационарно отражатели. После этого производится измерение расстояния *AB*. Эталонный тахеометр затем вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр, и измерение расстояния *AB* повторяется. Далее такие измерения производятся с использованием отражателей в точках *C*, *D* и *E*. Указанные действия составляют прямой ход, после чего измерения выполняются в обратном ходе.

Отличие второй методики от первой заключается в том, что измерения расстояний производятся в прямом и обратном ходах на заранее установленные штативы с трегерами с последующим нахождением их разностей, что является дополнительным контролем выполнения поверки.

Выполненные измерения расстояний 50, 100, 150 и 300 м показали (рисунок 6), что разности этих расстояний от эталонных значений не превышают 2,6 мм.

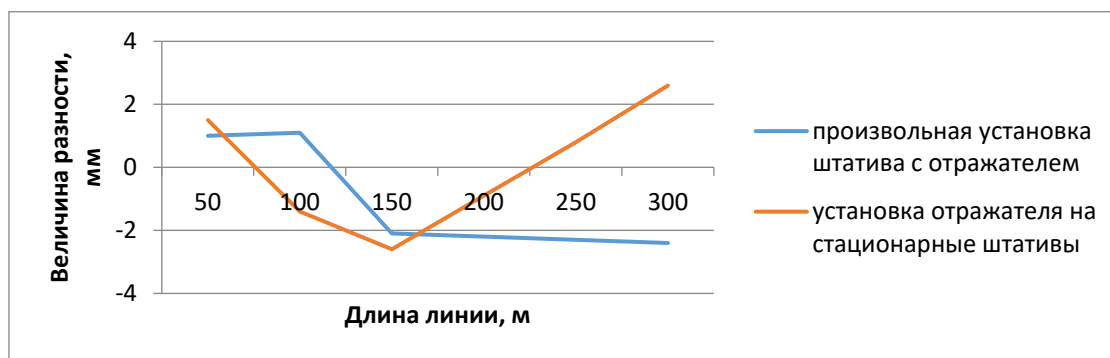


Рисунок 6 – Значения ошибок измерений в зависимости от расстояния

При реализации способа поверки путем измерения по двум створам эталонных расстояний также можно применять две методики.

Для реализации первой методики с произвольной установкой отражателя в точках A и A_1 (рисунки 7, 8) устанавливаются, соответственно, эталонный и поверяемый тахеометры, а в точке B – отражатель с грузом. По истечении 8–10 минут измеряются расстояния AB и A_1B . После этого тахеометры переставляются местами в трегерах, и снова измеряются расстояния AB и A_1B . Затем аналогичные действия выполняются и при установке отражателя в точках C , D и E в ходе прямо и обратно.

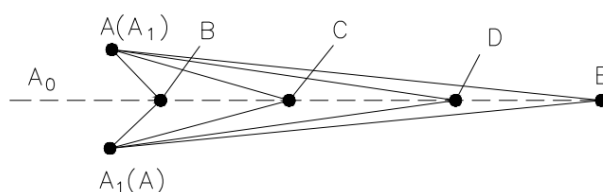


Рисунок 7 – Схема выполнения поверки тахеометров (светодальномеров) измерением двойных расстояний в полевых условиях

Результаты поверки показали, что при расстояниях до 500 м в прямом (рисунок 8, *а*) и обратном (рисунок 8, *б*) ходе отличие измеренных расстояний от эталонных значений не превышает 1,0 мм.

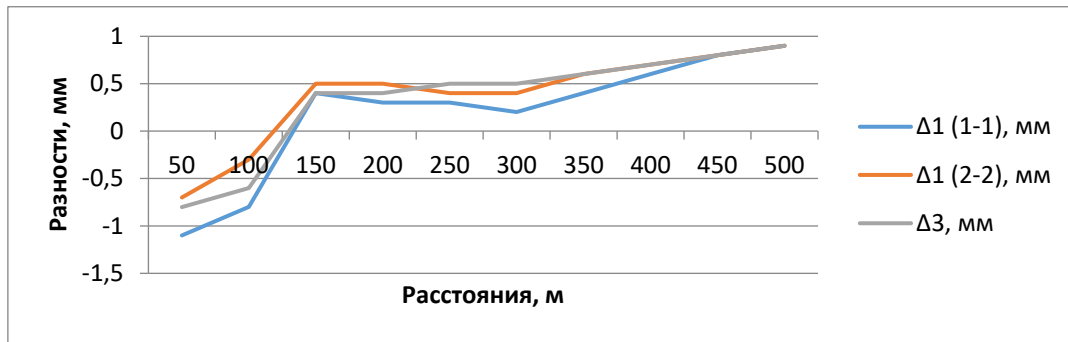
При реализации второй методики расстояния измеряются до заранее установленных вдоль измеряемой линии отражателей. Число установленных штативов может достигать 8–10. Измерение каждого расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами производится в прямом и обратном направлениях.

На рисунке 9 приведены результаты поверки при максимальном расстоянии 510 м 648,0 мм. Измерения выполнялись при облачной погоде и температуре $t = +20$ °С. Результаты измерений показывают, что точностные параметры поверяемого тахеометра соответствует установленным для него заводом-изготовителем.

Необходимо отметить, что время, затраченное непосредственно на выполнение измерений, распределялось следующим образом:

- расстановка штативов с грузами вдоль измеряемой линии 80–100 минут;
- выполнение измерений 10 отрезков двумя сериями 100–120 минут;
- сбор и укладка штативов 30–40 минут.

а)



б)

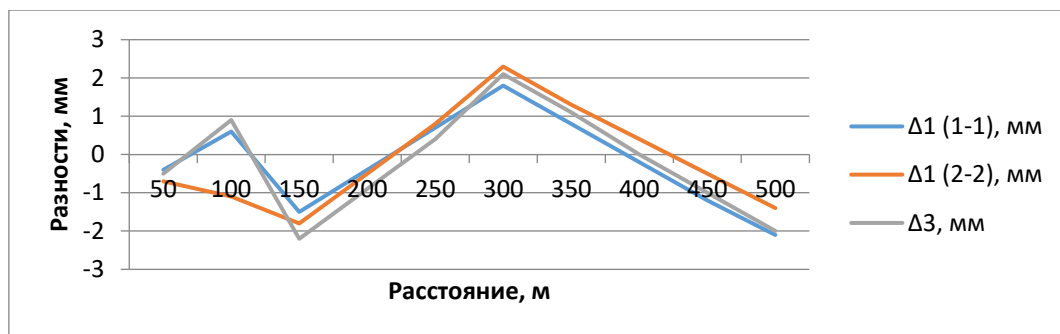


Рисунок 8 – График ошибок при произвольной установке штативов с отражателями: а) ход прямо; б) ход обратно

В данном случае не учитывается время, затраченное на выезд в поле.

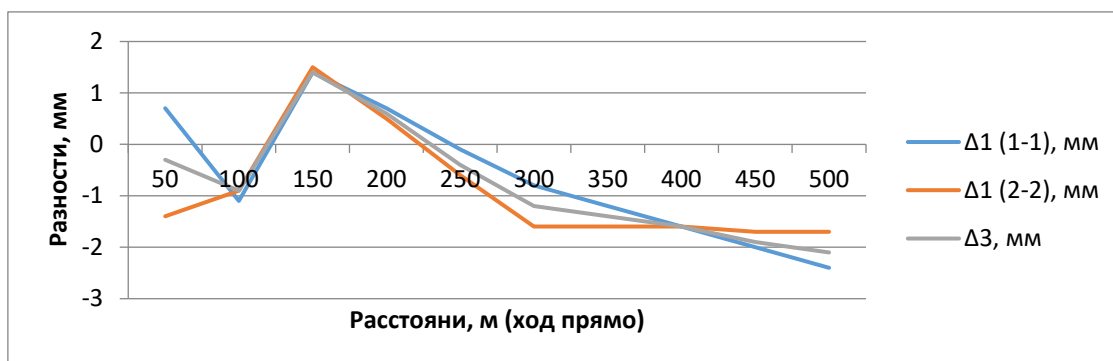
С целью определения влияния неблагоприятных внешних условий на результаты поверки были выполнены измерения при температуре воздуха 27–28 °С и минимальной облачности. При этом рядом находилась автомобильная дорога с интенсивным движением (рисунок 10, таблица 3). При выполнении измерений наблюдалось заметное колебание изображения отражателя.

Полученные результаты показывают, что даже при сравнительно неблагоприятных внешних условиях СКО измерений не превышала 0,78 мм.

Третий способ поверки основан на измерении расстояний из середины, и он аналогичен способу определения постоянной поправки $П$. Он также может быть реализован двумя методиками: произвольным или стационарным размещением отражателя. Для этого на местности выбирается горизонтальный участок, на котором разбивается линия AB (рисунок 11) длиной от 0,3 до 1,0 км. После этого

примерно, посередине, в удобном для выполнения измерений месте, с небольшим отклонением в створе линии AB выбирается точка C .

а)



б)

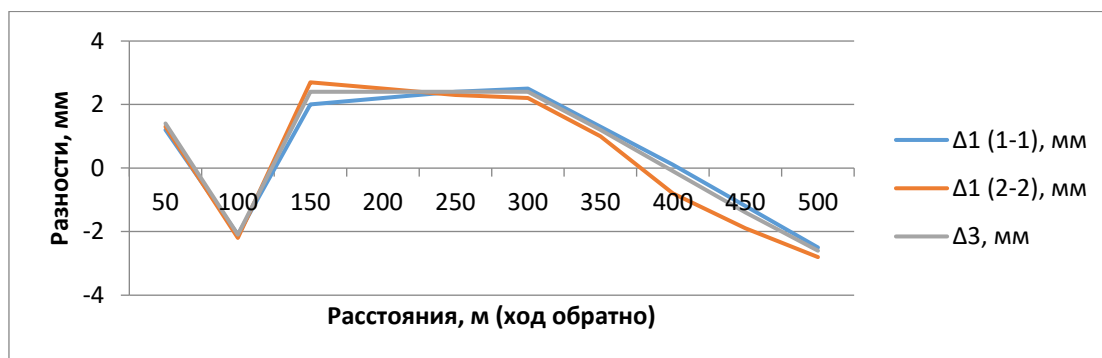


Рисунок 9 – Значения разностей измеренных расстояний при стационарной установке отражателя



Рисунок 10 – Схема установки эталонного и поверяемого тахеометров

Таблица 3 – Поверка тахеометра с применением автомобиля и произвольной установкой отражателя

$S, \text{ м}$	LEICA TCR405, мм LEICA TCR1201, мм		Разность Δl (1201-405), мм		Сумма расстояний, мм	Разность расстояний (1201-405), мм
	AC	A_1C	$AC - A_1C$	$A_1C - AC$	$(AC + A_1C)$	
200	195726,87 195726,79	195839,15 195838,74	-0,08	-0,41	391566,02 391565,53	-0,49 (-0,24)
500	490727,37 490728,61	490843,88 490845,40	1,24	1,52	981571,25 981574,01	2,76 (1,38)
700	706968,07 706970,13	707087,01 707089,31	2,06	2,30	1414055,08 1414059,44	4,36 (2,18)

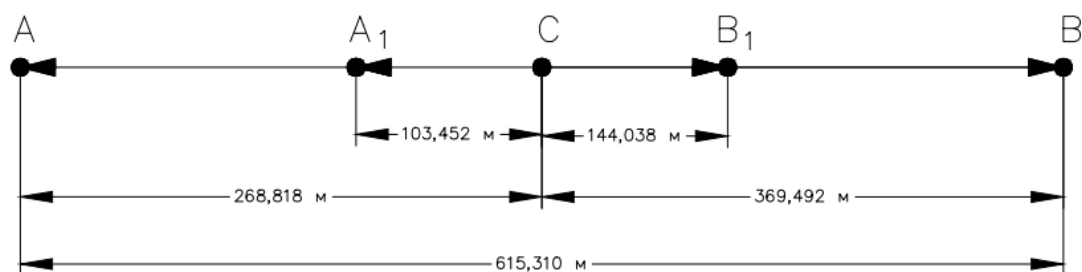


Рисунок 11 – Схема метрологической поверки способом из середины

Для этого в точке A устанавливается тахеометр и визируется на точку B , после чего в створе линии AB намечается эта точка C с ошибкой уклонения от створа не более 30–50 мм. Затем в точке C устанавливается высокоточный эталонный тахеометр, а в точке A на штативе – отражатель. После этого 4–5 сериями производится измерение расстояний AC и CB . По окончании измерений расстояния эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр, отражатель переносится и устанавливается в трегер A , а затем в B и аналогичным образом поочередно производится измерение расстояний AC и CB . Завершаются исследования измерением расстояния AB эталонным тахеометром. После этого вычисляются разности измеренных расстояний AC и CB в каждой серии эталонным и поверяемым тахеометрами, а затем разность суммы измеренных расстояний $AC + CB$ в каждой серии эталонным

и поверяемым тахеометрами. Завершаются вычисления нахождением разности измеренного расстояния AB эталонным тахеометром и суммой измеренных расстояний AC и CB в каждой серии поверяемым тахеометром (рисунок 12).

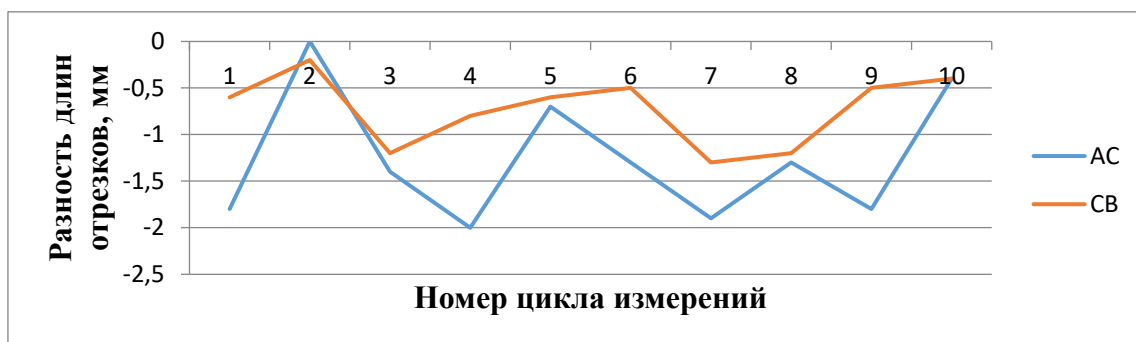


Рисунок 12 – График величин отклонений при метрологической поверке на отрезках AC и CB

При выполнении поверки на стационарных базисах значительное время затрачивается на перенос и установку отражателя на его пункты. С целью уменьшения этого времени нами предлагается выполнять поверку в полевых условиях предлагаемыми способами с использованием автомобиля. При его применении решаются две следующие задачи:

- уменьшается время на перемещение между точками при установке отражателя;

- имеется возможность увеличивать длину линий до нескольких километров.

Непосредственно изменение длины измеряемой линии может производиться:

- перемещением отражателя при стационарной установке тахеометров;
- перемещением тахеометров при стационарной установке отражателя.

Достоинством схемы измерений с перемещением на автомобиле отражателя является обеспечение большей сохранности тахеометров, так как они будут стоять на одной точке. Если же тахеометры будут перемещаться, то будет иметься возможность выбора длин измеряемых расстояний, а также мест установки тахеометров с хорошей видимостью на отражатель.

Достоинствами данной методики также являются высокая скорость проведения поверки, удобство проведения полевых работ и возможность в сжатые временные сроки измерить большее число расстояний. Так, с применением данной методики были выполнены измерения расстояний длиной 200, 490 и 707 м с произвольной установкой отражателя двумя сериями за 1^h10^m .

Выполненная апробация рассмотренных способов и методик поверок позволяет сделать следующие выводы:

- все методики позволяют уверенно выполнять поверки методом сличения;
- СКО измерения расстояний тахеометрами ТМ30 и TCR1201 в зависимости от измеряемого расстояния составляла 0,14–0,75 мм, что позволяет считать их эталонными;
- контроль полученных результатов при выполнении измерений не представляет затруднений, так как значения измеряемых линий эталонным и поверяемым тахеометрами примерно одинаковы и наблюдатель может легко обнаружить возможную грубую ошибку.

Для выполнения поверок в полевых условиях специализированные организации используют стенды, конструкция которых позволяет их применение только для каждого типа приборов. С целью исключения создания нескольких видов полевых стендов разработана конструкция универсального полевого стенда, на котором, кроме тахеометров (в том числе и роботизированных) и светодальномеров, можно также выполнять метрологические поверки цифровых нивелиров и нивелиров с визуальным отсчитыванием, лазерных сканеров и ГНСС-приемников (рисунок 13).

Принципиальная схема универсального полевого стенда представляет собой построение, созданное на горизонтальной площадке и состоящее из набора концентрических окружностей с разными радиусами (5, 20, 50 и 75 м), в центре *О* которых располагается геодезический пункт в виде металлической тумбы, оборудованной устройством для принудительного центрирования. Вокруг этого центра в восьми направлениях закрепляются реперы и тумбы также с принуди-

тельным центрированием, которые могут быть стационарными и съемными (для обеспечения их сохранности).

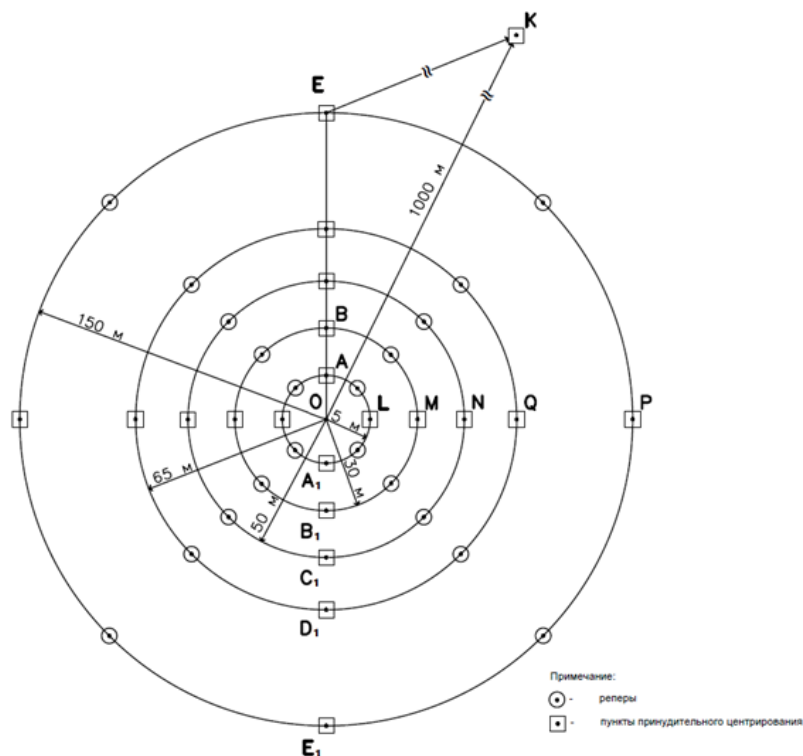


Рисунок 13 – Принципиальная схема универсального полевого станда

С помощью станда можно выполнить следующие поверки: метрологическую поверку (СКО измерения расстояния), постоянной Π прибора, горизонтальных углов и углов наклона, получения приращений координат Δx и Δy , а также превышений h по уклонениям от среднего или от эталонных значений.

Метрологическая поверка (или определение постоянной поправки Π) производится следующим образом. На тумбе O устанавливается тахеометр и измеряются расстояния OE и OE_1 . После этого тахеометр устанавливается на пункт E и измеряется расстояние EE_1 . Указанные расстояния измеряются не менее 15 раз с последующим нахождением среднего значения. Тогда

$$OE = S_1 + \Delta_1 + \Delta_2 = S_1 + \Pi,$$

$$OE_1 = S_2 + \Delta_1 + \Delta_2 = S_2 + \Pi. \quad (2)$$

При измерении расстояния EE_1 будем иметь

$$EE_1 = S_3 + \Delta_1 + \Delta_2 = S_3 + \Pi. \quad (3)$$

Следовательно,

$$EE_1 - (OE + OE_1) = S_3 - (S_2 + S_1) = \Pi. \quad (4)$$

Завершающим этапом исследований является предложение внести в существующую локальную поверочную схему третью ветвь, которая, в отличие от второй, включает в себя рабочий эталон 1-го разряда. Это позволит более мобильно использовать при проведении поверок метод сличения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной диссертационной работе на основании теоретических и практических исследований решена научно-техническая задача по совершенствованию способов и методик проведения метрологической поверки светодальных номеров и тахеометров.

В ходе диссертационного исследования были получены следующие основные результаты:

- выполнен анализ существующих способов, методик и поверочных схем выполнения метрологической поверки светодальных номеров и тахеометров, который показал, что в настоящее время в большинстве случаев не поддерживается на достаточном уровне техническое состояние стационарных эталонных базисов и это не позволяет качественно и своевременно производить поверки указанных приборов;
- усовершенствованы и разработаны способы метрологической поверки светодальных номеров и тахеометров, основанные на использовании метода сличения без компаратора, с применением в качестве рабочего эталона 1-го разряда высокоточных фазовых светодальных номеров (тахеометров), которые позволяют производить поверки указанных приборов без применения стационарных эталонных базисов; при

этом в качестве исходного эталона в локальной поверочной схеме может использоваться базисный прибор или группа высокоточных фазовых дальномеров;

- на основе разработанных способов предложены методики поверки светодальномеров и тахеометров с их перестановкой в трегерах путем задания по одному или двум створам нескольких эталонных (произвольных или фиксированных) расстояний, которые позволяют производить поверку при расстояниях длиной до 2,0–3,0 км, а также повысить надежность полученных результатов;

- с целью значительного сокращения времени на выполнение поверки разработана методика ее проведения с использованием автомобиля, которая позволяет быстро задавать длины эталонных расстояний (произвольных или фиксированных) длиной от сотен метров до нескольких километров;

- для выполнения поверки светодальномеров и тахеометров при значительных низких температурах разработан лабораторный стенд, позволяющий производить измерение задаваемых эталонных расстояний длиной до 1,0 км;

- для выполнения метрологических поверок в полевых условиях разработан полевой стенд, позволяющий проводить на нем поверки светодальномеров, тахеометров, нивелиров и спутниковых приемников; на схему и конструкцию предложенного стенда получен патент РФ;

- проведена апробация предлагаемых способов поверки в лабораторных и полевых условиях, которая подтвердила работоспособность разработанных на ее основе технологических схем выполнения соответствующих измерений;

- поставленные задачи исследований выполнены в полном объеме, способы и методики выполнения поверок апробированы в лабораторных и полевых условиях, результаты исследований опубликованы.

Результаты исследований рекомендованы к использованию в геодезическом производстве с целью проведения метрологических поверок светодальномеров и тахеометров без использования стационарных базисов.

Перспектива дальнейших исследований заключается в обосновании необходимости внесения дополнений в существующую локальную поверочную схему предлагаемых методик выполнения метрологических поверок светодальномеров и тахеометров.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ
ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Разработка универсального полевого стенда для поверки геодезических приборов / Г. А. Уставич, Н. С. Косарев, И. А. Мезенцев, Д. А. Баранников, Д. В. Бирюков. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2021. – Т. 65, № 4. – С. 379–387.

2 Совершенствование методики аттестации тахеометров и светодальномеров / Г. А. Уставич, Н. С. Косарев, И. А. Мезенцев, Д. А. Баранников, Д. В. Бирюков. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021. – № 4 (26). – 2021. – С. 146–159. – DOI 10.33764/2411-1759-2021-26-4-146-159.

3 Методика передачи координат тахеометром на пункты обоснования инженерного сооружения / Г. А. Уставич, Н. С. Косарев, Д. А. Баранников, И. А. Мезенцев, Д. В. Бирюков. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 5. – С. 142–150.

4 Патент № 2745635 Российская Федерация, МПК G01C 25/00 (2006.01), G01C 25/00 (2020.08). Универсальный полевой стенд для поверки геодезических приборов : № 2020111970 : заявл. 23.03.2020 : опубл. 29.03.2021 / Уставич Г. А., Косарев Н. С., Мезенцев И. А., Баранников Д. А. ; заявитель СГУГиТ. – 9 с. – Текст : непосредственный.

5 Применение БПЛА в качестве подвижной вехи / В. Г. Сальников, А. М. Астапов, А. Ш. Тюндешева, Д. А. Баранников. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – С. 45–50. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-45-50.

6 Исследование влияния хода фокусирующей линзы зрительной трубы электронных тахеометров на место нуля / А. В. Никонов, Н. М. Рябова, А. Д. Смирнов, Д. М. Исхаков, Д. А. Баранников. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVIII Междунар. науч. конгр., 18–20 мая 2022 г., Новосибирск : сборник материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2022. – С. 19–23. – DOI 10.33764/2618-981X-2022-1-19-23.