

## МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ



УДК 006:[528.531+528.517]

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-146-159

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ТАХЕОМЕТРОВ И СВЕТОДАЛЬНОМЕРОВ**

#### ***Георгий Афанасьевич Уставич***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

#### ***Николай Сергеевич Косарев***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

#### ***Дмитрий Андреевич Баранников***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)753-95-82, e-mail: eddieogilvie@yandex.ru

#### ***Иван Абид оглы Мезентцев***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (923)241-80-42, e-mail: vania.mezentzew@yandex.ru

#### ***Дмитрий Витальевич Бирюков***

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)895-78-66, e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

Для обеспечения единства измерений необходимо выполнять периодические поверки геодезических приборов в соответствии с требованием соответствующих нормативных документов. Применительно к тахеометрам и светодальномерам обеспечение единства измерений должно выполняться путем проведения ежегодных периодических поверок с применением стационарных эталонных базисов 2-го или 3-го разряда, которые раньше были созданы практически во всех регионах страны. Однако к настоящему времени на территории РФ сохранилось всего два таких базиса. Причиной такого положения стало отсутствие надлежащего метрологического обеспечения длин линий самих эталонных базисов, вызванное необходимостью проведения организационных мероприятий, отсутствие подготовленных специалистов, а также значительные финансовые расходы на проведение полевых работ. В связи с этим возникла научно-техническая задача разработки локальной поверочной схемы (ЛПС) для обеспечения периодических поверок тахеометров и светодальномеров во всем диапазоне измеряемых расстояний, которая не требует создания стационарных эталонных базисов. Для этого предлагается схема ЛПС, основанная на применении способа прямых измерений расстояний. Сущность ее заключается в одновременном измерении выбранных расстояний эталонным и поверяемым тахеомет-

рами. Для этого на расположенных рядом двух штативах устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, которыми измеряется одно и то же расстояние. После этого тахеометры меняются местами и измерения повторяются. По окончании измерений производится сравнение измеренных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами. Затем по разности этих расстояний делается вывод о соответствии точности поверяемого прибора, заявленной в техническом паспорте. Результаты реализации предлагаемой ЛПС показали, что его схема обеспечивает точность измерений на уровне эталонного базиса 2-го разряда, а методика и точность передачи единицы длины соответствует требованиям нормативных документов.

**Ключевые слова:** метрологическая аттестация, локальная поверочная схема, тахеометр, ошибка измерений, эталонный прибор, расстояние, влияние температуры воздуха, способы сличения и прямых измерений

### Введение

Для обеспечения единства измерений, выполняемых различными средствами измерений на территории Российской Федерации, федеральным законом [1] 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 [2–6]. Кроме того, мероприятия по обеспечению единства измерений (поверка, аттестация) должны выполняться с применением установленных нормативными документами эталонов.

Применительно к проведению периодических поверок светодалномеров (светодалномерных насадок) и тахеометров указанными нормативными документами в качестве эталонов длины регламентируется использовать линейные отрезки стационарных базисов соответствующего разряда (1, 2 и 3-го разрядов) [7–9]. В свою очередь эти линейные отрезки должны измеряться набором инварных проволок БП-1 или группой (не менее трех) высокоточных фазовых дальномеров; тем самым на них передается эталонная единица длины. Далее на этих базисах 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 (светодалномеров, 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) [10–13].

С учетом этого автором работы [13] предлагается схема проведения поверки тахеометров без применения стационарных линейных базисов. Эта поверка производится путем одновременного измерения (способом прямых измерений) произвольно выбранного расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами (светодалномерами, 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 [15].

Для реализации данной схемы авторами предлагается на одной платформе, закреплен-

ной на штативе, устанавливая эталонный и поверяемый тахеометры, после чего одновременно, с разницей во времени 5–10 с, 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°.

Данная схема поверки по сравнению со стационарными линейными базисами имеет следующие достоинства:

- отсутствует необходимость создавать стационарные линейные базисы 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 данной методики 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 метеосло-

вия. 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 данной схемы поверки являются:

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

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

Следующей методикой поверки светодальномеров и тахеометров является методика, основанная на применении стационарных интерференционных компараторов, с помощью которых можно измерять (поверять) линейные отрезки длиной до 24,0 м.

Достоинством данной методики является возможность уверенного измерения длины линии в лабораторных условиях со средней квадратической ошибкой измерения равной 0,000 01 мм. Недостатком методики является отсутствие возможности выполнить поверку тахеометра (светодальномера) во всем возможном диапазоне измерения ими 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 методики поверки рабочих средств линейных измерений являются актуальными и полезными геодезическому производству.

### **Поверочные схемы и методики измерений**

Для устранения указанных выше недостатков методики поверки линейных рабочих средств измерений с применением эталонных тахеометров предлагается две схемы выполнения измерений (рис. 1).

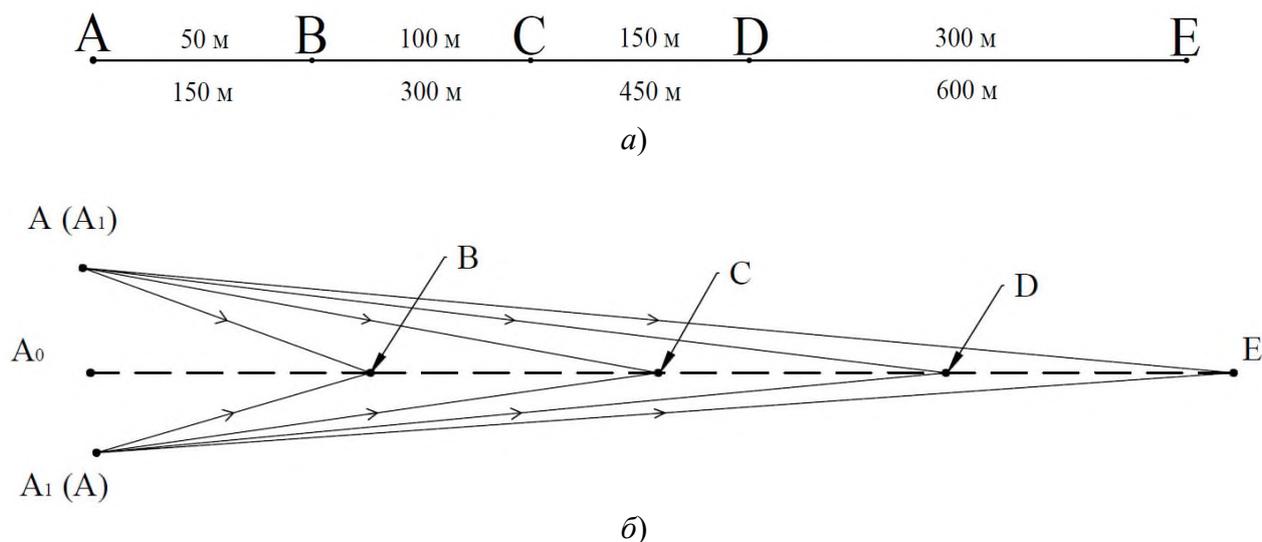


Рис. 1. Схемы поверки тахеометров (светодальномеров):  
 а) первая поверочная схема; б) вторая поверочная схема

При их реализации выбирается равнинный участок местности, на которой можно разметить линию длиной до 1,0–1,5 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 метеопараметров измерения необходимо выполнять в сухую погоду, при отсутствии резких порывов ветра и температуре воздуха не выше 20–25 °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 автомобильной дороги. Если поверка будет производиться в зимний период, то измерения необходимо выполнять при отсутствии осадков и температуре воздуха не ниже –10 °С.

*Первая локальная поверочная схема.* При ее реализации могут быть использованы две методики 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, на которые поочередно устанавливается отражатель.

*При реализации первой методики* в точках А и В (рис. 1, а) на штативах устанавливаются соответственно эталонный тахеометр и отражатель. Для обеспечения получения качественных результатов поверки необходимо выполнить следующие требования:

- штативы должны быть исправными, без люфтов в соединениях;
- штативы должны устанавливаться на 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 становому винту необходимо подвешивать груз весом до 5–6 кг.

После выполнения указанных требований приступают к измерениям. Для этого установленные на штативах А и В соответственно эталонный тахеометр и отражатель тщательно приводятся в рабочее положение и проверяется их устойчивость. Для ослабления влия-

ния 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, то 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 может 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.

При реализации второй методики в точке  $A$  (рис. 1,  $a$ ) 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 второй методики от первой 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).

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;

- среднее значение всех длин линий, полученное из прямого и обратного ходов, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- 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;

- разности  $\Delta_{\text{пр}}$  и  $\Delta_{\text{обр}}$  средних значений всех длин линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами в прямом и обратном ходе;

- среднее значение  $\Delta_{\text{ср}}$  разности длин каждой линии;

- среднее значение  $\Delta_{\text{ср}}$  разностей длин всех длин линий по абсолютной величине.

Вторая локальная поверочная схема. При ее реализации также могут быть использованы две методики изменения длин эталонных линий с использованием двух штативов и одного отражателя.

*Для реализации первой методики* в точках  $A$  и  $A_1$  (рис. 1, б) 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.

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

*Для реализации второй методики* в точках  $A$  и  $A_1$  (рис. 1, б) 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 соот-

ответственно  $AB$  и  $A_1B$ . 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  $E$ .

Измерения с установкой отражателя на штативы  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и  $E$  составляют прямой ход.

После этого аналогичным образом выполняется обратный ход. При выполнении обратного хода отражатель аккуратно вынимается из трегера каждого штатива и устанавливается в следующий трегер.

### Результаты исследований

При реализации первой ЛПС получены следующие результаты. В табл. 1 приведены средние значения длин линий из трех приемов, полученных с применением первой методики, а при использовании второй методики приведены в табл. 2.

Таблица 1

Средние значения длин линий при произвольной установке штатива с отражателем

Линии	Ход прямо, м		Ход обратно, м		$D$ пр., мм	$D$ обр., мм	$D$ ср., мм
	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>			
$AB$	50,6248	50,624	50,6812	50,680	0,8	1,2	1,0
$AC$	101,2834	101,282	101,2908	101,280	1,4	0,8	1,1
$AD$	149,3812	149,383	149,3726	149,375	-1,8	-2,4	-2,1
$AE$	300,7477	300,750	300,7304	300,733	-2,3	-2,6	-2,4
							/1,6/

Таблица 2

Средние значения длин линий при установке отражателя на стационарные штативы

Линии	Ход прямо, м		Ход обратно, м		Среднее, м		$D$ пр., мм	$D$ обр., мм	$D$ ср., мм
	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>			
$AB$	50,2384	50,237	50,2386	50,237	50,2385	50,237	1,4	1,6	1,5
$AC$	100,6257	100,627	100,6255	101,627	100,6256	100,627	-1,3	-1,5	-1,4
$AD$	150,1342	150,136	150,1347	150,138	150,1344	150,137	-1,8	-3,3	-2,6
$AE$	300,4723	300,470	300,4728	300,471	300,4726	300,470	2,3	1,7	2,6
/2,1/									

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.

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 первой ЛПС (двух методик) поверки является остаточное влияние на полученные результаты возмож-

ного изменения температуры воздуха, так как измерение линий эталонным и поверяемым тахеометрами производится с интервалом 12–15 мин.

Результаты измерений с использованием второй ЛПС (первой методики) приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Результаты поверки тахеометра первой методикой с двумя штативами при произвольной установке отражателя (ход прямо,  $t = +21$  °С)

S, м	TCR 1201, мм		GeoMax, мм		Разность $\Delta_1$		Сумма расстояний (1 + 2)		Разности $\Delta_2, \Delta_3$
	1	2	1	2	1–1	2–2	TCR 1201	GeoMax	TCR 1201 – GeoMax
50	50 045,7	50 297,4	50 046,8	50 298,1	–1,1	–0,7	100 343,1	100 344,9	–1,8
							50 171,6	50 172,4	–0,8
100	99 652,2	99 905,4	99 653,0	99 905,7	–0,8	–0,3	199 557,6	199 558,7	–1,1
							99 778,8	99 779,4	–0,6
150	150 310,4	150 562,8	150 310,0	150 562,3	0,4	0,5	300 873,2	300 872,3	0,9
							150 436,6	150 436,2	0,4
300	300 840,2	300 589,2	300 840,0	300 588,8	0,2	0,4	601 429,4	601 428,8	0,6
							300 714,7	300 714,2	0,5
500	499 070,7	499 320,9	499 069,8	499 320,0	0,9	0,9	998 391,6	998 389,8	1,8
							499 195,8	499 194,9	0,9

Таблица 4

Результаты поверки тахеометра первой методикой с двумя штативами при произвольной установке отражателя (ход обратно  $t = +22$  °С)

S, м	TCR 1201 (средние значения из 20 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 20 измерений, мм)		Разности $\Delta_1$		Сумма расстояний $A_0 = (A + A_1)/2$		Разности $\Delta_2$ и $\Delta_3$
	штатив A	штатив A <sub>1</sub>	штатив A	штатив A <sub>1</sub>	A – A	A <sub>1</sub> – A <sub>1</sub>	TCR 1201	GeoMax	TCR 1201 – GeoMax
50	50 097,4	50 292,1	50 097,8	50 292,8	–0,4	–0,7	100 389,5	100 390,6	–1,1
							50 194,8	50 195,3	–0,5
100	99 600,6	99 796,4	99 600,0	99 795,3	0,6	–1,1	199 397,0	199 395,3	1,7
							99 695,5	99 697,6	0,9
150	150 368,0	150 562,4	150 370,5	150 564,2	–1,5	–1,8	300 930,4	300 934,7	–4,3
							150 465,2	150 467,4	–2,2
300	301 633,2	301 829,5	301 631,4	301 827,2	1,8	2,3	603 462,7	603 458,6	4,1
							301 731,4	301 729,3	2,1
500	499 050,5	499 244,4	499 052,6	499 245,8	–2,1	–1,4	998 294,9	998 298,4	–3,5
							499 147,4	499 149,4	–2,0

По окончании измерений приступают к обработке полученных результатов измерений. Для этого в прямом ходе вычисляются (табл. 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  $A$  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  $\Delta_1$  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  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$  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  $\Delta_3$  по абсолютной величине (в нашем примере оно равно 1,2 мм).

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

После этого по результатам измерений вычисляется:

- среднее значение  $\Delta_{ср}$  разностей  $\Delta_3$  по абсолютной величине длин линий из прямого и обратного ходов (в нашем случае оно равно 1,3 мм);

- величина СКО, полученная по разностям  $\Delta_3$ , из прямого и обратного ходов (в нашем случае она равна 1,3 мм).

Результаты измерений с использованием второй ЛПС (второй методики) приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Результаты поверки тахеометра второй методикой с двумя штативами при установке отражателя на стационарные штативы (ход прямо,  $t = + 20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

$S, \text{ м}$	TCR 1201 (средние значения из 20 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 20 измерений, мм)		Разности $\Delta_1$		Сумма расстояний $A_0 = (A + A_1)/2$		Разности $\Delta_2$ и $\Delta_3$
	штатив $A$	штатив $A_1$	штатив $A$	штатив $A_1$	$A - A_1$	$A_1 - A$	TCR 1201	GeoMax	TCR 1201 – GeoMax
50	51 177,7	51 149,4	51 177,0	51 150,8	0,7	-1,4	102 327,1	102 327,8	-0,7
							51 163,6	51 163,9	-0,3
100	104 762,2	104 735,0	104 763,1	104 735,9	-1,1	-0,9	209 497,2	209 499,0	-1,8
							104 748,6	104 749,5	-0,9
150	153 687,4	153 561,8	153 686,0	153 560,3	1,4	1,5	307 249,2	3 007 246,3	2,9
							153 624,6	153 623,2	1,4
300	302 140,2	302 112,2	302 141,0	302 113,8	-0,8	-1,6	604 252,4	604 254,8	-2,4
							302 126,2	302 127,4	-1,2
500	510 649,6	510 623,3	510 652,0	510 625,0	-2,4	-1,7	1 021 272,9	1 021 277,0	-4,1
							510 636,4	510 638,5	-2,1

Таблица 6

Результаты поверки тахеометра второй методикой с двумя штативами при установке отражателя на стационарные штативы (ход обратно,  $t = + 20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

S, м	TCR 1201 (средние значения из 20 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 20 измерений, мм)		Разности $\Delta_1$		Сумма расстояний $A_0 = (A + A_1)/2$		Разности $\Delta_2$ и $\Delta_3$
	штатив A	штатив A <sub>1</sub>	штатив A	штатив A <sub>1</sub>	A-A	A <sub>1</sub> - A <sub>1</sub>	TCR 1201	GeoMax	TCR 1201 - GeoMax
50	51 178,2	51 150,6	51 176,8	51 149,3	1,2	1,3	102 328,8	102 326,1	-2,7
							51 164,4	51 163,0	-1,4
100	104 760,3	104 735,2	104 762,4	104 737,4	-2,1	-2,2	209 495,5	209 499,8	-4,3
							104 747,8	104 749,9	-2,1
150	153 688,2	153 563,4	153 686,2	153 560,7	2,0	2,7	307 251,6	307 246,9	4,7
							153 625,8	153 623,4	2,4
300	302 141,5	302 114,0	302 139,0	302 111,8	2,5	2,2	604 255,5	604 250,8	4,7
							302 127,8	302 125,4	2,4
500	510 648,2	510 622,6	510 650,7	510 625,4	-2,5	-2,8	1 021 270,8	1 021 276,1	-5,3
							510 635,4	510 638,0	-2,6

После проложения прямого и обратного ходов вычисляются:

- средние значения линий AB и AB<sub>1</sub>, AC и AC<sub>1</sub>, AD и AD<sub>1</sub>, AE и AE<sub>1</sub> при установке эталонного и поверяемого тахеометров соответственно на штативы A и A<sub>1</sub>;

- средние значения этих же линий AB и AB<sub>1</sub>, AC и AC<sub>1</sub>, AD и AD<sub>1</sub>, AE и AE<sub>1</sub> после перестановок эталонного и поверяемого тахеометров соответственно на штативы A<sub>1</sub> 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  $\Delta_1$  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  $\Delta_2$  и  $\Delta_3$  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  $\Delta_3$  по абсолютной величине (в нашем примере оно равно 2,2 мм).

После этого по результатам измерений окончательно вычисляется:

- среднее значение  $\Delta_{\text{ср}}$  разностей  $\Delta_3$  по абсолютной величине длин линий из прямого и обратного ходов (в нашем случае оно равно 1,7 мм);

- величину СКО, полученную по разностям  $\Delta_3$ , из прямого и обратного ходов (в нашем случае она равна 1,3 мм).

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

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

### Обсуждение результатов

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-штативов. Тем самым создается поверочная система, которая достаточно просто может быть реализована в любом регионе РФ. Данное техническое решение не противоречит требованиям локальной поверочной схеме [2, 15]. Кроме того, организация, имеющая лицензию на выполнение поверки тахеометров и светодалномеров, может одним эталонным комплектом выполнять поверки в разных регионах.

Следовательно, производственным организациям нет необходимости затрачивать значительные финансовые и временные ресурсы на транспортировку поверяемого тахеометра (светодалномера) 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 проводит поверку всех тахеометров (светодалномеров) данного региона. Так как такая метрологическая поверка производится ежегодно, то можно заранее согласовать время ее выполнения с 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 расстановки штативов с отражателем с использованием автомобильного транспорта не превышает одного 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» и «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 грубую ошибку.

### *Заключение*

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- предлагаемая ЛПС позволяет обеспечить передачу единицы длины на уровне точности стационарного эталонного базиса 2-го разряда;

- один комплект оборудования данной ЛПС позволяет проводить метрологическую аттестацию светодалномеров и тахеометров в разных регионах РФ, например, Западной Сибири или Дальнего Востока;

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

- стоимость проведения метрологической аттестации с помощью предлагаемой ЛПС значительно меньше по сравнению с использованием эталонного базиса, а также уменьшается время на ее проведение.

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс] : федер. закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 08.12.2020). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. ГОСТ 8.129–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты. – М. : Стандартинформ, 2013. – 8 с.
3. 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.
4. ГОСТ Р 51774–01. Тахеометры электронные. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.
5. 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. : Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.
6. МИ БГЕИ 40–03. Базисы эталонные. Методы поверки. Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 6 с.
7. МИ БГЕИ 30–94. Применение светодальномера СП-2 (Топаз) для аттестации базисов Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 1995. – 8 с.
8. МИ БГЕИ 15–03. Светодальномеры. Методика и средства поверки. Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 12 с.
9. Генике А. А., Бланк А. М. Особенности реализации метода метрологического контроля спутниковых координатных определений // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 14–18.
10. Генике А. А., Бланк А. М., Чудновский В. С. О мерах метрологического контроля спутниковых координатных определений // Геодезия и картография. – 2002. – № 12. – С. 25–29.
11. Роблес Х. Геометрия спутниковых наблюдений при создании метрологического полигона // Геодезия и картография. – 2001. – № 7. – С. 7–12.
12. Широф Ф. В., Татевян Р. А., Кафтан В. И. К вопросу оценки точности измерения СГА больших расстояний // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 11–13.
13. Уставич Г. А. К вопросу создания эталонных базисов для аттестации спутниковой аппаратуры и светодальномеров // Геодезия и картография. – 1999. – № 9. – С. 7–14.
14. Крылов В. Д., Спиридонов А. И. Роль компараторов и обеспечения единства измерений // Геодезия и картография. – 2003. – № 10. – С. 46–50.
15. РД 68-8.17–98. Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения. – М. : ЦНИИГАиК, 1999. – 26 с.

Получено 05.04.2021

© Г. А. Уставич, Н. С. Косарев, Д. А. Баранников,  
И. А. Мезенцев, Д. В. Бирюков, 2021

**IMPROVING THE METHODOLOGY FOR METROLOGICAL CERTIFICATION  
OF TOTAL STATIONS AND LIGHT RANGE FINDERS**

***Georgij A. Ustavich***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

***Nikolay S. Kosarev***

Siberian State University of Geosystems and Technology, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

***Dmitriy A. Barannikov***

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Surveying, phone: (913)753-95-82, e-mail: eddieogilvie@yandex.ru

**Ivan A. Mezentsev**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Surveying, phone: (923)241-80-42, e-mail: vania.mezentzew@yandex.ru

**Dmitriy V. Birukov**

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Surveying, phone: (913)895-78-66, e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

To ensure the uniformity of measurements, it is necessary to perform periodic verifications of geodetic instruments in accordance with the requirements of the relevant regulatory documents. In relation to total stations and light meters, ensuring the uniformity of measurements should be carried out by conducting annual periodic checks with the use of stationary reference bases of the 2nd or 3rd category, which were previously created in almost all regions of the country. However, to date, only two such bases have been preserved on the territory of the Russian Federation. The reason for this situation was the lack of proper metrological support for the line lengths of the reference bases themselves, caused by the need for organizational measures, the lack of trained specialists, as well as significant financial expenses for field work. In this regard, there was a scientific and technical task of developing a local calibration scheme (LCS) to provide periodic verifications of total stations and light-emitting diodes over the entire range of measured distances, which does not require the creation of stationary reference bases. For this purpose, the LCS scheme is proposed, based on the use of the method of direct distance measurements. Its essence lies in the simultaneous measurement of the selected distances by reference and verified total stations. To do this, a reference total station and a verifiable one are installed on two tripods located next to each other, which measure the same distance. After that, the total stations are swapped and the measurements are repeated. At the end of the measurement, the measured distances are compared with the reference and verified total stations. Then, based on the difference between these distances, a conclusion is made about the accuracy of the device being tested, as stated in the technical data sheet. The results of the implementation of the proposed LCS showed that its scheme provides the accuracy of measurements at the level of the 2nd category reference basis, and the methodology and accuracy of the length unit transmission meets the of regulatory requirements.

**Keywords:** metrological certification, local calibration scheme, total station, measurement error, reference device, 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 08, 2020). On ensuring the uniformity of measurements. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
2. Standards Russian Federation. (2013). GOST R 8.129-99. State system for ensuring the uniformity of measurements. State verification schedule for means measuring time and frequency. Moscow: Standartinform Publ., 8 p. [in Russian].
3. Standards Russian Federation. (2010). GOST R 53606-2009. Global navigation satellite system. Methods and technologies of geodetic and cadastral works execution. Metrological support. Basic principles. Moscow: Standartinform Publ., 12 p. [in Russian].
4. Standards Russian Federation. (2001). GOST R 51774-01. Electronic tacheometers. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 10 p. [in Russian].
5. Standards Russian Federation. (1984). GOST 8. 503-84. State system for ensuring the uniformity of measurements. State verification schedule for means of measuring length within the range of 24–75 000 m. Moscow: Standartinform Publ., 7 p. [in Russian].
6. MI BGEI 40-03. (2003). Reference bases. Verification methods. The Institute's methodology. Moscow: CNIIGAIK Publ., 6 p. [in Russian].
7. MI BGEI 30-94. (1995). Application of the SP-2 range finder (Topaz) for certification of bases. The Institute's methodology. Moscow: CNIIGAIK Publ., 8 p. [in Russian].
8. MI BGEI 15-03. (2003). Range finder. Methods and means of verification. The Institute's methodology. Moscow: CNIIGAIK Publ., 12 p. [in Russian].

9. 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].
10. 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].
11. Robles, J. (2001). Geometry of satellite observations when creating a metrological polygon. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 7, 7–12 [in Russian].
12. Shirov, F. V., Tatevyan, R. A., & Kaftan, V. I. (2003). On the issue of assessing the accuracy of measurement of satellite geodetic equipment for long distances. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 8, 11–13 [in Russian].
13. Ustavich, G. A. (1999). On the issue of creating reference bases for the certification of satellite equipment and range finder. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 9, 7–14 [in Russian].
14. 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].
15. Guidance Document. (1999). GD 68-8.17-98. Local verification schemes for measuring instruments for topographic and geodetic and cartographic purposes. Moscow: CNIIGAIK Publ., 26 p. [in Russian].

Received 05.04.2021

© G. A. Ustavich, N. S. Kosarev, D. A. Barannikov,  
I. A. Mezentsev, D. V. Birukov, 2021