

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

На правах рукописи

Баранников Дмитрий Андреевич



Разработка и совершенствование способов
метрологической поверки светодалномеров и тахеометров

1.6.22. Геодезия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
доктор технических наук, профессор
Уставич Георгий Афанасьевич

Новосибирск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.....	12
1.1 Эталоны для метрологической поверки рабочих средств линейных измерений.....	12
1.2 Виды метрологических поверок средств измерений	16
1.3 Поверочные схемы средств линейных измерений	21
1.4 Постановка задач исследований	33
2. РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ ТАХЕОМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СЛИЧЕНИЯ.....	36
2.1 Технические параметры светодалномеров и тахеометров, подлежащие метрологической поверке	36
2.2 Способы проведения метрологической поверки тахеометров и светодалномеров.....	39
2.2.1 Технологические поверки тахеометров и светодалномеров	39
2.2.2 Способы метрологической поверки тахеометров и светодалномеров с применением эталонных базисов.....	48
2.3 Разработка способов метрологической поверки с применением эталонных фазовых светодалномеров.....	58
2.4 Совершенствование способа поверки тахеометра измерением отдельного расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами	66
2.5 Разработка способа метрологической поверки измерением двух расстояний с перестановкой тахеометров в трегерах.....	73

2.6	Разработка стационарного лабораторного стенда для поверки тахеометров.....	78
2.6.1	Поверка тахеометра измерением одиночного эталонного расстояния.....	78
2.6.2	Поверка тахеометра измерением двух эталонных расстояний	81
2.6.3	Исследование точности поверки тахеометра измерением через стекло.....	83
3	РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ ТАХЕОМЕТРОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ	89
3.1	Разработка методики поверки тахеометров путем измерения по одному створу эталонных расстояний	89
3.1.1	Методика поверки измерением произвольных эталонных расстояний	89
3.1.2	Методика поверки измерением фиксированных эталонных расстояний	96
3.2	Разработка методики поверки путем измерения по двум створам эталонных расстояний	99
3.2.1	Методика поверки тахеометров измерением произвольных эталонных расстояний	99
3.2.2	Методика поверки тахеометров измерением фиксированных эталонных расстояний	104
3.3	Методика поверки тахеометров путем измерения эталонных расстояний способом из середины	108
3.4	Разработка передвижного базиса для поверки тахеометров и светодалномеров на базе автомобиля.....	113
3.5	Разработка универсального полевого стенда для поверки тахеометров.....	116

3.6 Совершенствование локальной поверочной схемы для метрологической поверки средств линейных измерений	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	127
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	129
ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ТАХЕОМЕТРОМ LEICA TM30.....	143
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ТАХЕОМЕТРОМ LEICA TCR405	144
ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАССТОЯНИЙ ПРИ ПЕРВОЙ УСТАНОВКЕ ТАХЕОМЕТРОВ.....	145
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (обязательное) РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАССТОЯНИЙ ПРИ ВТОРОЙ УСТАНОВКЕ ТАХЕОМЕТРОВ.....	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (обязательное) ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ (ОКНО ОТКРЫТО)	149
ПРИЛОЖЕНИЕ Е (обязательное) ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ (ОКНО ЗАКРЫТО)	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж (обязательное) ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ (ПЕРВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТАКСОМЕТРОВ)	151
ПРИЛОЖЕНИЕ И (обязательное) ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ (ОКНО ОТКРЫТО, ВТОРОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТАХЕОМЕТРОВ).....	152

ПРИЛОЖЕНИЕ К (обязательное) ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ (ОКНО ЗАКРЫТО, ПЕРВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТАХЕОМЕТРОВ).....	153
ПРИЛОЖЕНИЕ Л (обязательное) ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ (ОКНО ЗАКРЫТО, ВТОРОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТАХЕОМЕТРОВ).....	154
ПРИЛОЖЕНИЕ М (обязательное) ВЫПОЛНЕНИЕ ПОВЕРКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМОБИЛЯ	155

ВВЕДЕНИЕ

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 метрологи-

ческая 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., Haiester 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 светодальномеров и тахеометров, основанных на использовании метода сличения без компаратора;
- на основе разработанных способов предложить методики поверки светодальномеров 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 светодальномеров 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 светодальномеров, 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 светодальномеров.

Предметом исследования являются способы метрологической поверки тахеометров и светодальномеров.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

- разработаны способы метрологической поверки светодальномеров и тахеометров, основанные на использовании метода сличения без компаратора, с применением в качестве рабочего эталона соответствующего разряда высокоточного фа-

зового светодальномера (тахеометра) или их группы, позволяющие выполнять эту поверку без использования эталонного базиса;

– с использованием 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 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 светодалномеров и тахеометров, основанные на использовании метода сличения, с применением в качестве рабочего эталона соответствующего разряда высокоточного фазового светодалномера (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.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ СРЕДСТВ ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

1.1 Эталоны для метрологической поверки рабочих средств линейных измерений

Как известно, геодезия является наукой, которая занимается изучением формы и параметров Земли в целом или отдельных ее частей и физических полей путем выполнения соответствующих измерений с целью отображения земной поверхности на картах и планах, решения разнообразных научных и народно-хозяйственных задач. Эти измерения производятся на поверхности Земли и в околоземном космическом пространстве. Для получения достоверных результатов измерений они должны выполняться в узаконенных единицах и принятых системах отсчета (системах координат). При этом должен соблюдаться главный принцип измерений, который заключается в обеспечении единства этих измерений.

Как уже указывалось выше, при соблюдении единства измерений полученные результаты, во-первых, выражаются в узаконенных соответствующими нормативными актами единицах, а, во-вторых, полученные при этом ошибки измерений не превышают допустимых величин [31, 35, 65, 85]. Для обеспечения единства измерений производятся соответствующие мероприятия, к которым в первую очередь относятся поверки. При выполнении поверок единство измерений достигается путем воспроизведения и хранения установленных их размеров – эталонов, с помощью которых и производится передача размеров единиц поверяемым средствам измерений с необходимой (возможной) точностью. Для обеспечения единства измерений требуется также, чтобы размер этих единиц всегда был одинаков в течение установленного промежутка времени. В связи с этим для обеспечения единства измерений уполномоченными на то организациями осуществляются следующие мероприятия [7, 13, 22, 31, 36, 64, 68, 78, 92, 93]:

– с помощью соответствующих технических средств периодически воспроизводится единица величины с необходимой, а иногда и с максимально возможной на данный момент времени, точностью измерений;

– обеспечивается сохранность размера единицы в течение определенного промежутка времени.

Воспроизведение, хранение и передача размеров физических единиц осуществляются с помощью специальных средств измерений – эталонов. Эталон представляет собой средство (или набор средств измерений), с помощью которого хранится, воспроизводится и передается соответствующая единица измерений другим, менее точным средствам измерений. При этом воспроизводство, передача и хранение единицы измерений производится двумя зависимыми вариантами: централизованным и ведомственным. При использовании централизованного варианта воспроизведение и хранение производится с помощью единого для всей страны государственного (первичного) эталона. Реализация ведомственного варианта производится с помощью набора рабочих эталонов, которые связаны с государственным эталоном [22, 23, 24, 25, 31, 32].

Рассмотрим классификацию эталонов единицы измеряемой величины. Согласно ГОСТ Р 8.885–2015 [34, 35] эталоны единиц величин делятся:

- на исходные и подчиненные;
- первичные, вторичные и разрядные рабочие эталоны единиц величин.

Первичный эталон – это эталон, с помощью которого воспроизводится размер единицы физической величины с наивысшей точностью, достигнутой на данный момент времени в конкретной области измерений.

Процедура передачи единицы физической величины от государственного первичного эталона к рабочим средствам измерений может проводиться или непосредственно, или через последовательность подчиненных определенным образом эталонов единиц величин различного уровня точности. При такой схеме обеспечивается контроль передачи единиц величин сверху донизу [85].

Для обеспечения такой передачи разработаны соответствующие поверочные схемы.

Вторичные эталоны получают размер единицы физической величины непосредственно от первичного эталона.

Подчиненными государственными первичными эталонами единиц измеряемых величин называют такие эталоны, у которых показатель точности ниже, чем у первичных. Однако, подчиненные эталоны выступают в качестве исходных для рабочих средств измерений в организациях и предприятиях и они входят в состав поверочных схем.

Рассмотрим вторую классификацию эталонов единицы величины. Ранее уже было сказано, что подразумевается под первичными эталонами. Вторичные эталоны получают от государственных первичных эталонов единиц величин и они, в свою очередь, подразделяются [22, 34]:

- на эталоны-копии;
- эталоны сравнения;
- рабочие эталоны единиц величин.

Эталон-копии единиц величин предназначены для уменьшения эксплуатационной нагрузки на государственные первичные эталоны единиц величин, в обоснованных случаях заменяя их.

Эталон-копии являются вторичными эталонами единиц измеряемых величин и они предназначены для передачи размеров единиц рабочим эталонам. Используются для уменьшения числа использований государственных первичных эталонов единиц величин, а в ряде случаев и заменяя их.

Эталон сравнения также является вторичными эталонами, и они используются для непосредственного сличения эталонов единиц величин, которые по каким-либо причинам невозможно непосредственно сличить друг с другом.

Рабочие эталоны воспринимают размер единицы физической величины от вторичных эталонов и они применяются с целью передачи единиц величин менее точным эталонам, а также рабочим средствам измерений.

Применительно к выполнению геодезических измерений следует отметить, что получаемые результаты также имеют узаконенные единицы и поэтому применяемые рабочие средства (теодолиты, тахеометры, нивелиры и т. д.) также необходимо периодически подвергать поверкам. Однако, условия выполнения самих из-

мерений и проводимых при этом поверок существенно отличаются от поверок, например, в машиностроении.

В связи с этим в теорию и практику геодезических измерений авторами [85, 111] было введено понятие «геодезическая метрология», составными частями которого являются:

- все виды геодезических измерений;
- метод, способ и средство производства геодезических измерений;
- ошибка и точность геодезических измерений.

Для того, чтобы обеспечить единство выполняемых измерений, необходимо предварительно произвести специальные подготовительные мероприятия, к которым относятся поверка, юстировка и исследование средств измерений.

Под поверкой рабочих средств измерений понимается определенная последовательность операций, проводимых с целью подтверждения соответствия данных средств измерений установленным для них метрологическим требованиям, к которым относятся:

- соответствие взаимного расположения геометрических и механических осей прибора;
- исправности работы отсчетных устройств;
- обеспечение заявленной точности измерений.

Таким образом, поверки позволяют выявить отклонения фактических геометрических параметров геодезических приборов от расчетных. Согласно законам Российской Федерации, поверке подлежат рабочие средства измерений до их ввода в эксплуатацию, в процессе эксплуатации, а также после ремонта. При этом эти рабочие средства измерений юридические лица и индивидуальные предприниматели обязаны сами вовремя предоставлять на поверку. Поверку могут проводить аккредитованные юридические лица, а также индивидуальные предприниматели. Процедура проведения поверки средств измерений регламентируются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики в области обеспечения единства измерений. Примени-

тельно к геодезическим работам производство измерений не может осуществляться без наличия документа о прохождении поверки.

Под калибровкой средств измерений следует понимать последовательность операций, выполняемых с целью определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений и сравнением их с проектными. Калибровка осуществляется также с применением эталонов, взаимосвязанных с государственным первичным эталоном соответствующих единиц величин. Выполняющие калибровку лица в добровольном порядке могут быть аккредитованы в области обеспечения единства измерений. Результаты калибровки, выполненной аккредитованными лицами, могут быть использованы и при поверке рабочих средств измерений.

1.2 Виды метрологических поверок средств измерений

Все геодезические приборы на этапе изготовления и эксплуатации проходят соответствующие поверки. Рассмотрим существующие виды поверок. Классификация поверок представлена в ГОСТ 8.513–84. Согласно этому ГОСТ, рабочие средства измерений подвергают следующим типам поверок:

- первичной;
- периодической;
- внеочередной;
- инспекционной;
- экспертной.

Первичная поверка проводится для тех рабочих средств измерений, которые были только выпущены из производства или ремонта, а также для средств измерений, поступающих на территорию Российской Федерации по импорту.

Периодическая поверка проводится для всех рабочих средств измерений через регламентированные межповерочные интервалы, которые рассчитаны с условием обеспечения пригодности к применению этих средств измерений на период между поверками (при геодезических измерениях межповерочный интервал обычно равен одному году).

Внеочередную поверку проводят при эксплуатации (хранении) средств измерений при таких ситуациях, как ремонт, передача на длительное хранение, повреждение поверительного клейма, утеря документа о поверке и т. д.

Инспекционную поверку осуществляют с целью выявления пригодности к применению парка рабочих средств измерений данного предприятия при осуществлении государственного надзора или ведомственного контроля.

Экспертную поверку осуществляют в тех случаях, когда возникают спорные моменты по соответствию заявленных метрологических характеристик, исправности средств этих измерений и правомерности их к применению в данном случае.

Рассмотренные виды поверок определяют, в основном, метрологические параметры средств измерений любого назначения. Применительно к геодезическим средствам измерений обязательной является еще и технологическая (текущая) их поверка. Она производится согласно инструкции по выполнению соответствующих видов измерений с целью определения геометрических параметров средств измерений, например, места нуля, коллимационной ошибки, главного условия нивелира и т. д. В отличие от остальных видов поверок, эту поверку производит сам исполнитель, за которым закреплен инструмент на весь период проведения соответствующих геодезических работ. Таким образом, технологическая поверка является составной частью применяемой методики выполнения геодезических работ.

При проведении периодической и технологической поверки важным фактором является установление календарного интервала между двумя смежными поверками, который называется межповерочным интервалом [85]. Такие межповерочные интервалы устанавливают заводы-изготовители, а также метрологические службы предприятий на основании фактической надежности средств измерений в целом или их отдельных узлов, теоретических расчетов при их проектировании, испытаний серийных образцов в производственных условиях, а также по итогам выполнения производственных работ. В общем случае, чем ниже показатель метрологической надежности, тем меньше должен быть межповерочный интервал. Например, цена деления барабанчика оптического микрометра нивелира незначи-

тельно изменяется в течение срока эксплуатации, а величина угла i может изменяться в течение одного дня. Поэтому поверка цены деления барабанчика производится раз в год, а угла i – ежедневно перед началом работы или, при условии его стабильности, через 4–5 дней. В общем случае применительно к геодезическим инструментам межповерочные интервалы бывают равные 1–3 годам, 1–3 месяцам, 5–10 дням, а также ежедневные. Кроме того, по мере увеличения срока эксплуатации средства измерений, а также их износа, межповерочные интервалы сокращаются.

В метрологии [85] для определения величины межповерочного интервала используется формула:

$$\tau = \frac{T \ln K}{R(N, N')}, \quad (1.1)$$

где T – интервал времени, в течение которого фиксируются метрологические отказы;

K – коэффициент метрологической годности, который для геодезических СИ может быть принят единым и установлен эмпирически;

$R(N, N')$ – статистический коэффициент, зависящий от количества СИ, поверенных за интервал времени T , и количества СИ, которые признаны при этом исправными.

Эта формула применима в полной мере лишь для тех СИ, у которых условия эксплуатации и условия поверки являются идентичными. Для большинства геодезических приборов следует искать другие подходы, так как условия поверки в лабораторных условиях и реальные условия эксплуатации не совпадают между собой. В данном случае по результатам лабораторных поверок мы лишь можем сделать общее заключение о функциональной и метрологической исправности прибора.

Оценивая межповерочный интервал, следует учитывать, что при геодезических измерениях важнее знать не само соответствие метрологического параметра прибора допуску, а точность самого параметра. Исходя из этого, следует то, что величину межповерочного интервала целесообразнее рассчитывать без учета мет-

рологических отказов, юстируемых в процессе использования прибора. Логичнее проводить контроль в условиях эксплуатации прибора и тем специалистом, который осуществляет проведение геодезических работ в конкретный период.

Существует еще одна классификация поверок, основанная на методах передачи размера единиц физической величины. Согласно этой классификации, методы проведения поверки подразделяются на следующие типы [22, 23, 85]:

- метод непосредственного сличения;
- метод сличения с помощью компаратора;
- метод прямых измерений;
- метод косвенных измерений.

Метод непосредственного сличения поверяемого рабочего средства измерения с эталоном соответствующего разряда в силу его удобной реализации сравнительно часто используется для поверки различных средств измерений. Данный метод основан на проведении одновременных измерений одной и той же физической величины поверяемым рабочим средством и эталоном соответствующего разряда. Ошибку в данном случае определяют, как разность показаний эталонного средства измерений и поверяемого. Показания эталонного средства измерений принимают за действительное значение величины. Достоинствами данного метода являются его простота и наглядность применения, возможность проведения поверки в автоматическом режиме, а также отсутствие необходимости в использовании дополнительного сложного оборудования.

Метод сличения с помощью компаратора базируется на использовании специального дополнительного прибора сравнения, с помощью которого сличаются поверяемое и эталонное средство измерения. Потребность в компараторе возникает в тех случаях, когда нет возможности сравнить показания приборов, например, когда необходимо сравнить две рейки, одна из которых используется для высокоточного нивелирования I класса, а другая для нивелирования III класса или при необходимости сравнить между собой две рейки одного класса. В данном случае компаратором является линейка КЛ.

Метод прямых измерений используется в тех случаях, когда представляется возможным сличить поверяемое средство измерений с эталоном соответствующего разряда в определенных пределах измерений. В данном методе сличение производится на всех числовых отметках каждого диапазона.

Метод косвенных измерений применяется, когда значения поверяемых величин невозможно получить прямыми измерениями или же когда косвенные измерения позволяют получить более точные результаты.

Отметим, что поверку могут производить либо органы государственной метрологической службы, либо лица, аттестованные в качестве государственных или ведомственных поверителей [24, 25, 26].

После проведения поверки производится юстировка, которая включает в себя комплекс мероприятий, нацеленный на приведение средства измерений (в нашем случае геодезического прибора) в состояние, при котором будет обеспечено его правильное функционирование. Иными словами, весь процесс юстировки посвящен устранению ошибок, которые были выявлены в результате проведения поверки прибора.

Согласно ГОСТ Р 8.568–2017 [33], средства измерений подвергаются аттестации.

Аттестация – это методика определения точностных характеристик поверяемого оборудования, их соответствия требованиям нормативно-технической документации и установление пригодности этого оборудования к эксплуатации. Основной целью аттестации служит подтверждение характеристик исследуемого прибора и возможности его работы с допускаемыми отклонениями. В этом же документе указано, что существуют такие виды аттестации, как первичная, периодическая и повторная. Первичная аттестация заключается в экспериментальном определении технических характеристик прибора и подтверждении его пригодности к использованию. Периодическая аттестация осуществляется непосредственно в процессе эксплуатации прибора в том объеме, который требуется для подтверждения соответствия технических характеристик применяемого рабочего средства измерений требованиям нормативных документов. Повторную аттестацию также проводят для приборов, бывших в ремонте или на модернизации.

Все рассмотренные поверки осуществляются на основе применения государственных и локальных поверочных схем с применением эталонов соответствующего разряда. Рассмотрим теперь понятие поверочной схемы.

1.3 Поверочные схемы средств линейных измерений

Под поверочной схемой подразумевается нормативный документ, регламентирующий порядок и методы (способы) передачи размеров единиц физических величин от эталонов соответствующего разряда к рабочим средствам измерений [23, 25, 85].

По области применения поверочные схемы подразделяются:

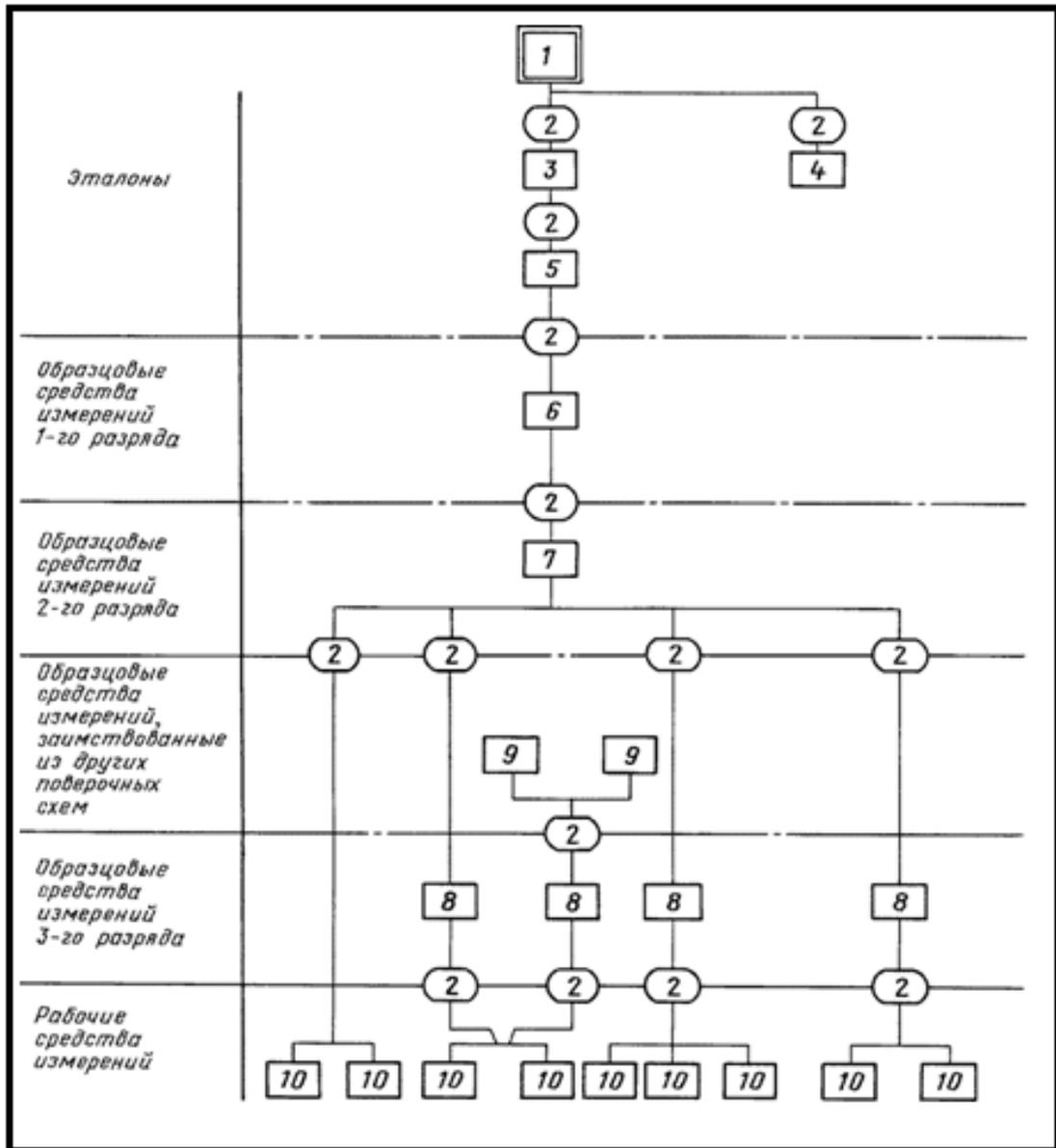
- на государственные, которые действуют в масштабе всей страны;
- локальные поверочные схемы (ЛПС), предназначенные для применения в масштабе конкретной отрасли или отдельного предприятия.

В зависимости от назначения поверочные схемы делятся по видам измерений; при геодезических измерениях, например, поверочная схема для рабочих средств измерения плоского угла или поверочная схема для средств измерений длины в определенном диапазоне.

Порядок построения поверочных схем и последовательность передачи размера единицы физической величины указывается в ГОСТ 8.061 [23]. В общем случае структура поверочных схем выглядят следующим образом (рисунок 1.1).

Все поверочные схемы имеют определенное и оптимальное количество ступеней поверки, которое зависит от количества применяемых для передачи размера единицы разрядов эталонов, а также определенное количество ветвей, зависящее от количества типов поверяемых рабочих средств измерений. Необходимо отметить, что очевидным является следующий факт, который заключается в том, что чем выше точность применяемых для поверки эталонов, тем больше стоимость их создания и поддержания в рабочем состоянии. В метрологии существует правило, которое заключается в том, что для надежной поверки рабочих средств измерений с помощью эталонов достаточно иметь соотношение их ошибок не хуже 3 : 1 (вместе с тем, в геодезии это соотношение принимается не хуже от 8 : 1 до 10 : 1). Исходя из этого, следует, что в целом ряде случаев экономически целесообразно использовать менее точные эталоны, увеличивая число их разрядов и, следовательно, количество ступеней поверочной схемы. Однако, увеличение количества ступеней, в свою очередь, приводит к увеличению количества выдаваемых поверочных доку-

ментов, а также к увеличению времени, необходимого для выполнения полной поверки. Поэтому вопрос оптимального количества ступеней должен решаться в каждом конкретном случае при учете этих факторов, а также стоимости осуществления поверочных работ и надежности передачи размера единицы физической величины.



1 – государственный эталон; 2 – метод передачи размера единицы; 3 – эталон-копия; 4 – эталон сравнения (для международных сличений); 5 – рабочий эталон; 6–8 – образцовые средства измерений соответствующих разрядов; 9 – образцовые средства измерений, заимствованные из других поверочных схем; 10 – рабочие средства измерений

Рисунок 1.1 – Пример поверочной схемы

В метрологии также принято, что величины ошибок метода передачи размера единицы каждой ступени в поверочной схеме допускается не указывать в тех случаях, когда их значения не превышают 20 % от величины общей ошибки поверяемого рабочего средства измерения.

Для группы однородных средств измерений, например, тахеометров, количество ступеней в поверочной схеме зависит от таких важных факторов, как [85]:

- общее количество средств измерений, которые могут быть поверены данной поверочной схемой;

- количество средств измерений, которое может быть поверено с применением данной поверочной схемы и имеющихся рабочих эталонов в течение межповерочного интервала, например, одного года;

- отношение величин ошибок применяемого рабочего эталона соответствующего разряда и поверяемого средства измерений;

- расчетное отношение ошибок средств измерений (ошибок передачи единицы физической величины), находящихся на соседних ступенях поверочной схемы;

- количества времени, в течение которого применяемый эталон соответствующего разряда может быть использован для проведения поверки имеющихся рабочих средств измерений;

- времени, затрачиваемого на выполнение поверки одного рабочего средства измерений.

В связи с тем, что наши исследования связаны с линейными измерениями перейдем к рассмотрению государственных и локальных поверочных схем, применяемых в данной области геодезических работ.

Так как в настоящее время длина метра связана со временем и частотой, то схема передачи размера единицы длины от государственного первичного эталона единиц длины, времени и частоты к рабочим эталонам и эталонам, используемым в локальных поверочных схемах для средств линейных геодезических измерений, представлена на рисунке 1.2 [85].

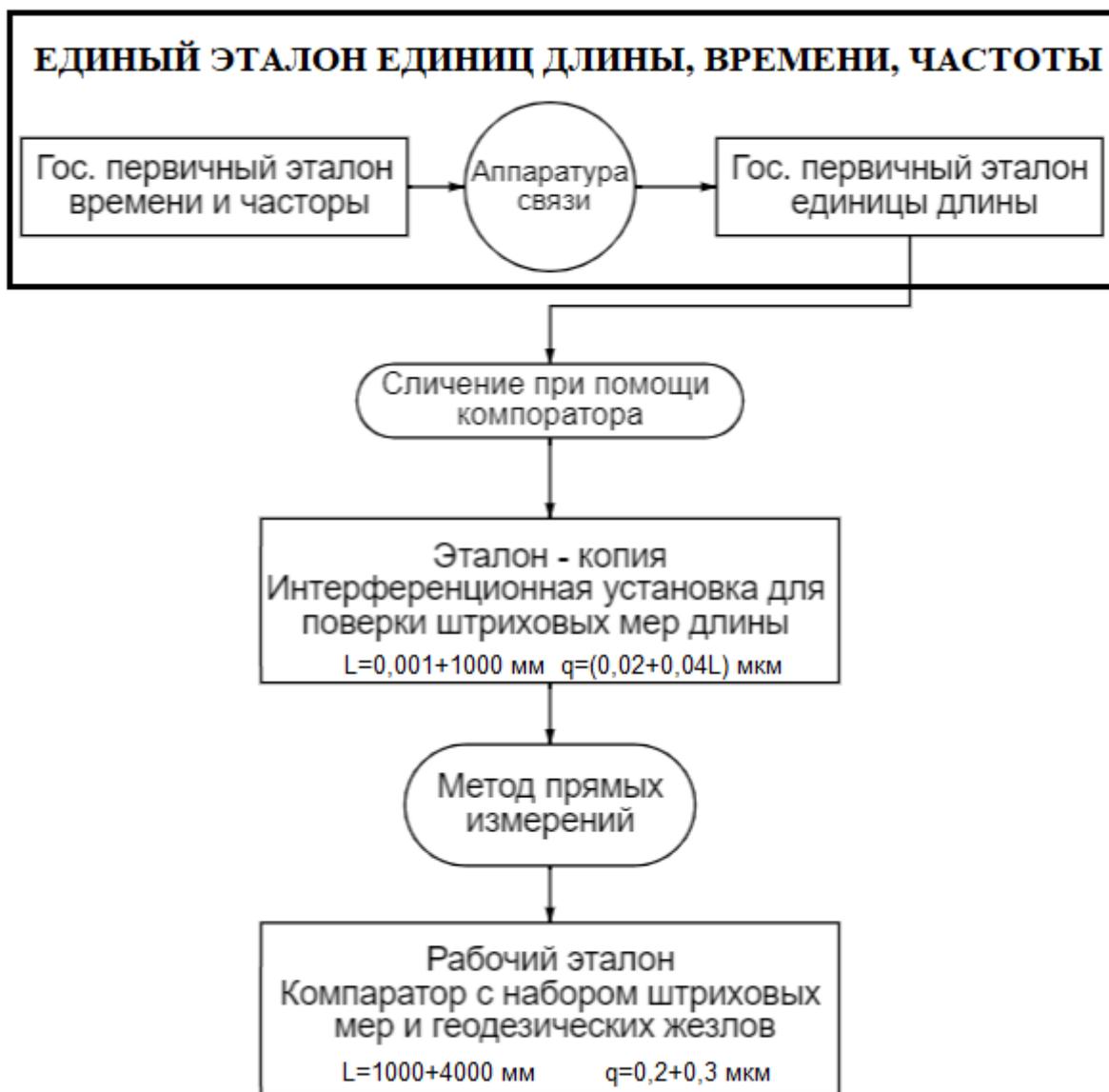


Рисунок 1.2 – Схема передачи размера единицы длины от государственного первичного эталона единиц длины, времени и частоты к рабочим эталонам

Реализация схемы передачи единицы длины регламентируется поверочной схемой, приведенной в ГОСТ 8.503–84 [25]. Действие данной схемы распространяется на средства измерений длины в диапазоне 24–75 000 (рисунок 1.3).

В данной поверочной схеме основой выступает единица длины, воспроизводимая установкой высшей точности (УВТ), которая представляет собой совокупность следующих средств измерений [85]:

– набора стационарных линейных базисов (линейных отрезков) длиной от 24 до 1 000 м;

- высокоточного фазового светодальномера;
- набора средств для определения метеопараметров в выбранных точках, расположенных вдоль линейного базиса.

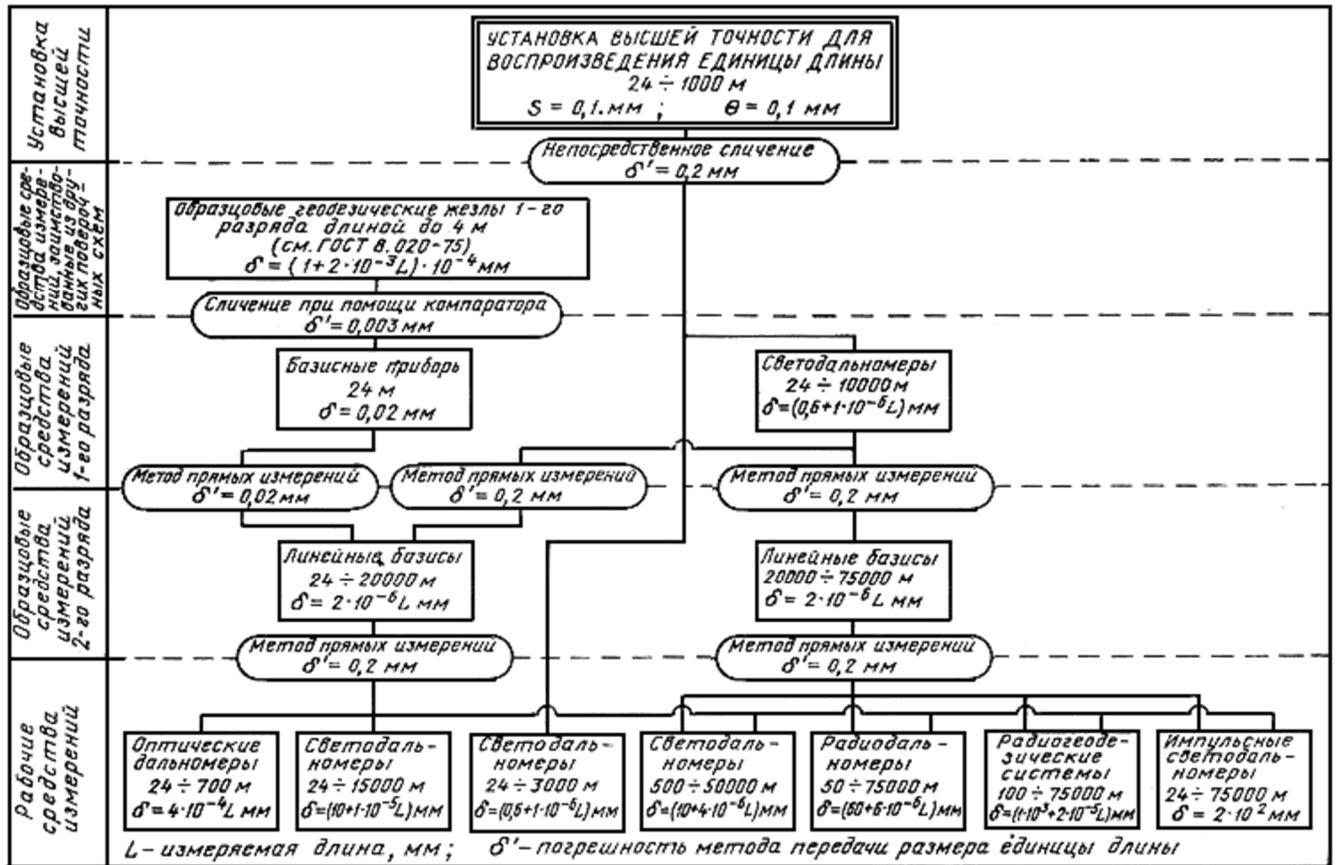


Рисунок 1.3 – Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне 24–75 000 м

Длины линейных базисов и их отрезков, которые воспроизводятся данной установкой, равны 24, 96, 288, 576 и 1 000 м.

Схема передачи размера единицы длины от УВТ рабочим эталонам [85] представлена на рисунке 1.4.

В схеме передачи единицы длины качестве эталона используется еще эталон [22], перенесенный из другой поверочной схемы. Таким эталоном является геодезический жезл длиной 3–4 м, который используется для поверки базисных приборов БП-1, которые включают комплект из восьми проволок, изготовленных из инвара длиной 24,0 м. Поверка проволок осуществляется методом сличения при помощи компаратора.

Базисный прибор БП-1 в данном случае выступает в качестве исходного эталона в локальной поверочной схеме для поверки средств линейных геодезических измерений.

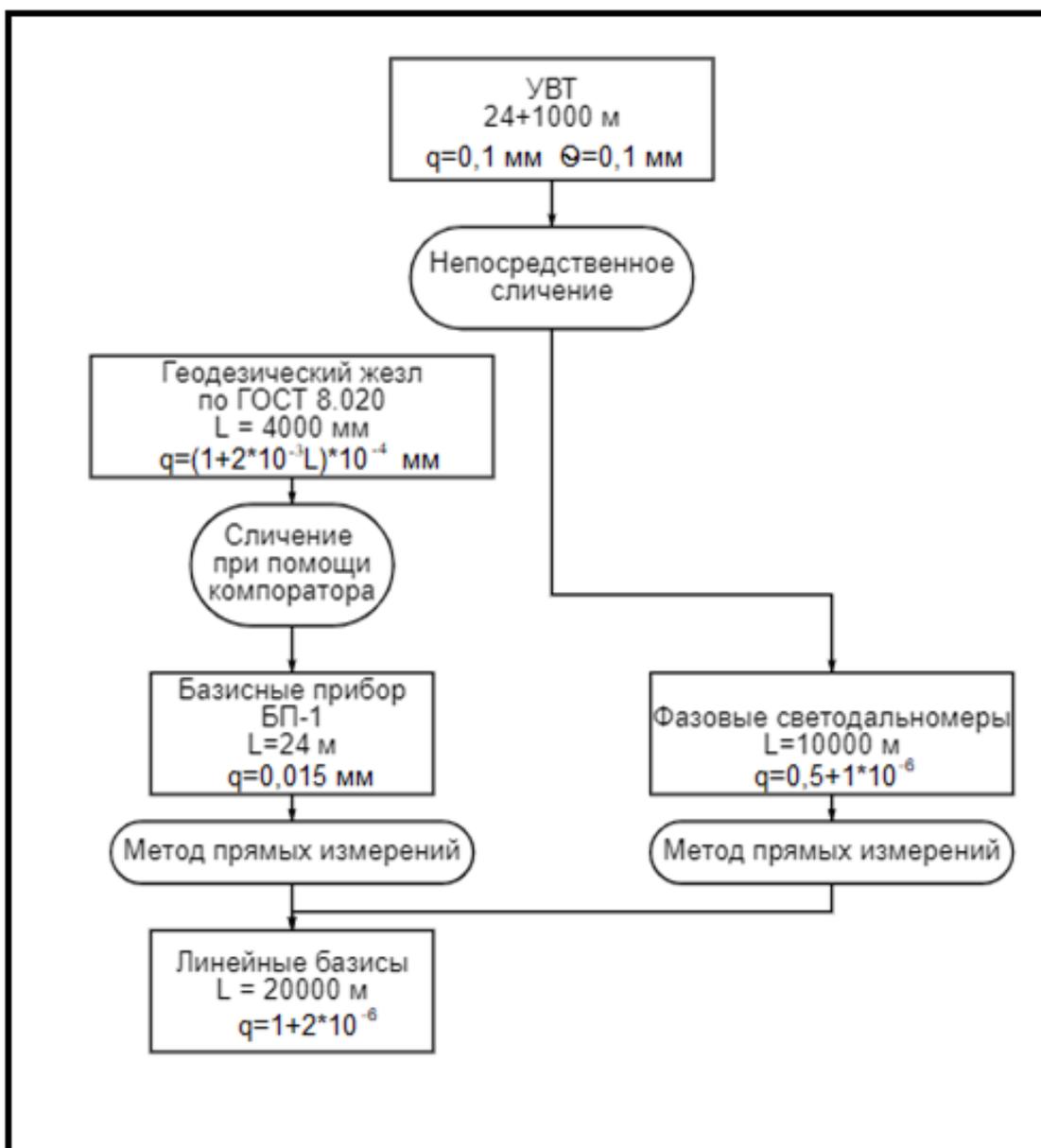


Рисунок 1.4 – Схема передачи размера единицы длины от УВТ рабочим эталонам

На основании рассмотренных государственных поверочных схем разработана локальная поверочная схема [78] для поверки средств измерения длин до 30,0 км (рисунок 1.5).

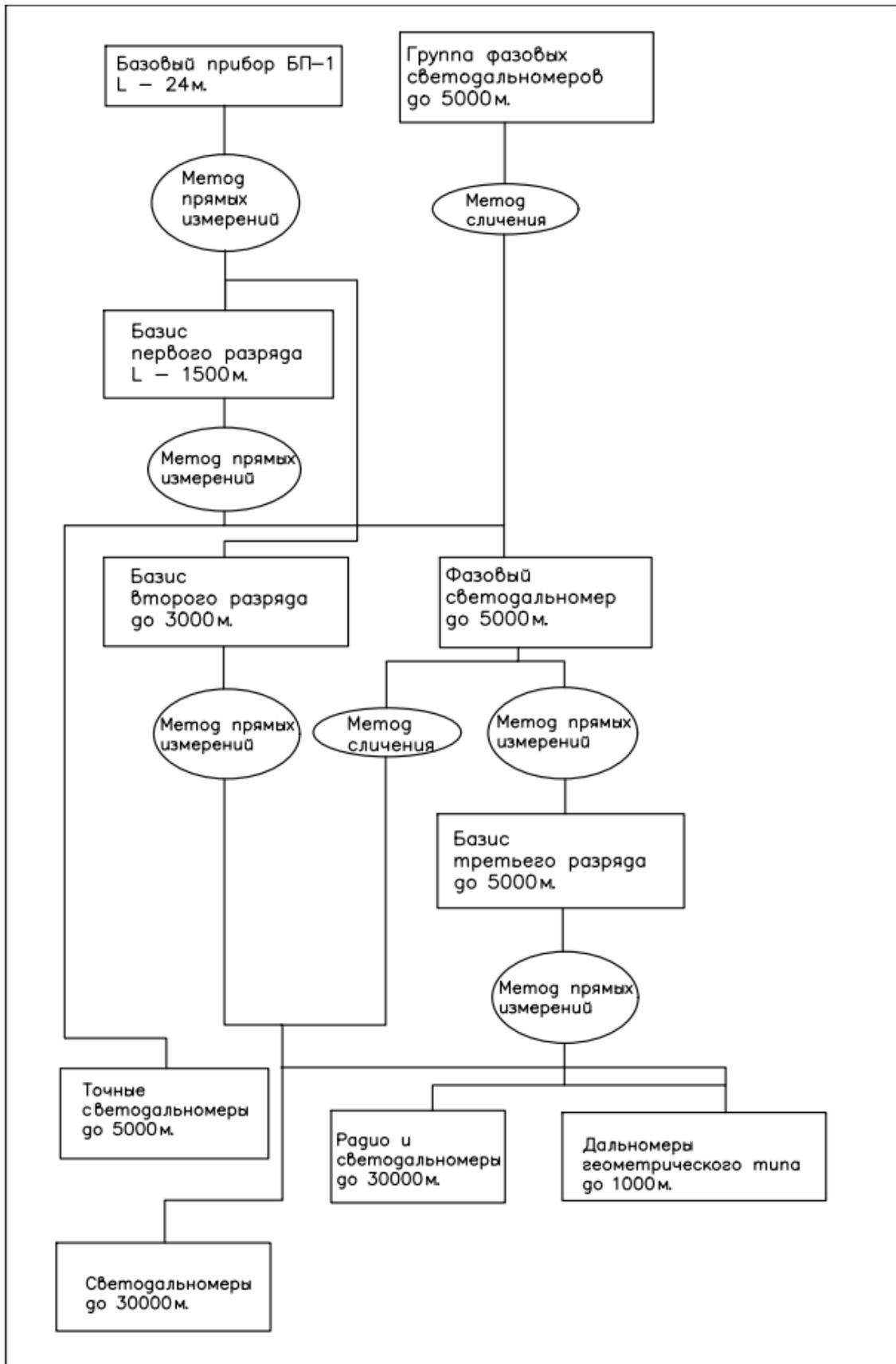


Рисунок 1.5 – Локальная поверочная схема средств измерения длины для диапазона длин до 30 км

Данная схема состоит из пяти ступеней и пяти ветвей. Исходными эталонами в данной поверочной схеме являются:

- базисные приборы БП-1 длиной 24,0 м;
- группа высокоточных фазовых дальномеров, позволяющая измерять расстояния до 5,0 км.

Базисный прибор БП-1 представляет собой комплект, состоящий из восьми инварных проволок длиной 24,0 м. СКО измерения одним базисным прибором при одном уложении проволоки составляет 0,02 мм, а комплектом 0,004 мм.

Высокоточные фазовые дальномеры обеспечивают измерения расстояний с СКО $m = 2,0 + 5,0 \cdot 10^{-7}$ мм. Необходимо отметить, что в настоящее время выпускаются высокоточные фазовые дальномеры, обеспечивающие измерение расстояния с СКО $m = 1,0 + 5,0 \cdot 10^{-7}$ мм.

Передача единицы длины базисным прибором БП-1 на рабочие эталоны 1-го разряда производится методом прямых измерений. Таким рабочим эталоном является стационарный базис длиной до 1 500,0 м. После передачи на него единицы длины он сохраняет ее с СКО $0,5 \cdot 10^{-6}$ мм.

Методом прямых измерений производится передача единицы длины и на рабочий эталон 2-го разряда, которым также является стационарный базис. Такой базис сохраняет единицу длины с СКО $m = 1,0 \cdot 10^{-6}$ мм.

Передача единицы длины фазовыми светодальномерами производится методом сличения на инварные ленты длиной 20–50,0 м, которые являются рабочими эталонами 1-го разряда. СКО сохранения единицы длины равна $m = (3 + 3L)$ мкм.

Передача единицы длины на рабочие эталоны 2-го разряда также производится высокоточными фазовыми светодальномерами методом сличения. Таким рабочим эталоном 2-го разряда являются фазовые светодальномеры, обеспечивающие сохранность единицы длины с СКО $m = 1 \cdot 10^{-6}$ мм.

Передача единицы длины на рабочие эталоны 3-го разряда производится светодальномерами методом прямых измерений или базисным прибором БП-2. Таким рабочим эталоном является стационарный базис длиной до 5,0 км и обеспечивающий сохранность единицы длины с СКО $m = 3 \cdot 10^{-6}$ мм.

Автор работы [85] приводит данную ЛПС в другом виде (рисунок 1.6).

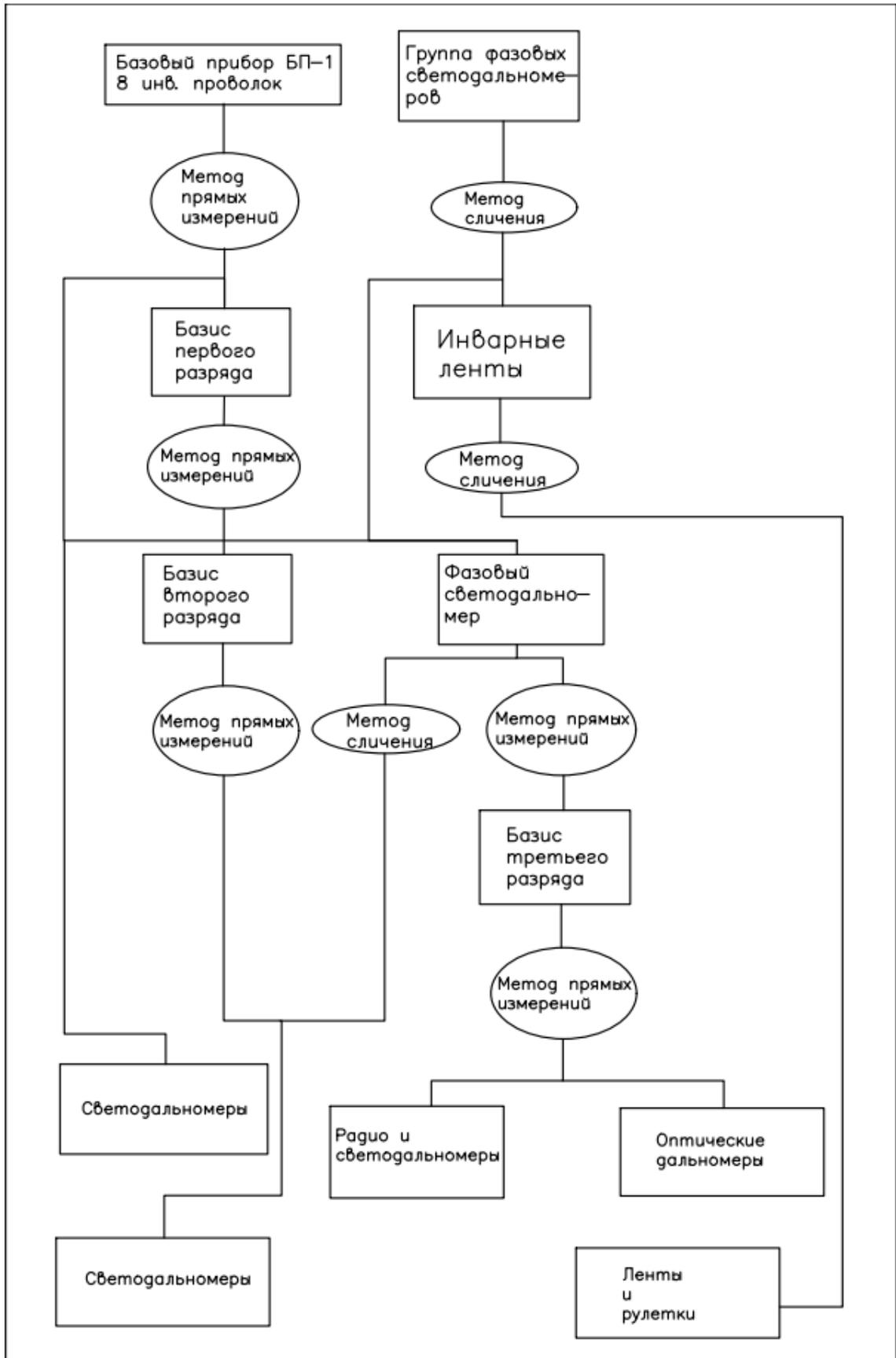


Рисунок 1.6 – Локальная поверочная схема средств измерения длины для диапазона длин до 30 км

В настоящее время многими фирмами выпускаются высокоточные тахеометры, обеспечивающие измерение расстояния с СКО $m = 1,0 \cdot 10^{-6}$ мм. В связи с этим на всех этапах передачи и сохранения единицы длины вместо группы фазовых светодальномеров могут использоваться высокоточные тахеометры, например, ТМ30.

В качестве рабочих средств измерений также могут выступать высокоточные и точные тахеометры, рулетки (лазерные и металлические) а также оптические дальномеры нивелиров и теодолитов.

При производстве поверочных работ также используется поверочная схема для диапазона измеряемых длин до 4,0 м (рисунок 1.7), которая использует для поверки такие приборы, как топографические линейки, рейки, планиметры и курвиметры. Исходным эталоном в данной поверочной схеме является геодезический инварный жезл длиной 1,0 м, способный обеспечивать воспроизведение единицы длины с СКО не более 1,0 мкм.

В данной ЛПС качестве рабочего эталона 1-го разряда применяется инварный жезл длиной 1,0 м со средней квадратической ошибкой измерений не более 8,0 мкм. Его поверка осуществляется на компараторе путем сличения с исходным эталоном. Эталон 2-го разряда представляет собой линейку типа КЛ длиной 1,0 м, которая относится к штриховым мерам IV типа. Данные линейки поверяются методом сличения на компараторе со средней квадратической ошибкой 15,0 мкм. Данная поверочная схема применяется для поверки рабочих средств измерений, в качестве которых выступают инварные и деревянные нивелирные рейки, топографические рейки (которые могут быть изготовлены из дерева, дюралюминия или пластика), линейки Дробышева, специальные картометрические приборы (курвиметры, планиметры, картометры). Поверка этих средств измерений проводится методами прямых измерений или сличением также с помощью компаратора. Ошибки измерений при проведении поверки колеблются в диапазоне от 50 мкм до 1,0–2,0 мм.

Также автор работы [85] приводит данную ЛПС в следующем виде (рисунок 1.8).

Некоторое ее отличие от предыдущей ЛПС состоит в перечне поверяемых реек и очередности передачи единицы длины.

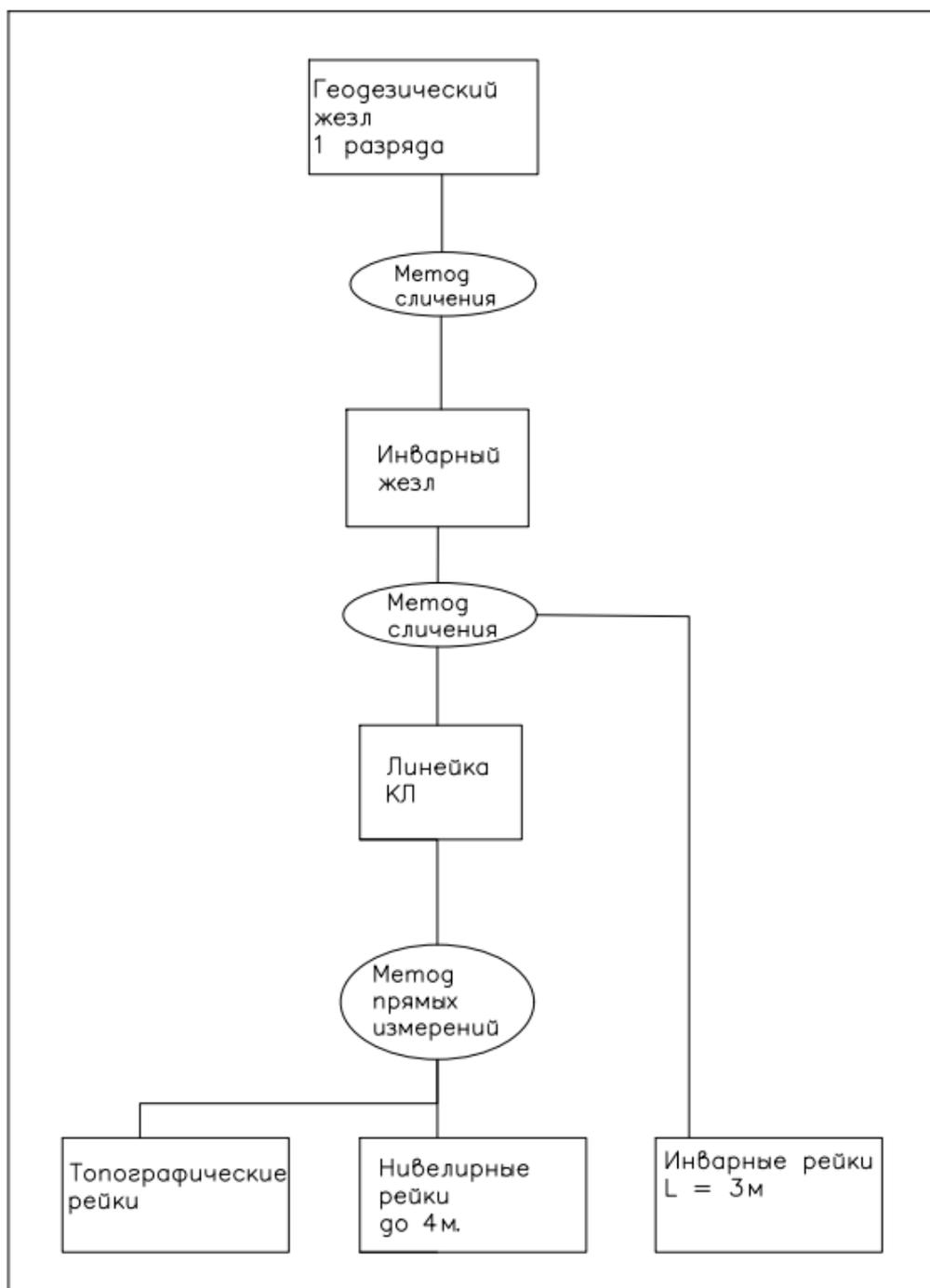


Рисунок 1.7 – Локальная поверочная схема средств измерения длины для диапазона длин до 4,0 м

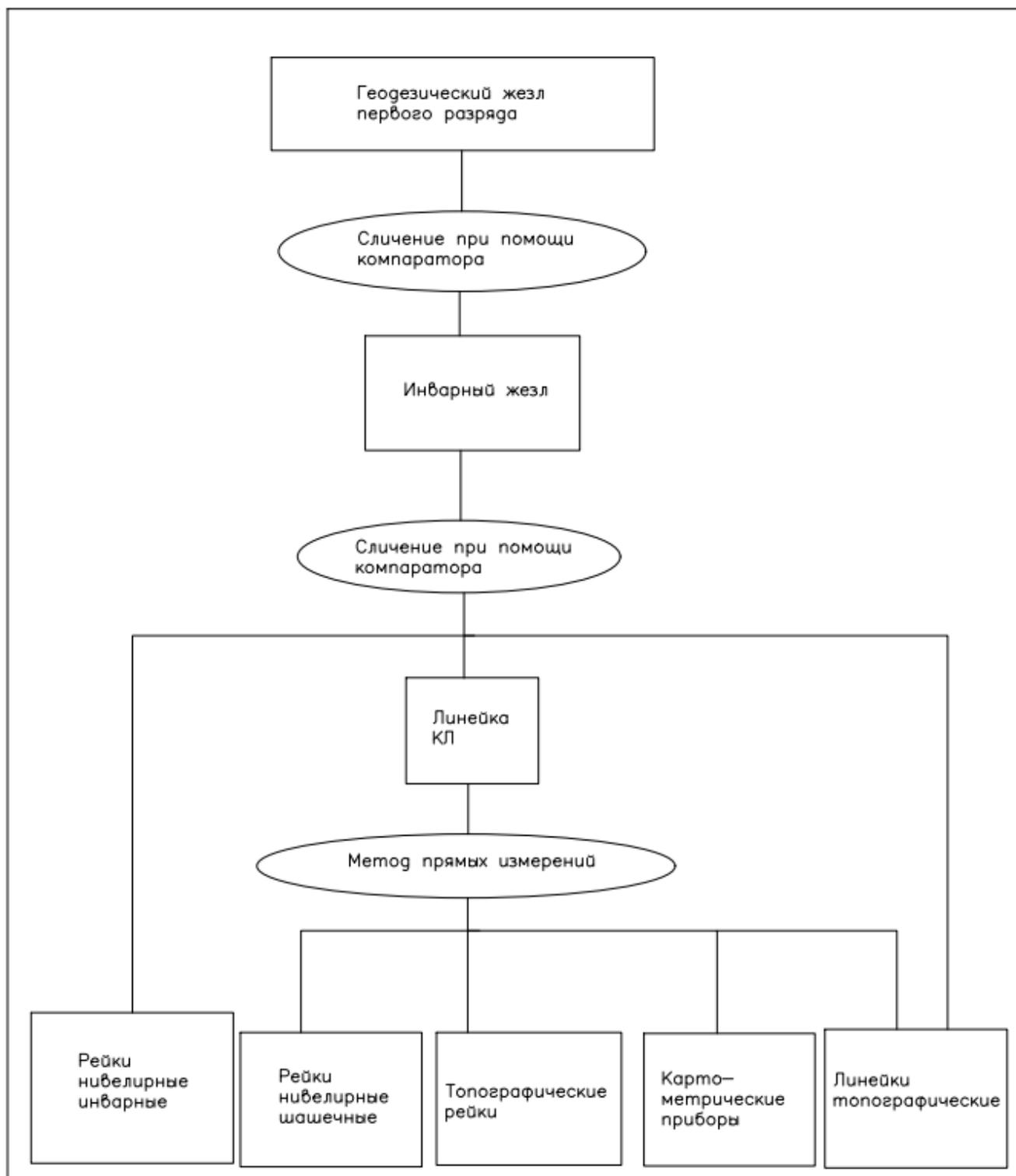


Рисунок 1.8 – Локальная поверочная схема средств измерения длины для диапазона длин до 4,0 м [85]

1.4 Постановка задач исследований

На основе выполненного анализа современного состояния теории и практики производства метрологических поверок тахеометров и светодальномеров произведем постановку основных задач исследований, которые будут рассмотрены в данной работе:

а) разработать способы метрологической поверки тахеометров и светодальномеров на основе использования метода сличения с применением в качестве эталона соответствующего разряда высокоточного фазового светодальномера (тахеометра) 1-го разряда или их группы, позволяющего выполнять эту поверку без использования стационарных эталонных базисов; при этом в качестве исходного эталона в локальной поверочной схеме также может использоваться базисный прибор БП-1 или группа высокоточных фазовых дальномеров.

Необходимость в данных исследованиях обусловлена тем, что в настоящее время метрологическая поверка тахеометров и светодальномеров производится с применением стационарных эталонных базисов соответствующего разряда. В настоящее время число таких базисов значительно сократилось из-за прекращения их метрологической аттестации и для проведения поверки тахеометров и светодальномеров необходимо переезжать на значительные расстояния;

б) разработать и выполнить исследования методики проведения метрологических поверок светодальномеров и тахеометров в лабораторных условиях. Необходимость в таких исследованиях обусловлена тем, что производить эту поверку в зимнее время с использованием стационарных базисов чрезвычайно сложно, особенно при значительном снежном покрове вдоль его пунктов и низких температурах. Кроме того, измеряемые на промплощадке расстояния находятся в пределах 20,0–150,0 м, что будет практически соответствовать измеряемым расстояниям в лабораторных условиях;

в) разработать и выполнить исследования методик проведения метрологических поверок светодальномеров и тахеометров в полевых условиях. С целью под-

тверждения достоверности получаемых результатов необходимо выполнить исследования с измерением длин линий свыше 1,0 км;

г) разработать передвижной (мобильный) стенд для метрологической поверки тахеометров и светодальномеров с использованием автомобиля на основе применения в качестве рабочего эталона соответствующего разряда высокоточного фазового светодальномера (тахеометра), позволяющий задавать непосредственно в процессе выполнения измерений эталонные линии различной длины. Необходимость в разработке такого стенда обусловлена тем, что в настоящее время метрологическая поверка тахеометров и светодальномеров производится с применением эталонных стационарных базисов соответствующего разряда, как правило, длиной до 1,5–2,0 км. Вместе с тем, при выполнении геодезических работ длина измеряемых линий может достигать 4–5 км. В этом случае результаты метрологической поверки на базисе длиной до 2,0 км принимаются справедливыми и для длин до 4–5 км, что с точки зрения метрологии не является достоверным. Поэтому предлагаемый мобильный стенд позволяет быстро производить поверку при любых длинах линий;

д) разработать стационарный полевой стенд для поверки тахеометров и светодальномеров. При проведении метрологической поверки тахеометров, кроме расстояний, измеряются горизонтальные углы и углы наклона с целью определения СКО измерений, а также колебаний коллимационной ошибки и места нуля. Существующие линейные базисы не позволяют выполнить данные поверки. Предлагаемая конструкция стационарного полевого стенда позволяет в комплексе выполнить все метрологические поверки;

е) провести апробацию предложенных способов метрологической поверки тахеометров и светодальномеров. Для подтверждения работоспособности предлагаемых способов метрологической поверки тахеометров и светодальномеров необходимо провести лабораторные и полевые исследования. Тогда на основе результатов исследований можно будет рекомендовать их для внедрения в геодезическое производство.

С учетом сказанного, научно-технической задачей данной работы будет разработка новых способов проведения метрологических поверок тахеометров и светодальномеров, которые будут соответствовать следующим основным требованиям:

- обеспечение единства измерений при передаче размера единицы длины при длинах измеряемых линий до 3,0–5,0 км;

- обеспечение получения из результатов измерений их величин СКО.

Предложенные способы не будут требовать значительных дополнительных материальных затрат и позволят осуществлять метрологическую (технологическую) поверку тахеометров и светодальномеров в относительно сжатые сроки.

2. РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ ТАХЕОМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СЛИЧЕНИЯ

2.1 Технические параметры светодальномеров и тахеометров, подлежащие метрологической поверке

В настоящее время в геодезическом производстве применяются следующие способы и средства измерения расстояний (рисунок 2.1):

- металлические рулетки, ленты и жезлы;
- оптические дальномеры;
- свето- и радиодальномеры, лазерные рулетки, лазерные трекаеры, сканеры;
- интерференционные дальномеры;
- спутниковые навигационные системы.

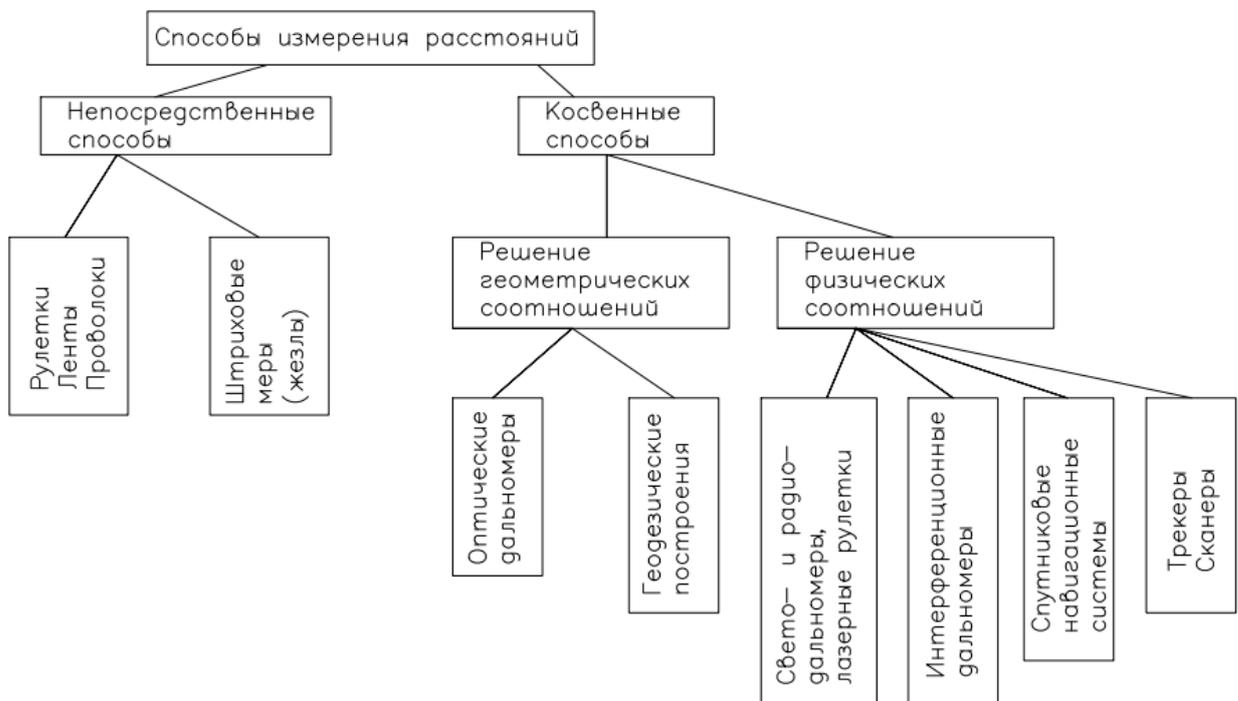


Рисунок 2.1 – Способы измерения расстояний

Характер и объем их применения зависят от решаемых геодезических задач. Поскольку для данной работы наиболее актуальными средствами измерения расстояний

являются светодальномеры и тахеометры, дальнейшее описание поверок и аттестаций будет приведено к этим приборам. Необходимо отметить, что в настоящее время тахеометры получили широкое применение при выполнении различных видов геодезических измерений [2, 3, 4, 15, 59, 60, 61, 62], и поэтому обеспечение их технических характеристик в процессе измерений является актуальной задачей.

По принципу работы светодальномеры и тахеометры подразделяются на фазовые и импульсные [20, 27, 28, 51, 55, 82].

Фазовый светодальномер определяет расстояние по разности фаз излучаемого и принятого луча.

Импульсный светодальномер – определяет расстояние по времени прохождения лучом измеряемого расстояния.

Рассмотрим метрологические характеристики светодальномеров и тахеометров, подлежащие поверке [10].

Допустимая СКО измерения расстояния одним приемом представляется [20, 85] формулой

$$m_D = a + b \cdot 10^{-6} D, \quad (2.1)$$

где a – параметр, характеризующий составляющие СКО измерения, не зависящие от расстояния, мм;

b – параметр, характеризующий составляющие СКО измерения, зависящие от расстояния;

D – измеряемое расстояние, мм.

Нормы на указанные величины устанавливаются по ГОСТ 19223, ГОСТ Р 51774 [20, 28], по эксплуатационной документации.

Относительное отклонение масштабной частоты кварцевых генераторов от номинала; норма – не более $0,5 \cdot 10^{-6} b$.

Среднее квадратическое отклонение циклической ошибки. Норма для учета – не более $2a$, а для неучета – $\leq 0,4a$.

Приборная поправка. Значение приборной поправки не нормируется. СКО определения приборной поправки – не более $0,5a$.

Ошибка оптического (лазерного) центра. Норма – не более $0,5a$.

Рассмотрим виды поверок светодалномера. В таблице 2.1 приведены наименования, типы приборов к которым применяется операция и тип поверок [10, 20, 85].

Таблица 2.1 – Виды поверок светодалномеров

Наименование операции	Типы приборов	Определение операций при поверке	
		первичной	периодической
1 Внешний осмотр и проверка комплектности	все	да	да
2 Опробование			
2.1 Проверка взаимодействия отдельных подвижных узлов и функционирования прибора	все	да	да
2.2 Проверка правильности установки уровня	все	да	да
2.3 Проверка параллельности визирной оси зрительной трубы и энергетической оси приемопередатчика прибора	все	да	да
3 Определение метрологических характеристик			
3.1. Определение СКП измерения расстояния одним приемом	все	да	да
3.2 Определение относительного отклонения масштабной частоты генератора от номинала	все у которых имеется место для подключения частотомера	да	по мере необходимости
3.3 Определение среднего квадратического уклонения циклической ошибки	все	да	то же
3.4 Определение приборной поправки	все	да	то же
3.5 Проверка встроенного оптического (лазерного) центра прибора	все	да	да

В таблице 2.2 указаны средства поверки и их метрологические характеристики [10, 85, 110].

Таблица 2.2 – Средства поверки и их метрологические характеристики

Наименование средства поверки и его метрологические характеристики	НД
Отдельные эталонные линии (в количестве не менее четырех линий), приблизительно равномерно расположенные в пределах расстояния, составляющего не менее 60 % от предельного расстояния, измеряемого поверяемым прибором. Средняя квадратическая ошибка линий должна быть не более $0,5mD$ для светодалномеров типа СП и СГ (Та2), и не более $0,33mD$ для СТ (Та5 и Та20). Например, отрезки эталонных базисов 1–3-го разряда	ГОСТ 19223 РД 68-8.17
Частотомер с диапазоном измерения частоты, содержащем в себе масштабную частоту проходящего поверку прибора, и с относительной стабильностью частоты, не превышающей $0,3 \cdot 10^{-6}$. Например, ЧЗ-54	И 22721032 ТУ
Рулетки, линейки, другие СИ, позволяющие измерять линейные отрезки длиной от 0,2 до 25 м с ошибкой не более 0,2а. Например, рулетка измерительная металлическая 3-го разряда, длиной 30 м	ГОСТ 7502
Отдельные эталонные линии длиной от 10 до 200 м, СКО которых не должна быть более 0,4а для светодалномеров типа СП, СГ и тахеометров типа Та2, и не более 0,27а для светодалномеров типа СТ и тахеометров типа Та5 и Та20. Например, отрезки эталонных базисов 1–3-го разряда	РД 68-8.17
Психрометры аспирационные, способные измерять температуру с ошибкой, не превышающей 0,2 °С. Например, психрометр аспирационный МВ-4М, с погрешностью измерения в пределах ± 2 до +6%.	ТУ Л.82.844.000
Барометры, определяющие величину давление воздуха с ошибкой, не превышающей 0,5 мм рт. ст. Например, метеорологический контрольный барометр анероид М 67	ТУ 25-04-1797-75

2.2 Способы проведения метрологической поверки тахеометров и светодалномеров

2.2.1 Технологические поверки тахеометров и светодалномеров

Перед началом производства измерений производятся технологические и метрологические поверки тахеометров и светодалномеров.

Технологические поверки начинаются с осмотра и оценки внешнего состояния и комплектности прибора. При проведении осмотра должно быть выявлено, что состояние прибора соответствует следующим требованиям [20, 86]:

– прибор, отражатели, штативы, футляры и иные составляющие комплекта не должны иметь признаков механических повреждений;

– составляющие оптической системы прибора (линзы, объективы, окуляры и т. д.) должны обеспечивать получение четких изображений наблюдаемых объектов, а сами поверхности оптических деталей прибора должны быть чистыми и не иметь следов пятен, царапин, признаков расклейки и сколов;

– комплектность набора оборудования обязана соответствовать тому комплекту поставки, который был указан в эксплуатационной документации.

Проверка взаимодействия отдельных подвижных узлов и проверка функционирования прибора осуществляется путем опробования:

– проверяется функционирование замков, винтов и прижимов, осуществляющих фиксацию прибора в кейсе, отсутствие люфта в подъемных винтах подставки прибора, легкость и плавность хода подвижных элементов прибора и подставки, а также закрепительных (при наличии) и наводящих винтов прибора;

– проверяется состояние и пригодность для работы источника питания прибора путем визуального фиксирования его состояния на экране;

– проверяется, после включения и приведения прибора в рабочее положение, соответствие выбранных режимов работы прибора установленным требованиям проведения работ;

Проверка правильности установки уровня выполняется по следующему методике. Вначале прибор приводят в горизонтальное положение. Цилиндрический (или электронный) уровень поворотом алидады прибора устанавливается напротив двух подъемных винтов, а затем этими винтами приводят пузырек уровня (в том числе электронного) в середину. Поворачивают алидаду прибора на 180° . Если пузырек отклонился от середины более чем на одно деление, то возвращают его в середину, сместив пузырек на половину подъемными винтами прибора и наполовину юстировочными винтами уровня. При необходимости процедуру повторяют. Пузырек круглого уровня устанавливают в середину исправительными винтами круглого уровня после тщательного выравнивания прибора по цилиндрическому уровню.

Проверка параллельности визирной оси зрительной трубы и энергетической оси приемопередающего канала прибора выполняется в соответствии с указаниями

эксплуатационной документации. В случае, если оптические оси систем визирования и приемопередатчика разнесены, следует воспользоваться специально изготовленной маркой, на которой наносят крест (визирная цель), марку закрепляют на отражателе таким образом, чтобы расстояние от центра отражателя до креста равнялось расстоянию между оптическими осями визирной системы и приемопередатчика прибора.

Определение СКО измерения расстояния прибором одним приемом выполняют путем измерения не менее четырех эталонных линий в диапазоне не менее 60 % от верхнего предела измерений, обеспечиваемого прибором.

Ошибка этих линий должна не должна превышать значений, указанных в таблице 2.2. Каждую линию измеряют не менее, чем четырьмя приемами. Порядок измерения линии, а также состав и количество операций, входящих в один прием, определяют в соответствии с документацией. Вычисляют СКО измерения одним приемом для каждой линии в миллиметрах по формуле:

$$m_{D_{\text{изм}}} = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}, \quad (2.2)$$

где Δ – разность между результатом измерения линии каждым приемом и эталонным значением ее ($D_{\text{изм}} - D_0$);

n – число приемов.

Результаты проверки считаются удовлетворительными в том случае, когда для каждой линии выполняется условие $m_{D_{\text{изм}}} \leq m_D$, где m_D – допустимая СКО измерения, вычисляемая по формуле (2.2).

Определение относительного отклонения масштабной частоты генератора от номинала. Данное определение выполняется только на приборах, в электронных схемах которых предусмотрены специальные выходы для подключения к нему частотомера. Измерения выполняются в соответствии с ЭД. Проверяемый прибор устанавливают в рабочее положение, к прибору подсоединяется частотомер, нахо-

дящийся в рабочем состоянии (в соответствии с ЭД). Проверяемый прибор включают и после выхода его в рабочий режим по частотомеру берут 10 отсчетов значения масштабной частоты. Вычисляют среднее значение $f_{\text{ср}}$ и уклонение от номинального значения, указанного в ЭД

$$\Delta f = f_{\text{ср}} - f_{\text{ном}}. \quad (2.3)$$

Учет температуры выполняют в соответствии с требованиями ЭД. После этого определяют величину относительного отклонения

$$\alpha = \Delta f / f_{\text{ном}}. \quad (2.4)$$

Данная величина не должна превышать величину $0,5 \cdot 10^{-6}b$.

Для нахождения среднего квадратического уклонения циклической ошибки используют полевой или лабораторный компаратор, на котором имеется возможность фиксировать одиннадцать положений отражателя. Все намеченные точки должны находиться в створе с ошибкой не более 10,0 мм.

Расстояние от прибора до компаратора устанавливают равным 5,0–25,0 м. На компараторе наносятся 10 отрезков (11 точек), длина каждого отрезка, равная $0,05\lambda$, может колебаться в пределах 10 %. Ошибка измерения каждого отрезка не хуже $0,2a$, λ – длина волны модулирующей частоты светодальномера.

Выполняют измерение линий при установке отражателя на всех 11 точках тремя приемами в прямом $D_{\text{пр}}$ и тремя приемами в обратном $D_{\text{обр}}$ направлении. Вычисляют СКО выполненных измерений по формуле [20, 85]

$$m_{\delta} = \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{4n}}, \quad (2.5)$$

где δ – разность двойных измерений, выполненных в одной точке $D_{\text{пр}} - D_{\text{обр}}$.

Величина m_{Δ} не должна превышать $0,2a$. Иначе выполняют дополнительную серию измерений в одном направлении и из всех результатов измерений в каждой точке берут среднее.

Вычисляют СКО ЦП [85]:

$$m_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{[\Delta C \Delta C]}{n}}. \quad (2.6)$$

Если $m_{\text{ц}} \leq 0,4a$, то график поправок не составляется, и в дальнейших измерениях поправки не учитываются.

Если $2a > m_{\text{ц}} > 0,4a$, то составляется график поправок, заносится в паспорт прибора и учитывается при дальнейших измерениях.

Если $m_{\text{ц}} > 2a$, то светодальномер отправляется на юстировку в мастерскую.

Проверку приборной поправки выполняют только после установки масштабной частоты в номинал и определения графика циклической ошибки. Для светодальномеров, которые имеют внешнюю дополнительную линию короткого замыкания, приборную поправку определяют при контрольном отсчете, указанном в ЭД. При отсутствии рекомендаций по определению приборной поправки в ЭД следует воспользоваться одним из трех предлагаемых ниже способов.

Способ определения приборной поправки путем измерения одной эталонной линии. Выбирают эталонную линию в пределах 10–200 м с ошибкой не более $0,3a$. Выполняют измерение линии 12 приемами в течение не менее двух часов, вычисляют среднее значение $D_{\text{ср}}$, выполняют оценку точности по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}, \quad (2.7)$$

где v – отклонение результата каждого приема от среднего значения;

n – число приемов.

Величина t не должна превышать $0,3a$.

В среднее значение вводят поправку за циклическую ошибку.

Вычисляют приборную поправку [28, 82, 85]:

$$C = D_0 - D_{\text{изм}}. \quad (2.8)$$

Способ определения приборной поправки путем измерения шести-семи линий, расположенных в створе во всех комбинациях. Линии могут быть не эталонными.

Линии примерно равномерно располагают на дистанции до 1,5–2 км. Схема расположения линий приведена на рисунке 2.2

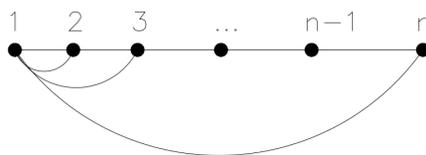


Рисунок 2.2 – Схема расположения линий

Каждую линию измеряют тремя приемами, вычисляют среднее значение, вводят поправку (при необходимости) за циклическую ошибку, редуцируют все линии на одну поверхность относимости. СКП определения приборной поправки C (или поправки ΔC к ней) по результатам уравнивания не должна превышать $0,5a$.

Если величина изменения приборной поправки превышает значение величины СКП ее определения, то в ЭД вносится новое значение.

Способ определения приборной поправки путем измерения не менее четыре эталонных линий. Длины линий должны быть равномерно распределены в пределах до 1,5–2,0 км. СКП каждой эталонной линии не должна превышать $0,4a$.

Каждую линию измеряют шестью приемами, вычисляют среднее значение, вводят поправку за циклическую ошибку.

Вычисляют приборную поправку для каждой линии [28, 82, 85]:

$$C = D_{\text{эт}} - D_{\text{изм}}. \quad (2.9)$$

Вычисляют среднее значение приборной поправки по всем линиям, выполняют оценку точности по формуле:

$$m_c = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}, \quad (2.10)$$

где $v = C_i - C_{\text{ср}}$;

n – число линий.

СКП m_c – не должна превышать $0,5a$.

Отдельно стоит рассмотреть способы определения величины Π приборной поправки, описанные в учебном пособии «Геодезия» [94] автора Уставича Г. А. Под приборной поправкой Π автор подразумевает сумму постоянной поправки комплектного отражателя и постоянной дальномера. Определение поправки Π может осуществляться тремя способами:

- путем измерения эталонного базиса 1-го или 2-го разрядов длиной 0,4–1,0 км;
- измерения длины линий во всех комбинациях;
- измерения длины линии отдельными отрезками.

В первом способе над начальной точкой базиса на низком штативе устанавливают тахеометр, а над другой точкой базиса на низком штативе устанавливают отражатель. Низкие штативы нужны для уменьшения ошибки за центрирование. Далее производится измерение расстояния $S_{\text{изм}}$. Измерение происходит в три серии, по 12 измерений в каждой из них. Далее вычисляется среднее значение величины $S_{\text{изм}}$. Значение поправки Π находится как разность эталонного значения длины базиса и среднее значение величины $S_{\text{изм}}$. Важно отметить, что для каждого расстояния величина Π может несколько отличаться, поэтому необходимо производить серии измерений на эталонных базисах разной длины.

Второй способ осуществляется следующим образом. На ровном участке местности выбирается расстояние AB длиной 100–150 м. В створе линии AB на расстоянии порядка 10 м от точки A на штативе, а точке C устанавливается тахеометр, а в точке A

на штативе устанавливается отражатель. Точка C располагается не на линии AB . Расположение точек представлено на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Графическая схема второго способа определения величины Π

Производится измерение расстояния S_{CA} . Измеренное расстояние будет содержать в себе поправку Π . После этого штатив с отражателем перемещают в точку B и производят измерение расстояния S_{CB} , которое также содержит в себе поправку Π . Исходя из этого, можно будет вычислить расстояния S_{AB}

$$S_{AB} = (S_{CB} + \Pi) - (S_{CA} + \Pi) = S_{CB} - S_{CA}. \quad (2.11)$$

Получив эталонное расстояние, далее можно будет измерить его по методике, которая была описана для первого способа и найти тем самым величину Π .

Третий способ состоит в том, что точку C располагают на линии AB , после чего производят следующие измерения (рисунок 2.4).

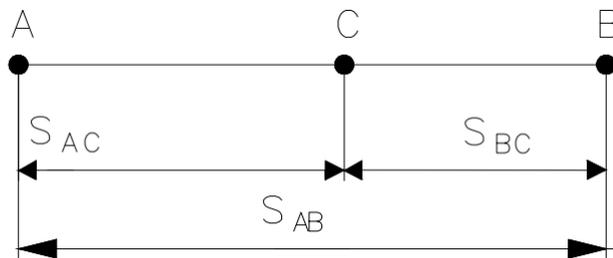


Рисунок 2.4 – Графическая схема третьего способа определения величины Π

Сначала измеряют величину S_{AB} , затем S_{AC} и S_{BC} . Получаем что $S_{AB} = S_{AC} + S_{BC}$ или $S_{AB} + \Pi = (S_{AC} + \Pi) + (S_{BC} + \Pi)$, откуда $\Pi = S_{AB} - (S_{AC} + S_{BC})$.

Важно отметить такое преимущество данного способа, как отсутствие необходимости производить центрирование тахеометра и отражателя над точками.

Кроме линейной части, тахеометра производятся исследования и поверки величины хода фокусирующей линзы зрительной трубы [40, 58].

Рассмотрим рулетки в качестве приборов для измерения расстояний и опишем их поверки.

Поверочные работы и методы со средствами поверки для измерительных рулеток приведены в таблице 2.3 [85].

Таблица 2.3 – Виды поверок средств линейных измерений

Содержание поверочных работ	Методы и средства поверки	Класс, разряд рулетки
Поверка внешнего вида рулетки и ее технического состояния	Осуществляется путем визуального осмотра и опробования	1-й, 2-й, 3-й
Поверка общей длины поверяемой рулетки и длины некоторых участков ее шкалы	Поверка проводится на механическом компараторе с применением образцовой ленты 2-го разряда или с применением образцового штрихового метра 1-го разряда	Образцовые рулетки 3-го разряда, рабочие рулетки 1-го класса
Поверка общей длины исследуемой рулетки и длины некоторых участков ее шкалы	Поверка осуществляется на механическом компараторе с применением образцовой ленты 3-го разряда	Рабочие рулетки 2-го и 3-го классов

Поверку внешнего вида рулеток и их технического состояния осуществляют методом визуального осмотра и опробования. При визуальном осмотре фиксируют:

- наличие или отсутствие дефектов, которые ухудшают внешний вид поверяемой рулетки и затрудняют снятие по ней отсчетов (рабочие поверхности рулеток должны быть чистыми и не содержать следов ржавчины, коррозии, пятен, а также затрудняющих снятие отсчетов царапин);

- соответствие нанесенных на полотно делений поверяемой рулетки шкал и подписей ее типу;

- качество нанесения на полотно поверяемой рулетки штрихов и подписей (штрихи и подписи поверяемой рулетки должны хорошо читаться);

- прямолинейность шкалы рулетки.

При последующим осуществлении опробования поверяемой рулетки проверяют качество сборки и взаимодействия составляющих ее элементов.

Методика поверки длины рулетки зависит от класса рулетки [85]. Так измерительная рулетка 1-го класса поверяется с применением механического компаратора, который представляет собой узкий горизонтальный стол, с использованием образцовой ленты 2-го разряда. Если же такой ленты нет, то применяется образцовый штриховой метр 1-го разряда.

Измерительные рулетки 2-го и 3-го классов поверяются с помощью эталонной ленты 3-го разряда и механического компаратора по той же схеме измерения, которая была приведена выше при поверке рабочей рулетки 1-го класса.

2.2.2 Способы метрологической поверки тахеометров и светодальномеров с применением эталонных базисов

Для проведения метрологических поверок различных дальномеров требуется наличие эталонных базисов. Согласно СТО-02570823-19-05 [88] под эталонными линейными базисами следует понимать следующие построения.

Эталонные линейные базисы (ЭБЛ) представляют собой геодезические построения прямолинейной формы, которые состоят из линейных интервалов различной

длины. Эти линейные интервалы определяются с заданной точностью и фиксируются на местности определенным образом, как правило, бетонными тумбами. Каждый линейный интервал базиса может выступать в качестве эталонного только в том случае, если на текущий момент времени его длина определена с такой точностью, которая соответствует заявленному (утвержденному) разряду эталонного средства измерения [5, 22, 23, 49, 51, 54, 74, 86, 88].

Эталонные линейные базисы (далее – эталонные базисы) классифицируются по следующим основным параметрам:

- его назначению (например, 1-го или 2-го разряда) в общей поверочной схеме;
- точности определения длин составляющих их линейных интервалов, зафиксированных на местности геодезическими знаками;
- числу линейных интервалов и общей длине всего базиса.

Согласно локальной поверочной схеме из РД 68-8.17 [78], линейные базисы представляют из себя эталоны хранения длины, разряд которых представлен в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Точностные характеристики эталонных базисов

Наименование и разряд базиса	СКО значения длины интервалов, мм
1 Эталонный линейный базис 1-го разряда	$(0,1 - 0,3) + 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot D$
2 Эталонный линейный базис 2-го разряда	$0,4 + 0,7 \cdot 10^{-6} \cdot D$
3 Эталонный линейный базис 3-го разряда	$(0,5 - 1) + 2 \cdot 10^{-6} \cdot D$

Конструкция линейных базисов должна соответствовать следующим требованиям. Общая длина эталонного линейного базиса 1-го разряда должна быть не менее 1,0 км. Он должен включать в себя не менее четырех линейных отрезков. Каждый линейный отрезок (секция) такого базиса должен быть кратным 24 м. Пункты базиса закладываются на местности фундаментальными центрами (бетонными тумбами с центрирующим устройством). Общий уклон трассы не должен быть более 1/100. Все интервалы эталонного линейного базиса 1-го разряда определяются

с СКО измерения расстояния, приведенной в таблице 2.4. Пункты базиса должны быть расположены в створе. Допускаемая величина их нестворности не должна быть более 2 см при расстояниях до 480 м и не должна быть более 5 см при расстояниях до 1 500 м.

Общая длина эталонного линейного базиса 2-го разряда должна быть не менее 1,5 км. Начальный и конечный пункты базиса, а также те пункты, которые расположены на расстояниях 288, 480, 984, 1 488, 2 016 и т. д. м от начального пункта базиса закладываются в виде фундаментальных центров. Промежуточные пункты базиса, расположенные на расстояниях 24, 96 м от начального пункта, закрепляются на местности фундаментальными центрами. Все линейные отрезки (интервалы) базиса должны быть определены с ошибкой, приведенной в таблице 2.4. Общий уклон трассы не должен быть более $1/20$. Пункты базиса также должны быть расположены в створе. Допускаемая величина нестворности эталонного линейного базиса 2-го разряда не должна быть более 5 см при расстояниях до 500 м и не должна превышать 10 см при больших расстояниях.

Минимальная допустимая длина интервала эталонного линейного базиса 3-го разряда, которая будет измеряться, должна быть равной 24 м (длина инварной проволоки), а длина всего базиса должна быть не менее 1 км. Пункты базиса закрепляются на местности фундаментальными центрами. Все длины интервалов на базисе определяются с ошибкой, приведенной в таблице 2.4. Общий уклон трассы не должен быть более $1/10$. Допустимая нестворность пунктов эталонного линейного базиса не должна быть более 10 см при расстояниях до 1 км и не должна превышать 20 см – при больших расстояниях.

Все эталонные базисы должны проходить периодическую метрологическую аттестацию. В качестве эталонных средств измерений, при метрологической аттестации эталонных линейных базисов, должны использоваться специальные средства линейных измерений, которые, в свою очередь, также прошли процедуру поверку с помощью вышестоящего эталонного средства, и имеющие специальное свидетельство установленного образца.

Приборы, которые рекомендовались для метрологической аттестации эталонных линейных базисов в конце XX века и начала XXI, представлены в таблице 2.5 [20, 51, 54, 55, 78, 82]. В настоящее время часть из них уже не применяется, а применяется, например, тахеометр ТМ30. Вместе с тем, базисный прибор БП-1 остается и в настоящее время одним из основных средств поверки базисов.

Таблица 2.5 – Измерительные средства для метрологической аттестации ЭЛБ

Наименование, тип прибора	Изготовитель	Диапазон измерений	Средняя квадратическая ошибка измерений, мм
ИПЛ-30 К1 измеритель перемещений лазерный	Россия, Новосибирский приборостроительный завод им В. И. Ленина	0–30 м	$0,1 \cdot 10^{-6} \cdot D$
ИПЛ-МП измеритель перемещений лазерный	Россия, Новосибирский приборостроительный завод им В. И. Ленина	0–60 м	$0,1 \cdot 10^{-6} \cdot D$
Светодальномер МЕКО-МЕТР ME5000	Швейцария («Керн»)	1 м–8,0 км	$0,2 + 0,2 \cdot 10^{-6} \cdot D$
Светодальномер СП2 «ТОПАЗ»	Россия, УОМЗ	0,5–2,0 км	$1 + 1 \cdot 10^{-6} \cdot D$
Базисный прибор БП-1	Россия, ЭОМЗ	0–12 км	$1,0 \cdot 10^{-6} \cdot D$
Электронный тахеометр Elta S10	Карл Цейс Иена	2 м–3,5 км	$1 + 2,0 \cdot 10^{-6} \cdot D$

Кроме вышеперечисленного, важно также отметить следующее. Проводимые для эталонных базисов 1-го разряда измерения осуществляются двумя комплектами инварных проволок прибором БП-1. Проводимые для эталонного базиса 2-го разряда измерения осуществляются одним комплектом инварных проволок прибором БП-1. Процесс измерений осуществляется по методике – МИ БГЕИ 34-00 [54].

Одним из основных источников ошибок линейных измерений светодальномерами и тахеометрами является наличие «постоянной» поправки, которая может иметь в современных приборах незначительную величину.

Рассмотрим методики проведения поверки «постоянной» поправки.

Так, автор работы [105] Шевчук П. М. предлагает методику определения «постоянной» поправки и светодальномеров по результатам продольных невязок ходов полигонометрии. Автор статьи, исходя из того, что поправки прибора могут изме-

ниться в период между эталонированием приборов, предлагает методику, основанную на том, что «постоянную» поправку дальномеров можно определять в ходе проведения полевых работ. Для этого поправку следует представить, как систематическую ошибку измерения длины каждой линии хода. В работе представлены теоретические формулы и полученные на практике данные для вытянутых и изогнутых ходов полигонометрии. На их основе был сделан вывод, что данная методика решает как задачу ослабления совместного влияния систематических ошибок в линейных измерениях, так и ошибок искажения исходной сети перед уравниванием.

Данная методика имеет следующие недостатки:

- для определения поправки необходимо прокладывать полноценный полигонометрический ход. В случае значительной по величине поправки полученные в процессе проложения хода данные полевых измерений в дальнейшем не могут быть использованы;
- данная методика требует существенных временных затрат и подходящих для выполнения измерений полевых условий;
- в полученных невязках невозможно будет разделить систематическую и случайную составляющие ошибок измерений.

Бронштейн Г. С. в своих работах [7–9] также отмечает необходимость определения величины «постоянной» поправки в период между эталонированием прибора, и при отсутствии полевого эталонного базиса предлагает методику, основанную на проведении серии измерений отрезков произвольной длины, расположенных в створе. Измерения следует проводить в створе целиком и по его частям (во всех комбинациях). Данная методика позволяет нам как определять поправку для того, чтобы проконтролировать ее неизменность перед началом полевых работ, так и получить ее новое значение, которое в дальнейшем будет использоваться при вычислении длин линий. В работе автор приводит достаточную доказательную базу такого метода осуществления контроля, а также описывает достаточное число измерений, которые необходимо производить при данном способе определения поправки.

В данной методике можно выделить следующие недостатки:

- необходимость создания створа в полевых условиях и сопряженные с его созданием проблемы;
- данная методика требует существенных временных затрат и подходящих для выполнения измерений полевых условий;
- несмотря на то, что методика предполагает создание отрезков произвольной длины, достаточно сложно будет реализовывать их большие значения.

В другой своей работе автор [9] описывает методику одновременного определения приборной и периодических поправок светодалномера. Автор вновь подчеркивает, что методика применима в тех случаях, когда нет полевого компаратора и эталонных линий (базисов), и, как и у прошлого автора, основана на измерении расстояния в различных комбинациях. Автор подчеркивает, что поскольку происходит совместное определение поправок, то число линий и установок прибора можно сократить. В своей работе автор приводит конкретные величины длин линий – 9; 12; 13; 17 и 6 м и подробно описывает методику и порядок проведения измерений, а также полученные в ходе проведения измерений данные. На их основе автор делает вывод, что данная методика обладает целесообразностью и достаточной точностью одновременного контроля приборной и периодической поправок светодалномера.

В данной методике можно выделить следующие недостатки:

- необходимость создания створа в полевых условиях и сопряженные с его созданием проблемы;
- данная методика требует существенных временных затрат и подходящих для выполнения измерений полевых условий;
- одновременный контроль сразу двух поправок не позволяет нам исследовать каждую величину по отдельности.

Проводя исследования светодалномеров, авторы Ипатов И. И. и Марков А. Н. в своей работе [38] заметили, что при определении «постоянной» поправки светодалномера на базисах до 200 м заметной зависимости ее от расстояния выявлено не

было, а на базисах, длина которых превышает 500 м, величина поправки начинает зависеть от длины. Авторы работы предполагают, что это происходит из-за величины напряжения на фотоэлектронном умножителе. Далее они проводят серию наблюдений на базисах различной длины, в ходе которых гипотеза была экспериментально подтверждена. Действительно, при использовании одной призмы на отражателе с возрастанием расстояния приходилось увеличивать напряжение на ФЭУ, что приводило к увеличению ошибок измерения.

Недостатком такого метода определения величины ошибки является необходимость использования эталонного базиса, чтобы определить фактическую величину ошибки.

Интересный способ оценки точности измерения расстояний с применением спутникового геодезического оборудования предложили в своей работе [107] авторы Широф Ф. В., Татевян Р. А. и Кафтан В. И. Их метод подразумевает использование интервалов эталонных базисов для оценки точности измерения больших расстояний. Суть способа заключается в том, что один спутниковый приемник (обозначим его как опорный) устанавливается на удаленном от эталонного базиса пункте, а другой – поочередно на пунктах базиса. Длину каждого эталона базиса в дальнейшем можно будет определить через векторные линии измеренных расстояний. В своей работе авторы произвели несколько серий измерений с различных опорных пунктов, и полученные ими результаты говорят о том, что предложенный способ подходит для оценки измерения длинных сторон геодезической цепи. Метод представляет огромный интерес с точки зрения того, что может использоваться и на расстояниях в несколько сотен километров. Схема метода приведена на рисунке 2.5 [107].

Недостатками метода являются:

- необходимость проведения оценки в сжатый промежуток времени, что обусловлено использованием спутникового оборудования.
- необходимо использовать эталонный базис.

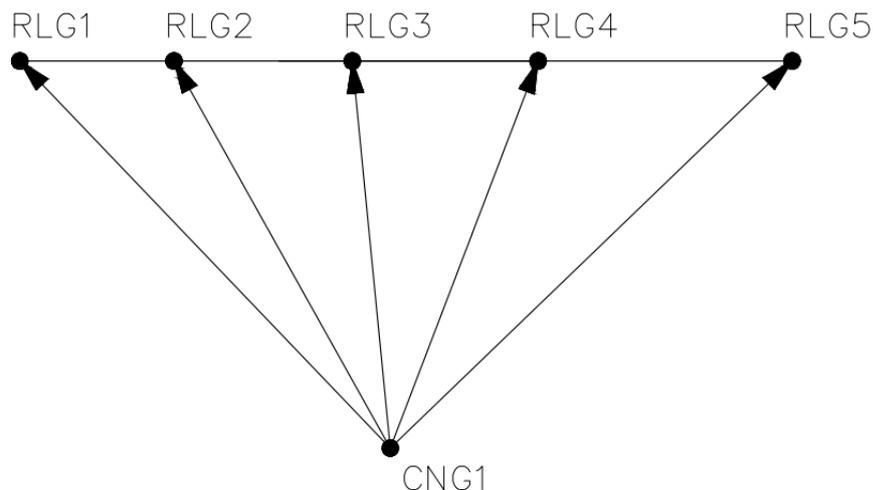


Рисунок 2.5 – Схема выполнения поверки

В работе авторов Шанурова Г. А. и Шакмеева Р. Р. [103] было проведено исследование влияния кривизны траектории электромагнитных волн на измерение расстояний. Авторы обозначили, что геометрическое расстояние, которое нам необходимо определить при измерении длин может не совпадать с тем, как распространяются колебания электромагнитных волн, поскольку для них характерно распространение по кривой, называемой рефракционной. Согласно принципу Ферма, сигнал, таким образом, проходит по кратчайшему оптическому пути. Авторы поставили перед собой задачу выявить влияние этого явления на результаты измерений в оптическом и радиодиапазоне. Для этого были произведены теоретические расчеты при параметрах атмосферы, близких к стандартным. На их основе авторы пришли к выводам, что для радиодальномеров и наземных радиогодезических систем дополнительная поправка начинает чувствоваться с расстояния 50 км. На более коротких расстояниях же она незначительна. При измерениях же в оптическом диапазоне поправки становятся значимыми на базах в 30–50 км, если имеются в виду сочетание светодальномерных измерений с измерениями спутниковыми системами.

Это исследование, как и работа Ипатова И. И. и Маркова А. Н., имеет огромное значение при создании полевых базисов. Недостатком исследования можно разве что выделить тот факт, что для введения поправки необходимо определить вертикальный градиент индекса преломления, что является крайне сложной задачей.

Рассмотрим работу авторов [97], в которой был предложен способ создания эталонного базиса 1-го или 2-го разряда. Способ предполагает создание базиса длиной более 3 км с расстояниями между столбами 720 м. Между первыми двумя столбами (А и Б) необходимо иметь как можно более ровную площадку, для более эффективного измерения расстояния интерферометром или инварными проволоками. Между первым и последующими пунктами достаточно иметь прямую видимость. Столбы в дальнейшем бетонируют, гнездовые центры в них устанавливают в створ по программе последовательных створов и дают время тумбам на стабилизацию (2–3 месяца). После этих процедур переходят к процессу эталонирования. Для начала на полученном базисе измеряют расстояние АБ, в рамках измерений на пункте А располагают светодальномер, а на пункте Б – отражатель. Полученное расстояние без введения поправок за метеоусловия будет считаться «условным», но оно будет равно эталонному расстоянию, измеренному базисным комплектом. Далее с минимальным перерывом во времени светодальномер переставляют на пункт Б, а отражатель на следующий пункт (пункт В). После этого перемещением отражателя на пункте В и без введения поправок за метеоусловия откладывают расстояние, равное ранее измеренному АБ, которое будет равно эталонному БВ, равному расстоянию, ранее измеренному базисным комплектом. Далее процедуру повторяют на всех последующих пунктах. Графически способ представлен на рисунке 2.6.

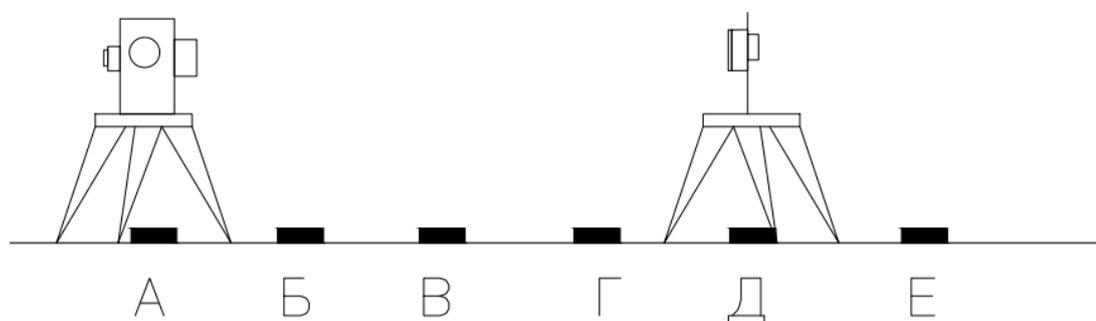


Рисунок 2.6 – Схема выполнения метрологической поверки

Достоинством предложенного метода является возможность создания базисов требуемой длины с минимальными затратами средств и времени. Такие базисы бу-

дуют пригодны для эталонирования в диапазоне измеряемых длин аттестуемых светодальномеров более низкой точности.

Недостатками предложенного метода будут являться его непригодность для срочных полевых поверок, привязанность к местности, дороговизна реализации и достаточно длительная подготовительная часть (на создание только тумб может уйти несколько месяцев).

Принципиально важную методику аттестации предложил автор работы [96]. В данной работе автор предлагает технологическую схему передвижного мобильного базиса, включающую конструкцию базиса и методику выполнения исследований. По своей конструкции передвижной базис состоит из общей платформы, со штативом, на которую устанавливают светодальномеры и теодолит, и отражателя. Поверка по предложенной методике может производиться либо с применением двух образцовых фазовых светодальномеров, либо с применением образцового светодальномера и теодолита. Конструкционная схема устройства представлена на рисунке 2.7.

При использовании образцового светодальномера и теодолита процедура аттестации проходит следующим образом. В точке А устанавливают платформу с приборами, а в точку Б – отражатель образцового комплекта. Платформу приводят в рабочее положение, а затем двумя светодальномерами измеряют расстояние до точки Б. Затем, при помощи теодолита, платформу разворачивают на 180 градусов и повторяют измерения. Затем отражатель перемещают в точку В и процедуру проводят повторно.

Во втором варианте, основанном на применении сразу двух образцовых светодальномеров, разворачивать платформу не имеет смысла, так как расстояние между центрами светодальномеров выдержано с точностью 0,1 мм. Методика аттестации по данной схеме аналогична предыдущей, за исключением того, что расстояние поочередно измеряется сначала левым образцовым светодальномером, затем поверяемым, а потом правым образцовым светодальномером и вновь поверяемым. В результаты измерений вносятся поправки, поскольку образцовые и поверяемые светодальномеры измеряют разные расстояния.

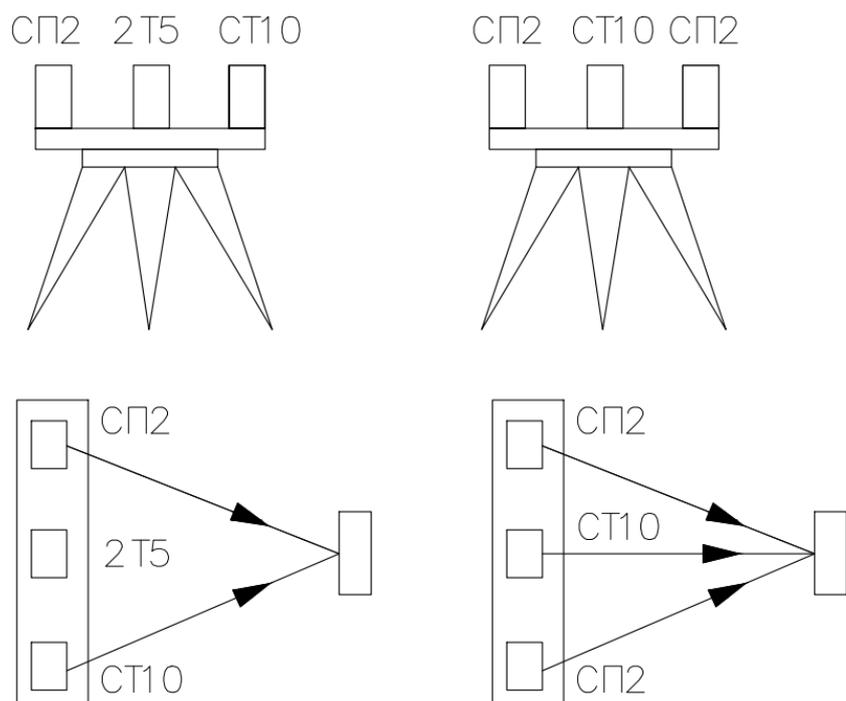


Рисунок 2.7 – Конструкционная схема передвижного эталонного базиса

Рассмотрим достоинства предложенного метода. Основное достоинство заключается в том, что нет необходимости вносить поправки за метеоусловия. Также такая методика поверки обладает существенной мобильностью.

Недостатками данной методики являются следующие факторы. Для осуществления поверки необходимо иметь сразу несколько эталонных устройств (два эталонных светодальномера или эталонный светодальномер и теодолит), а также должна иметься в наличии специально изготовленная платформа.

2.3 Разработка способов метрологической поверки с применением эталонных фазовых светодальномеров

Выше был дан анализ методик метрологической поверки тахеометров и светодальномеров, основанных на применении локальной поверочной схемы (см. рисунок 1.5). Ее реализация может быть осуществлена с использованием двух поверочных ветвей:

- с применением эталонных базисов прямыми измерениями;

– с применением высокоточных фазовых дальномеров методом сличения.

Реализация первой ветви основана на использовании стационарных эталонных базисов 1-го и 2-го разрядов, имеющих набор эталонных расстояний. Длины этих эталонных расстояний определяются методом прямых измерений с помощью комплекта БП-1, являющегося исходным эталоном и состоящим из восьми инварных проволок.

Реализация этой ветви требует соблюдения следующих основных технологических требований:

- наличие стационарных эталонных базисов 1-го или 2-го разрядов, расположенных по всей территории РФ;
- периодическая метрологическая аттестация стационарных эталонных базисов 1-го или 2-го разрядов;
- обеспечение сохранности пунктов эталонного базиса;
- обеспечение стабильности положения пунктов базиса, особенно в зоне вечной мерзлоты;
- выполнение метрологической поверки рабочих средств измерений (светодальномеров и тахеометров) только в полевых условиях;
- введение поправок за метеоусловия.

Соблюдение пятого требования предусматривает выполнение метрологической поверки тахеометров в течение всего года и практически при любых погодных условиях. Это означает, что данная поверка может выполняться и в зимнее время при минусовых температурах, а также при значительной высоте снежного покрова. Следует отметить, что в организационном отношении выполнение данного требования довольно сложно. Также она требует значительных материальных и финансовых затрат.

Реализация второй ветви основана на использовании высокоточных фазовых дальномеров, с помощью которых методом сличения создаются эталоны 1-го 2-го разрядов, а методом прямых измерений создаются стационарные эталонные базисы 3-го разряда. После этого на данных базисах производится поверка рабочих средств

измерений (тахеометров). В данной поверочной ветви отсутствуют этапы создания эталонных базисов 1-го и 2-го разрядов.

Таким образом, в данном случае при создании базиса 3-го разряда производится замена комплекта БП-1 на высокоточный фазовый дальномер. В дальнейшем поверка рабочих тахеометров производится по аналогии первой ветви с присущими ей недостатками, указанными выше.

С целью исключения указанных недостатков существующей локальной поверочной схемы автором работы [96] была предложен способ реализации второй ветви поверки без промежуточного создания стационарных базисов по всей территории РФ. Необходимо отметить, что и предлагаемый автором работы [96] способ также предусматривает выполнение метрологической поверки тахеометров методом сличения (рисунок 2.8). Ее реализация возможна практически только в полевых условиях путем измерения длинных расстояний, что является ее недостатком. Вместе с тем, практика эксплуатации тахеометров показывает, что значительная их часть применяется в условиях, где измеряемые расстояния не превышают 150–200 м (промышленные и строительные площадки, топографические съемки в городах, строительство автомобильных и железных дорог и т. д.). С учетом этого для таких условий эксплуатации тахеометров их метрологическую поверку можно проводить в пределах указанных расстояний, например, в лабораторных условиях или на промплощадке, где используется данный тахеометр.

В связи с этим нами также предлагаются схемы метрологической поверки, основанные на передаче размера единицы длины высокоточным тахеометром методом сличения, которые можно реализовать как в полевых, так и в лабораторных условиях. При этом их реализация может быть осуществлена как в полевых, так и в лабораторных условиях двумя способами:

- поочередным измерением одиночного расстояния эталонным и поверяемым электронными тахеометрами с их последующей перестановкой в трегерах;
- одновременным измерением двух расстояний эталонным и поверяемым электронными тахеометрами также с их последующей перестановкой в трегерах

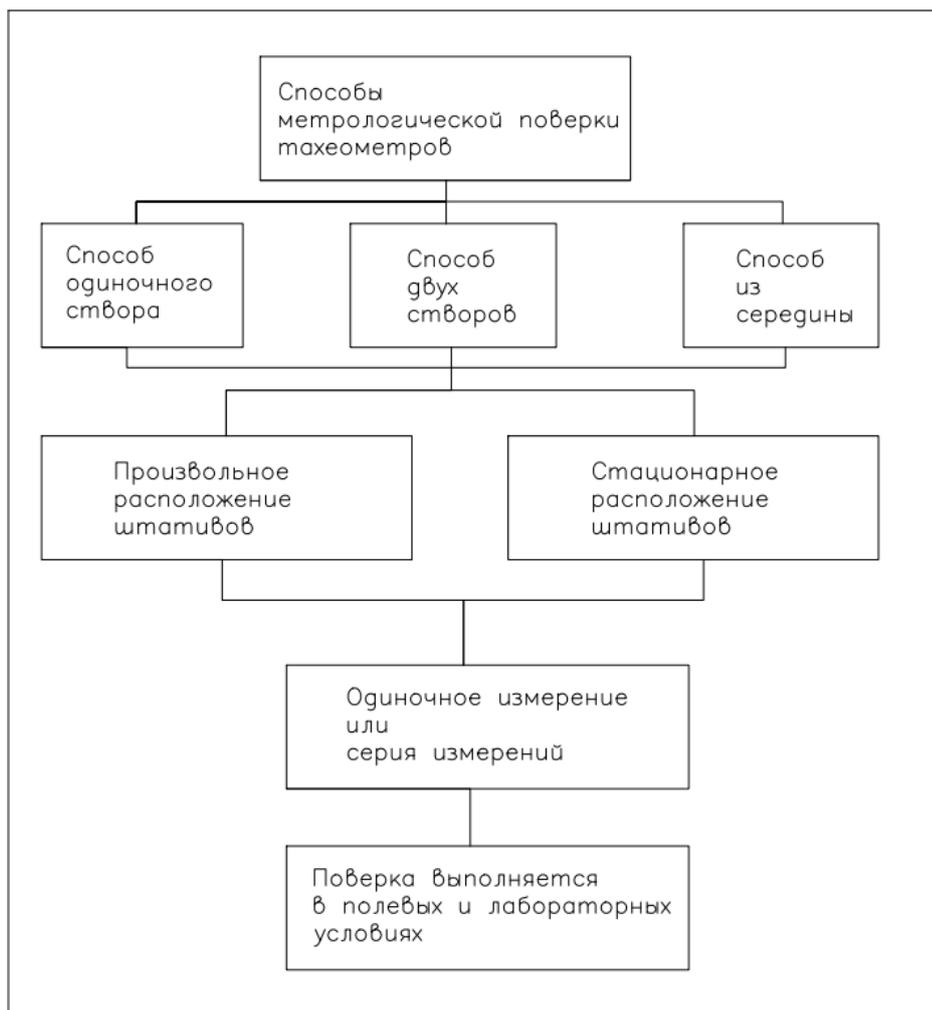


Рисунок 2.8 – Способы метрологической поверки методом сличения

Важным моментом при проведении метрологической поверки методом сличения является установление эталонного фазового светодальномера (тахеометра), который затем будет применяться при измерениях. Такой светодальномер может быть выбран на основе последовательной передачи размера единицы длины с использованием локальной поверочной схемы. Последовательность (этапы) передачи размера единицы длины с использованием предлагаемой методики показаны на рисунке 2.9.

В данной последовательности передачи размера единицы длины положен размер единицы длины, который воспроизводится УВТ, которая, как известно, в настоящее время включает в себя комплект следующих средств измерений (см. рисунок 1.4):

- набор линейных базисов длиной от 24 до 1 000 м;
- высокоточный фазовый светодальномер;

– набор средств для определения метеопараметров вдоль линейных базисов.

Так как в комплект УВТ входит набор линейных базисов, то целесообразно в него включить и базисный прибор БП-1, которым поверяются эти базисы.

Первым этапом передачи размера единицы длины является создание комплекта УВТ. Для передачи единицы длины на линейный базис УВТ используются комплекты БП-1, которые, в свою очередь, поверяются методом сличения при помощи компаратора геодезическими жезлами длиной 4,0 м.

Вторым этапом является создание исходного эталона, состоящего из группы высокоточных фазовых светодалномеров. Передача размера единицы длины (метрологическая поверка) на эти светодалномеры производится дважды (для контроля):

- методом сличения с использованием высокоточного светодалномера;
- методом прямых измерений с использованием линейного базиса.

Третий этап заключается в передаче размера единицы длины методом сличения на рабочий эталон 1-го разряда, которым будет являться эталонный высокоточный фазовый светодалномер.

Четвертый этап заключается в создании методом прямых измерений двух региональных линейных базиса 1-го разряда: на Европейскую часть РФ, а также на территорию Западной и Восточной Сибири и Дальнего Востока. Эти базисы будут являться рабочим эталоном 1-го разряда для контрольной (при необходимости) метрологической поверки эталонных высокоточных фазовых светодалномеров 1-го и 2-го разрядов.

Таким образом, передача размера единицы длины на эталонные светодалномеры 1-го или 2-го разрядов может быть выполнена с применением группы фазовых светодалномеров (исходного эталона) методом сличения или стационарного базиса 1-го разряда методом прямых измерений.

Пятый этап передачи размера единицы длины заключается непосредственно в метрологической поверке методом сличения рабочих средств измерений.



Рисунок 2.9 – Последовательность (этапы) передачи размера единицы длины

С учетом сказанного рассмотрим отдельные методики выполнения проверок тахеометров, которые могут быть реализованы с применением предлагаемых способов. Проверки производятся методом непосредственного сличения. Их реализация может производиться следующим образом [101]:

- путем измерения отдельного расстояния AB (рисунок 2.10, *а*);
- измерением расположенных по одному створу нескольких расстояний AB , AC , AD (рисунок 2.10, *б*);
- измерением расположенных по двум створам двух расстояний AC и BC с перестановкой тахеометров в трегерах и нахождением среднего из двух (рисунок 2.10, *в*);

- измерением расположенных по двум створам нескольких расстояний с перестановкой тахеометров и нахождением среднего из двух для каждого (рисунок 2.10, *з*);
- измерением нескольких расстояний из середины *A* (рисунок 2.10, *д*).

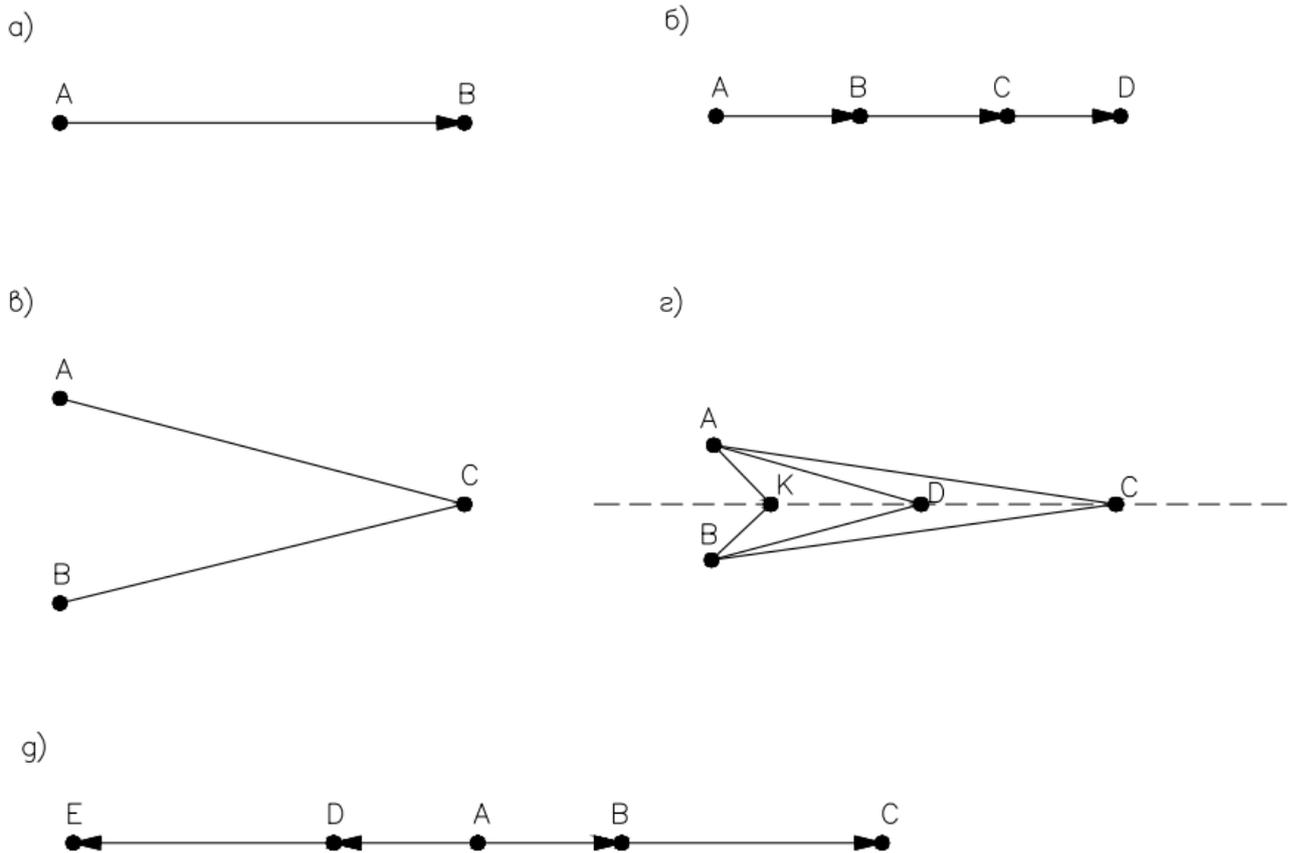


Рисунок 2.10 – Схемы измерения эталонных расстояний

Рассмотрим достоинства предлагаемых способов метрологической поверки методом сличения:

- для выполнения метрологической (технологической) поверки не требуется наличия стационарного эталонного базиса;
- результаты линейных измерений не отягощены нестабильностью положения пунктов базиса (величина этой нестабильности в межповерочный интервал может достигать 0,5–2,0 мм);
- в связи с тем, что измерения эталонным и поверяемым тахеометрами производятся во времени практически одновременно, в результаты измерений обоих расстояний (горизонтальных проложений) нет необходимости введения поправок за

метеоусловия, так как в этом случае идет сравнение двух расстояний, отягощенными одинаковыми поправками за эти метеоусловия;

- поверку можно проводить при длинах измеряемых линий до 3,0–5,0 км;
- выполнять поверку можно практически в любом месте на местности и для любых расстояний;
- поверки методом сличения могут быть реализованы при измерении коротких (в лаборатории) или длинных расстояний (в полевых условиях);
- использование при измерении расстояния одного и того же отражателя исключает введение в полученные результаты постоянной поправки отражателя;
- используя данную поверочную схему исключаются ошибки за центрирование приборов и отражателя, поскольку для установки эталонного и поверяемого тахеометров мы используется один и тот же трегер;
- установка штативов с грузами практически исключает возможность изменения его пространственного положения;
- значительно уменьшаются финансовые затраты.

Также важным достоинством данных способов поверки является возможность производить измерения произвольных длин расстояний, а также расстояний, зафиксированных штативами или тумбами.

Измерение произвольных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами необходимо производить не менее чем 3–5 сериями по 15–20 измерений в каждой серии с последующим нахождением СКО этих измерений по формуле Бесселя, а затем разности средних значений измеренных расстояний в каждой из серий.

Измерение зафиксированных штативами или тумбами расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами может производиться 3–5 сериями по 15–20 измерений в каждой серии в прямом направлении, а затем и в обратном. Затем также находится СКО этих измерений по формуле Бесселя, а затем разности средних значений измеренных расстояний в каждой из серий как в прямом, так и в обратном направлениях.

При этом во всех случаях при выполнении измерений производится перестановка в трегерах эталонного и поверяемого тахеометров.

Важным моментом при выполнении поверки предлагаемыми способами является также выполнение, при необходимости, определения постоянной прибора и циклической поправки по известным методикам.

При выполнении исследований в качестве эталонных тахеометров принимались Leica TM30 и Leica TCR1201, которые обеспечивают СКО измерений расстояний $m = 0,6 + 1,0 \text{ ppm}$ и $m = 1,0 + 1,5 \text{ ppm}$, соответственно.

2.4 Совершенствование способа поверки тахеометра измерением отдельного расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами

Практикой проведения метрологических поверок с использованием эталонных базисов установлено, что получаемые результаты измерений на коротких и длинных расстояниях стационарных базисов практически равнозначны в отношении оценки точностных характеристик поверяемого тахеометра. В связи с этим в случаях выполнения работ на промплощадке, при случайном механическом ударе или экспертной поверке выполнить метрологическую (технологическую) поверку можно в лабораторных условиях или непосредственно на промплощадке.

Максимальное расстояние, которое может быть измерено в лабораторных условиях, не превышает 100–150 м, а на промплощадке 250–300 м. Следовательно, данная поверка может быть выполнена только в пределах длин этих расстояний. Вместе с тем данное обстоятельство не может быть препятствием для объективной оценки фактической точности поверяемого тахеометра.

Также проведение поверки на коротких расстояниях возможно в тех случаях, когда даже наличие эталонных базисов не позволяет выполнить поверку из-за значительных низких температур (свыше 20–25 °С) или высокого снежного покрова вдоль пунктов базиса. Ожидать улучшения этих внешних условий в подавляющем большинстве случаев не представляется возможным из-за экономических факторов (ограничением срока командировки, необходимостью выполнения работ данным тахеометром на объектах или участием в торгах на выполнения работ).

Другим обстоятельством возможности проведения метрологической поверки на коротких расстояниях является еще и тот факт, что длины стационарных базисов, на которых производится эта поверка, как правило, не превышают 1,0–1,2 км. Вместе с тем, предел измерения расстояний тахеометрами доходит до 3,0–4,0 км и в этих случаях результаты поверок на базисах с указанными длинами считаются достоверными, как и для расстояний 1,0–1,2 км.

Реализация данного способа в лабораторных условиях или на промплощадке может быть выполнена с использованием:

- двух металлических стационарных тумб (в лаборатории);
- одной металлической стационарной тумбы и штатива (в лаборатории);
- двух штативов (в лаборатории или на промплощадке).

Назначение металлических тумб и штативов заключается в установке на них тахеометров и отражателя.

Для проведения поверки потребуются следующий набор приборов и приспособлений:

- эталонный и поверяемый тахеометры;
- штативы и два трегера;
- один отражатель;
- два груза массой 5–7 кг.

Сущность способа поверки заключается в измерении одного и того же одиночного расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами (рисунок 2.11). При этом эталонный тахеометр предварительно должен быть поверен на базисе соответствующего разряда и иметь соответствующие документы о прохождении поверки.

При реализации способа в точках *A* и *B* (см. рисунок 2.11) на этих штативах (или тумбах) устанавливаются, соответственно, эталонный тахеометр и отражатель. Для обеспечения получения качественных результатов поверки необходимо выполнить следующие требования:

- штативы должны быть исправными без люфтов в соединениях;
- с целью исключения смещений штативов их ножки должны быть установлены в углублениях;

- измерения желательно выполнять с низких штативов;
- если используются стационарные тумбы, то они должны быть устойчивыми.

Если поверка выполняется в лабораторных условиях, то расстояния между штативами (тумбами) выбирается, исходя из размеров помещения.

При выполнении поверки на промплощадке штативы с подвешенными грузами должны устанавливаться на бетонное основание или на твердый грунт (затем дается 10–15 минут на стабилизацию их положения).

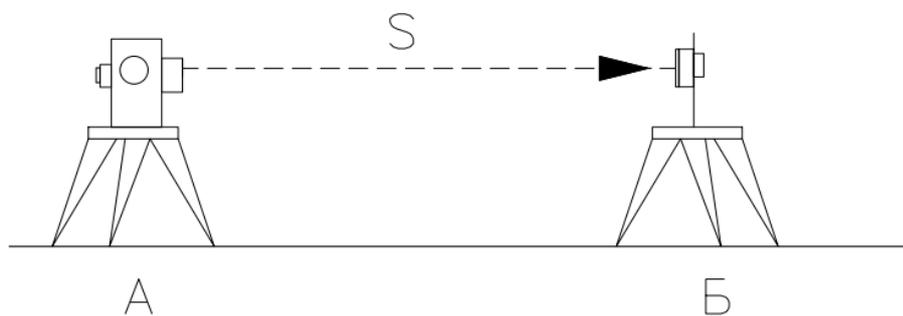


Рис. 2.11 – Схема метрологической поверки тахеометров

После выполнения указанных требований приступают к измерениям. Для этого на произвольном расстоянии друг от друга устанавливаются на штативах *A* и *B*, соответственно, эталонный тахеометр и отражатель, тщательно приводятся в рабочее положение и проверяется их устойчивость. Для придания штативу большей устойчивости (рисунок 2.12) снизу к каждому из них крепится груз.

После этого на один из штативов устанавливается эталонный тахеометр, а на другой – отражатель. Эталонный тахеометр приводится в рабочее положение, устанавливается режим съемки с использованием отражателя и производится измерение расстояния 10 циклами по 15 приемов в каждом цикле. По окончании выполнения измерений эталонный тахеометр вынимается из трегера и на его место устанавливается поверяемый тахеометр. Аналогичным образом после установки режима съемки с использованием отражателя также производится 10 циклов измерения расстояния, по 15 приемов в цикле.



Рисунок 2.12 – Штатив с грузом

В нашем случае поверка выполнялась в лабораторных условиях и в качестве эталонного тахеометра была выбрана модель Leica TM30, а поверяемого Leica TCR405 (СКО измерения расстояния $2,0 \text{ мм} + 2,0 \text{ ppm}$).

Результаты измерения расстояния тахеометром Leica TM30 и величины средних расстояний в циклах представлены в приложении А, а тахеометром Leica TCR405 – в приложении Б.

Обработка результатов измерений выполняется в несколько этапов. Для начала, в каждом цикле измерений вычисляется среднее значение измеренного расстояния каждым тахеометром. Затем для каждого тахеометра вычисляется величина отклонения измеренных в цикле расстояний от полученного среднего расстояния. Полученные величины отклонений используются для определения величины СКО по формуле Бесселя.

В заключительной части обработки результатов измерений необходимо вычислить среднее значение между всеми 10 циклами для каждого тахеометра. Их разность и будет выступать в качестве величины, на которую отличаются результаты измерений эталонным и поверяемым тахеометрами. Полученные разности приведены в таблице 2.6 и на рисунке 2.13.

Таблица 2.6 – Разности измеренного расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами, $S = 105 \text{ м } 715 \text{ мм}$

Номера циклов	Средние значения расстояний		Разности Δ , мм TM30– TCR405
	Leica TM30	TCR405*	
1,6	105 м 715, 3 мм	105 м 716,6 мм	-1,3
	105 м 715, 2 мм	105 м 717,1 мм	-1,9
2,7	105 м 715,2 мм	105 м 717,1 мм	-1,9
	105 м 715,2 мм	105 м 717,5 мм	-2,3
3,8	105 м 715,2 мм	105 м 717,2 мм	-2,0
	105 м 715,2 мм	105 м 717,3 мм	-2,1
4,9	105 м 715,2 мм	105 м 717,4 мм	-2,2
	105 м 715,2 мм	105 м 717,2 мм	-2,0
5,10	105 м 715,2 мм	105 м 717,3 мм	-2,1
	105 м 715,2 мм	105 м 717,2 мм	-2,0

* Средние значения результатов измерений.

Результатами измерений было установлено, что для эталонного тахеометра Leica TCR1201 величина среднего расстояния их всех 10 циклов получилась равной $S_{\text{TM30 ср.}} = 105 \text{ м } 715,2 \text{ мм}$, а для поверяемого Leica TCR405 равной $S_{405 \text{ ср.}} = 105 \text{ м } 717, 2,0 \text{ мм}$. Таким образом максимальная разность средних измеренных расстояний оказалась равной $\Delta S = -2,3 \text{ мм}$.

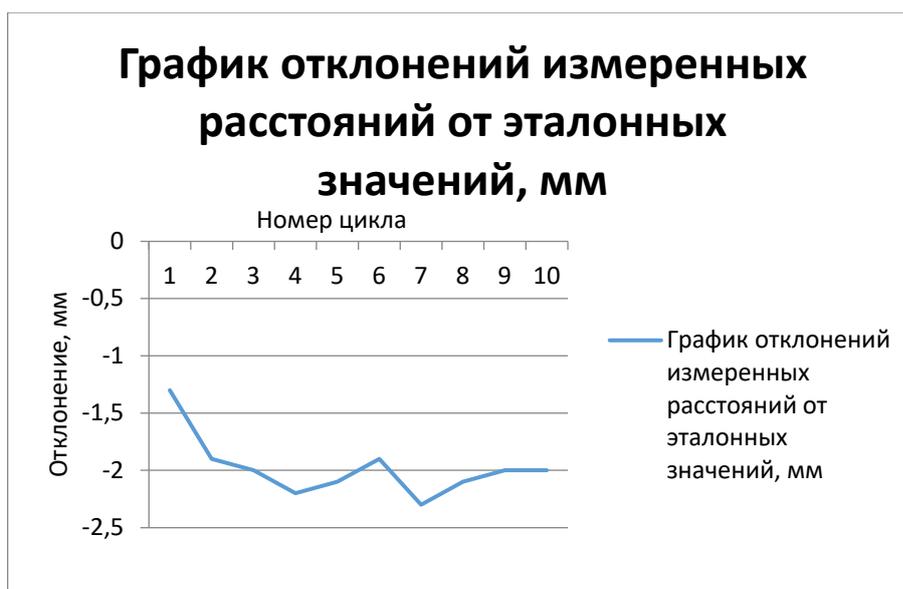


Рисунок 2.13 – График отклонений измеренных расстояний от эталонных значений

Аналогичным образом были выполнены исследования для меньшего расстояния. Полученные разности приведены в таблице 2.7 и на рисунке 2.14.

Таблица 2.7 – Разности измеренных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами, $S = 84 \text{ м } 468 \text{ мм}$

Номера циклов	Средние значения расстояний		Разности Δ , мм
	TCR1201	TCR405*	TCR 1201 – TCR405
1,6	84 м 468, 6 мм	84 м 470,0 мм	-1,4
	84 м 468, 5 мм	84 м 470,4 мм	-1,9
2,7	84 м 468, 7 мм	84 м 470,7 мм	-2,0
	84 м 468, 6 мм	84 м 470,3 мм	-1,5
3,8	84 м 468, 5 мм	84 м 470,2 мм	-1,7
	84 м 468, 5 мм	84 м 470,5 мм	-2,0
4,9	84 м 468, 4 мм	84 м 470,2 мм	-1,8
	84 м 468, 4 мм	84 м 469,5 мм	-1,1
5,10	84 м 468, 5 мм	84 м 469,8 мм	-1,3
	84 м 468, 6 мм	84 м 470,1 мм	-1,5

Примечание – Средние значения результатов измерений.

Как и для расстояния 105 м 715 мм максимальная разность эталонного и измеренного расстояния в данном случае оказалась не более $\Delta S = -2,0 \text{ мм}$.



Рисунок 2.14 – График отклонений измеренных расстояний от эталонных значений

Рассмотрим достоинства данной методики метрологической поверки:

- используя данную поверочную схему, мы исключаем ошибки за центрирование приборов, поскольку для установки эталонного и поверяемого тахеометров мы используем один и тот же трегер;
- специальная установка штативов исключает возможность изменения расстояния между ними;
- использование одного и того же отражателя исключает поправку при изменении расстояния с его использованием;
- лабораторные условия позволяют нам проводить измерения в среде, стабильной по своим параметрам (температура, давление, влажность и т. д.).

В качестве недостатка способа можно выделить присутствие некоторого интервала времени, который проходит между измерениями, осуществленными эталонным и поверяемым тахеометрами. Также недостатком является ограниченность пространства лаборатории, в которой проходят измерения. В большинстве лабораторий не удастся установить штативы на значительном расстоянии друг от друга, что несколько сокращает число исследованных расстояний.

Для специализированной организации, занимающейся метрологической поверкой геодезических приборов, в том числе и электронных тахеометров, целесообразно выполнять измерения с применением одной или двух металлических тумб.

Если будет использоваться одна тумба, то на ней при выполнении измерений поочередно устанавливается эталонный и поверяемый тахеометр, а на штативе устанавливается отражатель. При использовании двух тумб отражатель также устанавливается на одной из них.

Достоинства применения тумб следующие:

- в процессе выполнения измерений значительно увеличивается стабильность положения тахеометров и отражателя;
- так как при использовании двух тумб будет иметь место принудительное центрирование, то тем самым будет задан стационарный базис, что будет являться дополнительным контролем результатов поверки.

2.5 Разработка способа метрологической поверки измерением двух расстояний с перестановкой тахеометров в трегерах

Произвести повышение точности и надежности получаемых результатов метрологической поверки можно с применением поверочной схемы, при реализации которой измеряются два эталонных расстояния. При ее реализации могут использоваться:

- два штатива для установки эталонного и поверяемого тахеометров и один штатив для установки отражателя;
- две металлические тумбы для установки эталонного и поверяемого тахеометров и один штатив для установки отражателя;
- две металлические тумбы для установки эталонного и поверяемого тахеометров и одна тумба для установки отражателя.

Во всех случаях при выполнении измерений в точках A и A_1 (рис. 2.15) на штативах (тумбах) устанавливаются, соответственно, эталонный Leica TCR1201 и поверяемый Leica TCR405 тахеометры, а в точке B , на штативе (тумбе), устанавливается отражатель.

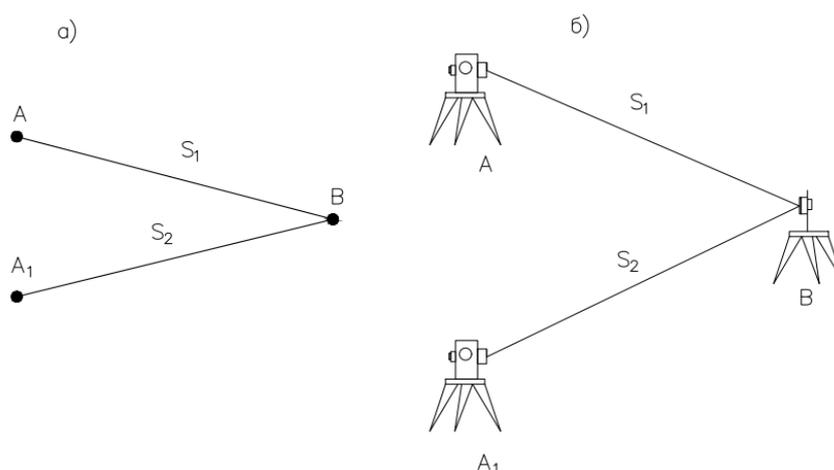


Рисунок 2.15 – Схема поверки тахеометра измерением двух эталонных расстояний

Если будут использоваться штативы, то требования к обеспечению их устойчивости указаны выше. Для удобства выполнения измерений расстояние между

штативами A и A_1 можно делать равным 50–60 см (рисунок 2.16). При этом расстояния AB и A_1B между собой могут отличаться на любую величину, например, на 10–30 см. Это обусловлено тем, что измерение каждого расстояния будет производиться при двух установках тахеометров (эталонного и поверяемого) на штативы A и A_1 с последующим нахождением средних значений измеренных ими расстояний.

После приведения эталонного и поверяемого тахеометров в рабочее положение их зрительные трубы наводятся на один отражатель и наблюдатель поочередно, с интервалом не более 10–15 с (можно и одновременно), выполняет измерение линии. В этом случае эталонным тахеометром, установленным на штативе A , измеряется линия AB , а поверяемым, установленным на штативе A_1 , измеряется линия A_1B .

Измерение двух линий каждым тахеометром производится пятнадцать раз, что составляет одну серию. Число таких серий может составлять 8–10 (приложение В).

После этого тахеометры аккуратно вынимаются из треггеров и переставляются местами. В этом случае эталонный тахеометр будет установлен на штативе A_1 , а поверяемый – на штативе A . После этого снова пятнадцать раз выполняется измерение линий эталонным и поверяемым тахеометрами, соответственно, линий A_1B и AB (приложение Г).

Последовательность обработки результатов измерений следующая:

- вычисляется среднее значение измеренного расстояния в каждом цикле для эталонного и поверяемого тахеометров;
- вычисляется величина отклонения измеренных в цикле расстояний от полученного среднего расстояния в цикле. Полученные величины отклонений используются для определения величины СКО по формуле Бесселя;
- вычисляются средние значения измеренных расстояний S_1 и S_2 для всех десяти циклов для эталонного и поверяемого тахеометров по формуле

$$2\Delta = \left(S_{1\text{ ср}} + S_{2\text{ ср}} \right)_{\text{этал. прибор}} - \left(S_{1\text{ ср}} + S_{2\text{ ср}} \right)_{\text{повер. прибор}}. \quad (2.12)$$



Рисунок 2.16 – Пример установки тахеометров на бетонное основание для выполнения поверки

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

Значения полученных разностей приведены в таблице 2.8 и на рисунке 2.17.

Таблица 2.8 – Разности измеренных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами

Номера циклов	Средние значения двойных расстояний (AB и A_1B)		Двойные разности Δ , мм	Разности, мм
	TCR1201	TCR405	TCR 1201 – TCR405	TCR 1201 – TCR405
1,6	105 м 818,9 мм	105 м 822,2 мм	-3,3	-1,65
	105 м 818,9 мм	105 м 822,2 мм	-3,3	-1,65
2,7	105 м 818,8 мм	105 м 822,3 мм	-3,5	-1,75
	105 м 818,8 мм	105 м 822,1 мм	-3,3	-1,65
3,8	105 м 818,9 мм	105 м 822,3 мм	-3,4	-1,70
	105 м 818,8 мм	105 м 822,1 мм	-3,3	-1,65
4,9	105 м 818,8 мм	105 м 822,1 мм	-3,3	-1,65
	105 м 818,8 мм	105 м 822,2 мм	-3,4	-1,70
5,10	105 м 818,8 мм	105 м 822,4 мм	-3,6	-1,80
	105 м 818,8 мм	105 м 822,1 мм	-3,3	-1,65

Графическое отображение результатов измерений показано на рисунках 2.17–2.19.



Рисунок 2.17 – График отклонений измеренных расстояний от эталонных значений

Таким образом, достоинством данного способа является:

- возможность выполнения метрологической поверки в любое время в течение всего года;
- выполнение измерений практически в одних метеорологических условиях, что исключает необходимость введения поправок.

Выполним теперь сравнение результатов поверки тахеометра по способам, указанным в 2.4 и 2.5 с использованием таблиц 2.7 и 2.8. Из таблиц следует, что получаемые результаты метрологической поверки следующие:

- разности эталонного и поверяемого тахеометров с использованием двух методик имеют один знак (в нашем случае знак «минус»);
- значения разностей в циклах практически равны между собой (см. рисунок 2.16);
- среднее значение этих разностей равно 1,70 мм (при использовании первой методики оно равно 2,0 мм).



Рисунок 2.18 – Значения разностей отклонений для двух методик

На рисунке 2.19 приведены разности отклонений от эталонных значений измеренных расстояний двумя способами по абсолютной величине

Из этого следует, что предлагаемые способы метрологической (технологической) поверки работоспособные. Разности отклонений от эталонных значений каждой их них и между собой не превышают 1,0 мм.



Рисунок 2.19 – Значения разностей отклонений для двух способов

2.6 Разработка стационарного лабораторного стенда для поверки тахеометров

2.6.1 Поверка тахеометра измерением одиночного эталонного расстояния

Как уже указывалось ранее, одним из недостатков стационарных эталонных базисов является трудность, в организационном отношении, производить поверку тахеометров в зимний период при наличии снежного покрова, а также значительных низких температур. С учетом этого нами были разработаны две схемы эталонного базиса на основе использования эталонного тахеометра, которые можно реализовать на промплощадке инженерного сооружения или с использованием производственных помещений:

- схема, в основе которой лежит поочередное измерение эталонным и поверяемым тахеометрами одиночного расстояния;
- схема, в основе которой лежит одновременное измерение эталонным и поверяемым тахеометрами двух расстояний.

Реализация схемы лабораторного базиса с использованием двух рядом стоящих производственных или любых других помещений производится следующим образом. В одном из помещений на уровне второго или третьего этажа выбирается окно с устойчивым подоконником, который будет использоваться для установок и закрепления станowymi винтами одного или двух тахеометров (рисунок 2.20), а на расстоянии 150–300 м выбирается другое помещение, на подоконнике которого в трегере будет устанавливаться отражатель. Если организация занимается поверкой геодезических приборов, то отражатель может быть закреплен на стене здания стационарно в удобном для выполнения измерений месте.

Для надежной установки тахеометров в подоконнике высверливается отверстие под становые винты трегеров, в которых будут устанавливаться эталонный и поверяемый тахеометры. С целью прохождения лучей лазеров в однородной воздушной среде при выполнении измерений расстояние между осями вращения тахеометров должно быть в пределах 350–400 мм.

Другим способом установки тахеометров является применение одного или двух штативов с грузами (рисунок 2.21).



Рисунок 2.20 – Схема установки тахеометров на подоконник



Рисунок 2.21 – Схема установки тахеометров на штативы

Поверка с поочередным измерением эталонным и поверяемым тахеометрами одиночного расстояния выполняется следующим образом. Перед началом измерений окно открывается и в течение некоторого времени температура в помещении выравнивается с наружной. Это необходимо для того, чтобы не было турбулентности воздуха на границе раздела температур, особенно в зимнее время. При открытом окне граница раздела температур будет происходить в районе объективов тахеометров. Также не рекомендуется выполнять измерения и в летний период после дождя, так как в этот период возможны конвекционные (вследствие испарения) потоки воздуха. В связи с тем, что отражатель будет находиться вне помещения, то его необходимо периодически протирать.

После этого на подоконнике в точке *A* (рисунок 2.22, *a*) устанавливается эталонный тахеометр и тремя-четырьмя сериями по 15 отсчетов в каждой серии измеряется расстояние *AB*. По окончании измерений эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера и на его место устанавливается поверяемый тахеометр, которым также тремя-четырьмя сериями по 15 отсчетов в каждой серии измеряется расстояние *AB*. Так как трегеры тахеометров закреплены станowymi винтами, то их положение при смене местоположения не изменится.

Если установить тахеометры на подоконнике не представляется возможным, то эта установка может быть произведена на устойчивом штативе в точке *C* (рисунок 2.22, *б*).

При наших исследованиях было выполнено семь серий измерений.

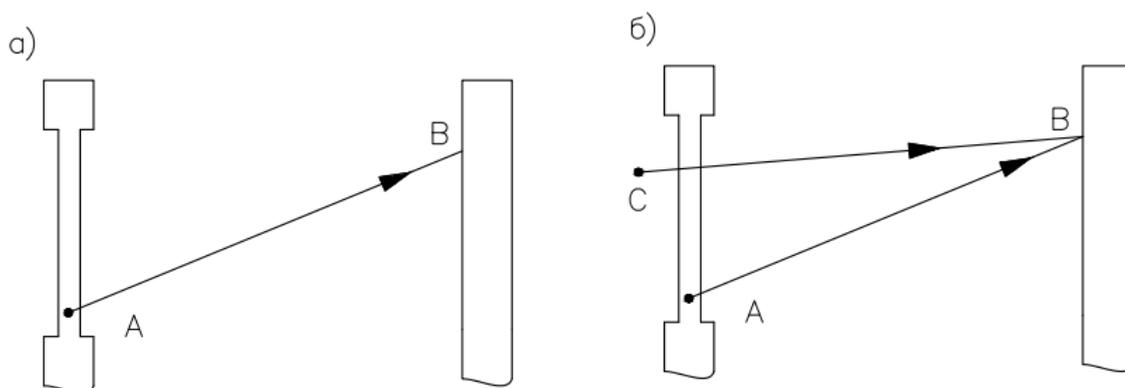


Рисунок 2.22 – Схема поверки измерением одиночного расстояния

После выполнения измерений вычисляются (таблица 2.9):

- значения средних расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- СКО измерения расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами;
- разности средних расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами.

Таблица 2.9 – Средние значения измеренных одиночных расстояний

Номера серий	Средние значения расстояний		Разности Δ , мм
	TCR1201	TCR405	TCR 1201 – TCR405
1	87 м 893,62 мм	87 м 894,22 мм	-0,60
2	87 м 893,72 мм	87 м 894,00 мм	-0,28
3	87 м 893,41 мм	87 м 893,84мм	-0,43
4	87 м 893,46 мм	87 м 894,11 мм	-0,65
5	87 м 893,54мм	87 м 893,73 мм	-0,19
6	87 м 893,64мм	87 м 894,05мм	-0,41
7	87 м 893,53 мм	87 м 893,72мм	-0,19

Если поверяться будут сразу несколько тахеометров, то последующие измерения ими производятся аналогичным образом. При этом повторные измерения эталонным тахеометром можно не выполнять.

2.6.2 Поверка тахеометра измерением двух эталонных расстояний

Перед проведением поверки данным способом проводятся аналогичные подготовительные действия, как и при измерении одиночного расстояния. После этого в точках A и A_1 (рисунок 2.23, a) также на подоконнике устанавливаются и закрепляются, соответственно, эталонный и поверяемый тахеометры и производится измерение расстояний AB и A_1B также тремя-четырьмя сериями по 15 отсчетов в каждой серии.

Затем тахеометры аккуратно вынимаются из трегеров, переставляются местами и снова тремя-четырьмя сериями по 15 отсчетов в каждой серии измеряются расстояния AB и A_1B .

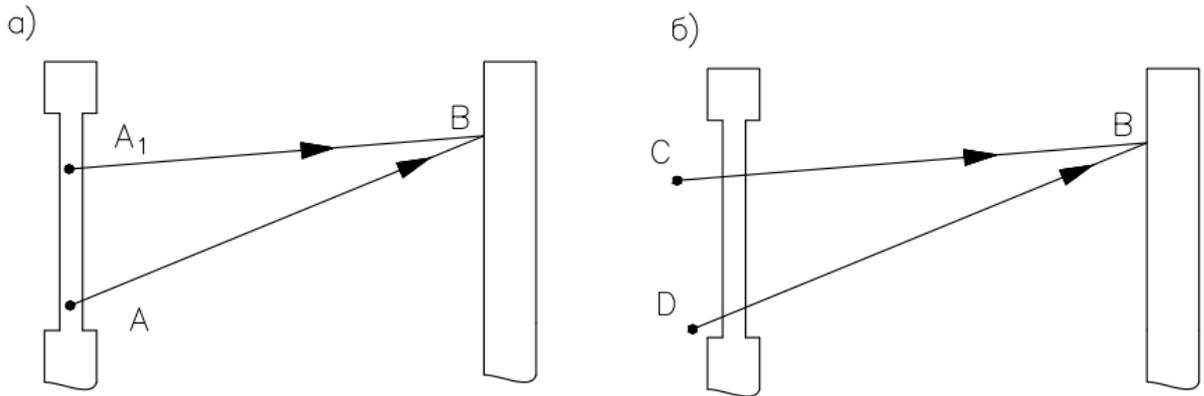


Рисунок 2.23 – Схема поверки измерением двух расстояний

Если выполнить установку тахеометров на подоконнике не представляется возможным, то она может быть осуществлена на двух устойчивых штативах (рисунок 2.23, б).

При наших исследованиях было выполнено три серии измерений (таблица 2.10).

По окончании измерений производятся вычисления аналогичные вычислениям в разделе 2.5.

Таблица 2.10 – Разности измеренных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами

Номера циклов	Средние значения двойных расстояний		Двойные разности Δ , мм	Разности, мм
	TCR1201	TCR405	TCR 1201 – TCR405	TCR 1201 – TCR405
1	168 м 412,42 мм	168 м 412,84 мм	-0,42	-0,21
2	168 м 412,34 мм	168 м 412,96 мм	-0,62	-0,31
3	168 м 412,32 мм	168 м 412,90 мм	-0,58	-0,29
4	168 м 412,38 мм	168 м 412,73 мм	-0,35	-0,18
5	168 м 412,30 мм	168 м 412,80 мм	-0,50	-0,25
6	168 м 412,36 мм	168 м 412,58 мм	-0,32	-0,16
7	168 м 412,23 мм	168 м 412,52 мм	-0,29	-0,14

В таблице 2.11 приведены значения результатов поверки тахеометра двумя способами, из которой следует, что разности имеют одинаковый знак и примерно одинаковую величину. Это свидетельствует о том, что обе схемы поверки работоспособны и тахеометр LEICA TCR405 имеет систематическую ошибку (поправку Δ) в пределах $-0,16$ – $-0,40$ мм.

Таблица 2.11 – Значения разностей измеренных расстояний

Номера серий	Средние значения разностей		Среднее значение, мм
	Для одиночного расстояния	Для двух расстояний	
1	-0,60	-0,21	-0,40
2	-0,28	-0,31	-0,30
3	-0,43	-0,29	-0,36
4	-0,65	-0,18	-0,42
5	-0,19	-0,25	-0,22
6	-0,41	-0,16	-0,28
7	-0,19	-0,14	-0,16

2.6.3 Исследование точности поверки тахеометра измерением через стекло

Выше указывалось, что одним из организационных недостатков существующей локальной поверочной схемы поверки тахеометров на стационарных базисах является значительная трудность ее проведения в зимнее время. Очевидно, что если в зимнее время использовать и предлагаемую методику, то при открытом окне, на границе значительного раздела двух температурных сред (градиентов от $+20$ до -15 °С) будет значительная турбулентность воздуха в районе объектива зрительной трубы. В связи с этим встает вопрос о возможности выполнения поверки при закрытом окне. Поэтому применительно к данному способу нами были выполнены исследования, которые включали в себя:

– одиночная серия измерение расстояний и углов наклона высокоточным тахеометром LEICA TCR1201 при открытом и закрытом окне с целью апробации возможности выполнения поверки данной методикой;

– поверка тахеометра LEICA TCR405 измерением одиночного расстояния при закрытом окне.

Измерение углов наклона проводилось с целью контроля наличия конвекционных потоков воздуха на границе раздела двух сред «помещение – внешняя среда». Если на границе раздела будут конвекционные потоки воздуха, то, в свою очередь, будет значительно изменяться величина угла наклона.

Оконный пакет состоял из трех стекол, и их качество не соответствовало требованиям, предъявляемым для изготовления оптических деталей. Поэтому с целью ослабления влияния трех пластинок стекла перед началом измерений были выполнены следующие мероприятия:

- места установок тахеометров выбирались с таким расчетом, чтобы в месте прохождения лучей через стекло не было искажений его структуры;
- перед началом измерений выбранный участок стекла тщательно очищался;
- так как стекло представляет собой плоскопараллельную пластину, то с целью значительно ослабления влияния изменения направления хода лучей лазера взаимное расположение тахеометров и отражателя позволяло направлять луч практически перпендикулярно этому стеклу;
- в процессе выполнения измерений стекло было неподвижным;
- боковые засветки и солнечные лучи отсутствовали;
- аккумуляторы были полностью заряжены.

Так как измерения выполнялись со штативов, то расстояние от объективов тахеометров до стекла было в пределах 1 200–1 300 мм.

Исследования выполнялись в летний период времени при температуре воздуха в помещении + 22 °С и при наружной температуре +18 °С.

Измерения расстояний тахеометром LEICA TCR1201 выполнялись сначала при открытом окне. Всего было выполнено 5 циклов измерений. Результаты измерений расстояний и углов наклона высокоточным тахеометром LEICA TCR1201 при открытом окне представлены в приложении Д.

Из анализа приложения Д следует, что результаты измерений расстояний и углов наклона стабильны, что свидетельствует об отсутствии влияния внешних воз-

мушающих воздействий: колебания измеренных расстояний находится в пределах 0,10–0,40 мм, а углов наклона 1,0–3,0".

После завершения измерений через открытое окно они были выполнены через закрытое окно. Результаты измерений тахеометром LEICA TCR1201 при закрытом окне приведены в приложении Е.

Из приложения Е следует:

- значения углов наклона в приемах уменьшилось на 2,0–3,0";
- значения измеренных расстояний увеличилось на 8,0–10,0 мм.

В таблице 2.12 приведены отклонения от среднего значения измеренных расстояний через открытое окно, из таблицы следует, что одно отклонение достигает 0,42 мм, а остальные отклонения в среднем равны 0,10–0,20 мм.

Таблица 2.12 – Отклонение измеренных расстояний через открытое окно от среднего

Номера приема	Тахеометр LEICA TCR1201				
	Циклы измерений				
	1	2	3	4	5
	δ , мм	δ , мм	δ , мм	δ , мм	δ , мм
1	0,18	0,00	0,28	-0,31	-0,01
2	-0,12	0,10	0,08	-0,42	-0,01
3	0,08	-0,10	0,08	-0,11	-0,01
4	-0,02	0,00	-0,12	-0,11	0,09
5	-0,22	0,00	-0,12	-0,11	-0,01
6	-0,12	-0,10	-0,12	0,29	-0,11
7	-0,02	0,00	-0,12	-0,11	0,29
8	0,28	-0,10	0,08	0,09	-0,01
9	-0,02	-0,20	-0,22	0,19	-0,01
10	0,18	0,20	-0,12	0,29	-0,01
11	0,08	0,00	0,28	0,09	-0,11
12	-0,22	0,20	0,08	0,19	-0,11
Величина СКО в цикле	0,160	0,121	0,166	0,227	0,108

В таблице 2.13 приведены отклонения от среднего значения измеренных расстояний через закрытое окно, из таблицы следует, что в первой серии измерений отклонения достигают 0,58–0,88 мм. При этом остальные отклонения в среднем равны 0,28–0,36 мм.

Таблица 2.13 – Отклонение измеренных расстояний через закрытое окно от среднего

Номера приема	Тахеометр LEICA TCR1201				
	Циклы измерений				
	1	2	3	4	5
	δ , мм	δ , мм	δ , мм	δ , мм	δ , мм
1	0,58	0,21	0,01	0,03	0,31
2	-0,22	-0,09	-0,09	0,43	0,61
3	0,08	0,41	-0,09	0,13	0,31
4	-0,62	-0,09	-0,19	-0,27	0,21
5	-0,42	0,31	-0,09	-0,47	0,11
6	-0,52	-0,29	-0,09	-0,17	0,11
7	-0,72	-0,39	0,01	-0,17	0,01
8	-0,32	-0,29	0,21	0,13	-0,49
9	0,88	-0,39	0,21	0,13	-0,39
10	0,28	-0,09	-0,09	0,13	-0,29
11	0,28	0,21	0,51	0,23	-0,29
12	0,68	0,41	-0,29	-0,07	-0,19
Величина СКО в цикле	0,54	0,30	0,22	0,24	0,33

В таблице 2.14 приведены данные средних значений измеренных величин из всех приемов при открытом и закрытом окне.

Таблица 2.14 – Средние значения расстояния и угла наклона при открытом и закрытом окне

Результирующая таблица результатов исследований					
Окно открыто		Окно закрыто		Разность	
S , мм	V , °' "	S , мм	V , °' "	S , мм	V , "
79 237,37	-0 28 26,4	79 246,73	-0 28 22,8	9,36	-3,6

Таким образом, результаты измерений показали, что имеется принципиальная возможность выполнять измерения тахеометрами через стекло. Поэтому были выполнены исследования по проведению метрологической (технологической) проверки с применением двух эталонных расстояний. Измерения выполнялись со штативов (см. рисунок 2.21, б) с грузами. Перед выполнением измерений также были выполнены подготовительные операции, указанные выше. С целью обеспечения прохождения луча лазера тахеометров по одному участку стекла их высоты были установлены с ошибкой не более 2,0–3,0 мм.

Всего было выполнено пять серий (в приложениях Ж, И, К и Л приведено по две серии) измерений по 15 приемов в каждой серии. Измерения выполнялись при пасмурной погоде. В начале выполнения измерений температура воздуха в помещении была равна +24 °С и +21 °С наружи, а по окончании, соответственно, +24 °С и +23 °С.

На выполнение одной серии измерений без подготовительных операций требуется в среднем 30–35 минут. За это время выполнения измерений изменений внешних условий произошло незначительно.

На основании выполненных измерений можно сделать следующие выводы:

- СКО измерения коротких расстояний для тахеометров TCR1201 и TCR405 оказалась равной, соответственно, 0,57 и 0,86 мм;
- средние значения разностей из двух измерений (из двух перестановок тахеометров) при открытом окне не превосходят 0,60 мм (таблица 2.15);
- средние значения разностей из двух измерений (из двух перестановок тахеометров) при закрытом окне не превосходят 0,50 мм (таблица 2.16);
- разность измеренных расстояний при открытом и закрытом окне в среднем оказалась равной 6,20 мм для обоих тахеометров, что свидетельствует о хорошем качестве оконного стекла.

Последний вывод обусловлен тем, что при плохом качестве стекла лучи лазеров проходили бы по разному пути даже при одной высоте тахеометров.

Таблица 2.15 – 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

Таблица 2.16 – 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 заключение отметим, что для специализированной организации целесообразно вместо двух штативов с грузами установить две стационарные металлические тумбы. При этом места их установок необходимо выбрать с таким расчетом, чтобы исключалось попадание солнечных лучей в объектив зрительных труб тахеометров.

Таким образом, выполненные в разделе исследования показали, что рассмотренные способы метрологической (технологической) поверки светодалномеров и тахеометров позволяют с необходимой точностью выполнять соответствующие измерения в лабораторных условиях. Теперь на основе рассмотренных способов в третьем разделе выполним разработку соответствующих методик метрологической (технологической) поверки светодалномеров и тахеометров в полевых условиях при значительных расстояниях.

3 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРКИ ТАХЕОМЕТРОВ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

3.1 Разработка методики поверки тахеометров путем измерения по одному створу эталонных расстояний

3.1.1 Методика поверки измерением произвольных эталонных расстояний

Прежде чем рассматривать методики метрологической поверки тахеометров в полевых условиях, основанные на применении рассмотренных во втором разделе способов, остановимся еще раз на основных требованиях к их выполнению.

Итак, для обеспечения единства измерений, выполняемых различными средствами измерений на территории Российской Федерации, федеральным законом [65] установлен порядок проведения соответствующих мероприятий. Применительно к геодезическим измерениям, например линейным, выполняемым геодезическими приборами различного назначения и точности, обеспечение единства измерений соблюдается путем выполнения требований соответствующих нормативных документов. Кроме того, мероприятия по обеспечению единства измерений (поверка, аттестация) должны выполняться с применением установленных нормативными документами эталонов. Применительно к проведению периодических поверок светодальномеров (светодальномерных насадок) и тахеометров указанными нормативными документами в качестве эталонов длины регламентируется использовать линейные отрезки стационарных базисов соответствующего разряда (1, 2-го и 3-го разрядов). В свою очередь, эти линейные отрезки должны измеряться набором инварных проволок БП-1 или группой (не менее трех) высокоточных фазовых дальномеров и тем самым на них передается эталонная единица длины. После этого на этих базисах и производится поверка рабочих средств линейных измерений.

В отношении стационарных линейных базисов необходимо отметить, что в настоящее время, за редким исключением, они не пригодны к проведению поверок рабочих средств линейных измерений по следующим причинам:

- утрата части центров эталонного базиса данного разряда точности;
- прекращение периодических поверок этих базисов.

Основной причиной такого положения является прекращение периодических поверок еще существующих базисов вышестоящим эталонным средством измерений, вследствие чего не обеспечивается сохранение эталонной длины линейных отрезков и длины базиса в целом. Вместе с тем, число специализированных организаций, которые имеют лицензию на проведение поверок тахеометров (светодальномеров, насадок) значительно больше. Следовательно, не все специализированные организации при проведении поверок указанных приборов могут обеспечить поверку их дальномерной части во всем диапазоне измеряемых расстояний (до 3–5 км).

С учетом этого автором работы [96] предлагается способ проведения метрологической поверки тахеометров без применения стационарных линейных базисов. Эта поверка производится путем одновременного измерения (способом сличения) произвольно выбранного расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами (светодальномерами, насадками). Данная схема основана на применении в качестве эталонных средств измерений высокоточных фазовых дальномеров, которые, в свою очередь, поверяются с использованием исходного эталона единицы длины [85].

Для реализации данного способа авторами предлагается на одной платформе, закрепленной на штативе, устанавливать эталонный и поверяемый тахеометры, после чего одновременно, с разницей во времени 5–10 секунд, производить измерения конкретной линии на один отражатель. Так как при выполнении поверки необходимо иметь несколько линий с разными длинами, то изменение их длин может производиться двумя способами:

- перемещением отражателя по отношению к установленным на штативе тахеометрам;
- перемещением штатива с тахеометрами по отношению к отражателю.

Для исключения систематической ошибки за центрирование тахеометров измерение линий производится при двух положениях платформы: 0 и 180°.

Данный способ поверки по сравнению со стационарными линейными базами имеет следующие достоинства:

- отсутствует необходимость создавать стационарные линейные базы в различных регионах страны, включая регионы с наличием вечной мерзлоты;

- в связи с этим отсутствует необходимость выполнять комплекс работ по поверке стационарных линейных базисов вышестоящим эталонным средством в полевых условиях с установленной периодичностью, которая требует значительных материальных и временных затрат;

- реализация данного способа позволяет выполнять одним комплектом эталонного тахеометра поверки рабочих средств измерений в различных регионах страны. В этом случае каждый прибор для выполнения линейных измерений можно поверять в своем регионе, что приведет к значительному уменьшению финансовых затрат на транспортные расходы. Если организация, имеющая лицензию на проведение указанных поверок, имеет в наличии еще один эталонный тахеометр, то его также можно использовать для контроля результатов поверки;

- так как измерения эталонным и поверяемым тахеометрами (светодальномерами, насадками) выполняются одновременно при одинаковых значениях температуры, влажности и давления воздуха, то отсутствует необходимость введения поправок за метеоусловия. В данном случае определяется разность расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- в связи с тем, что измеряемые линии выбираются произвольно, отсутствует необходимость приводить измеряемые линии к исходной уровенной поверхности.

Недостатками данного способа поверки являются:

- необходимость обеспечения надежного скрепления платформы с установленными на ней эталонным и поверяемым тахеометрами непосредственно со штативом;

- обеспечение поворота платформы с тахеометрами на 180° с ошибкой порядка $m_\alpha = 45,0 - 60,0''$, так как в противном случае может произойти изменение длины измеряемой линии до $0,5-1,0$ мм.

Следующим способом поверки светодальномеров и тахеометров является способ, основанный на применении стационарных интерференционных компараторов, с помощью которых можно измерять (поверять) линейные отрезки длиной до 24,0 м.

Достоинством данного способа является возможность уверенного измерения длины линии в лабораторных условиях со средней квадратической ошибкой измерения порядка 0,000 1 мм. Недостатком способа является отсутствие возможности выполнить поверку тахеометра (светодальномера) во всем возможном диапазоне измерения им длин линий (до 5–7 км).

С учетом сказанного, в отношении состояния в настоящее время стационарных линейных базисов, можно сделать вывод, что исследования и разработка способов поверки рабочих средств линейных измерений без применения стационарных линейных базисов являются полезными геодезическому производству. Поэтому рассмотрим предлагаемый способ такой поверки.

В 2.4 был рассмотрен способ проведения метрологической поверки путем измерения расстояния в лабораторных условиях эталонным и поверяемым тахеометрами. Он позволяет выполнить данную поверку на коротких, до 110–120 м эталонных расстояниях. С целью проведения указанной поверки на длинных, до 1,0–1,5 км, расстояниях нами предлагаются две методики, которые могут быть реализованы следующим образом.

При реализации методик выбирается равнинный участок местности, на котором можно разметить линию длиной до 0,5–1,0 км, а также линейные отрезки длиной 100,0–300,0 м. С целью исключения влияния пыли или дыма от выхлопных газов на результаты измерений линию желательно выбирать на расстоянии 50–70 м от автомобильной дороги. Для уменьшения влияния на результаты поверки турбулентности воздуха измерения необходимо выполнять в сухую погоду, при отсутствии резких порывов ветра и температуре воздуха в пределах 15–20 °С. С целью исключения влияния восходящих потоков воздуха измерения нельзя выполнять сразу после дождя. Если измерения будут выполняться в пасмурную погоду и интенсивность движения транспорта будет незначительной, то линию можно выбрать и на обочине ав-

томобильной дороги. Если поверка будет производиться в зимний период, то измерения целесообразно выполнять при отсутствии осадков и температуре воздуха не ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При реализации методик могут быть использованы следующие две схемы выполнения измерений:

- с применением одного штатива, на который поочередно устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, и одного штатива с отражателем, который переставляется по мере увеличения длин линий;

- с применением одного штатива, на который поочередно устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, и заранее расположенных вдоль измеряемых линий нескольких штативов (стационарных), на которые поочередно устанавливается отражатель.

При реализации первой методики в точках *A* и *B* (рисунок 3.1) на штативах устанавливаются, соответственно, эталонный тахеометр и отражатель. Для обеспечения получения качественных результатов поверки также, как и в лабораторных условиях, необходимо выполнить следующие требования:

- штативы должны быть исправными без люфтов в соединениях;
- штативы должны устанавливаться на шероховатое бетонное основание или твердый грунт;
- не допускается установка штативов в летний период на асфальтовое покрытие;
- при выполнении измерений в зимнее время грунт, бетонное или асфальтовое покрытие должно быть тщательно очищено от снега и льда;
- для увеличения устойчивости штативов к их станковому винту необходимо подвешивать груз весом до 5–6 кг.

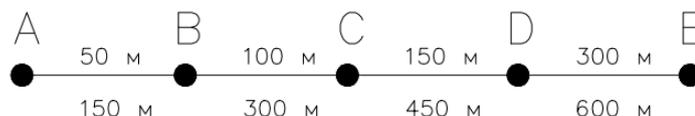


Рисунок 3.1 – Схема выполнения поверки путем измерения эталонных линий по одному створу

После выполнения указанных требований приступают к измерениям. Для этого установленные на штативах A и B , соответственно, эталонный тахеометр и отражатель, тщательно приводятся в рабочее положение и проверяется их устойчивость. Для ослабления влияния солнечной радиации над тахеометром обязательно устанавливается геодезический зонт. Расстояние между штативами A и B может быть любым. Однако, в связи с тем, что при выполнении инженерно-геодезических работ на промплощадке длина измеряемых расстояний находится в пределах 30–80 м, длину первой эталонной линии AB рекомендуется устанавливать в пределах 50–60 м. После этого производится измерение расстояния AB двадцать раз, что составляет одну серию. Затем эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр, и серия из двадцати измерений повторяется.

Указанный объем измерений составляет один прием. Таких приемов выполняется не менее трех, после чего штатив с отражателем переносится и устанавливается в точке C . С целью проведения поверки на различных расстояниях эталонную линию BC необходимо увеличить (в нашем случае она равна 230 м). После этого также выполняется измерение данной линии тремя приемами. Затем аналогичные действия выполняются и при установке штатива с отражателем в точках D и E . При этом также необходимо увеличивать длину эталонных линий.

Необходимо отметить, что нами рекомендуется устанавливать длину эталонных линий исходя из видов геодезических работ, при выполнении которых будет применяться поверяемый тахеометр. Например, если измерения будут выполняться на гребне плотины, то длины эталонных отрезков необходимо увеличить.

Важной особенностью рекомендуемых нами схем является тот факт, что при выполнении поверки величина поправки отражателя не влияет на полученные результаты, так как измерения эталонным и поверяемым тахеометрами выполняются на один отражатель.

Измерения с установкой отражателя на штативах в точках B , C , D и E составляют прямой ход. После этого аналогичным образом выполняется обратный ход.

При выполнении обратного хода штатив с отражателем не центрируется над точками E , D , C и B прямого хода, а могут устанавливаться с отклонением примерно 0,5–1,0 м.

По окончании измерений приступают к обработке полученных результатов измерений. Для этого вычисляется:

- среднее значение всех длин линий для прямого и обратного ходов, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- разности $\Delta_{пр}$ и $\Delta_{обр}$ средних значений всех длин линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами в прямом и обратном ходе;
- среднее значение $\Delta_{ср}$ разности длин каждой линии;
- величины СКО измерений в каждом приеме для всех линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами, вычисленные по формуле Бесселя;
- величины СКО измерений для всех значений длин линий, вычисленные по формуле Гаусса.

Практическая реализация данного способа неоднократно проводилась в полевых условиях. В таблице 3.1 приведены результаты одной из таких проверок (даны средние значения длин линий из трех приемов, полученных с применением первого способа).

Таблица 3.1 – Средние значения длин линий при произвольной установке штатива с отражателем

Линии	Ход прямо, мм		Ход обратно, мм		D пр., мм	D обр., мм	D ср., мм
	TCR 1201	Geomax	TCR 1201	Geomax			
AB	50624,8	50 624,0	50 681,2	50 680,0	0,8	1,2	1,0
AC	101 283,4	101 282,0	101 290,8	101 280,0	1,4	0,8	1,1
AD	149 381,2	149 383,0	149 372,6	149 375,0	-1,8	-2,4	-2,1
AE	300 747,7	300 750,0	300 730,4	300 733,0	-2,3	-2,6	-2,4
							/1,6/

Применительно к указанным длинам линий величины СКО измерений из трех приемов оказались следующими:

- для линии AB : по формуле Бесселя $m_{AB} = 0,8$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AB} = 0,7$ мм;
- для линии AC : по формуле Бесселя $m_{AB} = 0,9$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AC} = 0,7$ мм;
- для линии AD : по формуле Бесселя $m_{AB} = 1,2$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AD} = 1,4$ мм;
- для линии AE : по формуле Бесселя $m_{AB} = 1,3$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AE} = 1,2$ мм.

3.1.2 Методика поверки измерением фиксированных эталонных расстояний

При реализации второго способа в точке A на штативе устанавливается эталонный тахеометр, а в точках B , C , D и E заранее устанавливаются штативы с подвешенными к ним грузами (в нашем случае их четыре). После этого производится измерение расстояния AB также двадцатью приемами, что составляет одну серию. Затем эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр, и серия из двадцати измерений расстояния AB повторяется.

Указанный объем измерений составляет один прием. Таких приемов выполняется не менее трех, после чего отражатель аккуратно вынимается из трегера штатива B и устанавливается в трегер штатива C . После этого также выполняется три приема измерений эталонным и поверяемым тахеометрами.

Такие измерения далее производятся с использованием установленных штативов в точках D и E . Указанные действия составляют прямой ход, после чего измерения выполняются в обратном ходе. Для этого отражатель аккуратно устанавливается в трегер штативов D , C и B .

Отличие второго способа от первого заключается в том, что в данном случае заранее установленными штативами фиксируются длины линий между ними, которые измеряются в прямом и обратном ходах. Разность длин линий, полученная из прямого и обратного ходов, является дополнительным контролем качества выполнения поверки (измерений).

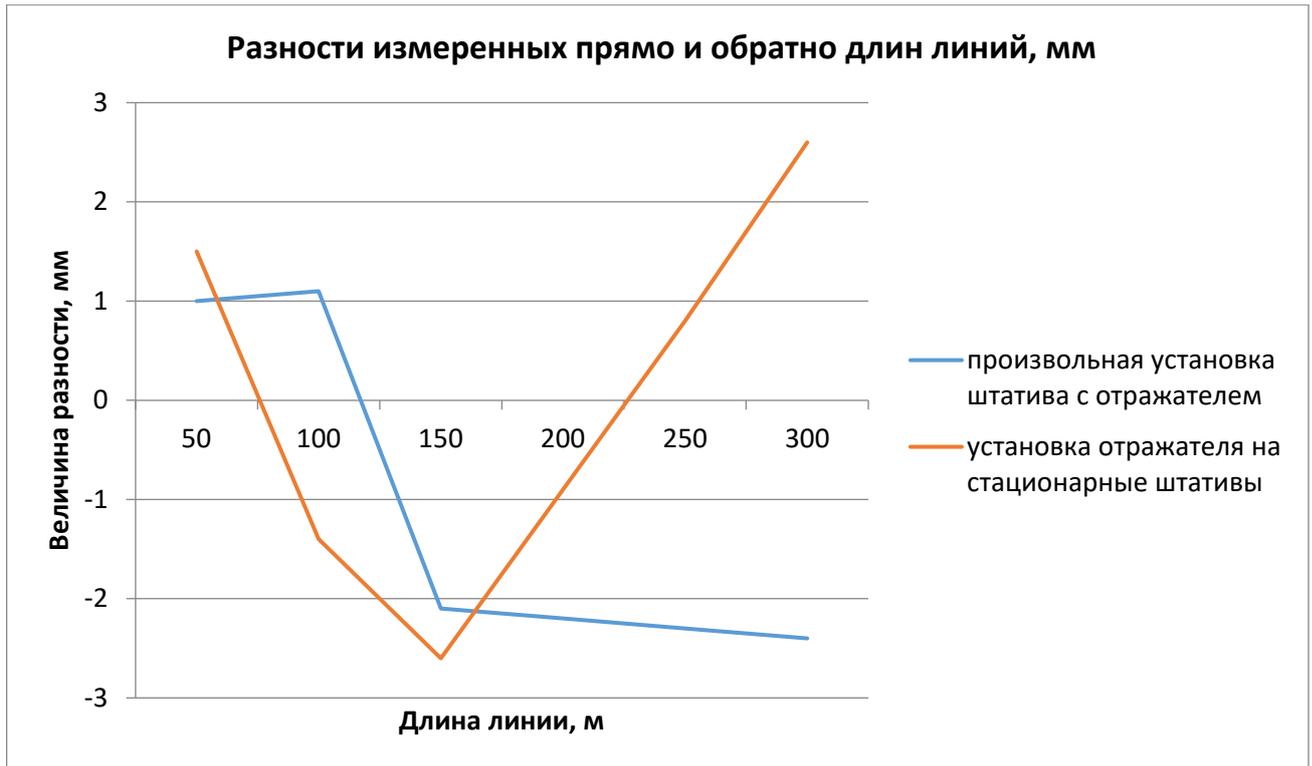


Рисунок 3.2 – Значения ошибок измерений в зависимости от расстояния

Применительно к указанным длинам линий величины СКО измерений из трех приемов оказались следующими:

– для линии AB : по формуле Бесселя $m_{AB} = 0,9$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AB} = 1,1$ мм;

– для линии AC : по формуле Бесселя $m_{AB} = 0,9$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AC} = 1,4$ мм;

– для линии AD : по формуле Бесселя $m_{AB} = 1,3$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AD} = 1,6$ мм;

– для линии AE : по формуле Бесселя $m_{AB} = 1,6$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AE} = 1,8$ мм.

Некоторым недостатком этих двух способов поверки является остаточное влияние на полученные результаты возможного изменения температуры воздуха, так как измерение линий эталонным и поверяемым тахеометрами производится с интервалом 12–15 мин.

3.2 Разработка методики поверки путем измерения по двум створам эталонных расстояний

3.2.1 Методика поверки тахеометров измерением произвольных эталонных расстояний

В предыдущем разделе было указано, что некоторым недостатком предлагаемых двух способов поверки является остаточное влияние на полученные результаты возможного изменения температуры воздуха, так как измерение линий эталонным и поверяемым тахеометрами производится с интервалом 12–15 мин. Поэтому также применительно к полевым условиям предлагается способ, при реализации которого измерения выполняются практически в одинаковых условиях. При реализации этого способа также могут быть использованы две методики реализации поверочной схемы путем изменения длин эталонных линий с использованием двух штативов для установки тахеометров и 5–6 штативов для установки отражателя:

- методика с установкой эталонного и поверяемого тахеометров на два стационарных штатива, а отражателя со штативом – на произвольно выбранные расстояния;

- методика с установкой эталонного и поверяемого тахеометров на два стационарных штатива, а отражателя – на заранее установленные вдоль измеряемых линий штативы.

Для реализации первой методики в точках A и A_1 (рисунок 3.3) на штативах устанавливаются, соответственно, эталонный и поверяемый тахеометры, а в точке B на штативе устанавливается отражатель. Требования к обеспечению устойчивости штативов указаны выше. Для удобства выполнения измерений расстояние между штативами A и A_1 можно делать равным 60–70 см. При этом расстояния AB и A_1B между собой могут отличаться на любую величину, например, на 10–50 см. Это обусловлено тем, что измерение каждого расстояния будет производиться при двух установках тахеометров (эталонного и поверяемого) с последующим нахождением средних значений.

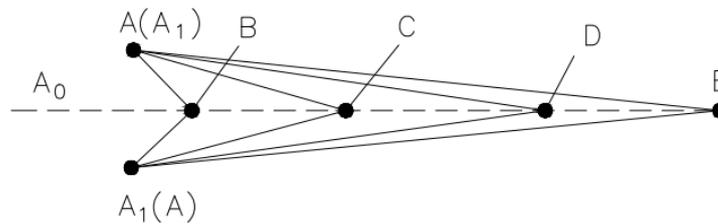


Рисунок 3.3 – Схема выполнения поверки тахеометров (светодальномеров) измерением двойных расстояний в полевых условиях

После приведения эталонного и поверяемого тахеометров в рабочее положение их зрительные трубы наводятся на отражатель и наблюдатель поочередно, с интервалом не более 10–15 с (можно и одновременно), выполняет измерение линии; в этом случае эталонным тахеометром, установленным на штативе A , измеряется линия AB , а поверяемым, установленным на штативе A_1 , – линия A_1B .

Измерение линий каждым тахеометром производится двадцать раз, что составляет одну серию. После этого тахеометры аккуратно вынимаются из треггеров и переставляются местами. В этом случае эталонный тахеометр будет установлен на штативе A_1 , а поверяемый – на штативе A . После этого снова двадцать раз выполняется измерение линий эталонным и поверяемым тахеометрами, соответственно, линий A_1B и AB .

Указанный объем измерений составляет один прием. Таких приемов выполняется не менее трех, после чего штатив с отражателем переносится и устанавливается в точке C с последующим измерением тремя приемами линий AC и A_1C . Затем аналогичные действия выполняются и при установке штатива с отражателем в точках D и E .

При выполнении поверки величина поправки отражателя не влияет на полученные результаты, так как измерения эталонным и поверяемым тахеометрами выполняются на один отражатель.

Измерения с установкой отражателя на штативах в точках B , C , D и E составляют прямой ход. После этого аналогичным образом выполняется обратный ход. При выполнении обратного хода штатив с отражателем не центрируется над точ-

ками и E , D , C и B прямого хода, а устанавливается произвольно, примерно с отклонением 0,5–1,0 м.

При реализации данной методики получены следующие результаты. В таблице 3.3 приведены средние значения длин линий из трех приемов, полученных с применением первой методики, в таблице 3.4 – полученных с применением второй методики.

Таблица 3.3 – Результаты поверки тахеометра первой методикой с двумя штативами при произвольной установке отражателя (ход прямо, $t = +21^\circ \text{C}$)

S, м	TCR 1201, мм		GeoMax, мм		Разность Δ_1		Сумма расстояний (1+2)		Разность Δ_2, Δ_3
	1	2	1	2	1-1	2-2	TCR 1201	GeoMax	TCR 1201 – GeoMax
50	50045,7	50297,4	50046,8	50298,1	-1,1	-0,7	100343,1	100344,9	-1,8
							50171,6	50172,4	-0,8
100	99652,2	99905,4	99653,0	99905,7	-0,8	-0,3	199557,6	199558,7	-1,1
							99778,8	99779,4	-0,6
150	150310,4	150562,8	150310,0	150562,3	0,4	0,5	300873,2	300872,3	0,9
							150436,6	150436,2	0,4
300	300840,2	300589,2	300840,0	300588,8	0,2	0,4	601429,4	601428,8	0,6
							300714,7	300714,2	0,3
500	499070,7	499320,9	499069,8	499320,0	0,9	0,9	998391,6	998389,8	1,8
							499195,8	499194,9	0,9

По окончании измерений приступают к обработке полученных результатов измерений. Для этого в прямом ходе вычисляются (см. табл. 3.3):

- средние значения линий AB и AB_1 , AC и AC_1 , AD и AD_1 , AE и AE_1 при установке эталонного и поверяемого тахеометров, соответственно, на штативах в точках A и A_1 ;

- средние значения этих же линий AB и AB_1 , AC и AC_1 , AD и AD_1 , AE и AE_1 после перестановок эталонного и поверяемого тахеометров, соответственно, на штативы A_1 и A ;

- величины СКО измерений для всех значений линий из трех приемов, измеренных поверяемым тахеометром, в прямом ходе, вычисленные по формуле Бесселя;

- величины СКО измерений для всех значений линий из трех приемов, измеренных поверяемым тахеометром, в прямом ходе, вычисленные по формуле Гаусса;

- разности Δ_1 средних значений (из двадцати измерений) длин линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- суммы $A_0 = (A+A_1)$ и среднее $A_0 = (A+A_1)/2$ значение условных линий A_0B , A_0C , A_0D и A_0E , измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- разности Δ_2 и Δ_3 , соответственно, сумм $A_0 = (A+A_1)$ и средних значений $A_0 = (A+A_1)/2$ линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- среднее значение разностей Δ_3 по абсолютной величине (в нашем примере оно равно 1,2 мм).

Графическое представление ошибок измерений в прямом ходе показано на рисунке 3.4.

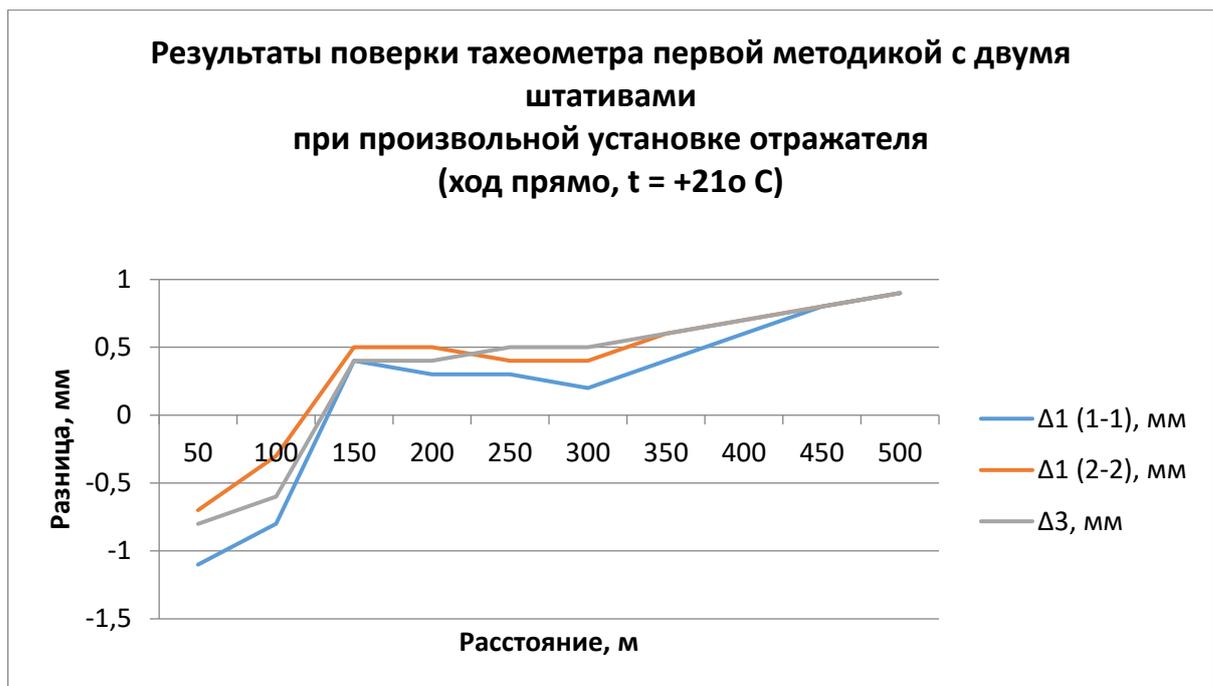


Рисунок 3.4 – График ошибок при произвольной установке штативов с отражателями (ход прямо)

Аналогичные вычисления производятся и в обратном ходе (см. таблицу 3. 4).

После этого по результатам измерений вычисляется:

- среднее значение $\Delta_{ср}$ разностей Δ_3 по абсолютной величине длин линий из прямого и обратного ходов (в нашем случае оно равно 1,3 мм);

– величину СКО, полученную по разностям Δ_3 , из прямого и обратного ходов (в нашем случае она равна 1,3 мм).

Таблица 3.4 – Результаты поверки тахеометра первой методикой с двумя штативами при произвольной установке отражателя (ход обратно $t = +22\text{ }^\circ\text{C}$)

S, м	TCR 1201 (средние значения из 20 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 20 измерений, мм)		Разности Δ_1		Сумма расстояний $A_0 = (A + A_1)/2$		Разно- сти Δ_2 и Δ_3
	штатив A	штатив A ₁	штатив A	штатив A ₁	A-A	A ₁ -A ₁	TCR 1201	GeoMax	
50	50097,4	50292,1	50097,8	50292,8	-0,4	-0,7	100389,5	100390,6	-1,1
							50194,8	50195,3	-0,6
100	99600,6	99796,4	99600,0	99795,3	0,6	1,1	199397,0	199395,3	1,7
							99695,5	99697,6	0,9
150	150368,0	150562,4	150370,5	150564,2	-1,5	-1,8	300930,4	300934,7	-4,3
							150465,2	150467,4	-2,2
300	301633,2	301829,5	301631,4	301827,2	1,8	2,3	603462,7	603458,6	4,1
							301731,4	301729,3	2,0
500	499050,5	499244,4	499052,6	499245,8	-2,1	-1,4	998294,9	998298,4	-3,5
							499147,4	499149,4	-1,8

Значения разностей измеренных расстояний в обратном ходе эталонным и поверяемым тахеометрами приведены на рисунке 3.5.

Из результатов исследований следует, что поверяемый тахеометр соответствует заявленным метрологическим характеристикам точности измерения расстояний.

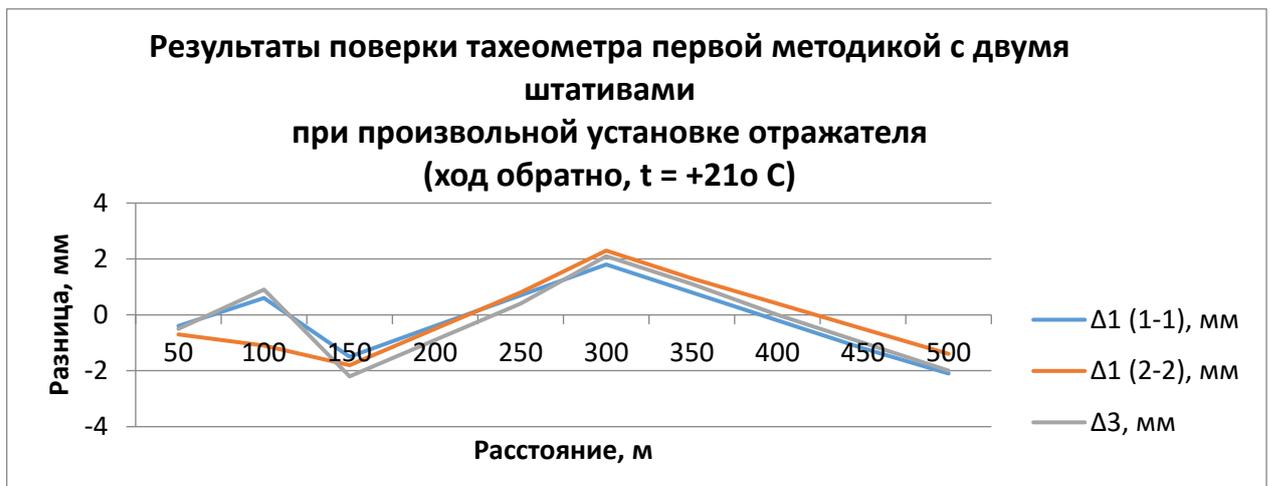


Рисунок 3.5 – График ошибок при произвольной установке штативов с отражателями (ход обратно)

3.2.2 Методика поверки тахеометров измерением фиксированных эталонных расстояний

Для реализации данной методики в точках A и A_1 (см. рисунок. 3.3) на штативах устанавливаются, соответственно, эталонный и поверяемый тахеометры. Затем в точках B , C , D и E на произвольно выбранных расстояниях устанавливаются штативы с подвешенными к ним грузами.

После приведения эталонного и поверяемого тахеометров в рабочее положение двадцать раз выполняется измерение линий, соответственно, AB и A_1B с последующим нахождением среднего значения (таблица 3.5). Затем тахеометры аккуратно вынимаются из трегеров, переставляются местами и тремя приемами измеряются линии A_1B и AB .

Указанный объем измерений составляет один прием. Таких приемов выполняется не менее трех, после отражатель переносится и устанавливается в точке C с последующим измерением тремя приемами линий AC и A_1C . Затем аналогичные действия выполняются и при установке отражателя на штативы в точках D и E .

Таблица 3.5 – Результаты поверки тахеометра второй методикой с двумя штативами при установке отражателя на стационарные штативы (ход прямо, $t = + 20$ °С)

S , м	TCR 1201 (средние значения из 20 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 20 измерений, мм)		Разности Δ_1		Сумма расстояний $A_0 = (A + A_1)/2$		Разно- сти Δ_2 и Δ_3
	штатив A	штатив A_1	штатив A	штатив A_1	$A-A$	A_1-A_1	TCR 1201	GeoMax	
50	51177,7	51149,4	51177,0	51150,8	0,7	-1,4	102327,1	102327,8	-0,7
							51163,6	51163,9	-0,4
100	104762,2	104735,0	104763,1	104735,9	-1,1	-0,9	209497,2	209499,0	-1,8
							104748,6	104749,5	-0,9
150	153687,4	153561,8	153686,0	153560,3	1,4	1,5	307249,2	3007246,3	2,9
							153624,6	153623,2	1,4
300	302140,2	302112,2	302141,0	302113,8	-0,8	-1,6	604252,4	604254,8	-2,4
							302126,2	302127,4	-1,2
500	510649,6	510623,3	510652,0	510625,0	-2,4	-1,7	1021272,9	1021277,0	-4,1
							510636,4	510638,5	-2,0

Измерения с установкой отражателя на штативы B , C , D и E составляют прямой ход. После этого аналогичным образом выполняется обратный ход (таблица 3.6). При выполнении обратного хода отражатель аккуратно вынимается из трегера каждого штатива и устанавливается в следующий трегер.

Таблица 3.6 – Результаты поверки тахеометра второй методикой с двумя штативами при установке отражателя на стационарные штативы (ход обратно, $t = + 20$ °С)

S , м	TCR 1201 (средние значения из 20 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 20 измерений, мм)		Разности Δ_1		Сумма расстояний $A_0 = (A + A_1)/2$		Разности Δ_2 и Δ_3
	штатив A	штатив A_1	штатив A	штатив A_1	$A-A$	A_1-A_1	TCR 1201	GeoMax	
50	51178,2	51150,6	51176,8	51149,3	1,2	1,3	102328,8	102326,1	-2,7
							51164,4	51163,0	-1,4
100	104760,3	104735,2	104762,4	104737,4	-2,1	-2,2	209495,5	209499,8	-4,3
							104747,8	104749,9	-2,2
150	153688,2	153563,4	153686,2	153560,7	2,0	2,7	307251,6	307246,9	4,7
							153625,8	153623,4	2,4
300	302141,5	302114,0	302139,0	302111,8	2,5	2,2	604255,5	604250,8	4,7
							302127,8	302125,4	2,4
500	510648,2	510622,6	510650,7	510625,4	-2,5	-2,8	1021270,8	1021276,1	-5,3
							510635,4	510638,0	-2,6

После проложения прямого и обратного ходов вычисляются:

- средние значения линий AB и AB_1 , AC и AC_1 , AD и AD_1 , AE и AE_1 при установке эталонного и поверяемого тахеометров, соответственно, на штативах A и A_1 ;
- средние значения этих же линий AB и AB_1 , AC и AC_1 , AD и AD_1 , AE и AE_1 после перестановок эталонного и поверяемого тахеометров, соответственно, на штативы A_1 и A ;
- величины СКО измерений для всех значений линий из трех приемов, измеренных поверяемым тахеометром, в прямом ходе, вычисленные по формуле Бесселя;

– величины СКО измерений для всех значений линий из трех приемов, измеренных поверяемым тахеометром, в прямом ходе, вычисленные по формуле Гаусса;

– разности Δ_1 средних значений (из двадцати измерений) длин линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

– суммы $A_0 = (A + A_1)$ и среднее $A_0 = (A + A_1)/2$ значение линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

– разности Δ_2 и Δ_3 , соответственно, сумм $A_0 = (A + A_1)$ и средних значений $A_0 = (A + A_1)/2$ линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

– среднее значение разностей Δ_3 по абсолютной величине (в нашем примере оно равно 2,2 мм).

После этого по результатам измерений окончательно вычисляется:

– среднее значение $\Delta_{\text{ср}}$ разностей Δ_3 по абсолютной величине длин линий из прямого и обратного ходов (в нашем случае оно равно 1,7 мм);

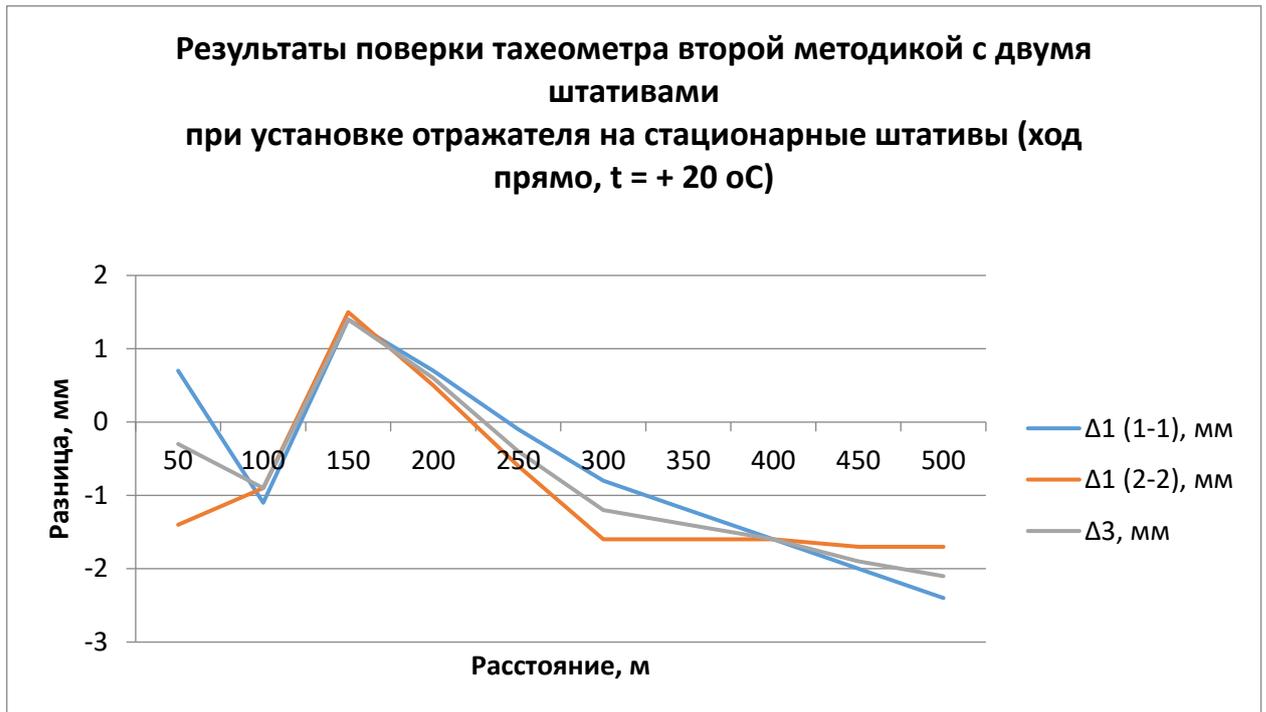
– величина СКО, полученная по разностям Δ_3 , из прямого и обратного ходов (в нашем случае она равна 1,3 мм).

Значения разностей измеренных расстояний (в прямом и обратном ходах) эталонным и поверяемым тахеометрами при стационарной установке отражателя приведены на рисунке 3.6, из которого следует, что поверяемый тахеометр соответствует заявленным метрологическим характеристикам точности измерения расстояний.

Из полученных результатов поверки двумя методиками следует, что поверяемый тахеометр относится к классу точных тахеометров.

В заключение отметим еще раз, что на качество выполнения метрологической поверки значительное влияние оказывает стабильность положения штативов, на которые устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, а также отражатель.

а)



б)

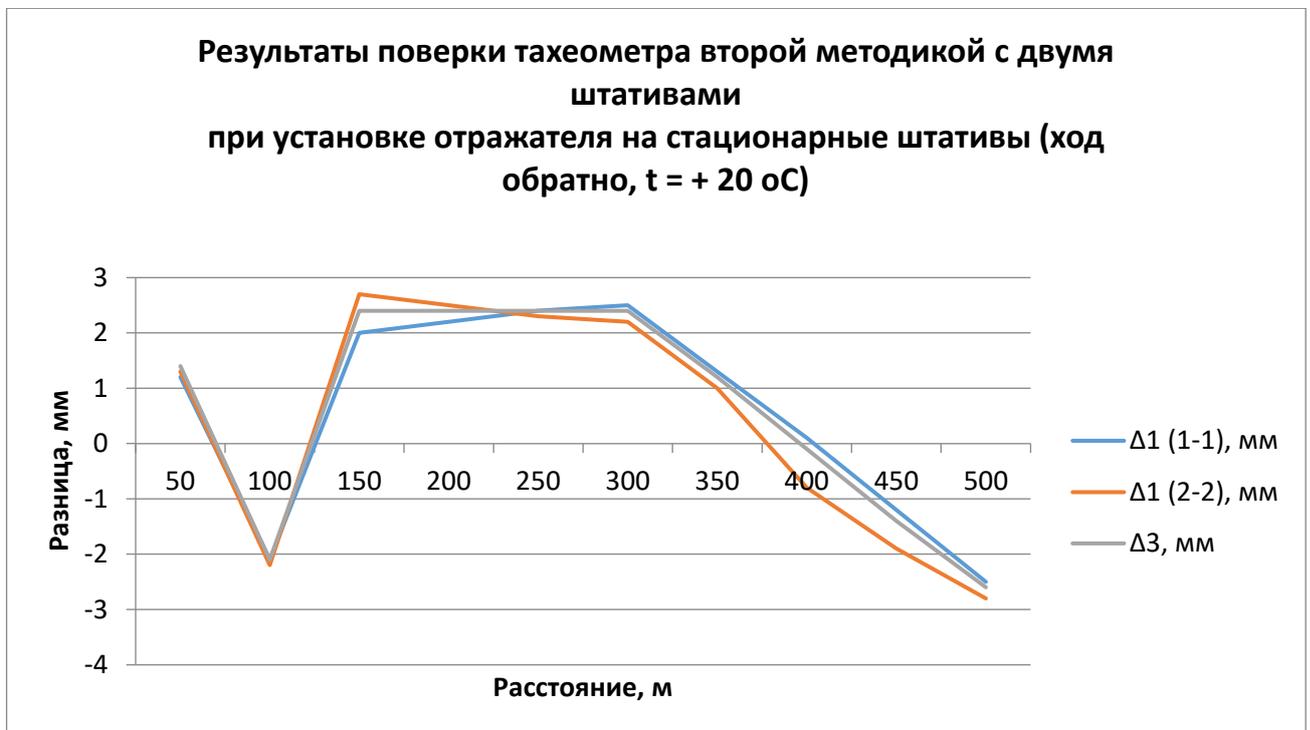


Рисунок 3.6 – Значения разностей измеренных расстояний при стационарной установке отражателя

3.3 Методика поверки тахеометров путем измерения эталонных расстояний способом из середины

Реализация данного способа производится следующим образом. На местности выбирается горизонтальный участок без высокой травы, на котором разбивается линия AB (рисунок 3.7) длиной от 0,3 до 1,0 км. Если планируется использовать тахеометр при больших расстояниях, то длина линии увеличивается. С целью исключения из результатов измерений расстояний поправки за наклон этот участок не должен иметь между этими точками уклон (перепад высот) более 0,5 м. Также в точках стояния штативов тахеометра и отражателя грунт должен быть плотным.

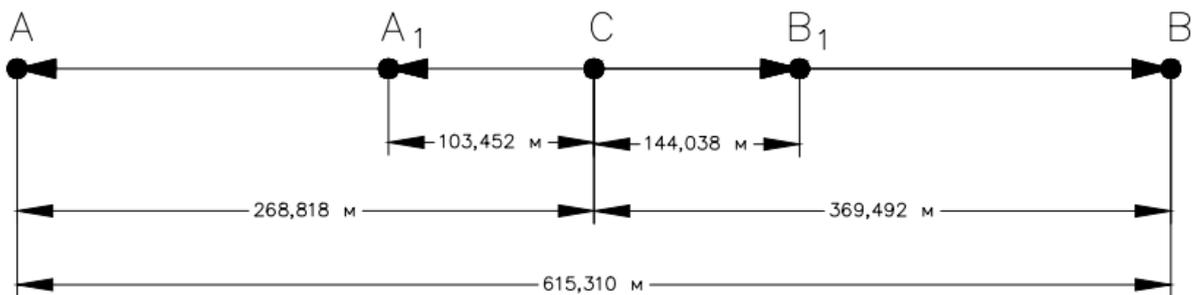


Рисунок 3.7 – Схема метрологической поверки способом из середины

После этого примерно посередине в удобном для выполнения измерений месте, в створе линии AB выбирается точка C . 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 (в нашем случае ТМ30), а в точке A , на штативе, отражатель. Для повышения устойчивости тахеометров и штатива с отражателем к ним подвешивался груз весом 4,0 кг.

После этого десятью сериями по 15 отсчетов в каждой серии (с последующим нахождением среднего в серии) производится измерение расстояния AC (таблица 3.7). Затем аналогичным образом измеряется расстояние CB , для чего отражатель переносится на установленный заранее штатив.

По окончании измерений расстояния эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр (в нашем случае TCR405), 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 одной серией также по 15 отсчетов (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Поверка тахеометра способом из середины. Расстояние *AB*. Температура +21 °С, слабый ветер, облачно. Угол наклона на отражатель 1'12". Начало измерений 10^h 20^m, окончание 12^h 45^m

Но- мера серий	Средние значения расстояний <i>AC</i> и <i>CB</i>		Разности длин отрезков, мм	Сумма отрез- ков, мм	Разности расстояний, мм
	TM30	TCR405	TM30 TCR405	TM30 + TCR405	TM30 – TCR405
1	2	3	4	5	6
1	268 м 818, 2 мм 346 м 492,6 мм	268 м 820 мм 346 м 492 мм	-1,8 -0,6	615 м 310,8 мм 615 м 312 мм	-1,2 (-0,6)
2	268 м 819, 0 мм 346 м 493,2 мм	268 м 819 мм 346 м 493 мм	-0,0 -0,2	615 м 312,2 мм 615 м 312,0 мм	-0,2 (-0,6)
3	268 м 818, 6 мм 346 м 492,8 мм	268 м 820 мм 346 м 494 мм	-1,4 -1,2	615 м 311,4 мм 615 м 314,0 мм	-2,6 (-2,6)
4	268 м 819, 0 мм 346 м 492,2 мм	268 м 821 мм 346 м 493 мм	-2,0 -0,8	615 м 311,2 мм 615 м 314,0мм	-2,8 (-2,6)
5	268 м 818,3 мм 346 м 492,4 мм	268 м 819 мм 346 м 493 мм	-0,7 -0,6	615 м 310,7 мм 615 м 312 мм	-1,3 (-0,6)
6	268 м 818, 7 мм 346 м 492,5 мм	268 м 820 мм 346 м 493 мм	-1,3 -0,5	615 м 311,2 мм 615 м 313,0 мм	-1,8 (-!,6)
7	268 м 818, 1 мм 346 м 492,7 мм	268 м 821 мм 346 м 493 мм	-1,9 -1,3	615 м 310,8 мм 615 м 314,0 мм	-3,2 (-2,6)
8	268 м 818, 7 мм 346 м 492,8 мм	268 м 820 мм 346 м 494 мм	-1,3 -1,2	615 м 311,5 мм 615 м 314 мм	-2,5 (-2.6)
9	268 м 818, 2 мм 346 м 492,5 мм	268 м 820 мм 346 м 493 мм	-1,8 -0,5	615 м 310,7мм 615 м 313,0 мм	-2,3 (-1,6)
10	268 м 818, 6 мм 346 м 492,6 мм	268 м 819 мм 346 м 493 мм	-0,4 -0,4	615 м 311,2 мм 615 м 312,0 мм	-0,8 (-0,6)
11	$AB = S_{\text{этал}}$ $AB = S_{\text{изм}}$	-	-	615 м 311,4 мм 615 м 313 мм	-1,6

После этого вычисляются величины отклонений измеренных расстояний (отрезков) эталонным и поверяемым тахеометрами. Для этого сначала вычисляются разности измеренных расстояний AC и CB в каждой серии эталонным и поверяемым тахеометрами (четвертая колонка), а затем разность суммы измеренных расстояний $AC + CB$ в каждой серии – эталонным и поверяемым тахеометрами (шестая колонка). Завершаются вычисления нахождением разности измеренных расстояний AB эталонным тахеометром и суммой измеренных расстояний AC и CB в каждой серии поверяемым тахеометром (шестая колонка в скобках).

Из результатов поверки следует, что отклонения превышают 3,2 мм. Также все отклонения имеют один знак.

Графическое представление результатов исследований для линии AB представлено на рисунках 3.8, 3.9.

Аналогичным образом апробирована методика на более коротком расстоянии A_1B_1 (таблица 3.8).

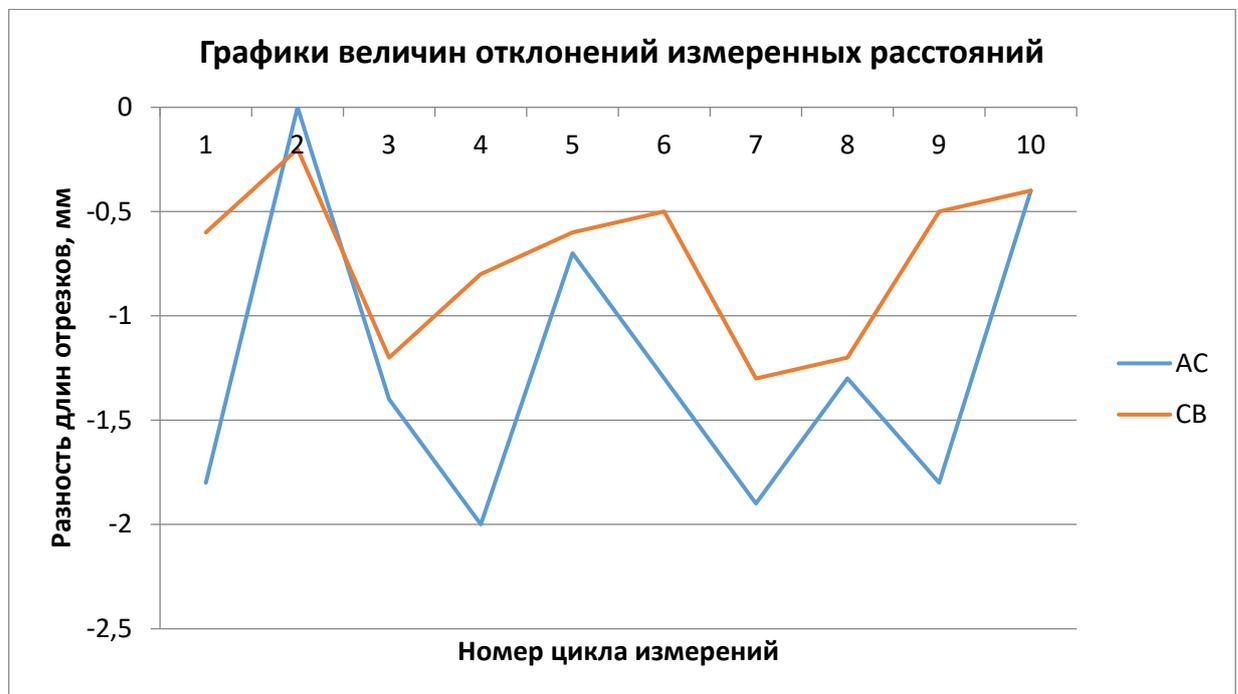


Рисунок 3.8 – График величин отклонений при метрологической поверке на отрезках AC и CB

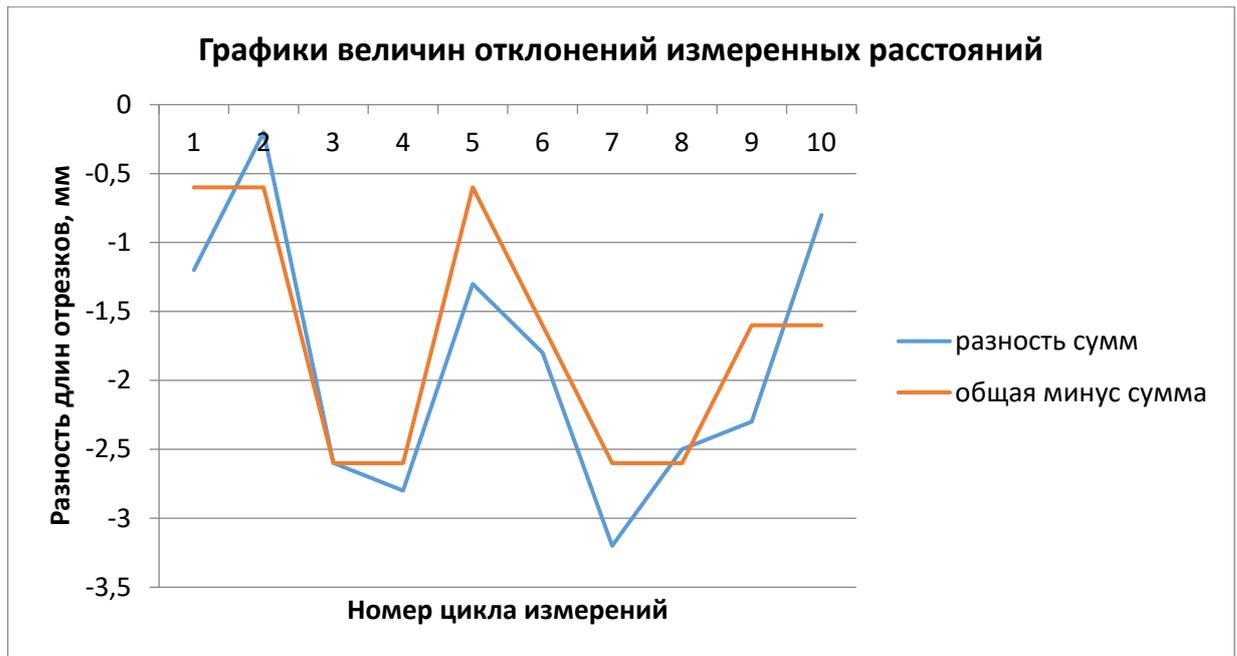


Рисунок 3.9 – График величин отклонений при метрологической поверке на линии AB

Таблица 3.8 – Поверка тахеометра способом из середины. Расстояние A_1B_1 . Температура $+19\text{ }^\circ\text{C}$, слабый ветер, пасмурно. Угол наклона на отражатель $1'16''$. Начало измерений $17^{\text{h}}00^{\text{m}}$, окончание $18^{\text{h}}30^{\text{m}}$

Номера серий	Средние значения расстояний A_1C и CB_1		Разности длин отрезков, мм TM30 TCR405	Сумма отрезков, мм TM30+ TCR405	Разности расстояний, мм TM30- TCR405
	TM30	TCR405			
1	103 м 452,5 мм 144 м 037,8 мм	103 м 454 мм 144 м 038 мм	-1,5 -0,2	247 м 490,3 мм 247 м 492,0 мм	-1,7 (-1,9)
2	103 м 452,0 мм 144 м 038,1 мм	103 м 453 мм 144 м 038 мм	-1,0 0,1	247 м 490,1 мм 247 м 491,0 мм	-0,9 (-0,9)
3	103 м 452,2 мм 144 м 037,8 мм	103 м 453 мм 144 м 039 мм	-0,8 -1,2	247 м 490,0 мм 247 м 492 мм	-2,0 (-1,9)
4	103 м 452,7 мм 144 м 037,5 мм	103 м 454 мм 144 м 038 мм	-1,3 -0,5	247 м 490,2 мм 247 м 492,0 мм	-1,8 (-1,9)
5	103 м 452,8 мм 144 м 037,9 мм	103 м 454 мм 144 м 039 мм	-1,2 -1,1	247 м 490,7 мм 247 м 493,0 мм	-2,3 (-2,9)
6	103 м 452,1 мм 144 м 038,0 мм	103 м 453 мм 144 м 038 мм	-0,9 0,0	247 м 490,1 мм 247 м 491,0 мм	-0,9 (-0,9)
7	103 м 452,6 мм 144 м 037,6 мм	103 м 454 мм 144 м 038 мм	-1,4 -0,4	247 м 490,2 мм 247 м 492 мм	-1,8 (-0,9)
8	103 м 452,1 мм 144 м 037,6 мм	103 м 453 мм 144 м 038 мм	-0,9 -0,4	247 м 489,7 мм 247 м 491,0 мм	-1,3 (-0,9)
9	103 м 452,4 мм 144 м 037,3 мм	103 м 454 мм 144 м 038 мм	-1,6 -0,7	247 м 489,7 мм 247 м 492 мм	-2,3 (-1,9)
10	103 м 452,3 мм 144 м 037,7 мм	103 м 453 мм 144 м 039 мм	-0,7 -1,3	247 м 490,0 мм 247 м 492,0 мм	-2,0 (-1,9)
11	$A_1B_1 = S_{\text{этал}}$ $A_1B_1 = S_{\text{изм}}$	-	-	247 м 490,1 мм 247 м 491,0 мм	-0,9

Результаты поверки показали, что величины отклонений практически одинаковы и также имеют знак «минус». Из этого следует, что предлагаемая методика проведения метрологической поверки работоспособна.

Графическое представление результатов исследований для линии *AB* представлено на рисунке 3.10, 3.11.

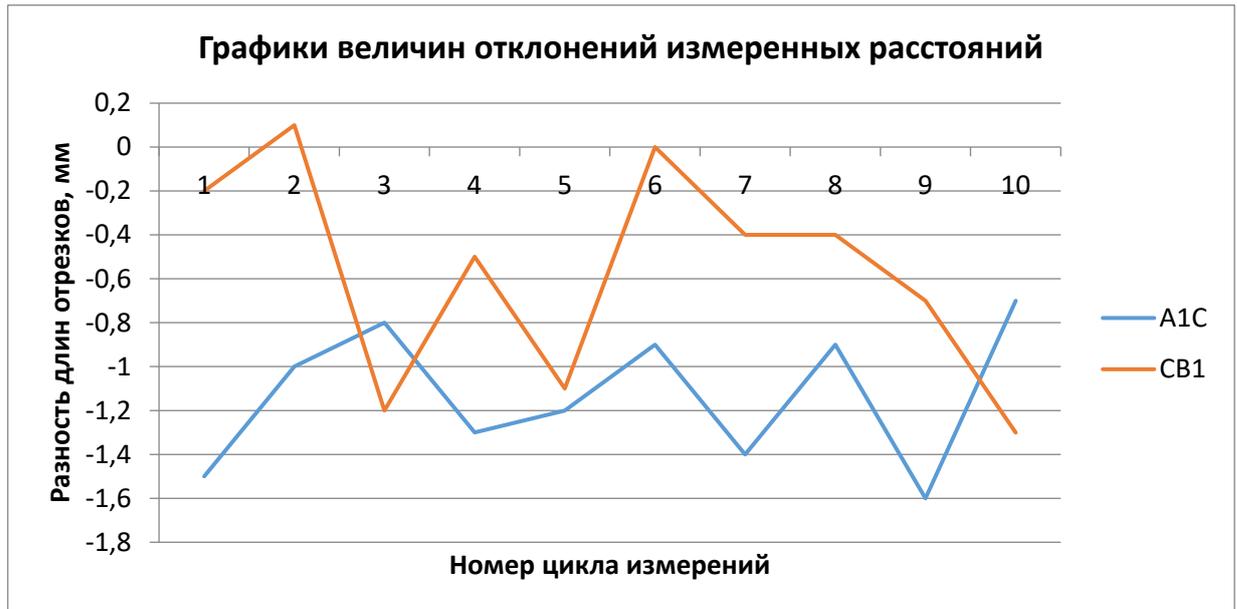


Рисунок 3.10 – График величин отклонений измеренных расстояний

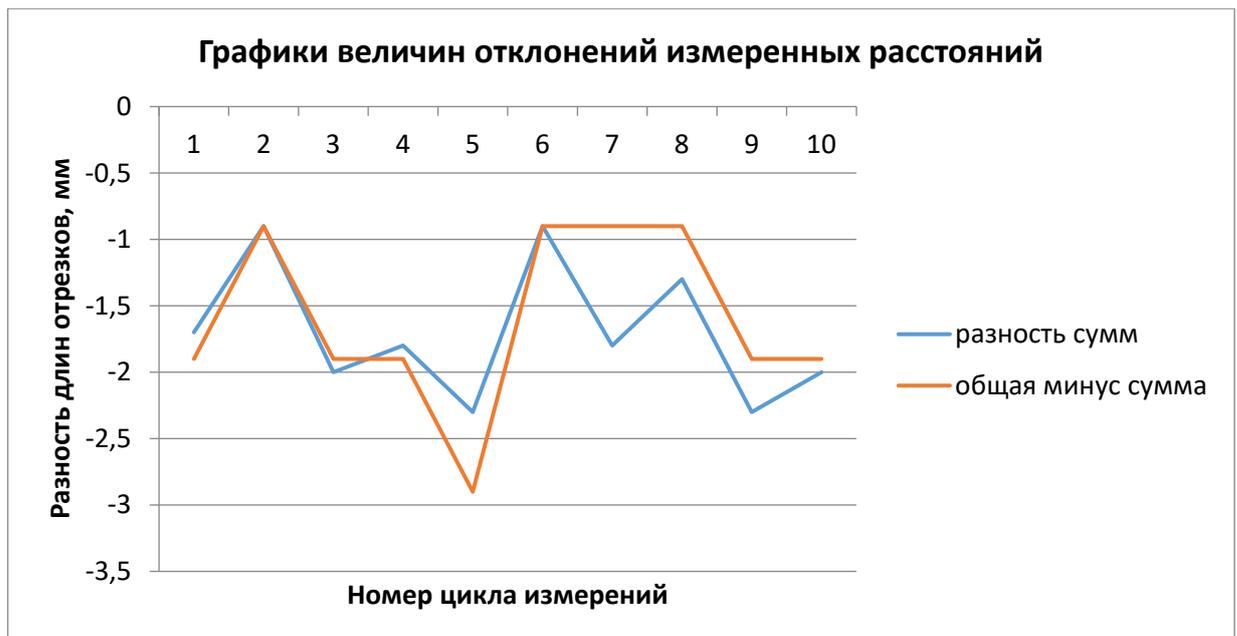


Рисунок 3.11 – График величин отклонений измеренных расстояний от *AB*

Достоинством данной методики является возможность применения ее на территории действующего предприятия или на промплощадке строящегося инженерного сооружения.

3.4 Разработка передвижного базиса для поверки тахеометров и светодальномеров на базе автомобиля

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 с использованием автомобиля. При его применении решаются две следующие задачи:

- значительно уменьшается время на перемещение между точками установки отражателя;
- имеется возможность увеличивать длину измеряемых линий до нескольких километров.

При этом поверка тахеометра может производиться измерением одной или двух эталонных линий.

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.

Достоинством схемы измерений с перемещением тахеометров является большая возможность выбора длин измеряемых расстояний, так как будет иметься возможность выбрать место установки тахеометров с хорошей видимостью на отражатель.

Таким образом, предлагаемое решение данной задачи заключается в том, что штатив с отражателем (тахеометром) будет перемещаться с помощью автомобиля. Водитель автотранспорта будет заниматься транспортировкой штатива с отражателем, сбором и установкой отражателя в требуемых точках, а исполнитель будет

находиться рядом с тахеометрами и производить измерения. Данное решение позволит осуществить транспортировку тяжелого и дорогого оборудования, и существенно ускорит саму процедуру полевых работ.

В рамках апробирования данной методики поверки нами была проведена серия полевых измерений. В одной из таких серий измерений в качестве места проведения работ был выбран участок автомобильной дороги 50К-24 напротив здания «Новосибирск Экспоцентр». Выбранное место обладало незначительными перепадами высот и хорошей видимостью, что позволило расположить приборы и подобрать места установки штатива с отражателем таким образом, чтобы расстояние между местом установки приборов и местом последней точки установки отражателя было значительным (более 700 м). Измерения проводились 12 августа 2022 г. в 13 часов, температура воздуха была приблизительно равна 25 °С, были минимальная облачность и влажность. Необходимо отметить, что имели место сравнительно неблагоприятные условия выполнения измерений, обусловленные высокой температурой и проходящей рядом автомобильной дорогой (рисунок 3.12). В связи с этим максимальное измеренное в рамках работ расстояние получилось равным 707 м.



Рисунок 3.12 – Схема установки эталонного и поверяемого тахеометров

Целью данных исследований было установление возможности проведения поверки в сравнительно неблагоприятных условиях, в нашем случае наличие турбулентности воздуха, которая приводила к заметному колебанию изображения отражателя. Вместе с тем, полученные результаты измерений (Приложение М) позволили выполнить поверку.

С применением данной схемы были выполнены измерения расстояний длиной 200, 490 и 707 м с произвольной установкой отражателя двумя сериями за $1^h 10^m$. Результаты поверки приведены в таблице 3.9, а величины СКО – в таблице 3.10.

Таблица 3.9 – Поверка тахеометра с применением автомобиля и произвольной установкой отражателя

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

Таблица 3.10 – Величины СКО измерения расстояний при неблагоприятных внешних условиях

Величина СКО измеренных расстояний, мм				
S , м	Leica 405		Leica 1201	
	AC	A_1C	AC	A_1C
200	0,27	0,24	0,24	0,16
500	0,30	0,23	0,31	0,23
700	0,33	0,40	0,43	0,37

На рисунке 3.13 представлен график зависимости величин разностей расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами.

Достоинства данной методики следующие:

- высокая скорость проведения поверки;
- удобство проведения полевых работ;

– возможность в течение нескольких часов выполнить измерения различных по длине расстояний.

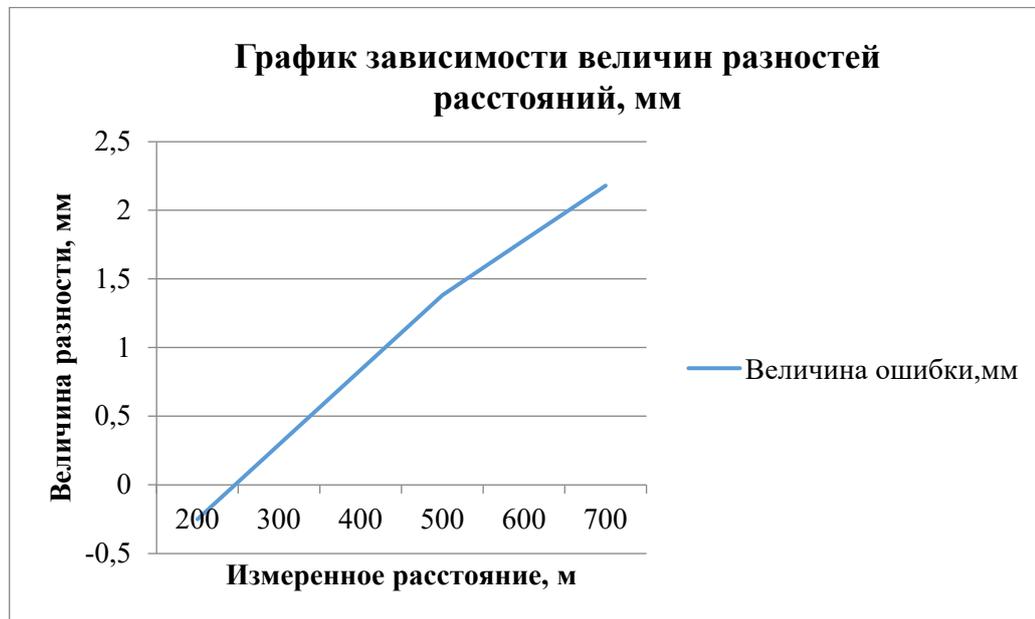


Рисунок 3.13 – График величин отклонений от длины измеренных расстояний

С применением автомобиля также удобно выполнять поверку с применением методики

3.5 Разработка универсального полевого стенда для поверки тахеометров

Как уже указывалось выше, согласно требованиям нормативного документа [88], для выполнения метрологической поверки тахеометров и светодальномеров требуется создание эталонного базиса соответствующего разряда. Такие стационарные базисы (стенды) должны иметь специализированные организации, которые занимаются метрологической поверкой тахеометров. В настоящее время такие стационарные базисы имеют ряд организаций, к которым относятся, например, ФГУП «ВНИИФТРИ», ФГБУ «ЦГКи ИПД», ФГБОУ ВО «СГУГиТ», ФГБОУ ВО «МИИ-ГАиК», АО «Инжгеодезия» и др. [3–9].

Особенность этих стационарных базисов состоит в том, что они предназначены для проведения метрологической поверки только тахеометров и светодально-

меров. Вместе с тем, специализированные организации выполняют метрологические поверки и других геодезических приборов, например, нивелиров и ГНСС-приемников и для этого необходимы соответствующие лабораторные и полевые стенды.

В связи с этим с целью исключения необходимости создания нескольких видов полевых стендов нами [99] предлагается 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.

С помощью предлагаемого универсального полевого стенда имеется возможность проведения следующих метрологических и технологических поверок:

- для цифровых нивелиров и нивелиров с визуальным отсчитыванием различной точности – СКО измерения превышения на станции, а также на 1,0 км двойного хода;
- для светодальномеров – СКО измерения расстояния и постоянной прибора;
- для тахеометров, в том числе и роботизированных различной точности – СКО измерения расстояний и превышений на станции и на 1,0 км двойного хода из выполнения тригонометрического нивелирования, а также приращений координат;
- для лазерных сканеров – СКО определения координат;
- для ГНСС-приемников – СКО определения координат в режимах «Статика», «Быстрая статика» и «Кинематика в режиме реального времени».

Принципиальная схема предлагаемого универсального полевого стенда представляет собой построение, созданное на горизонтальной площадке (рисунок 3.14) и состоящее из набора концентрических окружностей с разными радиусами (5, 20, 50 и 75 м), в центре O которых располагается геодезический пункт в виде металлической тумбы, оборудованный устройством для принудительного центрирования.

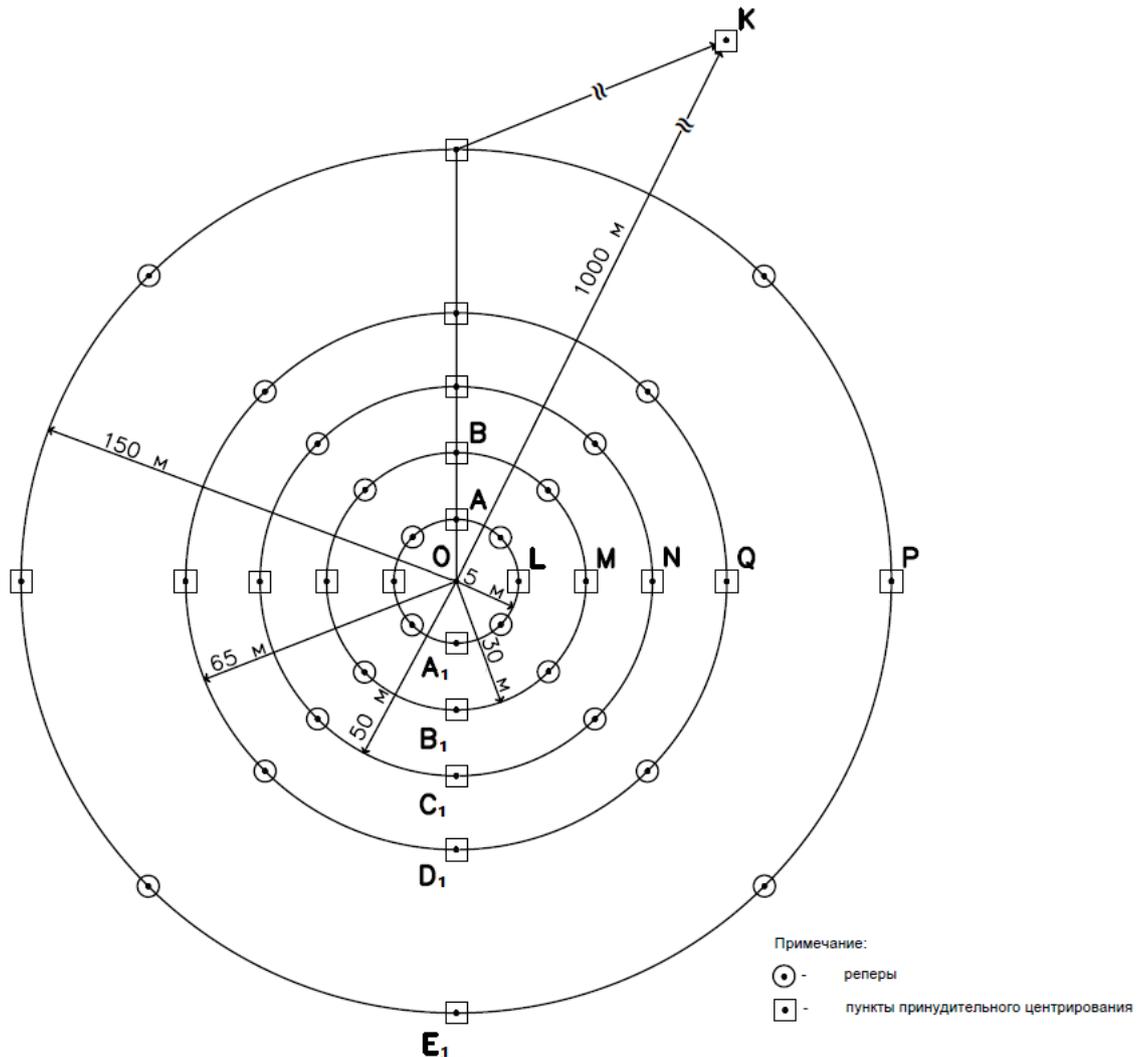


Рисунок 3.14 – Принципиальная схема универсального полевого станда

Горизонтальную площадку необходимо располагать в таком месте, чтобы имелась возможность выполнения измерений в любое время года, особенно в зимнее. Для удобства выполнения поверок в дождливую погоду рядом с тумбой **O** предусмотрено устройство для установки геодезического зонта.

Вокруг этого центра в восьми направлениях закрепляются геодезические пункты первого и второго типа. Первый тип – реперы со сферическими головками для обеспечения выполнения нивелирования, второй тип – тумбы с принудительным центрированием для обеспечения измерения расстояний, приращений координат и тригонометрического нивелирования. Выбор таких типов пунктов обусловлен особенностям установок на них указанных выше геодезических приборов при

выполнении измерений. Кроме того, по одному диаметру, например, EE_1 тумбы должны быть установлены по створу с ошибкой не более 10,0 мм.

Универсальный полевой стенд может быть выполнен в двух вариантах:

- с постоянными закрепленными пунктами первого и второго типа;
- с постоянными закрепленными пунктами первого типа и съемными пунктами второго типа.

Такое разделение по конструкции стенда обусловлено вопросом обеспечения сохранности пунктов второго типа. Если будет обеспечена сохранность тумб на пунктах второго типа, то они изготавливаются в необходимом количестве и устанавливаются на постоянной основе. В противном случае изготавливается три-четыре тумбы, которые делаются съемными и при выполнении измерений они устанавливаются на бетонное основание с анкерными болтами. В процессе выполнения измерений, при необходимости, они снимаются и переносятся с последующей их установкой на новый пункт.

Выполнение поверок нивелиров выполняется с использованием центральной тумбы O и реперов со сферическими головками, а тахеометров, светодальномеров и ГНСС-приемников – также с использованием центральной тумбы O и пунктов с принудительным центрированием. При необходимости для выполнения поверок могут быть применены и другие комбинации использования реперов и пунктов с принудительным центрированием.

Поверка тахеометров включает в себя определение:

- постоянной величины I прибора;
- СКО измерения горизонтальных углов и углов наклона, а также стабильности величины коллимационной ошибки и места нуля (МО) в полевых условиях;
- величины СКО измерения расстояния;
- СКО получения приращений координат Δx и Δy , а также превышений h .

При выполнении высокоточных измерений расстояний ($m_s = 0,3-0,5$ мм), а также высокоточных определений приращений координат Δx и Δy (не более 0,5 мм), предъявляются повышенные требования к точности определения вели-

чины постоянной величины прибора Π , которая состоит из постоянных дальномера и отражателя

$$\Pi = \Delta_1 + \Delta_2, \quad (3.1)$$

где Δ_1 – величина несовпадения начала счета расстояния с осью вращения тахеометра;

Δ_2 – величина несовпадения отражающих поверхностей отражателя с осью вращения отражателя.

В современных тахеометрах величина Δ_1 сводится к минимуму и она не превышает 0,1–0,2 мм, а величина Δ_2 может быть равна несколько десятков миллиметров. Так, постоянная поправка отражателя тахеометров *Trimble* равна +35,0 мм.

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

$$\begin{aligned} OE &= S_1 + \Delta_1 + \Delta_2 = S_1 + \Pi, \\ OE_1 &= S_2 + \Delta_1 + \Delta_2 = S_2 + \Pi. \end{aligned} \quad (3.2)$$

При измерении расстояния EE_1 будем иметь

$$EE_1 = S_3 + \Delta_1 + \Delta_2 = S_3 + \Pi. \quad (3.3)$$

Следовательно

$$EE_1 - (OE + OE_1) = S_3 - (S_2 + S_1) = \Pi. \quad (3.4)$$

С целью повышения точности определения постоянной поправки P необходимо выполнить не менее трех серий измерений.

Для определения СКО измерения горизонтальных углов и углов наклона, а также стабильности коллимационной ошибки и места нуля (МО) в полевых условиях на тумбе O устанавливается тахеометр, а на двух пунктах с принудительным центрированием устанавливаются хорошо видимые визирные цели. После этого в течение дня с интервалом 20–30 минут измеряются горизонтальный угол и угол наклона с последующим вычислением СКО измерения углов, коллимационной ошибки и МО. Поверка выполняется при разных температурных режимах (от -20 до $+30$ °С) и разных расстояниях. По колебаниям их значений определяется стабильность указанных параметров. Эта поверка выполняется, в основном, после ремонта тахеометра, а также на стадии полевых испытаний новой серии тахеометров.

Определение величины СКО измерения расстояния необходимо выполнять для коротких (до 250 м) и длинных, 800 м и более. Это обусловлено тем, что на площадке при создании внешнего обоснования расстояние между его пунктами находится в пределах 100–300 м в зависимости от ее размеров. Более длинные расстояния имеют место при создании сетей сгущения на территории городов, а также при строительстве мостов и линейных изысканиях.

Определение величины СКО измерения расстояния может производиться с установкой тахеометра на тумбу O , а отражателей на пункты A, B, C, \dots, E . Если требуется выполнить исследования для большего расстояния, то тахеометр устанавливается на пункте E , а отражатель может устанавливаться на пунктах A_1, B_1, C_1, \dots, E . Для измерений длинных расстояний отражатель устанавливается на пункте K , расположенном вне полевого станда, но входящим в его конструкцию. Определение величины СКО измерения расстояния может выполняться с установкой тахеометра на тумбу O или на пункт E .

Следует отметить, что необходимо различать поверку высокоточных тахеометров, а также точных и технических. Необходимость отдельной поверки высоко-

точных тахеометров обусловлено требованием поверочной схемы, заключающимся в обеспечении передачи последующим средствам измерений (точным и техническим тахеометрам) эталонной единицы длины. Поэтому передача единицы длины на пункты стенда производится в следующей последовательности:

- определение СКО измерения расстояния (передачи единицы длины) высокоточным тахеометром с использованием стационарного лазерного компаратора, обеспечивающим сохранение и передачу этой единицы длины с ошибкой не хуже 0,001 мм при длине компаратора не более 24,0 м;

- передача размера единицы длины на пункты полевого стенда для расстояния не более 65 м с ошибкой не хуже 0,2 мм (с учетом остаточного влияния ошибок центрирования тахеометра и отражателя), для расстояния не более 150 м с ошибкой не хуже 0,2–0,3 мм и для расстояния 0,8–1,0 км с ошибкой не хуже 1,0 мм;

- производство проверок рабочих средств (точных и технических тахеометров) измерений.

Поверка точных и технических тахеометров может производиться путем измерения отдельного эталонного расстояния, измеренного поверенным высокоточным тахеометром, а также с использованием набора расстояний во всех комбинациях.

Заключительной проверкой является определение СКО получения приращений координат Δx и Δy , а также превышений h из тригонометрического нивелирования, в зависимости от расстояний до точек установки отражателя (рейки). Для этого могут быть использованы следующие три методики.

Реализация первой методики основана на определении СКО измерений по внутренней сходимости полученных результатов с использованием формулы Бесселя. Для этого на тумбе O устанавливается поверяемый тахеометр и из нескольких серий измерений определяются приращения координат Δx и Δy , а также превышения h , после чего с использованием указанной выше формулы вычисляются СКО выполненных измерений. Так как на промплощадке часто требуется высокая точность определения приращений координат (0,5–1,5 мм), а также превышений (0,2–0,5 мм), то измерения выполняются при расстояниях от 30 до 150 м [13].

При реализации второй методики используются эталонные значения координат и превышений пунктов, полученные высокоточными тахеометрами (измеряются приращения координат Δx и Δy) и нивелирами (измеряются превышения). Для этого предварительно указанными приборами определяются координаты и высоты и превышения выбранных пунктов (реперов), которые принимаются за эталонные. После этого поверяемым прибором производится их повторное определение и по формуле Гаусса вычисляется СКО измерений.

При реализации третьей методики используется эталонное перемещение микрометрическим винтом отражателя (рейки), величина которого затем измеряется поверяемым тахеометром. После этого также поверяемым прибором производится измерение величины этого перемещения и по формуле Гаусса вычисляется СКО полученных результатов.

3.6 Совершенствование локальной поверочной схемы для метрологической поверки средств линейных измерений

Таким образом, выполненные исследования подтвердили возможность проведения поверки тахеометров и светодальномеров с применением в качестве эталона 2-го разряда высокоточных фазовых дальномеров (тахеометров), а в качестве устройств (центров эталонного базиса) фиксации длин линий – устойчиво установленных штативов с подвешенными грузами.

Тем самым создается поверочная система, которая достаточно просто может быть реализована в любом регионе РФ. Данное техническое решение согласуется с требованиями правой ветви локальной поверочной схемы [25, 85], которая разрешает выполнять метрологическую поверку тахеометров и светодальномеров методом сличения. Кроме того, организация, имеющая лицензию на выполнение поверки тахеометров и светодальномеров, может одним эталонным комплектом выполнять поверки в разных регионах. Следовательно, производственным организациям нет необходимости затрачивать значительные финансовые и временные ресурсы на транспортировку поверяемого тахеометра (светодальномера) к месту

нахождения специализированной организации, например, из Якутии в Новосибирск. В этом случае для решения данной задачи бригада из специализированной организации, например, из Новосибирска вылетает с эталонным комплектом в Якутию и в течение определенного времени, например, 10–15 дней проводит поверку всех тахеометров (светодальномеров) данного региона. Так как такая метрологическая поверка производится ежегодно, то можно заранее согласовать время ее выполнения с заинтересованными организациями.

Непосредственно нашими исследованиями установлено, что:

- вес эталонного комплекта (тахеометр и два качественных штатива) составляет 11 кг; если два качественных штатива арендовать в регионе выполнения поверок, то вес данного комплекта не будет превышать 6–7 кг;
- транспортировка эталонного комплекта к месту выполнения измерений может быть выполнена любым транспортом;
- с целью исключения возможных механических повреждений эталонного тахеометра его транспортировка должна производиться со всеми предосторожностями в салоне самолета, в купе поезда и в салоне автомобиля;
- выбор трассы для разбивки измеряемых линий не требует значительных затрат времени, так как для выполнения поверки может быть использован практически любой рельеф местности в населенных пунктах с твердым покрытием;
- время установки штатива с отражателем по измеряемой линии с использованием автомобильного транспорта не превышает 0,5 часа;
- если при проведении поверки используются методики с произвольными длинами линий, то изменение расстояния между ними может производиться перемещением отражателя или тахеометров. В обоих случаях это перемещение может выполняться автомобильным транспортом по одной из следующих схем:
 - эталонный и поверяемый тахеометры неподвижны – перемещается отражатель;
 - отражатель неподвижен – перемещаются эталонный и поверяемый тахеометры;

– контроль полученных результатов в процессе выполнения измерений не представляет затруднений, так как значения измеряемых линий эталонным и поверяемым тахеометрами примерно одинаковы и наблюдатель легко может обнаружить возможную грубую ошибку.

На основании выполненных полевых исследований можно сделать следующие выводы:

– предлагаемая третья ветвь ЛПС (рисунок 3.15) позволяет обеспечить передачу единицы длины на уровне точности стационарного эталонного базиса 2-го разряда, минуя его создание;

– один комплект оборудования данной ЛПС позволяет проводить метрологическую аттестацию светодальномеров и тахеометров в разных регионах РФ практически в любое время года;

– комплект рабочего эталона 2-го разряда может состоять из одного или двух (для проведения дополнительного контроля) высокоточных тахеометров;

– метрологическая аттестация может проводиться практически в любом месте (город, сельское поселение);

– стоимость проведения метрологической аттестации с помощью предлагаемой третьей ветви ЛПС значительно меньше по сравнению с использованием стационарного эталонного базиса.

В заключение необходимо ответить на вопрос о поверке (передаче единицы длины) самого рабочего эталона 2-го разряда (высокоточного тахеометра). Эта поверка должна производиться ежегодно с использованием рабочего эталона 1-го разряда (стационарного базиса), который в настоящее время поддерживается в рабочем состоянии в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных» (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»).

Другим решением является применение для проведения поверки группы высокоточных фазовых тахеометров (исходного эталона). В этом случае поверка может производиться через рабочий эталон 1-го разряда или минуя его непосредственно поверкой тахеометра 2-го разряда.

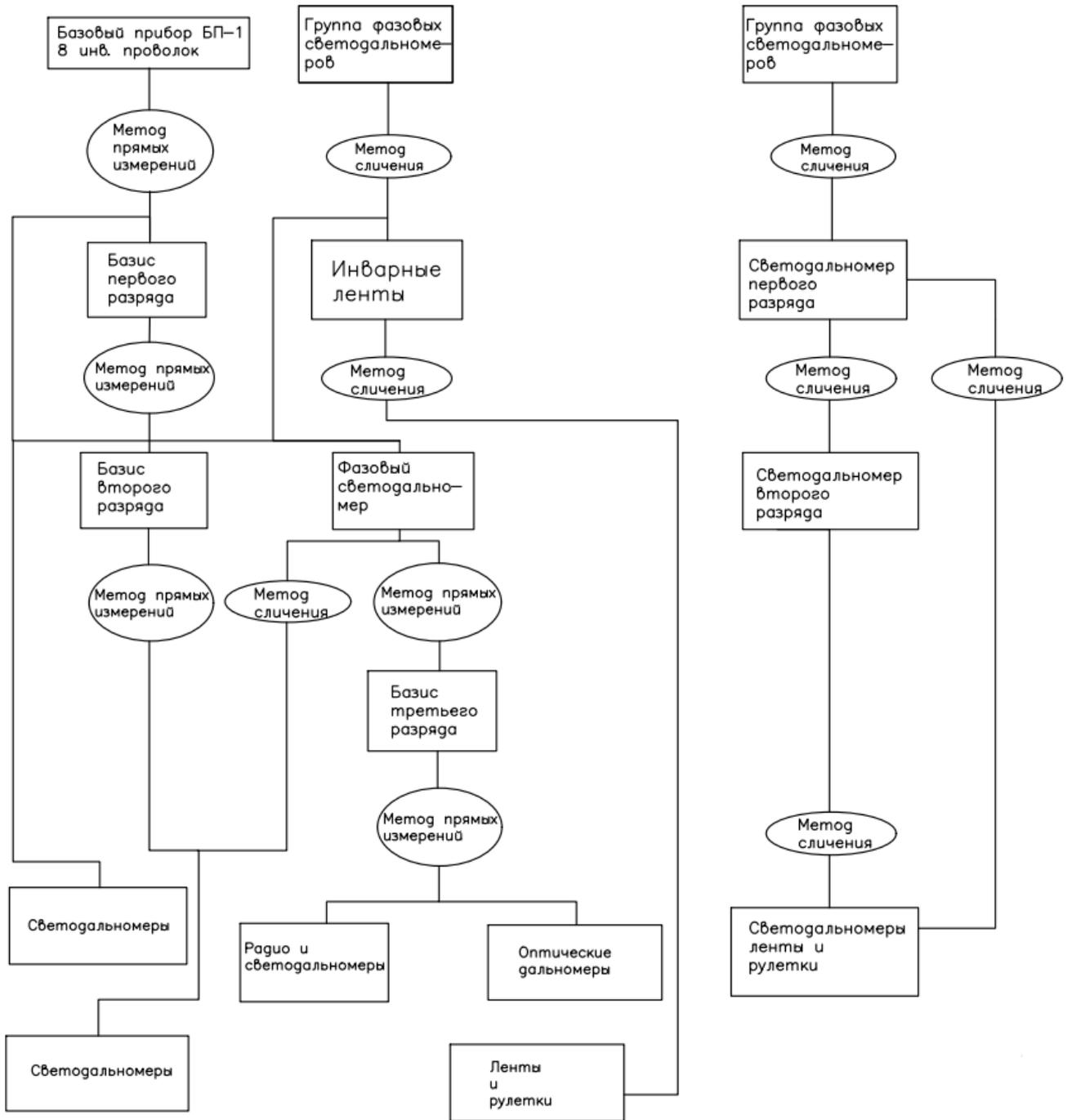


Рисунок 3.15 – Локальная поверочная схема средств линейных измерений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

В ходе диссертационного исследования были получены следующие основные результаты:

– выполнен анализ существующих способов, методик и поверочных схем выполнения метрологической поверки светодалномеров 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 светодалномеров и тахеометров, основанные на использовании метода сличения без компаратора, с применением в качестве рабочего эталона 1-го разряда высокоточных фазовых светодалномеров (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 светодалномеров 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1 Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1. / К. М. Антонович. – Москва : Картоцентр, 2005. – 334 с. – Текст : непосредственный.

2 Афонин, Д. А. Построение геодезической разбивочной сети, закрепляемой пленочными отражателями / Д. А. Афонин. – Текст : непосредственный // Записки Горного института. – Санкт-Петербург : РИЦ Горного университета. – 2012. – Т. 199. – С. 301–308.

3 Беспалов, Ю. И. Исследование точности измерения превышений электронными тахеометрами / Ю. И. Беспалов, С. Г. Мирошниченко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2009. – № 3. – С. 12–13.

4 Беспалов, Ю. И. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования / Ю. И. Беспалов, Ю. П. Дьяконов, Т. Ю. Терещенко. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10.

5 Блюмин, М. А. Измерение малых смещений светодальномером СМ 3 / М. А. Блюмин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1977. – № 5. – С. 25–28.

6 Большаков, В. Б. Высокоточные геодезические измерения для строительства и монтажа большого серпуховского ускорителя / В. Б. Большаков. – Москва : Недра, 1968. – Текст : непосредственный.

7 Бронштейн, Г. С. Выявление и учет постоянной ошибки светодальномера при измерении расстояний в комбинациях / Г. С. Бронштейн, В. Н. Симонович. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1973. – № 7. – С. 17–25.

8 Бронштейн, Г. С. О методике определения постоянной поправки светодальномера / Г. С. Бронштейн. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1983. – № 6. – С. 27–29.

9 Бронштейн, Г. С. Одновременное определение приборной и периодической поправок светодальномера / Г. С. Бронштейн. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1990. – № 10. – С. 19–21.

10 Васютинский, И. Ю. Гидронивелирование / И. Ю. Васютинский. – Москва : Недра, 1983. – 179 с. – Текст : непосредственный.

11 Визиров, Ю. В. Особенности метрологического и сервисного обслуживания цифровых нивелиров / Ю. В. Визиров, С. В. Ковалёв, А. И. Спиридонов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2002. – № 3. – С. 17–19.

12 Вшивкова, О. В. О комплексном подходе к решению рефракционной проблемы / О. В. Вшивкова. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 4. – С. 41–46.

13 Генике, А. А. О методах метрологического контроля спутниковых координатных определений / А. А. Генике, Л. М. Бланк, В. С. Чудковский. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2002. – № 12. – С. 25–29.

14 Генике, А. А. Особенности реализации метода метрологического контроля спутниковых координатных определений / А. А. Генике, Л. М. Бланк. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 14–18.

15 Герасименко, М. Г. О некоторых проблемах современных высокоточных линейных измерений / М. Г. Герасименко, А. А. Генике. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1981. – № 6. – С. 16–20.

16 ГКИНП (ГНТА) 17-195–99. Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов. – Москва : ЦНИИГАиК, 1999. – Текст : непосредственный.

17 Голыгин, Н. Х. Исследование внутришаговой короткопериодической погрешности цифрового нивелира Dini 10 / Н. Х. Голыгин, Д. А. Шаимкулов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2003. – № 5. – С. 106–116.

18 Голыгин, Н. Х. Перспективы использования измерительных систем «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» / Н. Х. Голыгин, Ю. Е. Федосеев, П. А. Черепанов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 13–16.

19 Голыгин, Н. Х. Стенд для аттестации вертикальных угловых измерительных систем геодезических приборов / Н. Х. Голыгин, С. В. Травкин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 2. – С. 128–131. – Текст : непосредственный.

20 ГОСТ 19223–90. Светодалномеры геодезические. Общие технические условия. – Москва : Издательство стандартов, 1996. – 14 с. – Текст : непосредственный.

21 ГОСТ 21780–2006. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Расчет точности. – Москва : Центр метрологии нормирования и стандартизации в строительстве, 2008. – Текст : непосредственный.

22 ГОСТ 8.020–75. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений длины. – Москва : Издательство стандартов, 1986. – Текст : непосредственный.

23 ГОСТ 8.061–80. Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1980. – Текст : непосредственный.

24 ГОСТ 8.417–02. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2002. – 32 с. – Текст : непосредственный.

25 ГОСТ 8.503–84. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне 24–75000 м. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. – 5 с. – Текст : непосредственный.

26 ГОСТ 8.513–84. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения. – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1984. – 11 с. – Текст : непосредственный.

27 ГОСТ ПР 50.2.002–94. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, ат-

тестованными 104 методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1994. – Текст : непосредственный.

28 ГОСТ Р 51774–2001. Тахеометры электронные. Общие технические условия. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2001. – Текст : непосредственный.

29 ГОСТ Р 53340–2009. Приборы геодезические. Общие технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2009. – 14 с. – Текст : непосредственный.

30 ГОСТ Р 53606–2009. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнение геодезических и землеустроительных работ. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – Москва : Стандартинформ, 2010. – Текст : непосредственный.

31 ГОСТ Р ИСО 17123-5–2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Оптика и оптические приборы. Методики полевых испытаний геодезических и топографических приборов. Часть 5. Электронные тахеометры. – Москва : Стандартинформ, 2011. – 14 с. – Текст : непосредственный.

32 ГОСТ Р ИСО 17123-8–2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Оптика и оптические приборы. Методики полевых испытаний геодезических и топографических приборов. Часть 8. Полевые испытания GNSS-аппаратуры в режиме «Кинематика в реальном времени» (RTK). – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200088029>. – Текст : электронный.

33 ГОСТ Р 8.568–2017. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 16 с. – Текст : непосредственный.

34 ГОСТ Р 8.885–2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 6 с. – Текст : непосредственный.

35 Димов, Ю. В. Метрология, стандартизация и сертификация : учебное пособие для вузов. – Москва : Питер, 2005 – 432 с. – Текст : непосредственный.

36 Измерительный комплекс для аттестации угловых и линейных измерительных систем УМК-М / Е. С. Бахарев, Н. Х. Голыгин, С. В. Травкин, О. Б. Хиноева,

Х. К. Ямбаев. – Текст : непосредственный // Приборы. – 2006. – № 5 (71). – С. 50–54.

37 Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов . – Москва : Недра, 1990. – 168 с. – Текст : непосредственный.

38 Ипатов, И. И. Некоторые исследования светодальномеров 2СМ-2 / И. И. Ипатов, А. Н. Марков. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1982. – № 5.

39 Исследование влияния вибрации на точность измерений цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами / А. Бешр. Ашраф, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина, А. Н. Теплых. – Текст : непосредственный // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 123–126.

40 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.

41 Исследование точности определения высотных отметок конструкции линейного сооружения с использованием разных геодезических приборов / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Л. А. Пронина, Н. А. Пархоменко. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ. – 2019. – № 4 (24). – С. 44–57.

42 Исследование точностных характеристик внутреннего электронного уровня API Laser Tracker 3 / Д. Б. Буренков, П. П. Мурзинцев, А. В. Полянский, Ю. А. Пупков, Л. Е. Сердаков. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 13–16.

43 Исследование цифровых нивелиров и реек / Г. А. Уставич, Н. М. Рябова, В. Г. Сальников, М. Е. Рахымбердина. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2011. – № 4. – С. 9–15.

44 Камен, Х. Электронные способы измерений в геодезии / Х. Камен ; пер. с нем. Д. Д. Дзямана. – Москва : Недра, 1982. – Текст : непосредственный.

45 Кафтан, В. И. Определение смещений и деформаций по данным спутниковых наблюдений / В. И. Кафтан, П. А. Докунин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2007. – № 9. – С. 18–21.

46 Кирьянов, Ю. В. Влияние вибрации на устойчивость штативов / Ю. В. Кирьянов, Н. М. Комар. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1984. – № 4. – С. 112–117.

47 Кирьянов, Ю. В. Исследование метода виброизоляции для защиты геодезических приборов от вибрационного воздействия / Ю. В. Кирьянов, В. А. Перов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1986. – № 1. – С. 110–115.

48 Комиссаров, А. В. Исследование точности определения деформаций сооружений при помощи электронного тахеометра и наземного лазерного сканера / Ашраф А. Бешр, А. В. Комиссаров. – Текст : непосредственный // Материалы IV Международ. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2008», 22–24 апр. 2008 г., Новосибирск. – Новосибирск, 2008. – Т. 1, ч. 1 – С. 107–111.

49 Крылов, В. Д. Роль компараторов в обеспечении единства измерений / В. Д. Крылов, А. И. Спиридонов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2003. – № 10. – С. 46–50.

50 Кузнецов, П. Н. Геодезическое инструментоведение / П. Н. Кузнецов, И. Ю. Васютинский, Х. К. Ямбаев. – Москва : Недра, 1984. – 364 с. – Текст : непосредственный.

51 Методика института. Светодалномеры. Методы и средства поверки. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – 31 с. – Текст : непосредственный.

52 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.

53 Методика развития ПВО с использованием элементов строительных конструкций / Г. Г. Китаев, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова, Е. Л. Соболева. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8–18 апреля 2014 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшедерия» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГГА, 2014. – С. 7–13.

54 МИ БГЕИ 40–03. Базисы эталонные. Методы поверки. Методика института. – Москва : ЦНИИГАиК, 2003. – 6 с. – Текст : непосредственный.

55 Михеечев, В. С. Геодезические светодальномеры / В. С. Михеечев. – Москва : Недра, 1979. – 222 с. – Текст : непосредственный.

56 Михелев, Д. Ш. Координатный метод разбивочных работ / Д. Ш. Михелев, В. А. Шлепы, Ю. Д. Михелев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – № 1. – С. 17–21.

57 Нестеренок, В. Ф. Приближенный анализ влияния вибрации на устойчивость системы штатив-геодезический прибор / В. Ф. Нестеренок. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1985. – № 1. – С. 69–76.

58 Никонов, А. В. Исследование влияния хода фокусирующей линзы зрительной трубы электронного тахеометра на положение визирной оси. – Текст : непосредственный / А. В. Никонов, Н. М. Рябова, С. П. Алексеев // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 93–99. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-1-93-99.

59 Никонов, А. В. Методика тригонометрического нивелирования первого и второго разрядов / А. В. Никонов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 39–45.

60 Никонов, А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдения за осадками сооруже-

ний / А. В. Никонов. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 78–86.

61 Никонов, А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики / А. В. Никонов. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18. – Текст : непосредственный.

62 Никонов, А. В. Применение высокоточного тригонометрического нивелирования при деформационном мониторинге гидротехнических сооружений / А. В. Никонов, В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 85–92. – DOI 10.33764/2618-981X-2021-1-85-92.

63 О выборе местоположения станций лазерного трекера для установки технологического оборудования / Л. Е. Сердаков, Д. Б. Буренков, П. П. Мурзинцев, А. В. Полянский. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2019. – № 11. – С. 22–25.

64 Об аттестации светодальномеров, электронных тахеометров и GPS-приемников на эталонных линейных базисах / А. В. Кошелев, Г. А. Уставич, В. А. Кошелев, С.С. Титов, Ю. В. Скипа, А. А. Дубинина, Н. В. Заржецкая. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2011. – № 6. – С. 18–21. – Текст : непосредственный.

65 Об обеспечении единства измерений : федеральный закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 11.06.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 29.12.2021). – Текст : непосредственный // Собрание законодательства РФ. – 2008.

66 Парвулюсов, Ю. Б. Стенд для метрологической аттестации высокоточных угломерных приборов / Ю. Б. Парвулюсов, Б. В. Гончаров. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2000. – № 6. – С. 157–162.

67 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.

68 Пик, Л. И. О постановке метрологического обеспечения эксплуатации геодезических приборов / Л. И. Пик. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1987. – № 8. – С. 10–11.

69 Пискунов, А. М. О точности превышений, полученных из тригонометрического нивелирования короткими лучами / А. М. Пискунов, Н. И. Майоров. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1990. – № 1. – С. 12–14.

70 Пискунов, М. Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений / М. Е. Пискунов. – Москва : Недра, 1980. – 248 с. – Текст : непосредственный.

71 Поверка и калибровка цифровых нивелиров и штрих-кодовых реек / Н. Х. Голыгин и др. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 2. – С. 93–97.

72 Подшивалов, В. П. Тригонометрическое нивелирование коротким лучом / В. П. Подшивалов, Али Салим. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1994. – № 6. – С. 18–19.

73 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.

74 Прусаков, А. Н. О современном состоянии метрологического обеспечения единства измерений при осуществлении геодезической и картографической деятельности / А. Н. Прусаков, А. И. Спиридонов. – Текст : непосредственный // Инженерные изыскания. – 2017. – № 6-7. С. 28–37.

75 Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом / Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина, А. В. Никонов, С. А. Бабасов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.

76 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.

77 Рахымбердина, М. Е. К вопросу метрологического обеспечения нивелиров / М. Е. Рахымбердина. – Текст : непосредственный // Вестник ВКГТУ. – 2007. – № 3. – С. 31–35.

78 РД 68-8.17–98 Локальные поверочные схемы (ЛПС) для средств измерений (СИ) топографо-геодезического и картографического назначения. – Москва : ЦНИИГАИК, 1999. – 26 с. – Текст : непосредственный.

79 Руководство по эксплуатации электронного тахеометра Leica arctic power 2. – URL: http://www.leica-geosystems.ru/ru/Leica-FlexLine-plus_99082.htm. – Загл. с экрана. – Текст : электронный.

80 Рязанцев, Г. Е. Применение оптических измерительных систем на основе современных электронных тахеометров для контроля за деформациями наземных зданий и сооружений / Г. Е. Рязанцев, И. С. Бубман. – Текст : непосредственный // ОФМГ. – 2003. – № 4.

81 Рязанцев, Г. Е. Современные автоматизированные системы контроля деформаций высотных зданий / Г. Е. Рязанцев, С. П. Буюкян, И. А. Седельникова. – Текст : непосредственный // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 2.

82 Светодалномеры. Методы и средства поверки. – Москва : ЦНИИГАиК. 1993. – 20 с. – Текст : непосредственный.

83 Сердаков, Л. Е. Геодезическое сопровождение на этапах сборки и эксплуатации модернизируемого источника синхротронного излучения Е8ВГ / Л. Е. Сер-

даков, П. П. Мурзинцев, Д. Мартин. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2018. – № 11. – С. 2–8.

84 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.

85 Спиридонов, А. И. Основы геодезической метрологии. – Москва : Картгеоцентр – Геодезиздат, 2003. – 247 с. – Текст : непосредственный.

86 Спиридонов, А. И. Поверка геодезических приборов / А. И. Спиридонов, Ю. Н. Кулагин, М. В. Кузьмин. – Москва : Недра, 1981. – 159 с. – Текст : непосредственный.

87 Староверов, С. В. Разработка и исследования стенда для оперативной технологической и метрологической поверки угломерных ГСИ / С. В. Староверов. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2017. – № 5.

88 СТО-02570823-19–05. Базисы линейные эталонные. Общие технические требования. – Москва : ЦНИИГАиК, 2005. – 42 с. – Текст : непосредственный.

89 Столбов, Ю. В. Методы расчета и обоснование допусков на строительные работы и геодезический контроль при возведении линейных сооружений / Ю. В. Столбов, С. Ю. Столбова, Л. А. Пронина. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Строительство. – 2018. – № 7 (710). – С. 60–69.

90 Сурнин, Ю. В. Полевой астрогравигеодезический эталон для метрологических испытаний геодезической аппаратуры / Ю. В. Сурнин. – Текст : непосредственный // Измерительная техника. – 2004. – № 9. – С. 3–7.

91 Травкин, С. В. Метод определения погрешностей измерения превышения высокоточными нивелирами с использованием концевых мер / С. В. Травкин. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 3. – С. 97–100.

92 Тревого, И. С. Об эталонировании малых светодальномеров / И. С. Тревого, Я. М. Костецкая. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1980. – № 2. – С. 37–41.

93 Тревого, И. С. Об эталонировании топографических светодальномеров / И. С. Тревого. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1987. – № 1. – С. 20–24.

94 Уставич, Г. А. Геодезия. Книга 2. : учебное пособие для вузов / Г. А. Уставич. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 536 с. – Текст : непосредственный.

95 Уставич, Г. А. Исследование штрих-кодовых реек цифровых нивелиров / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, А. Н. Теплых. – Текст : непосредственный // Вестник СГГА. – 2010. – № 2. – С. 3–8.

96 Уставич, Г. А. К вопросу создания эталонных базисов для аттестации спутниковой аппаратуры и светодальномеров / Г. А. Уставич. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1999. – № 9. – С. 7–14.

97 Уставич, Г. А. Методика проведения внеочередной поверки системы «цифровой нивелир+штрих-кодовая рейка» / Г. А. Уставич, Х. К. Ямбаев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 6. – С. 8–13.

98 Уставич, Г. А. Разработка программ наблюдений тахеометром на нивелирной станции способом из середины / Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина. – Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 163–169.

99 Уставич, Г. А. Совершенствование схем метрологической аттестации цифровых нивелиров и реек / Г. А. Уставич, К. Б. Хасенов, М. Е. Рахымбердина. – Текст : непосредственный // Инновационные технологии сбора и обработки геопространственных данных для управления природными ресурсами : сборник материалов Международной научной конференции, 18–19 сент. 2012 г., Алматы. – Алматы : КазНТУ, 2012. – С. 188–193.

100 Уставич, Г. А. Схема полевого высотного стенда для поверки системы «цифровой нивелир – штрихкодовые рейки» / Г. А. Уставич, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 51–55.

101 Уставич, Г. А. Технология выполнения высокоточного нивелирования цифровыми нивелирами / Г. А. Уставич. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2006. – № 2. – С. 3–6.

102 Черепанов, П. А. Поверка и калибровка измерительных систем «цифровой нивелир+две штрих-кодовые рейки» / П. А. Черепанов. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 3. – С. 119–122. – Текст : непосредственный.

103 Шануров, Г. А. Влияние кривизны траектории электромагнитных волн на измерение расстояний / Г. А. Шануров, Р. Р. Шакмеев. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2001. – № 7.

104 Шаршавицкий, Л. В. Исследование циклической составляющей постоянной поправки светодальномеров / Л. В. Шаршавицкий. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1981. – № 10. – С. 21–23.

105 Шевчук, П. М. Определение «постоянной» поправки радио- и светодальномерами по продольным невязкам ходов полигонометрии / П. М. Шевчук. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 1976. – № 2. – С. 34–37.

106 Шеховцев, Г. А. Теоретические основы одностороннего координатного способа определения крена сооружения башенного типа / Г. А. Шеховцев, Р. П. Шеховцева // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 5. – С. 30–31.

107 Широ, Ф. В. К вопросу оценки точности измерения СГА больших расстояний / Ф. В. Широ, Р. А. Татевян, В. И. Кафтан. – Текст : непосредственный // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 11–13.

108 Электронные тахеометры компании «НАВГЕОКОМ». – URL: <http://www.navgeocom.ru/catalog/taheom/index.htm>. – Текст : электронный.

109 Эталонный геодезический полигон СГГА – уникальный объект системы образования РФ / А. П. Карпик, В. А. Середович, К. М. Антонович, Л. Г. Куликова. – Текст : непосредственный // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 5, ч. 2. – С. 180–184. – Текст : непосредственный.

110 Ямбаев, Х. К. Геодезическое инструментоведение / Х. К. Ямбаев. – Москва : Академический проект, 2011. – 585 с. – Текст : непосредственный.

111 Ямбаев, Х. К. Инженерно-геодезические инструменты и системы : учебное пособие для вузов / Х. К. Ямбаев. – Москва : Издательство МИИГАиК, 2012. – 462 с. – Текст : непосредственный.

112 Ямбаев, Х. К. О возможности использования спутниковых GPS/ГЛОНАСС измерений для контроля вертикальности при возведении высотных сооружений / Х. К. Ямбаев. – Текст : непосредственный // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 4. – С. 36–40.

113 Ямбаев, Х. К. Специальные приборы для инженерно-геодезических работ / Х. К. Ямбаев. – Москва : Недра. 1990. – 266 с. – Текст : непосредственный.

114 A set of standards for support of the uniformity of measurements of length in the range above 24 m: current state and prospects for further development / A. N. Shchipunov, V. M. Tatarenkov, O. V. Denisenko, I. S. Sil'vestrov, V. N. Fedotov, M. Yu. Vasil'ev, D. A. Sokolov. – Текст : непосредственный // Measurement Techniques. – 2015. – Т. 57, № 11. – С. 1228–1232.

115 GNSS Market Report. Issue 5, European GNSS Agency (GSA). – URL: <https://www.gsa.europa.eu/file/13045/download?token=r2uLx6C->. – Текст : электронный.

116 Golygin, N. K. Metrological support for opto-electronic coordinate measurements / N. K. Golygin, V. A. Khizhnyakov, V. G. Lysenko. – Текст : непосредственный // Measurement Techniques. – 2017. – Т. 59, № 10. – С. 1073–1077. – Текст : непосредственный.

117 Operational experience of GNSS receivers with chip scale atomic clocks for baseline measurement / A. P. Karpik, N. S. Kosarev, K. M. Antonovich, I. G. Ganagina, V. Yu. Timofeev. – Текст : непосредственный // Geodesy and Cartography. – 2018. – Vol. 44, Issue 4. – P. 140–145.

118 Yambaev, H. K. Untersuchungen zur Überprüfung des Winkelabgriffsystems elektronischer Tachymeter unter Berücksichtigung des Funktionsprinzips und dessen Darstellung durch Algorithmen / H. K. Yambaev, M. Karsounskaia. – ZfV, Heft 3/2001 (126. Jahrgang). – С. 150–155. – Текст : непосредственный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ТАХЕОМЕТРОМ LEICA TM30

Расстояния, измеренные прибором Leica TM30, мм					
Номер приема	Номера циклов измерений				
	1,6	2,7	3,8	4,9	5,10
1	105715,2	105715,3	105715,2	105715,2	105715,3
	105715,2	105715,2	105715,3	105715,3	105715,1
2	105715,2	105715,3	105715,2	105715,3	105715,2
	105715,2	105715,2	105715,1	105715,2	105715,2
3	105715,3	105715,2	105715,3	105715,1	105715,2
	105715,3	105715,3	105715,1	105715,2	105715,3
4	105715,3	105715,2	105715,2	105715,3	105715,2
	105715,2	105715,2	105715,2	105715,2	105715,1
5	105715,3	105715,2	105715,2	105715,1	105715,3
	105715,3	105715,3	105715,1	105715,2	105715,3
6	105715,2	105715,3	105715,2	105715,3	105715,2
	105715,2	105715,2	105715,2	105715,2	105715,2
7	105715,3	105715,2	105715,3	105715,3	105715,1
	105715,2	105715,1	105715,2	105715,1	105715,2
8	105715,3	105715,2	105715,3	105715,2	105715,3
	105715,3	105715,1	105715,3	105715,2	105715,3
9	105715,2	105715,3	105715,2	105715,3	105715,3
	105715,2	105715,2	105715,3	105715,3	105715,3
10	105715,3	105715,2	105715,2	105715,3	105715,2
	105715,2	105715,2	105715,2	105715,3	105715,2
11	105715,2	105715,2	105715,3	105715,2	105715,3
	105715,2	105715,1	105715,3	105715,2	105715,3
12	105715,2	105715,2	105715,3	105715,3	105715,2
	105715,2	105715,2	105715,2	105715,3	105715,3
13	105715,3	105715,2	105715,3	105715,2	105715,2
	105715,3	105715,3	105715,3	105715,3	105715,2
14	105715,3	105715,3	105715,1	105715,2	105715,3
	105715,2	105715,3	105715,3	105715,1	105715,2
15	105715,2	105715,3	105715,2	105715,3	105715,1
	105715,2	105715,2	105715,2	105715,2	105715,3
<i>Среднее значение</i>	105715,3	105715,2	105715,2	105715,2	105715,2
	105715,2	105715,2	105715,2	105715,2	105715,2

Величина СКО измеренных расстояний, мм									
Номер цикла измерений									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,05	0,07	0,08	0,07	0,07

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ТАХЕОМЕТРОМ LEICA TCR405

Расстояния, измеренные прибором Leica TCR405, мм					
Номер приема	Номера циклов измерений				
	1,6	2,7	3,8	4,9	5,10
1	105716	105717	105718	105717	105717
	105718	105718	105717	105717	105717
2	105717	105717	105717	105718	105717
	105717	105718	105718	105717	105718
3	105716	105717	105717	105717	105717
	105717	105717	105717	105718	105717
4	105717	105717	105718	105718	105717
	105717	105717	105717	105717	105718
5	105717	105717	105717	105717	105717
	105717	105718	105717	105717	105717
6	105717	105717	105717	105717	105717
	105717	105717	105718	105718	105717
7	105716	105717	105717	105717	105717
	105717	105717	105717	105717	105717
8	105718	105717	105717	105718	105718
	105717	105718	105718	105717	105717
9	105718	105717	105717	105717	105717
	105717	105717	105717	105717	105717
10	105717	105717	105717	105717	105718
	105717	105718	105717	105717	105717
11	105716	105717	105718	105718	105717
	105717	105718	105717	105717	105717
12	105716	105717	105717	105718	105718
	105717	105718	105717	105717	105717
13	105716	105717	105717	105717	105717
	105717	105718	105718	105718	105717
14	105716	105718	105717	105717	105718
	105717	105717	105717	105717	105717
15	105716	105717	105717	105718	105717
	105717	105717	105717	105717	105718
Среднее значение	105716,6	105717,1	105717,2	105717,4	105717,3
	105717,1	105717,5	105717,3	105717,2	105717,2

Величины СКО измеренных расстояний, мм									
Номер цикла измерений									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,74	0,26	0,41	0,51	0,46	0,26	0,52	0,46	0,41	0,41

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАССТОЯНИЙ ПРИ ПЕРВОЙ УСТАНОВКЕ ТАХЕОМЕТРОВ

Величины измеренных расстояний тахеометрами LEICA TCR1201 и LEICA TCR405 в первой позиции, мм										
Номер приема	Номера циклов									
	1,6		2,7		3,8		4,9		5,10	
	LEICA TCR1201	LEICA TCR405								
1	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,5	105926	105715,4	105926	105715,5	105926
	105715,5	105925	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,4	105926	105715,4	105926
2	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,5	105926	105715,4	105926	105715,3	105926
	105715,4	105926	105715,4	105925	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,4	105926
3	105715,5	105926	105715,4	105926	105715,5	105926	105715,5	105926	105715,4	105926
	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,4	105926	105715,4	105926
4	105715,5	105926	105715,4	105925	105715,	1059265	105715,0	1059263	105715,	105926
	105715,4	105925	105715,4	105926	105715,	1059265	105715,0	1059265	105715,	105926
5	105715,4	105926	105715,5	105926	105715,4	105926	105715,5	105925	105715,3	105926
	105715,3	105926	105715,3	105926	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,5	105926
6	105715,3	105925	105715,4	105926	105715,5	105926	105715,4	105926	105715,3	105926
	105715,4	105926	105715,4	105925	105715,4	105926	105715,4	105925	105715,3	105926
7	105715,3	105926	105715,5	105926	105715,3	105926	105715,5	105926	105715,3	105926
	105715,5	105926	105715,3	105926	105715,3	105926	105715,3	105926	105715,3	105926
8	105715,5	105925	105715,3	105926	105715,4	105926	105715,5	105925	105715,4	105926
	105715,3	105926	105715,5	105925	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,3	105926
9	105715,5	105926	105715,3	105926	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,4	105926
	105715,3	105926	105715,3	105926	105715,5	105926	105715,4	105926	105715,4	105926
10	105715,4	105925	105715,5	105925	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,5	105926
	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,3	105926
11	105715,4	105926	105715,4	105925	105715,5	105926	105715,3	105925	105715,4	105926
	105715,5	105925	105715,5	105926	105715,5	105926	105715,5	105926	105715,4	105926

Величины измеренных расстояний тахеометрами LEICA TCR1201 и LEICA TCR405 в первой позиции, мм										
Номер приема	Номера циклов									
	1,6		2,7		3,8		4,9		5,10	
	LEICA TCR1201	LEICA TCR405								
12	105715,5	105926	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,4	105926	105715,5	105926
	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,3	105926
13	105715,4	105926	105715,3	105925	105715,4	105926	105715,4	105926	105715,5	105926
	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,3	105926	105715,5	105926	105715,5	105926
14	105715,4	105926	105715,5	105925	105715,4	105926	105715,3	105926	105715,3	105926
	105715,4	105925	105715,3	105926	105715,5	105926	105715,4	105926	105715,3	105926
15	105715,5	105926	105715,4	105925	105715,3	105926	105715,5	105926	105715,4	105926
	105715,5	105925	105715,4	105925	105715,5	105926	105715,4	105926	105715,4	105926
<i>Среднее значение</i>	105715,4	105925,8	105715,4	105925,6	105715,4	105926,0	105715,4	105925,8	105715,4	105926,0
	105715,4	105925,7	105715,4	105925,8	105715,4	105926,0	105715,4	105926,0	105715,3	105926,0

Величина СКО измеренных расстояний, мм									
1,6		2,7		3,8		4,9		5,1	
LEICA TCR1201	LEICA TCR405	LEICA TCR1201	LEICA TCR405	LEICA TCR1201	LEICA TCR405	LEICA TCR1201	LEICA TCR405	LEICA TCR1201	LEICA TCR405
0,07	0,41	0,08	0,51	0,13	0,00	0,13	0,41	0,13	0,00
0,07	0,49	0,07	0,46	0,13	0,00	0,12	0,26	0,12	0,00

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(обязательное)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАССТОЯНИЙ ПРИ ВТОРОЙ УСТАНОВКЕ ТАХЕОМЕТРОВ

Величины измеренных расстояний тахеометрами LEICA TCR1201 и LEICA TCR405 во второй позиции, мм										
Номер приема	Номера циклов									
	1,6		2,7		3,8		4,9		5,10	
	LEICA TCR405	LEICA TCR1201								
1	105718	105922,3	105719	105922,3	105719	105922,3	105719	105922,2	105719	105922,4
	105719	105922,2	105719	105922,3	105718	105922,2	105719	105922,2	105718	105922,3
2	105719	105922,4	105719	105922,4	105719	105922,3	105719	105922,4	105719	105922,3
	105719	105922,4	105718	105922,3	105718	105922,3	105719	105922,3	105718	105922,4
3	105718	105922,4	105719	105922,2	105719	105922,4	105719	105922,3	105718	105922,2
	105719	105922,3	105719	105922,3	105718	105922,2	105719	105922,4	105718	105922,3
4	105719	105922,3	105719	105922,3	105719	105922,2	105719	105922,2	105718	105922,2
	105719	105922,4	105718	105922,2	105718	105922,3	105719	105922,4	105718	105922,3
5	105718	105922,4	105719	105922,2	105719	105922,4	105719	105922,2	105718	105922,3
	105719	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3
6	105719	105922,4	105719	105922,2	105719	105922,4	105719	105922,2	105718	105922,3
	105719	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3	105719	105922,3	105718	105922,3
7	105719	105922,4	105719	105922,2	105718	105922,4	105718	105922,2	105719	105922,3
	105719	105922,3	105719	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,4
8	105719	105922,4	105719	105922,3	105718	105922,4	105719	105922,2	105719	105922,3
	105718	105922,2	105719	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3
9	105719	105922,4	105718	105922,3	105718	105922,3	105719	105922,3	105719	105922,2
	105719	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3
10	105719	105922,3	105719	105922,3	105719	105922,2	105719	105922,3	105719	105922,2
	105719	105922,4	105719	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,4	105718	105922,4
11	105719	105922,3	105719	105922,3	105718	105922,3	105719	105922,4	105719	105922,3
	105718	105922,3	105718	105922,4	105718	105922,4	105719	105922,3	105718	105922,2

Величины измеренных расстояний тахеометрами LEICA TCR1201 и LEICA TCR405 во второй позиции, мм										
Номер приема	Номера циклов									
	1,6		2,7		3,8		4,9		5,10	
	LEICA TCR405	LEICA TCR1201								
12	105719	105922,2	105719	105922,3	105718	105922,3	105719	105922,2	105719	105922,4
	105719	105922,2	105719	105922,4	105718	105922,2	105718	105922,3	105719	105922,3
13	105718	105922,3	105719	105922,3	105718	105922,3	105719	105922,3	105719	105922,2
	105719	105922,4	105718	105922,3	105718	105922,3	105719	105922,3	105718	105922,3
14	105718	105922,3	105719	105922,3	105718	105922,2	105719	105922,4	105719	105922,3
	105719	105922,4	105719	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3	105718	105922,3
15	105718	105922,4	105719	105922,2	105718	105922,3	105719	105922,3	105719	105922,4
	105718	105922,3	105718	105922,3	105719	105922,4	105718	105922,3	105718	105922,3
<i>Среднее значение</i>	105718,6	105922,3	105718,9	105922,3	105718,5	105922,3	105718,9	105922,3	105718,7	105922,3
	105718,8	105922,3	105718,5	105922,3	105718,1	105922,3	105718,5	105922,3	105718,1	105922,3

Величина СКО измеренных расстояний, мм									
1,6		2,7		3,8		4,9		5,1	
LEICA TCR405	LEICA TCR1201	LEICA TCR405	LEICA TCR1201	LEICA TCR405	LEICA TCR1201	LEICA TCR405	LEICA TCR1201	LEICA TCR405	LEICA TCR1201
0,51	0,06	0,26	0,06	0,52	0,07	0,26	0,08	0,46	0,07
0,41	0,07	0,52	0,05	0,26	0,06	0,52	0,05	0,26	0,05

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

(обязательное)

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ (ОКНО ОТКРЫТО)

Номер приема	Тахеометр LEICA TCR1201									
	Циклы измерений									
	1		2		3		4		5	
	S, мм	V, °' "	S, мм	V, °' "	S, мм	V, °' "	S, мм	V, °' "	S, мм	V, °' "
1	79237,0	-0 28 26	79237,3	-0 28 26	79237,1	-0 28 26	79237,9	-0 28 27	79237,4	-0 28 27
2	79237,3	-0 28 26	79237,2	-0 28 26	79237,3	-0 28 27	79238,0	-0 28 26	79237,4	-0 28 27
3	79237,1	-0 28 27	79237,4	-0 28 26	79237,3	-0 28 27	79237,7	-0 28 26	79237,4	-0 28 26
4	79237,2	-0 28 27	79237,3	-0 28 27	79237,5	-0 28 25	79237,7	-0 28 25	79237,3	-0 28 26
5	79237,4	-0 28 27	79237,3	-0 28 27	79237,5	-0 28 25	79237,7	-0 28 27	79237,4	-0 28 26
6	79237,3	-0 28 27	79237,4	-0 28 26	79237,5	-0 28 26	79237,3	-0 28 27	79237,5	-0 28 26
7	79237,2	-0 28 26	79237,3	-0 28 28	79237,5	-0 28 27	79237,7	-0 28 26	79237,1	-0 28 25
8	79237,0	-0 28 27	79237,4	-0 28 25	79237,3	-0 28 26	79237,5	-0 28 27	79237,4	-0 28 28
9	79237,2	-0 28 27	79237,5	-0 28 25	79237,6	-0 28 27	79237,4	-0 28 26	79237,4	-0 28 27
10	79237,0	-0 28 27	79237,1	-0 28 26	79237,5	-0 28 26	79237,3	-0 28 25	79237,4	-0 28 26
11	79237,1	-0 28 27	79237,3	-0 28 27	79237,1	-0 28 27	79237,5	-0 28 26	79237,5	-0 28 26
12	79237,4	-0 28 27	79237,1	-0 28 27	79237,3	-0 28 27	79237,4	-0 28 27	79237,5	-0 28 28
Сред- нее	79237,18	-0 28 26,8	79237,3	-0 28 26,3	79237,38	-0 28 26,3	79237,59	-0 28 26,2	79237,39	-0 28 26,5
Сред- нее	79237,37					-0 28 26,4				

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

(обязательное)

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ (ОКНО ЗАКРЫТО)

Номер приема	Тахеометр LEICA TCR1201									
	Циклы измерений									
	1		2		3		4		5	
	S, мм	V, °' "	S, мм	V, °' "	S, мм	V, °' "	S, мм	V, °' "	S, мм	V, °' "
1	79 м 246,4	-0 28 24	79246,5	-0 28 24	79246,6	-0 28 23	79246,6	-0 28 25	79246,4	-0 28 22
2	79247,2	-0 28 24	79246,8	-0 28 24	79246,7	-0 28 23	79246,2	-0 28 23	79246,1	-0 28 22
3	79246,9	-0 28 24	79246,3	-0 28 22	79246,7	-0 28 23	79246,5	-0 28 22	79246,4	-0 28 22
4	79247,6	-0 28 24	79246,8	-0 28 23	79246,8	-0 28 22	79246,9	-0 28 22	79246,5	-0 28 22
5	79247,4	-0 28 24	79246,4	-0 28 24	79246,7	-0 28 22	79247,1	-0 28 22	79246,6	-0 28 21
6	79247,5	-0 28 24	79247,0	-0 28 24	79246,7	-0 28 23	79246,8	-0 28 21	79246,6	-0 28 23
7	79247,7	-0 28 23	79247,1	-0 28 23	79246,6	-0 28 23	79246,8	-0 28 22	79246,7	-0 28 23
8	79247,3	-0 28 23	79247,0	-0 28 23	79246,4	-0 28 23	79246,5	-0 28 21	79247,2	-0 28 23
9	79246,1	-0 28 23	79247,1	-0 28 23	79246,4	-0 28 23	79246,5	-0 28 22	79247,1	-0 28 22
10	79246,7	-0 28 23	79246,8	-0 28 23	79246,7	-0 28 23	79246,5	-0 28 21	79247,0	-0 28 22
11	79246,7	-0 28 24	79246,5	-0 28 23	79246,1	-0 28 22	79246,4	-0 28 22	79247,0	-0 28 23
12	79246,3	-0 28 24	79246,3	-0 28 23	79246,9	-0 28 23	79246,7	-0 28 22	79246,9	-0 28 22
ср. по циклу	79246,98	-0 28 23,7	79246,72	-0 28 23,2	79246,61	-0 28 22,8	79246,63	-0 28 22,1	79246,71	-0 28 22,2
общее ср.	79246,73					-0 28 22,8				

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

(обязательное)

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ
(ПЕРВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТАКСОМЕТРОВ)

Номер приема	Первое положение тахеометров							
	LEICA TCR405 в трегере С				LEICA TCR1201 в трегере D			
	номера цикла измерений				номера цикла измерений			
	1		2		1		2	
	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "
1	26,1115	-17 00 54	26,1106	-17 00 51	26,5222	106 49 33,4	26,5223	106 49 30,0
2	26,1107	-17 00 54	26,1107	-17 00 52	26,5225	106 49 28,8	26,5221	106 49 30,1
3	26,1108	-17 00 54	26,1107	-17 00 52	26,5224	106 49 33,1	26,5223	106 49 29,7
4	26,1110	-17 00 45	26,1107	-17 00 51	26,5225	106 49 28,9	26,5223	106 49 30,9
5	26,1109	-17 00 49	26,1107	-17 00 52	26,5226	106 49 28,0	26,5221	106 49 31,4
6	26,1107	-17 00 50	26,1105	-17 00 51	26,5228	106 49 28,0	26,5227	106 49 24,5
7	26,1111	-17 00 48	26,1109	-17 00 52	26,5224	106 49 31,6	26,5223	106 49 30,6
8	26,1106	-17 00 51	26,1108	-17 00 52	26,5224	106 49 28,8	26,5225	106 49 30,0
9	26,1107	-17 00 51	26,1109	-17 00 50	26,5226	106 49 29,7	26,5226	106 49 28,2
10	26,1109	-17 00 52	26,1107	-17 00 51	26,5227	106 49 29,0	26,5223	106 49 29,1
11	26,1108	-17 00 51	26,1108	-17 00 50	26,5225	106 49 28,5	26,5227	106 49 28,4
12	26,1108	-17 00 51	26,1108	-17 00 49	26,5225	106 49 27,4	26,5226	106 49 29,7
13	26,1107	-17 00 50	26,1108	-17 00 51	26,5222	106 49 32,2	26,5226	106 49 28,8
14	26,1110	-17 00 51	26,1107	-17 00 50	26,5222	106 49 29,2	26,5224	106 49 30,7
15	26,1108	-17 00 49	26,1106	-17 00 50	26,5222	106 49 33,1	26,5223	106 49 29,8
среднее в цикле	26,11087	-17 00 50,67	26,11073	-17 00 50,9	26,52245	106 49 29,98	26,52241	106 49 29,46
среднее	26 м 110, 80 мм		-17 00 50,8		26 м 522, 43 мм		106 49 29,72	

ПРИЛОЖЕНИЕ И

(обязательное)

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ
(ОКНО ОТКРЫТО, ВТОРОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТАХЕОМЕТРОВ)

Номер приема	Второе положение тахеометров							
	LEICA TCR1201 в трегере С				LEICA TCR405 в трегере D			
	номера цикла измерений				номера цикла измерений			
	1		2		1		2	
	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "
1	26,1115	107 00 14,1	26,1113	107 00 14,5	26,5212	-16 50 09	26,5215	-16 50 12
2	26,1115	107 00 12,0	26,1111	107 00 15,0	26,5217	-16 50 09	26,5215	-16 50 11
3	26,1115	107 00 14,7	26,1114	107 00 13,7	26,5216	-16 50 09	26,5219	-16 50 11
4	26,1114	107 00 13,0	26,1114	107 00 14,2	26,5216	-16 50 09	26,5217	-16 50 11
5	26,1112	107 00 12,6	26,1113	107 00 14,5	26,5217	-16 50 09	26,5216	-16 50 11
6	26,1112	107 00 13,6	26,1110	107 00 15,1	26,5216	-16 50 09	26,5218	-16 50 11
7	26,1114	107 00 12,9	26,1112	107 00 15,0	26,5216	-16 50 09	26,5216	-16 50 11
8	26,1115	107 00 13,8	26,1111	107 00 15,0	26,5216	-16 50 10	26,5216	-16 50 10
9	26,1111	107 00 13,4	26,1113	107 00 14,6	26,5217	-16 50 10	26,5216	-16 50 10
10	26,1116	107 00 14,2	26,1112	107 00 15,7	26,5216	-16 50 10	26,5214	-16 50 09
11	26,1114	107 00 14,5	26,1113	107 00 14,1	26,5215	-16 50 07	26,5218	-16 50 08
12	26,1110	107 00 16,0	26,1112	107 00 15,5	26,5218	-16 50 07	26,5216	-16 50 09
13	26,1113	107 00 13,5	26,1113	107 00 13,5	26,5218	-16 50 09	26,5215	-16 50 09
14	26,1112	107 00 13,4	26,1112	107 00 16,0	26,5217	-16 50 11	26,5216	-16 50 08
15	26,1113	107 00 12,8	26,1113	107 00 14,6	26,5217	-16 50 11	26,5219	-16 50 12
среднее в цикле	26,11134	107 00 13,63	26,11124	107 00 14,73	26,52163	-16 50 09,2	26,52164	-16 50 10,2
среднее	26 м 111, 29 мм		1070014,18		26 м 521, 63 мм		-16 50 09,7	

ПРИЛОЖЕНИЕ К

(обязательное)

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ
(ОКНО ЗАКРЫТО, ПЕРВОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТАХЕОМЕТРОВ)

Номер приема	Первое положение тахеометров							
	LEICA TCR405 в трегере С				LEICA TCR1201 в трегере D			
	номера цикла измерений				номера цикла измерений			
	1		2		1		2	
	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "
1	26,1175	-17 00 44	26,1169	-17 00 44	26,5289	106 49 39,6	26,5291	106 49 38,5
2	26,1173	-17 00 40	26,1169	-17 00 43	26,5288	106 49 46,8	26,5292	106 49 39,8
3	26,1179	-17 00 41	26,1170	-17 00 43	26,5288	106 49 46,6	26,5289	106 49 44,1
4	26,1179	-17 00 42	26,1170	-17 00 45	26,5290	106 49 42,5	26,5286	106 49 41,3
5	26,1175	-17 00 40	26,1171	-17 00 46	26,5286	106 49 42,9	26,5288	106 49 41,4
6	26,1172	-17 00 40	26,1171	-17 00 44	26,5293	106 49 38,4	26,5286	106 49 40,4
7	26,1170	-17 00 44	26,1173	-17 00 42	26,5292	106 49 38,0	26,5284	106 49 41,9
8	26,1171	-17 00 44	26,1174	-17 00 46	26,5289	106 49 41,6	26,5285	106 49 45,6
9	26,1170	-17 00 44	26,1173	-17 00 45	26,5288	106 49 38,7	26,5294	106 49 40,3
10	26,1171	-17 00 45	26,1175	-17 00 45	26,5291	106 49 45,9	26,5290	106 49 39,5
11	26,1176	-17 00 42	26,1174	-17 00 45	26,5289	106 49 45,0	26,5288	106 49 45,8
12	26,1174	-17 00 45	26,1176	-17 00 47	26,5289	106 49 46,3	26,5292	106 49 39,5
13	26,1173	-17 00 43	26,1174	-17 00 46	26,5289	106 49 39,5	26,5290	106 49 42,4
14	26,1171	-17 00 46	26,1175	-17 00 46	26,5284	106 49 47,0	26,5289	106 49 44,2
15	26,1168	-17 00 42	26,1174	-17 00 42	26,5289	106 49 36,4	26,5288	106 49 39,5
среднее в цикле	26,11731	-17 00 42,8	26,11725	-17 00 44,6	26,52889	106 49 42,35	26,52888	106 49 41,613
среднее	26 м 117,28 мм		-17 00 43,70		26 м 528,89 мм		106 49 41,98	

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

(обязательное)

ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И УГЛОВ НАКЛОНА ЧЕРЕЗ ОКОННЫЙ ПРОЕМ
(ОКНО ЗАКРЫТО, ВТОРОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТАХЕОМЕТРОВ)

Номер приема	Второе положение тахеометров							
	LEICA TCR1201 в трегере С				LEICA TCR405 в трегере D			
	номера цикла измерений				номера цикла измерений			
	1		2		1		2	
	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "	S, м	V, °' "
1	26,1179	1070022,7	26,1170	1070022,6	26,5275	-16 50 13	26,5281	-16 50 11
2	26,1175	1070021,2	26,1168	1070022,4	26,5274	-16 50 14	26,5283	-16 50 15
3	26,1169	1070022,2	26,1173	1070023,9	26,5276	-16 50 16	26,5286	-16 50 14
4	26,1169	1070021,9	26,1172	1070023,8	26,5275	-16 50 13	26,5278	-16 50 16
5	26,1168	1070021,8	26,1174	1070020,8	26,5281	-16 50 13	26,5279	-16 50 18
6	26,1172	1070023,6	26,1175	1070021,4	26,5280	-16 50 19	26,5277	-16 50 22
7	26,1174	1070021,0	26,1175	1070023,4	26,5284	-16 50 18	26,5276	-16 50 14
8	26,1173	1070023,0	26,1173	1070022,7	26,5278	-16 50 18	26,5283	-16 50 12
9	26,1176	1070023,5	26,1171	1070022,5	26,5279	-16 50 14	26,5279	-16 50 12
10	26,1174	1070021,0	26,1170	1070022,7	26,5272	-16 50 16	26,5279	-16 50 14
11	26,1173	1070021,5	26,1168	1070023,6	26,5279	-16 50 17	26,5272	-16 50 11
12	26,1172	1070022,0	26,1168	1070023,3	26,5279	-16 50 11	26,5277	-16 50 13
13	26,1168	1070024,9	26,1168	1070022,6	26,5273	-16 50 10	26,5273	-16 50 17
14	26,1169	1070023,7	26,1171	1070022,7	26,5282	-16 50 13	26,5280	-16 50 13
15	26,1168	1070023,0	26,1171	1070021,4	26,5280	-16 50 16	26,5279	-16 50 12
среднее в цикле	26,11719	1070022,47	26,11711	1070022,65	26,52778	-16 50 14,7	26,52788	-16 50 14,3
среднее	26 м 117,15 мм		1070022,56		26 м 527,83 мм		-16 50 14,5	

155
 ПРИЛОЖЕНИЕ М
 (обязательное)

ВЫПОЛНЕНИЕ ПОВЕРКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМОБИЛЯ

Номер приема	Измерение расстояний в полевых условиях			
	Leica 405 Расстояние AC	Leica 1201 Расстояние A1C	Leica 1201 Расстояние AC	Leica 405 Расстояние A1C
1	195 м 726,8 мм	195 м 838,8 мм	195 м 727,0 мм	195 м 839,1 мм
2	195726,9	195838,9	195726,5	195839,3
3	195727,1	195838,7	195726,5	195839,2
4	195726,9	195838,8	195726,9	195839,3
5	195726,8	195838,7	195727,2	195839,4
6	195726,8	195838,9	195727,1	195838,8
7	195727,0	195838,8	195726,9	195839,6
8	195726,9	195838,8	195727,0	195839,3
9	195727,1	195838,7	195726,7	195839,4
10	195727,2	195838,9	195726,7	195839,2
11	195726,8	195838,8	195726,8	195838,9
12	195727,0	195838,5	195726,8	195838,9
13	195726,9	195838,5	195726,4	195839,2
14	195726,9	195838,4	195726,8	195838,9
15	195726,0	195838,9	195726,5	195838,8
ср. знач.	195 м 726,87 мм	195 м 838,74 мм	195 м 726,79 мм	195 м 839,15 мм

№ приема	Измерение расстояний в полевых условиях, мм			
	Leica 405 Расстояние AC	Leica 1201 Расстояние A1C	Leica 1201 Расстояние AC	Leica 405 Расстояние A1C
1	490 м 727,7 мм	490 м 845,4 мм	490 м 729,0 мм	490 м 843,7 мм
2	490727,2	490845,2	490728,7	490844,1
3	490726,9	490845,8	490728,7	490843,6
4	490727,4	490845,5	490729,0	490843,9
5	490727,5	490845,6	490728,8	490844,2

№ приема	Измерение расстояний в полевых условиях, мм			
	Leica 405 Расстояние AC	Leica 1201 Расстояние A ₁ C	Leica 1201 Расстояние AC	Leica 405 Расстояние A ₁ C
6	490727,6	490845,5	490728,8	490843,6
7	490727,1	490845,2	490728,6	490844,1
8	490727,5	490845,6	490728,1	490843,6
9	490727,4	490845,7	490728,8	490843,8
10	490727,3	490845,2	490728,9	490844,2
11	490726,7	490845,4	490728,7	490843,7
12	490727,6	490845,5	490728,2	490844,0
13	490727,8	490845,0	490728,0	490844,1
14	490727,5	490845,3	490728,4	490843,6
15	490727,3	490845,1	490728,5	490844,0
ср. знач.	490727,37	490845,40	490728,61	490843,88

№ приема	Измерение расстояний в полевых условиях, мм			
	Leica 405 Расстояние AC	Leica 1201 Расстояние A ₁ C	Leica 1201 Расстояние AC	Leica 405 Расстояние A ₁ C
1	706 м 968,1 мм	707 м 089,4 мм	706 м 970,0 мм	707 м 086,2 мм
2	706967,7	707089,4	706970,1	707086,8
3	706967,6	707088,8	706970,3	707086,9
4	706967,6	707089,1	706970,1	707087,2
5	706968,0	707089,2	706970,6	707087,1
6	706967,8	707089,1	706970,2	707086,9
7	706968,0	707089,6	706970,4	707087,1
8	706968,3	707088,8	706970,0	707087,4
9	706968,1	707089,3	706970,1	707086,1
10	706968,6	707090,1	706968,8	707087,5
11	706968,2	707089,1	706970,3	707087,2
12	706968,4	707089,5	706969,8	707087,3
13	706968,4	707089,4	706970,3	707087,2
14	706968,5	707089,9	706970,5	707087,3
15	706967,7	707089,0	706970,5	707086,9
ср. знач.	706968,07	707089,31	706970,13	707087,01