

УДК 528.531:528.089.6

DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-2-17-30

## Совершенствование методики поверки тахеометров методом сличения без компаратора

Г. А. Уставич<sup>1</sup>, И. Ю. Васютинский<sup>2</sup>, Д. А. Баранников<sup>1</sup>, А. С. Горилько<sup>1</sup>✉,  
А. М. Астапов<sup>1</sup>, Иван Абид оглы Мезенцев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),  
г. Москва, Российская Федерация

e-mail: cahek28@mail.ru

**Аннотация.** Для обеспечения единства геодезических измерений, согласно требованиям нормативных документов, необходимо периодически выполнять поверки применяемых приборов. В настоящее время метрологическая поверка тахеометров выполняется методом прямых измерений с применением стационарных эталонных линейных базисов 2-го или 3-го разрядов, которые, в свою очередь, поверяются применением комплекта базисного прибора БП-1. Однако количество действующих базисов не превышает 2–3, и находятся они в Европейской части РФ. Этот факт обусловлен тем, что отсутствует надлежащее содержание базисов из-за недостатка подготовленных специалистов, способных выполнять измерения базисным прибором БП-1, а также организационными трудностями в проведении этих работ. В связи с этим возникла научно-техническая задача в разработке способа проведения периодических метрологических поверок тахеометров без применения стационарного линейного базиса. Для решения этой задачи предлагается способ поверки, который основан на применении в качестве базиса эталонного высокоточного тахеометра. Данный способ основан на поверке методом сличения без компаратора. При его реализации выбранные расстояния поочередно измеряются определенным числом серий эталонным и поверяемым тахеометрами. После этого производится сличение полученных результатов измерений этих расстояний и по их разности делается заключение о точности поверяемого тахеометра. Такой способ можно применять как в лабораторных, так и в полевых условиях. Выполненные исследования предлагаемого способа показали, что он обеспечивает необходимую точность поверки на уровне использования эталонного базиса 2-го разряда, что соответствует требованиям локальной поверочной схемы.

**Ключевые слова:** метрологическая поверка, способ поверки, эталонный тахеометр, точность измерений, измеряемые расстояния, влияние температуры воздуха, метод сличения и прямых измерений

### Введение

Обеспечение единства выполнения геодезических измерений, производимых геодезическими приборами различного назначения и точности, соблюдается путем выполнения требований соответствующих нормативных документов [1–9]. Это обеспечение (метрологическая поверка, аттестация) выполняется с применением рабочих эталонных средств измерений соответствующего разряда, а также

требований, узаконенных локальных поверочных схем (ЛПС). Применительно к проведению периодических метрологических поверок тахеометров в качестве эталонов единицы длины предписывается использовать линейные отрезки стационарных эталонных базисов соответствующего разряда (1-го, 2-го и 3-го разрядов) [2, 6–9]. С использованием этих базисов поверка осуществляется методом прямых измерений эталонных линейных отрезков в различных комбинациях. В свою

очередь эти линейные отрезки также проходят периодическую метрологическую поверку при помощи комплекта базисного прибора БП-1 или группы (не менее трех) высокоточных фазовых светодалномеров.

Как указывалось в работе [10], в настоящее время значительная часть стационарных эталонных базисов не может использоваться для проведения метрологических поверок тахеометров (светодалномеров) по следующим причинам. С течением времени часть центров эталонного базиса данного разряда утрачивается и часто не происходит их восстановления. Другой причиной является прекращение их периодических метрологических поверок из-за отсутствия финансирования. Указанные причины не позволяют обеспечить сохранение эталонной длины отрезков базиса в течение установленного межповерочного интервала.

С учетом сказанного в работах [10, 11] предлагаются способы проведения метрологической поверки тахеометров без применения эталонных стационарных линейных базисов. Эти способы основаны на использовании метода непосредственного сличения измеряемых расстояний с применением в качестве эталона единицы длины высокоточного фазового светодалномера (тахеометра).

Такая поверка может производиться следующими способами:

- одновременным измерением в лабораторных или полевых условиях произвольно выбранных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами, которые установлены на общей платформе с последующей перестановкой их в трегерах для повторных измерений;

- одновременным измерением также в лабораторных или полевых условиях произвольно выбранных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами, установленными на штативах рядом друг с другом, также с последующей перестановкой их в трегерах для повторных измерений;

- поочередным измерением в лабораторных или полевых условиях выбранных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами.

При этом во время выполнения измерений эталонный и поверяемый тахеометры могут

устанавливаться на стационарные тумбы или на устойчивые штативы, расположенные в 35–40 см друг от друга. Если для установки тахеометров будут использоваться штативы, то они должны устанавливаться на бетонное основание или твердый грунт.

При реализации указанных способов в качестве эталона единицы длины используются расстояния, измеренные высокоточным фазовым светодалномером или тахеометром (типа ТМ30), которые, в свою очередь, также периодически проходят метрологическую поверку с использованием исходного эталона единицы длины [2, 3, 11, 12]. С целью исключения постоянной поправки используется один отражатель.

При реализации первого способа на общей платформе размещаются эталонный и поверяемый тахеометры, которая затем устанавливается на одном штативе. После наведения зрительных труб тахеометров на один отражатель одновременно (с разницей 3–5 с) производится измерение несколькими сериями произвольно выбранного расстояния, например, 80 м для лабораторных условий и 234 м для полевых. Затем платформа вместе с тахеометрами поворачивается на  $180^\circ$  и это расстояние измеряется снова. В этом случае оно измеряется эталонным и поверяемым тахеометрами. В общем случае тахеометрами измеряются два отдельных расстояния. По окончании измерений вычисляются разности этих расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами.

Так как при выполнении метрологической поверки необходимо измерить несколько расстояний, то изменение их длин может производиться двумя способами:

- перемещением отражателя со штативом вдоль измеряемой линии;

- перемещением штатива с тахеометрами по отношению к стационарно установленному отражателю.

При реализации второго способа эталонным и поверяемым тахеометрами, установленными на двух штативах, также с разницей 3–5 с несколькими сериями производится измерение произвольно выбранного расстояния. После этого тахеометры аккуратно вынимаются из трегеров, переставляются в них

местами и снова производится измерение этого расстояния. Здесь также каждое из двух расстояний измеряется эталонным и поверяемым тахеометрами с последующим вычислением разности.

И, наконец, при реализации третьего способа измерение произвольно выбранных расстояний производится поочередно эталонным и поверяемым тахеометрами. Для этого расстояние сначала изменяется эталонным тахеометром, затем он аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр и снова производится измерение этого расстояния. При этом интервал времени между измерениями расстояния тахеометрами составляет 2–3 мин.

Достоинствами рассмотренных способов является отсутствие необходимости в создании стационарных линейных базисов в различных регионах страны, включая регионы с наличием вечной мерзлоты, а также введения поправок за метеоусловия, так как измерения эталонным и поверяемым тахеометрами выполняются практически одновременно при одинаковых значениях температуры, влажности и давления воздуха.

Некоторым недостатком данных способов является определенная трудность в выполнении измерений «во всех комбинациях». Также при выполнении измерений лучи лазеров поверяемого и эталонного тахеометров проходят на отражатель разными путями через разные слои атмосферы, несмотря на то, что расстояние между точками установки штативов не превышает 35–40 см.

С целью повышения надежности и точности полученных результатов поверки данные способы можно усовершенствовать путем изменения схемы выполнения измерений эталонных линий, путем уменьшения до 4,0–5,0 см расстояния между путями прохождения лучей лазеров эталонного и поверяемого тахеометров, что приведет к исчезающе малому влиянию метеоусловий на получаемые результаты метрологической поверки.

Таким образом, с учетом сказанного можно сделать вывод, что разработка и совершенствование способов метрологической поверки светодальномеров и тахеометров без использования стационарного линейного базиса являются

актуальными и полезными геодезическому производству. Одним из вариантов такого совершенствования являются способы, основанные на применении метода непосредственного сличения без компаратора.

### **Способы и результаты выполнения поверки**

Для устранения остаточного влияния метеоусловий на результаты метрологической поверки тахеометров предлагаются следующие способы их совершенствования. Их реализация может быть выполнена как в лабораторных, так и в полевых условиях.

*Поверка тахеометра с двух станций.* При реализации данного способа могут быть применены две схемы выполнения измерений:

– схема, основанная на стационарной установке вдоль измеряемой линии нескольких штативов  $A, C, D, E, F, K$  и  $B$  (рис. 1) и одного отражателя, который при выполнении измерений последовательно переставляется в трегерах этих штативов с целью изменения длин расстояний; при этом эталонный и поверяемый тахеометры поочередно устанавливаются в трегерах штативов  $A$  и  $B$ ;

– схема с произвольной установкой одного штатива с отражателем, который последовательно переставляется вдоль линии  $AB$  в точки  $A, C, D, E, F, K$  и  $B$  и при этом также эталонный и поверяемый тахеометры поочередно устанавливаются в трегерах штативов  $A$  и  $B$ .

При реализации первой схемы в начале измеряемой линии в точке  $A$  на устойчивом штативе или тумбе устанавливается эталонный тахеометр, а в точках  $C, D, E, F, K$  и  $B$ , расположенных по створу с отклонением от него не более чем 50 мм, заранее устанавливаются штативы с трегерами (в нашем случае их семь). При выполнении измерений расстояний в эти трегеры поочередно будет устанавливаться отражатель.

Если для установки тахеометров и отражателя будут применяться штативы, то для получения качественных результатов измерений должны соблюдаться следующие требования:

– установка штативов должна производиться на бетонное основание или на твердый грунт;

- штативы должны быть без люфтов в соединениях и наконечниках;
- если измерения будут выполняться в зимнее время, то грунт или бетонное основание под ними необходимо тщательно очищать от снега и льда;
- с целью увеличения устойчивости штативов к их станочному винту необходимо подвешивать груз весом до 5–6 кг;
- должна быть тщательно выполнена проверка уровня отражателя.

Если будут применяться стационарные тумбы, то они должны обеспечить принудительное центрирование тахеометров.

После стабилизации положения штативов производится измерение расстояния  $AC$  тремя сериями по 15 раз в одной серии. Затем эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр и также производится измерение расстояния  $AC$  тремя сериями.

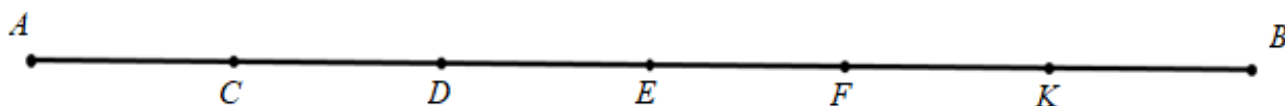


Рис. 1. Схема поверки тахеометра с двух станций

После измерения расстояния  $AC$  переходят к измерению расстояния  $AD$ . Для этого отражатель из трегера штатива  $C$  аккуратно вынимается и устанавливается в трегер штатива  $D$  с последующим поочередным измерением расстояния  $AD$  эталонным и поверяемым тахеометрами также тремя сериями.

Аналогичным образом производятся измерения расстояний  $AE$ ,  $AF$ ,  $AK$  и  $AB$  с использованием одного отражателя, который

поочередно устанавливается в трегерах штативов в точках  $E$ ,  $F$ ,  $K$  и  $B$  (табл. 1). Эти действия составляют прямой ход, после чего аналогичным образом измерения выполняются и в обратном ходе. Для этого тахеометр вынимается из трегера в точке  $A$ , переносится и устанавливается по створу в трегер  $B$  с последующим измерением расстояний  $BK$ ,  $BF$ ,  $BE$ ,  $BD$ ,  $BC$  и  $BA$ , что составляет обратный ход.

Таблица 1

Результаты поверки тахеометра в лабораторных условиях с двух станций  $A$  и  $B$  (стационарная установка штативов)

S	TM30 (средние значения из 15 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 15 измерений, мм)		Разности, мм		Среднее значение разностей, мм
	штатив в точке A	штатив в точке B	штатив в точке A	штатив в точке B	$\Delta_1=A-A$	$\Delta_2=B-B$	
$AC (BK)$	8246,2	4416,1	8246,8	4416,8	-0,6	-0,7	-0,6
$AD (BF)$	28482,8	31886,1	28483,3	31886,7	-0,5	-0,6	-0,6
$AE (BE)$	49356,6	49186,6	49357,2	49187,4	-0,6	-0,8	-0,7
$AF (BD)$	66657,0	70060,8	66657,5	70061,4	-0,5	-0,6	-0,6
$AK (BC)$	94127,6	90297,0	94128,4	90297,7	-0,8	-0,7	-0,8
$AB (BA)$	98543,7	98543,4	98544,4	98544,2	-0,7	-0,8	-0,8

При выполнении измерений с точки  $B$  отражатель поворачивается на  $180^\circ$ , что в общем случае может привести к изменению

длин расстояний из-за смещения отражающих плоскостей призмы относительно вертикальной оси отражателя. Но так как величина

этого смещения будет одинакова для всех расстояний, то полученные результаты не будут отягощены данным фактором.

После окончания измерений вычисляются:

- по формуле Бесселя – величины среднеквадратической ошибки (СКО) измерений расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами в каждой серии;

- по формуле Гаусса – величины СКО измерений всех расстояний также в каждой серии;

- разности  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  средних значений расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- среднее значение  $\Delta_3$  разности длин каждого расстояния.

В нашем случае СКО измерений, вычисленная по формуле Бесселя, для тахеометра ТМ30 оказалась равной 0,58 мм, а для GeoMax, вычисленная по формулам Бесселя и Гаусса соответственно, 0,76 и 0,62 мм.

С целью повышения качества результатов поверки измерения выполняются «во всех комбинациях», для чего эталонный и поверяемый тахеометры затем поочередно устанавливаются в трегер штатива *C*, а затем снова в *B* с последующим выполнением указанных измерений (табл. 2).

Таблица 2

Результаты поверки тахеометра в лабораторных условиях с двух станций *C* и *B* (стационарная установка штативов с отражателем)

<i>S</i>	ТМ30 (средние значения из 15 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 15 измерений, мм)		Разности, мм		Среднее значение разностей, мм $\Delta_3$
	штатив в точке <i>C</i>	штатив в точке <i>B</i>	штатив в точке <i>C</i>	штатив в точке <i>B</i>	$\Delta_1=C-C$	$\Delta_2=B-B$	
<i>CD</i> ( <i>BK</i> )	20236,2	4416,0	20236,7	4416,4	-0,5	-0,4	-0,4
<i>CE</i> ( <i>BF</i> )	41119,0	31886,0	41119,7	31886,6	-0,7	-0,6	-0,6
<i>CF</i> ( <i>BE</i> )	58410,5	49186,3	58411,3	49187,0	-0,8	-0,7	-0,8
<i>CK</i> ( <i>BD</i> )	85881,0	70060,4	85881,9	70061,2	-0,9	-0,8	-0,8
<i>CB</i> ( <i>BC</i> )	90297,1	90296,6	90297,8	90297,5	-0,7	-0,9	-0,8

После этого измерения при необходимости выполняются с начальной установкой тахеометров в трегер *D*, затем *E* и *F*.

Полученные разности измеренных расстояний свидетельствуют, что поверяемый тахеометр GeoMax соответствует заявленному классу точности.

При реализации схемы измерения выполняются тахеометрами только с точек *A* и *B*, а штатив с отражателем поочередно устанавливается в произвольно выбранных точках *A*, *C*, *D*, *E*, *F*, *K* и *B*. Для этого сначала эталонный тахеометр устанавливается в точке *A*, а штатив с отражателем – в точке *C*, после чего производится измерение расстояния *AC* не менее чем тремя сериями (табл. 3). По окончании

измерений расстояния *AC* эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, и на его место устанавливается поверяемый тахеометр, которым также измеряется расстояние *AC*. После этого штатив с отражателем устанавливается в произвольно выбранной точке *D*, затем в *E* и т. д. и в точке *B*, где и производятся аналогичные измерения расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами. Эти действия составляют прямой ход. По окончании измерений тахеометр с точки *A* переносится и устанавливается в точке *B* и измерения продолжают с установкой штатива с отражателем в произвольно выбранных точках *K*, *F*, *E*, *D*, *C* и *A*; это будет составлять обратный ход.



Таблица 3

Результаты измерений в лабораторных условиях с двух станций  $A$  и  $B$   
(произвольная установка отражателя)

$S$	TM30 (средние значения из 15 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 15 измерений, мм)		Разности, мм	
	штатив в точке $A$	штатив в точке $B$	штатив в точке $A$	штатив в точке $B$	$\Delta_1=A-A$	$\Delta_2=B-B$
$AC (BK)$	7846,3	4247,3	7846,8	4247,8	-0,5	-0,5
$AD (BF)$	28245,2	32012,3	28245,7	32012,9	-0,5	-0,6
$AE (BE)$	49411,5	49542,0	49411,9	49542,7	-0,4	-0,7
$AF (BD)$	67157,0	70111,8	67157,6	70112,5	-0,6	-0,7
$AK (BC)$	94338,4	90405,1	94338,8	90405,7	-0,4	-0,6
$AB (BA)$	98410,7	98390,2	98411,5	98390,8	-0,8	-0,6

Так как штатив с отражателем в прямом и обратном ходах устанавливается произвольно, то будут отсутствовать стационарные эталонные отрезки.

По окончании измерений вычисляются:

– величины СКО измерений, вычисленные по формулам Бесселя и Гаусса, для всех расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

– разности  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  средних значений длин расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами.

Преимущество данной схемы поверки перед первой заключается в том, что для задания расстояния используется только один штатив с отражателем. Недостатком схемы является отсутствие контроля результатов измерений расстояний из прямого и обратного ходов, так как они будут разными.

Необходимо отметить, что при реализации данного способа поверки измерения расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами в точках  $A$  и  $B$  производятся с опреде-

ленным интервалом во времени. Это в свою очередь приводит к некоторому изменению метеоусловий. Но так как этот интервал времени между измерениями тахеометрами не превышает в среднем 5–7 мин, то изменение метеоусловий будет незначительным и их влияние на результаты измерений также будет незначительным.

*Поверка при установке тахеометров в створ.* В работах [9, 10] рассматривается методика поверки, при которой эталонный и поверяемый тахеометры устанавливаются рядом, на расстоянии 45–50 см. В этом случае лучи лазеров на отражатель будут проходить в разных воздушных средах, что приведет к разному влиянию метеоусловий, хотя и незначительному, на полученные результаты измерений расстояний.

Для уменьшения этого влияния разности состояния воздушных сред на результаты измерений расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами целесообразно применять схему их установки, приведенную на рис. 2.

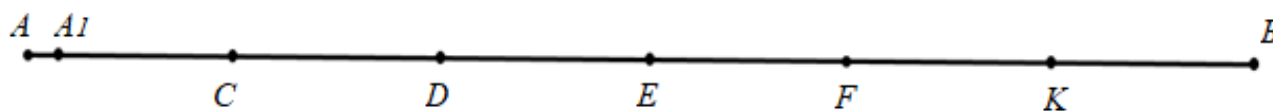


Рис. 2. Поверка путем установки тахеометров в створ

При ее реализации эталонный  $A$  и поверяемый  $A_1$  (или наоборот) тахеометры устанавливаются по створу  $AB$  (с отклонением не больше 10–15 мм) на расстоянии 40–45 см

друг от друга и на разных горизонтах. При этом разность горизонтов не должна превышать 45–50 мм. Тогда лазерные лучи тахеометров также будут проходить по высоте не

более чем 45–50 мм друг от друга, и можно считать, что они будут составлять один пучок лучей. Следовательно, разность метеоусловий на расстоянии 35–40 мм (диаметр объекта тахеометра) будет исчезающе мала.

Проверка может выполняться при произвольной или стационарной установке отражателя.

Собственно, сама проверка при произвольной установке отражателя выполняется следующим образом. В точках  $A$  и  $A_1$ , расположенных по створу  $AB$ , на расстоянии 40–45 см друг от друга устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, а в точке  $C$  – отра-

жатель. При этом подбором высоты одного из тахеометров добиваются такого положения, чтобы лазерный луч одного из них проходил на высоте не более чем 10–15 мм над корпусом зрительной трубы другого тахеометра. После этого одновременно, с разницей 3–5 с, производится измерение расстояний  $AC$  и  $A_1C$  обоими тахеометрами. Затем по окончании измерений расстояния тахеометры аккуратно вынимаются из трегеров, переставляются местами и измерения повторяются (табл. 4). Затем отражатель переносится в точку  $D$ , затем  $E$  и т. д. в  $B$  с одновременным измерением расстояний  $AD$  ( $A_1D$ ),  $AE$  ( $A_1E$ ) и т. д.  $AB$  ( $A_1B$ ).

Таблица 4

Результаты проверки тахеометра в лабораторных условиях установкой тахеометров в створ (произвольная установка отражателя)

$S, м$	TCR 1201 (средние значения из 15 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 15 измерений, мм)		Разности, мм		Разности штативов, мм $A-A_1$
	штатив в точке $A$	штатив в точке $A_1$	штатив в точке $A$	штатив в точке $A_1$	$\Delta_1=A-A$	$\Delta_2=A_1-A_1$	
$AC (A_1C)$	8171,8	7798,1	8172,0	7798,6	-0,2	-0,5	373,7(373,4)
$AD (A_1D)$	30056,4	29682,9	30056,2	29683,4	0,2	-0,5	373,5(372,8)
$AE (A_1E)$	51496,6	51123,0	51496,1	51123,3	0,5	-0,3	373,6(372,8)
$AF (A_1F)$	70517,5	70144,0	70517,9	70144,8	-0,4	-0,8	373,5(373,1)
$AK (A_1K)$	85633,7	85260,2	85634,3	85260,5	-0,6	-0,3	373,5(373,8)
$AB (A_1B)$	91634,8	91261,2	91634,0	91260,6	0,8	0,6	373,6(373,4)

По окончании измерений вычисляются:

- величины СКО измерений в каждой серии, вычисленные по формуле Бесселя для всех расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- величины СКО измерений также в каждой серии, вычисленные по формуле Гаусса для всех значений расстояний;

- разности  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  средних значений всех расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- разности расстояний  $A-A_1$  для обоих тахеометров, что позволяет контролировать стабильность положения штативов.

Из результатов выполненной проверки следует, что СКО измерений, вычисленная по формуле Бесселя, для тахеометра TCR 1201 оказалась равной 0,74 мм, а для GeoMax, вы-

численная по формулам Бесселя и Гаусса соответственно 0,72 и 0,74 мм.

Полученные разности измеренных расстояний также свидетельствуют, что поверяемый тахеометр соответствует своему классу точности. Разности расстояний между штативами свидетельствуют об их стабильности во время выполнения измерений.

Если проверка выполняется при стационарной установке отражателя, то штативы с трегерами заранее устанавливаются в точках  $C, D, E, F$  и  $K$ , а измерения выполняются в прямом (табл. 5) и обратном (табл. 6) направлениях. В этом случае имеется возможность дополнительно выполнить контроль результатов измерений по расстояниям между штативами из прямого и обратного ходов.

Таблица 5

Проверка тахеометра в лабораторных условиях установкой тахеометров  
в створ (стационарная установка отражателя, ход прямо)

S, м	TCR 1201 (средние значения из 15 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 15 измерений, мм)		Разности, мм		Разности штативов, мм
	штатив в точке A	штатив в точке A <sub>1</sub>	штатив в точке A	штатив в точке A <sub>1</sub>	$\Delta_1=A-A$	$\Delta_2=A_1-A_1$	A-A <sub>1</sub>
AC (A <sub>1</sub> C)	8263,4	7852,9	8263,8	7853,4	-0,4	-0,4	410,5(410,4)
AD (A <sub>1</sub> D)	30044,2	29634,0	30044,7	29634,5	-0,5	-0,5	410,2(410,2)
AE (A <sub>1</sub> E)	51510,6	51100,0	51511,1	51100,6	-0,5	-0,6	410,6(410,5)
AF (A <sub>1</sub> F)	71020,7	70610,0	71021,4	70610,5	-0,7	-0,5	410,7(410,9)
AK (A <sub>1</sub> K)	85318,5	84908,1	85319,3	84908,8	-0,8	-0,7	410,4(410,5)
AB (A <sub>1</sub> B)	92373,3	91963,0	92373,8	91963,7	0,5	-0,7	410,3(410,1)

Таблица 6

Проверка тахеометра в лабораторных условиях установкой тахеометров  
в створ (произвольная установка отражателя, ход обратно)

S, м	TCR 1201 (средние значения из 15 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 15 измерений, мм)		Разности, мм		Разности штативов, мм
	штатив в точке A	штатив в точке A <sub>1</sub>	штатив в точке A	штатив в точке A <sub>1</sub>	$\Delta_1=A-A$	$\Delta_2=A_1-A_1$	A-A <sub>1</sub>
AC (A <sub>1</sub> C)	8263,7	7853,3	8264,2	7853,8	-0,5	-0,5	410,4(410,4)
AD (A <sub>1</sub> D)	30044,4	29634,2	30044,9	29635,0	-0,5	-0,8	410,2(409,9)
AE (A <sub>1</sub> E)	51510,5	51100,3	51511,5	51101,0	-1,0	-0,7	410,2(410,5)
AF (A <sub>1</sub> F)	71020,9	70610,1	71021,5	70610,9	-0,6	-0,8	410,8(410,6)
AK (A <sub>1</sub> K)	85318,9	84908,4	85319,6	84909,2	-0,7	-0,8	410,4(410,4)
AB (A <sub>1</sub> B)	92373,7	91963,2	92374,2	91964,2	-0,5	-1,0	410,5(410,2)

Проверка тахеометров способом «из середины». Данный способ может быть реализован с применением двух схем выполнения измерений:

– поочередным измерением эталонных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами;

– одновременным измерением эталонных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами.

При реализации первой схемы на территории специализированной организации или на промплощадке выбирается горизонтальный участок и разбивается линия AB (рис. 3, а). После этого примерно посередине в удобном для установки тахеометров месте, в створе линии AB, предварительно выбирается точка C. Для этого в точке A устанавливается тахеометр, визируется на точку B и в створе линии

AB (с ошибкой уклонения от створа не более 30–50 мм) окончательно намечается точка C. После этого в точке C устанавливается эталонный тахеометр (в нашем случае ТМ30), а в точке A на штативе устанавливается отражатель и десять сериями по 15 отсчетов в каждой серии измеряется расстояние AC (табл. 7). Затем аналогичным образом измеряется расстояние CB, для чего отражатель переносится на установленный заранее штатив в точке B.

По окончании измерений расстояний эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр (в нашем случае TCR405) и аналогичным образом поочередно измеряются расстояния AC и CB. Завершаются исследования измерением тремя сериями расстояния AB эталонным тахеометром.



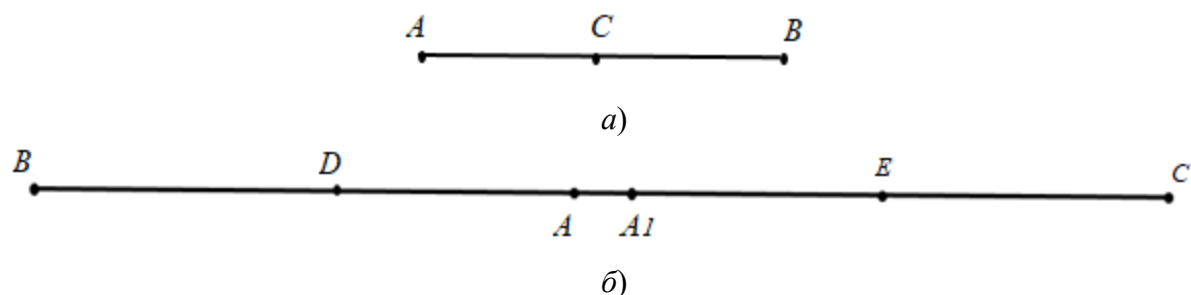


Рис. 3. Проверка тахеометров способом «из середины»:

а) проверка тахеометра с установкой на один штатив; б) проверка тахеометра с установкой на два штатива

Таблица 7

Проверка тахеометра способом «из середины» с одной станции

Номера серий	Средние значения расстояний $AC$ и $CB$		Разности длин отрезков, мм ТМ30–TCR405	Сумма отрезков, мм ТМ30+TCR405	Разности расстояний, мм ТМ30–TCR405
	ТМ30	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	$AB = S_{\text{этал}}$ $AB = S_{\text{изм}}$	–	–	<b>247 м 490,1 мм</b> <b>247 м 491,0 мм</b>	<b>–0,9</b>

По окончании измерений вычисляются:

- разности расстояний  $AC$  и  $CB$ , измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- разности сумм измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами расстояний  $AC$  и  $CB$ ;

– разность эталонного расстояния  $AB$  и его среднего значения из десяти серий, измеренных поверяемым тахеометром.

При проведении проверки с использованием второй схемы эталонный и поверяемый тахеометры также устанавливаются в створе

и примерно посередине между измеряемыми расстояниями (рис. 3, б). Отклонение точек  $A$  и  $A_1$  установок тахеометров от створа  $BC$  не должно быть более 5–10 см. Так же, как и в предыдущем способе, разность высот их объективов не должны быть больше 35–40 см. Тогда можно будет считать, что лучи лазеров проходят в одинаковых метеоусловиях.

Проверка производится при произвольной установке отражателя.

При произвольной установке отражателя проверка выполняется следующим образом.

После установки эталонного и поверяемого тахеометров соответственно в точках  $A$  и  $A_1$  штатив с отражателем устанавливается в произвольно выбранной точке  $B$  и одновременно производится измерение расстояний  $AB$  и  $A_1B$  (табл. 8). Затем тахеометры меняются местами в трегерах и снова производится измерение этих расстояний. По окончании измерений расстояний  $AB$  и  $A_1B$  отражатель устанавливается в точке  $D$ , также произвольной, и аналогичным образом измеряются расстояния  $AD$  и  $A_1D$ .

Таблица 8

Результаты проверки в лабораторных условиях установкой тахеометров в створ (произвольная установка отражателя)

$S, \text{ м}$	TCR 1201 (средние значения из 15 измерений, мм)		TCR405 (средние значения из 15 измерений, мм)		Разности, мм		Разности штативов, мм $A-A_1$
	штатив в точке $A$	штатив в точке $A_1$	штатив в точке $A$	штатив в точке $A_1$	$\Delta_1=A-A$	$\Delta_2=A_1-A_1$	
$AD$	28060,4	28735,7	28060,0	28735,8	0,4	-0,1	-675,3(-675,8)
$AB$	43612,5	44287,8	43612,2	44288,3	0,3	-0,5	-675,3(-676,1)
$AE$	30374,6	29699,1	30373,8	29698,6	0,8	0,5	675,5(675,2)
$AC$	46163, 2	45487,7	46162,6	45487,0	0,6	0,7	675,5 (675,6)

После этого зрительные трубы тахеометров переводятся через зенит и производится измерение произвольно выбранных расстояний  $AE$  ( $A_1E$ ) и  $AC$  ( $A_1C$ ) при двух положениях тахеометров.

По окончании измерений вычисляются:

- по формуле Бесселя – величины СКО измерений в каждой серии для всех расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- по формуле Гаусса – величины СКО измерений также в каждой серии для всех расстояний;

- разности  $\Delta_1$  и  $\Delta_2$  средних значений всех расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- разности расстояний  $A-A_1$  для обоих тахеометров, что позволяет контролировать стабильность положения штативов.

Применительно к полученным результатам СКО измерений, вычисленная по формуле Бесселя, для тахеометра TCR 1201 ока-

залась равной 0,83 мм, а для TCR405, вычисленная по формулам Бесселя и Гаусса, соответственно 0,72 и 0,74 мм.

### Обсуждение результатов проверки

Выполненные исследования подтвердили возможность проведения проверки тахеометров способами, основанными на установке их в створ измеряемых линий. Тем самым практически полностью исключается влияние метеоусловий на результаты измерений длин линий, так как лучи лазеров проходят практически в одной воздушной среде. Реализация предлагаемых способов проверки может быть выполнена в лабораторных и полевых условиях при произвольном или стационарном размещении отражателя вдоль измеряемых линий. Данное техническое решение не противоречит требованиям локальной поверочной схемы по проведению проверок тахеометров и светодальномеров [1, 11–13]. Важным

достоинством предлагаемых способов поверки является контроль пространственного положения штативов во время выполнения измерений, на которых установлены эталонный и поверяемый тахеометры.

С целью уменьшения времени на выполнение поверки в полевых условиях перемещение отражателя может производиться с применением автомобиля. При этом трасса для разбивки и последующего измерения эталонных длин линий может проходить вдоль автомобильных и проселочных дорог, вблизи населенных пунктов, а также в городах. Если поверка будет выполняться в городских условиях, то ее лучше проводить в утренние часы, когда интенсивность транспорта минимальна.

Так как измеряемые расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами отличаются на незначительную величину, то контроль полученных результатов в процессе выполнения измерений не представляет затруднений, и наблюдатель может легко обнаружить грубую ошибку.

### Заключение

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

– предлагаемые способы поверки тахеометров методом непосредственного сличения без компаратора позволяют обеспечить передачу единицы длины на уровне точности стационарного эталонного базиса 2-го разряда при выполнении измерений в лабораторных и полевых условиях;

– длины измеряемых линий можно выбирать в зависимости от рельефа местности и условий выполнения измерений;

– поверки желательно выполнять на равнинной территории, так как в этом случае можно будет увеличивать длину измеряемых линий до 2,0–3,0 км;

– так как при использовании данных способов поверки не предъявляются особые требования к выбору трассы, то измерения можно производить и в городских условиях, особенно в зимнее время, когда доступ к стационарным линейным базисам затруднен.

В заключение необходимо ответить на вопрос об обеспечении надлежащей метрологической поверке самого эталонного тахеометра. Она должна ежегодно производиться с использованием рабочего эталона 1-го разряда, который имеется и поддерживается в рабочем состоянии в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных». Также особое внимание должно уделяться транспортировке эталонного тахеометра к месту выполнения поверок рабочих тахеометров. При прочих равных условиях организация, имеющая лицензию на проведение поверок тахеометров, должна иметь в своем распоряжении два эталонных тахеометра. В этом случае возможно будет обеспечить их взаимный контроль (поверку) технического состояния в пределах паспортной точности измерений.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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».
2. РД 68-8.17-98. Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения. – Введ. 2000-07-01. – М. : ЦНИИГАиК, 1999. – 26 с.
3. ГОСТ 8.129-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты. – Введ. 2000-07-01. – М. : Стандартинформ, 2013. – 8 с.
4. ГОСТ Р 53606-2009. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – Введ. 2001-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – 12 с.
5. ГОСТ Р 51774-01. Тахеометры электронные. Общие технические условия. – Введ. 2002-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.

6. ГОСТ 8.503–84. Государственная система обеспечений единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 24 до 75 000 м. – Введ. 1985–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.
7. Методика института 40–03. Базисы эталонные. Методы поверки. Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 6 с.
8. Методика института 30–94. Применение светодальномера СП-2 («Топаз») для аттестации базисов. МИ БГЕИ 30–94. – М. : ЦНИИГАиК, 1995. – 8 с.
9. Методика института 15–03. Светодальномеры. Методика и средства поверки. МИ БГЕИ 15–03. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 12 с.
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. Уставич Г. А. К вопросу создания эталонных базисов для аттестации спутниковой аппаратуры и светодальномеров // Геодезия и картография. – 1999. – № 9. – С. 7–14.
12. 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* – преподаватель.

*Александр Сергеевич Горилько* – преподаватель.

*Андрей Михайлович Астапов* – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

*Иван Абид оглы Мезенцев* – аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела.

Получено 27.03.2023

© Г. А. Уставич, И. Ю. Васютинский, Д. А. Баранников,  
А. С. Горилько, А. М. Астапов, Иван Абид оглы Мезенцев, 2024

### Improvement of the method of checking total stations by the method of comparison without a comparator

*G. A. Ustavich<sup>1</sup>, I. Y. Vasyutinskiy<sup>2</sup>, D. A. Barannikov<sup>1</sup>,  
A. S. Goril'ko<sup>1✉</sup>, A. M. Astapov<sup>1</sup>, I. A. Mezentsev<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russian Federation

e-mail: cahek28@mail.ru

**Abstract.** To ensure the uniformity of geodetic measurements, in accordance with the requirements of the relevant regulatory documents, it is necessary to perform periodic verification of the devices used. The verification of total stations, at present, is carried out by direct measurements using stationary reference linear bases of the 2nd or 3rd digits which in their turn are also verified by the method of direct measurements using basic BP1 devices. However, the number of operating base does not exceed 2–3 and they are located in the European part of the Russian Federation. This fact is due to the fact that there is no proper maintenance of the bases due to the lack of trained specialists

capable of performing measurements with the BP-1 basic device, as well as the need to allocate significant financial resources for field work. In this regard, the scientific and technical task arose of developing a method for conducting periodic checks of total stations, which do not require the creation and maintenance of stationary linear bases, as well as performing measurements on them. To solve this problem, a verification method is proposed, which is based on the use of a reference high-precision total station as a basis. This method is based on verification by comparison without a comparator. When implementing it, the selected distances are alternately measured by a certain number of series of reference and verified total stations. After this, the obtained measurement results of these distances are compared and, based on their difference, a conclusion is made about the accuracy of the total station being verified. This method can be used both in laboratory and field conditions. The studies of the proposed method have shown that it provides the necessary verification accuracy at the level of using a 2nd category reference basis, which meets the requirements of the local verification scheme.

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

## REFERENCES

1. Federal Law of June 26, 2008 No. 102–FZ (ed. of December 8, 2020). On ensuring the uniformity of measurements. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
2. Detailed Design Documentation. (1999). RD 68-8.17-98. Local verification schemes for measuring instruments of topographic, geodetic and cartographic purposes. Moscow: TsNIIGAiK Publ., 26 p. [in Russian].
3. 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].
4. 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].
5. Standards Russian Federation. (2001). GOST R 51774-01. Total stations are electronic. General technical conditions. Moscow: Standards Publ, 10 p. [in Russian].
6. Standards USSR. (1984). GOST 8.503-84. The state system of ensuring the uniformity of measurements. State verification scheme for length measuring instruments in the range from 24 to 75,000 m. Moscow: Standards Publ., 17 p. [in Russian].
7. Methodology of the Institute 40-03. (2003). Reference bases. Verification methods. Methodology of the Institute. Moscow: TsNIIGAiK Publ., 6 p. [in Russian].
8. Methodology of the Institute 30-94. (1995). The use of the SP-2 (Topaz) light meter for the certification of the bases of the Institute's methodology. Moscow: TsNIIGAiK Publ., 8 p. [in Russian].
9. Methodology of the Institute 15-03. (2003). LED numbers. Methods and means of verification. Methodology of the Institute. Moscow: TsNIIGAiK Publ., 12 p. [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 SSUGT]*, 26(4), 146–159.
11. Ustavich, G. A. (1999). On the issue of creating reference bases for the certification of satellite apparatuses and light meters. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 9, 7–14 [in Russian].
12. 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].



**Author details**

*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* – Lecturer.

*Aleksandr S. Goril'ko* – Lecturer.

*Andrej M. Astapov* – Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

*Ivan A. Mezentsev* – Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying.

Received 27.03.2023

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