

УДК 528.531

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-45-53

Разработка стационарного лабораторного стенда для поверки тахеометров

Г. А. Уставич¹, И. Ю. Васютинский², Д. А. Баранников¹, А. С. Горилько^{1*}

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

² Московский государственный университет геодезии и картографии, г. Москва,
Российская Федерация

* e-mail: cahek28@mail.ru

Аннотация. Для обеспечения единства производства геодезических измерений необходимо выполнять периодические поверки применяемых приборов. Эти поверки выполняются в соответствии с требованием соответствующих нормативных документов (локальных поверочных схем). Для обеспечения единства линейных измерений, выполняемых тахеометрами, производится их ежегодная поверка методом прямых измерений с использованием стационарных эталонных линейных базисов 2-го разряда, которые также поверяются методом прямых измерений с применением базисных приборов БП-1. Однако, в настоящее время количество таких базисов на территории РФ значительно уменьшилось, и они часто не проходят метрологическую поверку. Кроме того, точность определения их линейных отрезков часто не удовлетворяет нормативным требованиям. Также в зимнее время выполнение поверки тахеометров связано со значительными трудностями. В связи с этим возникла научно-техническая задача разработки лабораторного стенда для проведения периодических поверок тахеометров, который не требует создания стационарных линейных базисов и позволит выполнять эти поверки при благоприятных внешних условиях. Для решения данной задачи предлагается схема выполнения поверки, сущность которой заключается в измерении расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами непосредственно с установкой тахеометра в производственном помещении (лаборатории) и визировании через открытое (закрытое) окно первого или второго этажа на отражатель (или несколько отражателей), который стационарно устанавливается на штативе или на стене (или в открытом окне) соседнего здания на расстоянии от 200 до 1 000 м. Можно также устанавливать тахеометры вне здания, например, на балконе. С применением таких схем выполнения поверки измерения можно выполнять практически в любое время года и суток. Проведенные исследования предлагаемой схемы выполнения поверки показали, что она обеспечивает точность линейных измерений на уровне эталонного базиса 2-го разряда. Кроме того, на выполнение поверки одного тахеометра затрачивается не более двух часов.

Ключевые слова: метрологическая поверка, способ поверки, тахеометр, ошибка измерений, эталонный прибор, расстояние, влияние температуры воздуха, способы сличения и прямых измерений

Введение

Обеспечение единства линейных измерений соблюдается путем выполнения требований соответствующих нормативных документов [1–5] с использованием локальных поверочных схем (ЛПС). В качестве эталонов единицы длины в этих ЛПС используются стационарные линейные эталонные базисы 1, 2-го и 3-го разрядов [6–8]. С использованием этих базисов поверка светодальномеров или тахеометров производится методом прямых измерений эталонных линейных отрезков. В свою очередь, эти эталонные базисы также должны проходить периодическую поверку.

Для этого используются базисные приборы БП-1 или группа (не менее трех) высокоточных фазовых светодальномеров.

Необходимо отметить, что в настоящее время значительная часть стационарных линейных базисов не может использоваться для проведения поверок тахеометров (светодальномеров) по следующим причинам:

- полная утрата или частичное повреждение отдельных центров базиса данного разряда;
- прекращение их периодических метрологических поверок;
- несоответствие точности эталонных линейных отрезков базиса точности поверяе-

мых светодальномеров или тахеометров (точность современных светодальномеров или тахеометров выше или равна точности определения длин отрезков базиса);

– непрерывное изменение, особенно в периоды осень-зима и зима-весна, положения пунктов базиса из-за изменения режима и уровня грунтовых вод, вследствие чего не обеспечивается сохранение эталонных длин линейных отрезков базиса и его длины в целом в течение межповерочного интервала.

Для исключения этих недостатков в работах [9, 10] предлагаются способы и схемы проведения метрологической поверки тахеометров без использования стационарных эталонных линейных базисов путем проведения измерений методом непосредственного сличения с применением эталонных высокоточных фазовых светодальномеров (тахеометров). Эти высокоточные фазовые тахеометры, например ТМ30, в свою очередь, также поверяются с соблюдением межповерочного интервала с помощью исходного эталона единицы длины [11].

Такая поверка может производиться путем одновременного или поочередного (с интервалом 5–7 минут) измерения нескольких произвольно выбранных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами, которые могут устанавливаться как на стационарных тумбах, так и на устойчивых штативах.

Достоинством этих способов является отсутствие необходимости:

– создания в различных регионах страны, особенно в регионах с наличием вечной мерзлоты, стационарных линейных базисов, поддержания их в рабочем состоянии и проведения периодической метрологической аттестации [12, 13];

– изменения параметров за метеоусловия и введения соответствующих поправок, так как измерения эталонным и поверяемым тахеометрами выполняются практически одновременно;

– выезда на базис для проведения измерений, особенно в зимнее время, который может находиться на расстоянии нескольких десятков километров от места расположения организации, выполняющей поверку [13–16].

Вместе с тем, при реализации данных способов измерения поверки необходимо выпол-

нять непосредственно на территории поверяющей организации, что также в некоторой степени затрудняет рабочий процесс, особенно в неблагоприятную погоду (дождь, мокрый снег).

С целью исключения этого недостатка предлагаются схемы поверки, при реализации которых эталонный и поверяемый тахеометры располагаются в здании на первом или втором этажах, а измерения выполняются через открытое или закрытое окно на отражатель, который устанавливается на штативе или стационарно на соседнем здании.

С учетом сказанного можно сделать вывод, что исследования данных схем выполнения метрологической поверки тахеометров методом непосредственного сличения с установкой их внутри здания являются полезными геодезическому производству.

Способы выполнения поверки и результаты

Поверка тахеометров с расположением их внутри здания может быть реализована с применением двух схем выполнения измерений:

– визированием на отражатель при открытом окне;

– визированием на отражатель через закрытое окно.

При этом поверка может производиться измерением одного или двух эталонных расстояний.

Поверка тахеометра визированием на отражатель при открытом окне.

Поверка с применением данной схемы может производиться путем установки эталонного и поверяемого тахеометров:

– на один (поочередно) или два штатива с трегерами внутри здания;

– на подоконник с внутренней или внешней стороны окна в один или в два трегера.

Выполнение поверки может производиться в основном в весенний, летний и осенний периоды года при преобладании плюсовых температур. Перед началом выполнения измерений окно в помещении открывается и выравнивается температура воздуха внутри помещения и со стороны улицы. Это необходимо для того, чтобы не было остаточного влияния турбулентности воздуха на границе

раздела температур. При открытом окне граница раздела температур будет происходить в районе объективов тахеометров. Не рекомендуется выполнять измерения в летний период после дождя, так как вследствие испарения возможны конвекционные потоки воздуха.

После выравнивания температуры в непосредственной близости от окна на устойчивый штатив (для повышения его устойчивости к станковому винту подвешивается груз весом 5–7 кг) с трегером устанавливается эта-

лонный тахеометр *A* (рис. 1, *a*) и производится измерение расстояния *AC* до отражателя *C*, стационарно закрепленного на соседнем здании на расстоянии 100–500 м. Измерение расстояния выполняется не менее чем пятью сериями по 15–20 измерений в каждой серии с последующим нахождением среднего значения. После этого эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр, и измерения повторяются аналогичным образом.

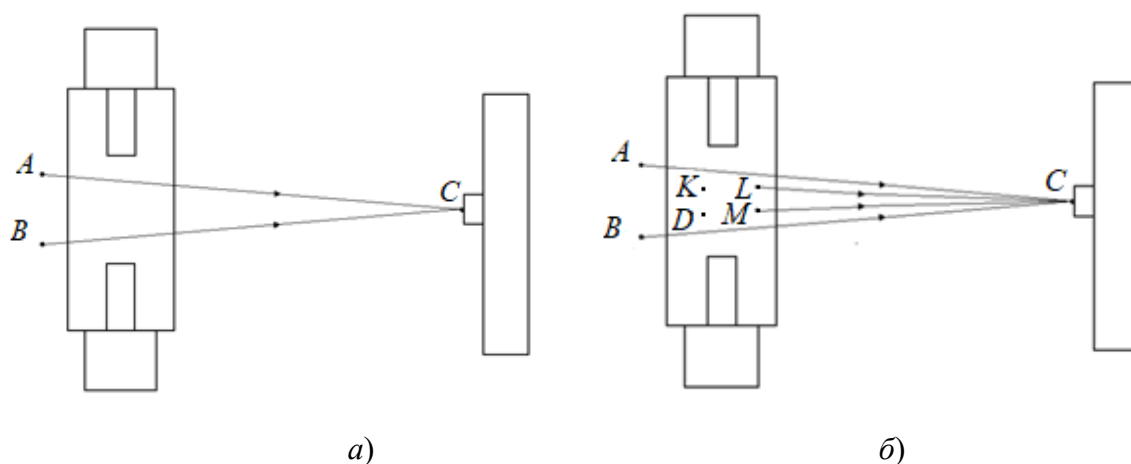


Рис. 1. Схема измерений через открытое окно:

a) поверка тахеометра с установкой штативов внутри помещения; *б*) поверка тахеометра с установкой штативов внутри помещения и на подоконнике

После выполнения измерений вычисляются (табл. 1):

- значения средних расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- вычисленные разности Δ средних расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- средняя квадратическая ошибка (СКО) измерения расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами, вычисленная по формуле Гаусса.

Таблица 1

Средние значения измеренных одиночных расстояний (окно открыто)

Номера серий	Средние значения расстояний		Разности Δ , мм
	TCR1201	TCR405	TCR 1201 – TCR405
1	128 м 537,2 мм	128 м 537,6 мм	-0,4
2	128 м 537,2 мм	128 м 537,6 мм	-0,4
3	128 м 537,2 мм	128 м 537,4 мм	-0,2
4	128 м 537,2 мм	128 м 537,5 мм	-0,3
5	128 м 537,2 мм	128 м 537,6 мм	-0,4
6	128 м 537,2 мм	128 м 537,5 мм	-0,3
7	128 м 537,2 мм	128 м 537,6 мм	-0,4

Если поверяться будут сразу несколько тахеометров, то повторные измерения эталонным тахеометром можно не выполнять.

Если будет применяться схема поверки с использованием двух штативов с трегерами [10] и с перестановкой тахеометров в них, то также необходимо выполнять измерения не менее чем пятью сериями (табл. 2). При использовании данной схемы эталонный и поверяемый тахеометры устанавливаются, соответственно, на штативах с трегерами в точках *A* и *B* (см. рис. 1, *a*) после чего дважды производится одновременное измерение расстояний *AC* и *BC* с перестановкой тахеометров в трегерах.

Таблица 2

Разности двойных измеренных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами (окно открыто)

Номера циклов	Средние значения двойных расстояний <i>AC</i> + <i>BC</i>		Двойные разности Δ , мм	Разности $\Delta/2$, мм
	TCR1201	TCR405	TCR 1201 – TCR405	TCR 1201 – TCR405
1	257 м 081,2 мм	257 м 081,9 мм	-0,7	-0,4
2	257 м 081,5 мм	257 м 082,2 мм	-0,7	-0,4
3	257 м 081,6 мм	257 м 082,2 мм	-0,6	-0,3
4	257 м 081,3 мм	257 м 081,8 мм	-0,5	-0,2
5	257 м 081,6 мм	257 м 082,1 мм	-0,5	-0,2
6	257 м 081,6 мм	257 м 082,3 мм	-0,7	-0,4
7	257 м 081,4 мм	257 м 082,0 мм	-0,6	-0,3

Выполнять поверку можно с установкой тахеометров на подоконник с внутренней стороны окна и снаружи (см. рис. 1, *b*). Для этого лучше использовать железобетонный или специально изготовленный и установленный металлический (для специализированной организации) подоконник, в которых высверлены два отверстия для станковых винтов.

Применение схемы поверки с установкой тахеометров на подоконник имеет следующие преимущества:

- так как подоконник жестко связан со стеной здания, то повышается устойчивость положения тахеометров;

- если измерения будут выполняться при положительной температуре наружного воздуха, то тахеометры устанавливаются перед окном, в точках *D* и *K*, а если при значительной (10–15 °С) отрицательной температуре, то с целью исключения влияния его турбулентности на границе раздела двух сред тахеометры устанавливаются за окном, в точках *M* и *L*.

Поверка тахеометра визированием на отражатель через закрытое окно.

Данная схема поверки может использоваться при значительной (20–25 °С) отрицательной температуре наружного воздуха, когда

даже установка тахеометров за окном, в точках *M* и *L* не приведет к исключению влияния турбулентности воздуха на границе раздела двух сред. Следует отметить, что необходимость в выполнении метрологической поверки тахеометров при таких температурах возникает в тех случаях, когда при проведении торгов на выполнение инженерно-геодезических работ принимающая в них участие организация не может собрать необходимый комплект документов, так как истек межповерочный интервал (обычно он равен одному году) для поверяемого тахеометра (свидетельство о поверке входит в перечень необходимых документов).

Измерения через закрытое окно могут выполняться со штативов *A* и *B* или с точек *D* и *K* на подоконнике с внутренней стороны этого окна (рис. 2).

При использовании данной схемы поверки измерения будут выполняться через стекло. В этом случае важным моментом при выполнении измерений является прохождение луча лазера тахеометров через оконное стекло, что, в общем случае, может привести к некоторому искажению полученных результатов из-за возможной неоднородности структуры этого стекла.

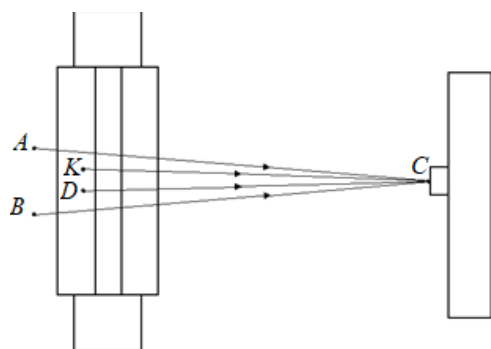


Рис. 2. Схема измерений через закрытое окно

Если данную схему поверки в своей деятельности постоянно будет использовать специализированная организация, то для исключения этого влияния необходимо улучшить условия прохождения лучей лазеров через стекло. Исключить указанное влияние можно если при выполнении измерений лучи лазеров проходили через стекло, которое имеет практически однородную структуру. Для этого стандартное окно должно состоять из одного стекла, в кото-

ром вырезаны два отверстия размером примерно 50×50 мм. В эти отверстия вставляются (или приклеиваются) две (или одна) стеклянные пластины из качественного оптического стекла, например, плоскопараллельные пластины от оптических микрометров нивелиров НА-1 (можно использовать и более тонкие пластины). При выполнении измерений зрительные трубы эталонного и поверяемого тахеометров выставляются по высоте на уровне этих пластин, после чего производятся измерение расстояний на отражателе С. Также при выполнении измерений визирные оси тахеометров должны быть перпендикулярны плоскости стеклянных пластин в пределах $1,0-2,0^\circ$. В этом случае на измеряемые расстояния не будет влиять преломление лучей в пластине.

В табл. 3 приведены результаты поверки путем измерения одиночного расстояния через закрытое окно с одного штатива.

В табл. 4 приведены результаты поверки путем измерения двойных расстояний через закрытое окно с двух штативов.

Таблица 3

Средние значения измеренных одиночных расстояний, м (окно закрыто)

Номера серий	Средние значения расстояний		Разности Δ , мм
	TCR1201	TCR405	TCR 1201 – TCR405
1	62 м 265,0 мм	62 м 265,5 мм	-0,5
2	62 м 265,4 мм	62 м 265,9 мм	-0,5
3	62 м 265,3 мм	62 м 265,6 мм	-0,3
4	62 м 264,7 мм	62 м 265,1 мм	-0,4
5	62 м 265,1 мм	62 м 265,4 мм	-0,3
6	62 м 265,4 мм	62 м 265,7 мм	-0,3
7	62 м 265,2 мм	62 м 265,7 мм	-0,5
8	62 м 265,0 мм	62 м 265,4 мм	-0,4

Таблица 4

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 323,0 мм	126 м 322,0 мм	1,0	0,5
2	126 м 323,1 мм	126 м 322,4 мм	0,7	0,4
3	126 м 323,2 мм	126 м 322,5 мм	0,7	0,4
4	126 м 323,2 мм	126 м 322,5 мм	0,7	0,4
5	126 м 323,3 мм	126 м 322,4 мм	0,9	0,4
6	126 м 323,3 мм	126 м 322,5 мм	0,8	0,4
7	126 м 323,2 мм	126 м 322,3 мм	0,9	0,4
8	126 м 323,0 мм	126 м 322,0 мм	1,0	0,5

В табл. 5 приведены результаты поверки путем измерения двойных расстояний через окно с подоконника.

Таблица 5

Средние значения из двойных расстояний, м (окно закрыто)

Номера циклов	Тахеометры на подоконнике		Двойные разности Δ , мм	Разности, мм
	TCR1201	TCR405	TCR 1201 – TCR405	TCR 1201 – TCR405
1	125 м 323,0 мм	125 м 322,2 мм	0,8	0,4
2	125 м 323,1 мм	125 м 322,1 мм	1,0	0,5
3	125 м 323,2 мм	125 м 322,5 мм	0,7	0,4
4	125 м 323,2 мм	125 м 322,1 мм	1,1	0,5
5	125 м 323,1 мм	125 м 322,4 мм	0,7	0,4
6	125 м 323,2 мм	125 м 322,6 мм	0,6	0,3
7	125 м 323,2 мм	125 м 322,5 мм	0,7	0,4
8	125 м 323,0 мм	125 м 322,1 мм	0,9	0,4

Обсуждение результатов поверки

Выполненные исследования подтвердили возможность проведения метрологической и технологической поверки тахеометров с помощью лабораторного стенда методом сличения путем задания эталонного расстояния. Поверка производится одновременным измерением через открытое или закрытое окно эталонным и поверяемым тахеометрами задаваемого эталонного расстояния.

Для этого эталонный и поверяемый тахеометры устанавливаются рядом на подоконник или на два штатива и производится измерение расстояния до отражателя, установленного на соседнем здании. Так как измерения производятся практически одновременно, и лучи двух лазеров проходят также практически через одну воздушную среду, то поправки за метеоусловия в измеренные расстояния вводить не нужно. Достоинством предлагаемой схемы выполнения поверки также является возможность ее проведения в городских условиях без выезда на линейный базис.

Заключение

На основании выполненных измерений можно сделать следующие выводы по точности результатов измерений:

– СКО измерения коротких расстояний для тахеометров TCR1201 и TCR405 оказалась равной, соответственно, 0,57 и 0,86 мм;

– средние значения разностей одиночного расстояния при открытом окне не превосходит 0,40 мм, а при закрытом -0,50 мм;

– средние значения разностей из двух измерений (из двух перестановок тахеометров) при открытом окне не превосходят 0,50 мм, а при закрытом окне – 0,70 мм.

Таким образом, методика метрологической поверки тахеометров с измерением расстояний через окно работоспособна. При этом поверку можно выполнять как при открытом, так и при закрытом окне. Она также позволяет выполнять поверку практически при любой температуре воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 8.129–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты. – М. : Стандартинформ, 2013. – 8 с.
2. ГОСТ Р 53606–2009. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2010. – 12 с

3. ГОСТ Р 51774–01. Тахеометры электронные. Общие технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 2001. – 10 с.
4. ГОСТ 8.503–84. Государственная система обеспечений единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 24 до 75 000 м. – М. : Издательство стандартов, 1984. – 7 с.
5. Методика института 40-03. Базисы эталонные. Методы поверки. Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 6 с.
6. Методика института 30-94. Применение светодальномера СП-2 (Топаз) для аттестации базисов Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 1995. – 8 с.
7. Методика института 15-03. Светодальномеры. Методика и средства поверки. Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 12 с.
8. Генике А. А., Бланк А. М. Особенности реализации метода метрологического контроля спутниковых координатных определений // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 14–18.
9. Уставич Г. А. К вопросу создания эталонных базисов для аттестации спутниковой аппаратуры и светодальномеров // Геодезия и картография. – 1999. – № 9. – С. 7–14.
10. Уставич Г. А., Косарев Н. С., Мезенцев И. А., Баранников Д. А., Бирюков Д. В. Совершенствование методики аттестации тахеометров и светодальномеров // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 146–159.
11. РД 68-8.17–98. Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения. – М. : ЦНИИГАиК, 1999. – 26 с.
12. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс] : федер. закон от 26.06.2008 № 102–ФЗ (ред. от 8.12.2020). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
13. Генике А. А., Бланк А. М., Чудновский В. С. О мерах метрологического контроля спутниковых координатных определений // Геодезия и картография. – 2002. – № 12. – С. 25–29
14. Роблес Х. Геометрия спутниковых наблюдений при создании метрологического полигона // Геодезия и картография. – 2001. – № 7. – С. 7–12.
15. Широков Ф. В., Татевян Р. А., Кафтан В. И. К вопросу оценки точности измерения СГА больших расстояний // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 11–13.
16. Крылов В. Д., Спиридонов А. И. Роль компараторов и обеспечения единства измерений // Геодезия и картография. – 2003. – № 10. – С. 46–50.

Об авторах

Георгий Афанасьевич Уставич – доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Игорь Юрьевич Васютинский – доктор технических наук, профессор кафедры геодезии.

Дмитрий Андреевич Баранников – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Александр Сергеевич Горилько – преподаватель.

Получено 06.04.2023

© Г. А. Уставич, И. Ю. Васютинский,
Д. А. Баранников, А. С. Горилько, 2024

Development of a stationary laboratory stand for checking total stations

G. A. Ustavich¹, I. Y. Vasyutinskiy², D. A. Barannikov¹, A. S. Goril'ko^{1}*

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

² Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

* e-mail: cahek28@mail.ru

Abstract. To ensure the uniformity of geodetic measurements, it is necessary to perform periodic check of the devices used. These checks are carried out in accordance with the requirements of the relevant regulatory documents (local verification schemes). To ensure the unity of linear measurements performed by total stations, their annual verification is carried out by direct measurements using stationary reference linear bases of

the 2nd category, which are also verified by direct measurements using basic BP-1 devices. However, currently the number of such cases in the Russian Federation has significantly decreased, and they often do not pass metrological verification. In addition, the accuracy of determining their linear segments often does not meet regulatory requirements. Also, in winter, the verification of total stations is associated with significant difficulties. In this regard, the scientific and technical task arose of developing a laboratory stand for periodic checks of total stations, which does not require the creation of stationary linear bases and will allow performing these checks under favorable external conditions. To solve this problem, a verification scheme is proposed, the essence of which is to measure the distance with reference and verifiable total stations directly with the installation of the total station in the production room (laboratory) and sight through an open (closed) window of the first or second floor to a reflector (or several reflectors), which is permanently mounted on a tripod or on the wall (or in open window) of a neighboring building at a distance of 200–1000 m. It is also possible to install total stations outside the building, for example, on the balcony. With the use of such verification schemes, measurements can be performed at almost any time of the year / day. The conducted studies of the proposed verification scheme have shown that it ensures the accuracy of linear measurements at the level of the reference basis of the 2nd category. In addition, it takes no more than two hours to perform the verification of one total station.

Keywords: metrological verification, verification method, total station, measurement error, reference device, distance, influence of air temperature, methods of comparison and direct measurements

REFERENCES

1. Standards Russian Federation. (2013). GOST 8.129-99. The state system of ensuring the uniformity of measurements. State verification scheme for measuring time and frequency. Moscow: Standartinform Publ., 8 p. [in Russian].
2. Standards Russian Federation. (2010). GOST R 53606-2009. Global navigation satellite system. Methods and technologies of geodetic and land management works. Metrological support. The main provisions. Moscow: Standartinform Publ., 12 p. [in Russian].
3. Standards Russian Federation. (2001). GOST R 51774-01. Total stations are electronic. General technical conditions. Moscow: Standards Publ., 10 p. [in Russian].
4. Standards USSR. (1984). GOST 8.503-84. State system for ensuring the uniformity of measurements. State verification scheme for length measuring instruments in the range from 24 to 75,000 m. Moscow: Standards Publ., 7 p. [in Russian].
5. Methodology of the Institute 40-03. Reference bases. Verification methods. Methodology of the Institute. (2003). Moscow: Central Research Institute of Geodesy, Aerial Photography and Cartography Publ., 6 p. [in Russian].
6. Methodology of the Institute 30-94. The use of the SP-2 (Topaz) light meter for the certification of the bases of the Institute's methodology. (1995). Moscow: Central Research Institute of Geodesy, Aerial Photography and Cartography Publ., 8 p. [in Russian].
7. Methodology of the Institute 15-03. LED numbers. Methods and means of verification. Methodology of the Institute. (2003). Moscow: Central Research Institute of Geodesy, Aerial Photography and Cartography Publ., 12 p. [in Russian].
8. Genike, A. A., & Blank, A. M. (2003). Features of the implementation of the method of metrological control of satellite coordinate definitions. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 8, 14–18 [in Russian].
9. Ustavich, G. A. (1999). On the issue of creating reference bases for certification of satellite equipment and light meters. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 9, 7–14 [in Russian].
10. Ustavich, G. A., Kosarev, N. S., Mezentsev, I. A., Barannikov, D. A., & Biryukov, D. V. (2021). Improvement of the methodology of certification of total stations and light meters. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGIT]*, 26(4), 146–159 [in Russian].
11. Working Documentation. (1999). RD 68-8.17-98. Local verification schemes for measuring instruments of topographic, geodetic and cartographic purposes. Moscow: Central Research Institute of Geodesy, Aerial Photography and Cartography Publ., 26 p. [in Russian].
12. Federal Law No. 102-FZ of June 26, 2008 (ed. of December 8, 2020). On ensuring the uniformity of measurements. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].

13. Genike, A. A., Blank, A. M., & Chudnovsky, V. S. (2002). On measures of metrological control of satellite coordinate definitions. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 12, 25—29 [in Russian].
14. Robles, H. (2001). Geometry of satellite observations when creating a metrological polygon. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 7, 7–12 [in Russian].
15. Shirov, F. V., Tatevyan, R. A., & Kaftan, V. I. (2003). On the issue of estimating the accuracy of measuring long-distance HA. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 8, 11–13.
16. Krylov, V. D., & Spiridonov, A. I. (2003). The role of comparators and ensuring the uniformity of measurements. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 46–50 [in Russian].

About author

Georgij A. Ustavich – D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Igor Y. Vasyutinsky – D. Sc., Professor, Department of Geodesy.

Dmitriy A. Barannikov – Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Aleksandr S. Goril'ko – Lecturer.

Received 06.04.2023

© *G. A. Ustavich, I. Y. Vasyutinsky,
D. A. Barannikov, A. S. Goril'ko, 2024*