

СОГЛАСОВАНО
Главный метролог
ООО «ПРОММАШ ТЕСТ Метрология»



В.А. Лапшинов

«13» февраля 2025 г.

ГСИ. Система лазерная координатно-измерительная сканирующая Trimble X7

Методика поверки

МП-490-2024

1. Общие положения

Настоящая методика поверки применяется для поверки системы лазерной координатно-измерительной сканирующей Trimble X7 (далее – системы), применяемой в качестве рабочего средства измерения, и устанавливает методику ее первичной и периодической поверок.

В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в Приложении А к настоящей методике поверки.

В целях обеспечения прослеживаемости поверяемого средства измерений к государственным первичным эталонам единиц величин необходимо соблюдать требования настоящей методики поверки.

Определение метрологических характеристик в рамках проводимой поверки обеспечивает передачу единицы длины методом прямых измерений или непосредственного сличения от рабочего эталона в соответствии с Государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07 июня 2024 г. № 1374, чем обеспечивается прослеживаемость единиц величин поверяемого средства измерений к следующему Государственному первичному специальному эталону (далее – ГПСЭ): ГЭТ199-2024 - ГПСЭ единицы длины, и передачу единицы плоского угла методом непосредственного сличения в соответствии со структурой локальной поверочной схемы (Приложение Б к настоящей методике поверки), чем обеспечивается прослеживаемость единиц величин поверяемого средства измерений к следующему Государственному первичному эталону: ГЭТ 22-2014 - ГПЭ единицы плоского угла.

2. Перечень операций поверки средств измерений

При проведении поверки средств измерений (далее – поверка) должны выполняться операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1 – Операции поверки

Наименование операции	Обязательность выполнения операций поверки при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первичной поверке	периодической поверке	
Внешний осмотр средства измерений	Да	Да	7
Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Да	Да	8.1
Опробование (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Да	Да	8.2
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	10
Определение диапазона измерений, абсолютной погрешности, среднего квадратического отклонения измерений длин	Да	Да	10.1
Определение абсолютной погрешности измерений приращений координат в условной системе координат по каждой из осей координат	Да	Да	10.2
Определение диапазона измерений, абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения измерений углов	Да	Да	10.3

3. Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия измерений:

- температура окружающей среды, °C от минус 20 до плюс 50.

Примечание: при проведении измерений условия окружающей среды средств поверки (эталонов) должны соответствовать требованиям, приведённым в их эксплуатационной документации.

4. Требования к специалистам, осуществляющим поверку

К проведению поверки допускаются лица, изучившие эксплуатационную документацию на поверяемое средство измерений, средства поверки, и аттестованные в качестве поверителя средств измерений в установленном порядке. Для проведения поверки достаточно двух поверителей.

5. Метрологические и технические требования к средствам поверки

При проведении поверки должны применяться средства поверки, приведенные в таблице 2.

Таблица 2 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 8.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений)	Средство измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от минус 45 до плюс 70 °C с абсолютной погрешностью не более ± 1 °C	Измерители влажности и температуры ИВТМ-7М-Д, рег. № 71394-18
п. 10.1 Определение диапазона измерений, абсолютной погрешности, среднего квадратического отклонения измерений длин	Рабочий эталон 1-го разряда – комплекс базисный эталонный или рабочий эталон 3-го разряда – полигон пространственный эталонный, в диапазоне значений приращений координат от 1,5 до 300 м, с пределами допускаемой абсолютной погрешности измерений приращений координат $\Delta_{пр}$ не более ± 5 мм, в соответствии с Государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 07 июня 2024 г. № 1374	Рабочий эталон единицы длины и приращения координат 1 разряда – комплекс базисный эталонный в диапазоне значений от 1,5 до 2904 м и единицы длины и приращения координат 3 разряда – полигон пространственный эталонный в диапазоне значений от 778 до 1074 м 3.7.АЖБ.0005.2025
п. 10.2 Определение абсолютной погрешности измерений приращений координат в условной системе координат по каждой из осей координат	Вспомогательное оборудование: Визирная марка размером не менее 15×15 см	Марка 6" Trimble 6705-10-TRK
п. 10.3 Определение диапазона измерений, абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения измерений углов	Средство измерений углов в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений плоского угла, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2018 г. № 2482 – теодолит электронный	Теодолиты электронные RGK T-02, RGK T-05, RGK T-20, рег. № 73115-18
	Вспомогательное оборудование: Визирная марка размером не менее 15×15 см	Марка 6" Trimble 6705-10-TRK
Примечания - Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.		

6. Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении поверки, меры безопасности должны соответствовать требованиям по технике безопасности согласно эксплуатационной документации на поверяемое средство измерений, средства поверки, правилам по технике безопасности, которые действуют на месте проведения поверки.

7. Внешний осмотр средства измерений

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие средства измерений следующим требованиям:

- соответствие внешнего вида средства измерений приведенному описанию и изображению;
- маркировки требованиям описания типа;
- отсутствие механических повреждений и других дефектов, влияющих на эксплуатационные и метрологические характеристики изделия;
- комплектность, необходимая для проведения измерений, в соответствии с руководством по эксплуатации.

Если перечисленные требования не выполняются, средство измерений признают непригодным к применению, дальнейшие операции поверки не производят.

8. Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Контроль условий поверки (при подготовке к поверке и опробовании средства измерений).

Перед проведением работ средство измерений и средства поверки должны быть подготовлены к работе в соответствии с эксплуатационной документацией на них и выдержаны не менее 2 часов при постоянной температуре, в условиях, приведённых в п. 3 настоящей методики.

8.2 Опробование

При опробовании проверить:

- отсутствие качки и смещений неподвижно соединённых деталей и элементов;
- правильность взаимодействия с комплектом принадлежностей;
- работоспособность всех функциональных режимов и узлов.

Если перечисленные требования не выполняются, средство измерений признают непригодным к применению, дальнейшие операции поверки не производят.

9. Проверка программного обеспечения средства измерений

Для идентификации ВПО, установленного на сканер и ПО «Trimble Perspective», следует

включить ПО «Trimble Perspective» к сканеру и нажать кнопку . В открывшемся меню отобразится номер версии ВПО.

Для идентификации ПО «Trimble Perspective», в меню необходимо выбрать пункт «О программе». Номер версии отобразится в строке «Версия».

Результат проверки считают положительным, если:

- наименование ПО соответствует указанному в описании типа
- номер версии ПО не ниже указанного в описании типа.

Если перечисленные требования не выполняются, средство измерений признают непригодным к применению, дальнейшие операции поверки не производят.

10. Определение метрологических характеристик и подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Определение диапазона измерений, абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения измерений длин.

10.1.1 Абсолютная погрешность, среднее квадратическое отклонение измерений длины определяется с использованием комплекса базисного эталонного (далее – комплекс) в соответствии с Государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений.

10.1.2 Установить систему на центральный пункт комплекса. Установить визирные марки (далее – марки) на пункты комплекса (полигона) используемые для измерений в соответствии с требованиями предыдущего пункта. Марка представляет собой квадратный или круглый щит размером не менее 150×150 мм, поверхность щита окрашивается белой краской или разделена на черно-белые секторы. Располагать марку следует к системе таким образом, чтобы плоскость марки была перпендикулярна направлению на систему. Пример марки приведен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Визирная марка

10.1.3 Выбрать из состава комплекса четыре ($i=1...n$, где $n=4$) пункта, действительные значения длин которых определены при аттестации эталона и указаны в протоколе к свидетельству об аттестации. Пункты должны быть расположены в диапазоне измерений системы от 1,5 до 80 м.

10.1.4 При помощи системы провести измерения длин между точкой установки системы и каждой из установленной марок.

10.1.5 Сохранить данные, полученные при измерениях;

10.1.6 Повторить вышеописанные операции по сканированию марок не менее 5 раз;

10.1.7 Скачать и обработать на ПК данные полученные при сканировании;

10.1.8 Локализовать через ПО точки облака, относящиеся к отсканированной марке. Провести построение плоскости минимум по 4-м точкам. Построить на полученной плоскости точку, соответствующую геометрическому центру марки методом проекции;

10.1.9 Вычислить расстояние до центров выбранных марок L_{ij} , мм по формуле:

$$L_{ij} = \sqrt{(X_{ij})^2 + (Y_{ij})^2 + (Z_{ij})^2} \quad (1)$$

где X_{ij} , Y_{ij} , Z_{ij} – измеренные средством измерений значения приращений координат по соответствующей оси системы координат на i -й пункт комплекса, j -м приёмом, мм.

10.1.10 СКО измерений длины вычисляется по формуле:

$$\delta_{Li} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (L_{ij} - \bar{L}_i)^2}{n-1}} \quad (2)$$

где δ_{Li} – СКО измерений i -й длины, мм;
 L_{ij} – измеренное испытываемым средством измерений значение i -й длины, мм;
 $\bar{L}_i = \frac{\sum_{j=1}^n L_{ij}}{n}$ – среднее арифметическое из n измеренных значений длины, мм;
 j – номер измерения;
 n – число приёмов.

10.1.11 Абсолютная погрешность измерений длины для i -го пункта комплекса определяется по формуле:

$$\Delta_{Li} = L_{ij} - L_{i\text{действ}} \quad (3)$$

где Δ_{Li} – абсолютная погрешность измерений i -й длины, мм.;
 $L_{i\text{действ}}$ – эталонное (действительное) значение i -й длины, мм;
 L_{ij} – измеренное испытываемым средством измерений значение i -й длины, мм.

Проверка диапазона измерений осуществляется одновременно с определением абсолютной погрешности измерений и среднего квадратического отклонения методом проведения измерений во всём заявляемом диапазоне.

Диапазон измерений, абсолютная погрешность измерений и среднее квадратическое отклонение должны соответствовать значениям, указанным в Приложении А к настоящей методики поверки.

10.2 Определение абсолютной погрешности измерений приращений координат в условной системе координат по каждой из осей координат

10.2.1 Абсолютная погрешность измерений приращений координат в условной системе координат определяется с использованием комплекса в соответствии с Государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений;

10.2.2 Необходимо провести многократно, не менее пяти раз, сканирование не менее чем четырех пар пунктов комплекса с известными значениями приращений координат между ними, и значения номинальных длин приращений координат, между которыми равномерно расположены в заявляемом диапазоне измерений прибора;

10.2.3 Установить визирные марки (далее – марки) на пункты комплекса (полигона) используемые для измерений в соответствии с требованиями предыдущего пункта. Марка представляет собой квадратный или круглый щит размером не менее 150×150 мм, поверхность щита окрашивается белой краской или разделена на черно-белые секторы. Располагать марку следует к системе таким образом, чтобы плоскость марки была перпендикулярна направлению на систему. Пример марки приведён на рисунке 1.

10.2.4 Выбрать из состава комплекса четыре ($i=1\dots n$, где $n=4$) пункта, действительные значения координат которых определены при аттестации эталона и указаны в протоколе к свидетельству об аттестации. Пункты должны быть расположены в диапазоне измерений системы от 1,5 до 80 м.

10.2.5 При помощи системы провести сканирование марок.

10.2.6 Сохранить данные, полученные при измерениях;

10.2.7 Повторить вышеописанные операции по сканированию марок не менее 10 раз;

10.2.8 Скачать и обработать на ПК данные полученные при сканировании;

10.2.9 Произвести вычисления приращений координат $\Delta(x,y,z)_{ij}$ между определяемыми пунктами, для этого в программном обеспечении необходимо последовательно выбрать точки, соответствующие центрам марок. Результат измеренных приращений координат отобразится на экране в появившемся окне. Пример результата измерений приведён на рисунке 2.



Рисунок 2 – Отображение значений приращений координат в программном обеспечении

10.2.10 Абсолютная погрешность измерений приращений координат в условной системе координат определяется по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta x_{ij} &= \Delta X_{ij} - \Delta X_{i0} \\ \Delta y_{ij} &= \Delta Y_{ij} - \Delta Y_{i0} \\ \Delta z_{ij} &= \Delta Z_{ij} - \Delta Z_{i0}\end{aligned}\tag{4}$$

где $\Delta(x,y,z)_{ij}$ – абсолютная погрешность измерений приращений координат по соответствующей оси системы координат на i -й пункт комплекса, j -м приёмом, мм;

$\Delta(X,Y,Z)_{ij}$ – измеренные средством измерений значения приращений координат по соответствующей оси системы координат на i -й пункт комплекса, j -м приёмом, мм;

$\Delta(X,Y,Z)_{i0}$ – эталонные (действительные) значения приращений координат по соответствующей оси системы координат на i -й пункт комплекса в соответствии с протоколом к свидетельству об аттестации, мм.

10.3 Определение диапазона измерений, абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения измерений углов

10.3.1 Абсолютная погрешность и среднее квадратическое измерений углов определяется на контрольных точках путем многократного измерения угла между ними.

10.3.2 Определение диапазона измерений горизонтальных и вертикальных углов выполняется при помощи рабочего эталона 4-го разряда – теодолита электронного RGK T-02 (далее по тексту – теодолит) и набора черно-белых марок. Марка представляет собой квадратный или круглый щит размером не менее 150×150 мм, поверхность щита окрашивается белой краской или разделена на черно-белые секторы.

10.3.3 Определение абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения измерений горизонтальных углов проводить в следующей последовательности:

- разместить в зоне проведения измерений штатив, обеспечивающий стабильность на всем протяжении измерений;

- разместить на штативе теодолит;

- разместить в зоне проведения измерений пять марок, используемых для измерений в соответствии с требованиями предыдущего пункта. Располагать марки следует в горизонтальной плоскости измерений системы в диапазон от 0 до 360 градусов;

- включить теодолит и измерить им горизонтальные углы $V_{i_{\text{действ}}}$ между контрольными точками марок;
 - выключить и демонтировать теодолит со штатива;
 - установить на штатив систему Trimble X7;
 - провести не менее 10 циклов измерений углов между контрольными точками;
 - локализовать через ПО «Trimble Perspective» точки облака, относящиеся к отсканированным контрольным точкам марок;
 - произвести вычисление горизонтальных углов между контрольных точек;
- 10.3.3.1 СКО измерений горизонтальных углов вычисляется по формуле:

$$\delta_{Vi} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (V_{ij} - \bar{V}_i)^2}{n - 1}} \quad ((5))$$

- где δ_{Vi} – СКО измерений i -ого горизонтального угла, ...";
- V_{ij} – измеренное испытываемым средством измерений значение i -ого горизонтального угла j -м приёмом, ...";
- $\bar{V}_i = \frac{\sum_{j=1}^n V_{ij}}{n}$ – среднее арифметическое из n измеренных значений углов, ...";
- j – номер измерения;
- n – число приёмов.

10.3.3.2 Абсолютная погрешность измерений углов определяется по формуле:

$$\Delta_{V_{ij}} = V_{ij} - V_{i_{\text{действ}}}, \quad (6)$$

- где Δ_{Vi} – абсолютная погрешность измерений i -го угла, ...";
- $V_{i_{\text{действ}}}$ – эталонное (действительное) значение i -го угла, полученное с помощью теодолита, ...";
- V_{ij} – измеренное испытываемым средством измерений значение i -ого горизонтального угла j -м приёмом, ...";
- j – номер измерения;

10.3.4 Определение абсолютной погрешности и среднего квадратического отклонения измерений вертикальных углов проводить в следующей последовательности:

- разместить в зоне проведения измерений штатив, обеспечивающий стабильность на всем протяжении измерений;
- разместить на штативе теодолит;
- разместить в зоне проведения измерений пять марок, используемых для измерений в соответствии с требованиями предыдущего пункта. Располагать марки следует в вертикальной плоскости измерений системы в диапазоне от минус 140 до плюс 140 градусов;
- включить теодолит и измерить им вертикальные углы $V_{i_{\text{действ}}}$ между контрольными точками марок;
- выключить и демонтировать теодолит со штатива;
- установить на штатив систему Trimble X7;
- провести не менее 10 циклов измерений углов между контрольными точками;
- локализовать через ПО «Trimble Perspective» точки облака, относящиеся к отсканированным контрольным точкам марок;
- произвести вычисление вертикальных углов между контрольных точек.

10.3.4.1 СКО измерений вертикальных углов вычисляется по формуле (5).

10.3.4.2 Абсолютная погрешность измерений вертикальных углов определяется по формуле (6).

Проверка диапазона измерений осуществляется одновременно с определением абсолютной погрешности измерений и среднего квадратического отклонения методом проведения измерений во всём заявляемом диапазоне.

Диапазон измерений, абсолютная погрешность измерений и среднее квадратическое отклонение должны соответствовать значениям, указанным в Приложении А настоящей методики поверки.

11. Оформление результатов поверки

Сведения о результате средств измерений в целях подтверждения поверки должны быть переданы в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

При положительных результатах поверки средство измерений признается пригодным к применению.

Выдача свидетельства о поверке средства измерений осуществляется в соответствии с действующим законодательством.

Нанесение знака поверки на средство измерений не предусмотрено. Пломбирование средства измерений не производится.

При отрицательных результатах поверки, средство измерений признается непригодным к применению.

Выдача извещения о непригодности к применению средства измерений с указанием основных причин непригодности осуществляется в соответствии с действующим законодательством в области обеспечения единства измерений.

Инженер по метрологии ЛОЕИ
ООО «ПРОММАШ ТЕСТ Метрология»

С.К. Нагорнов

Приложение А
(обязательное)

Метрологические характеристики средства измерений

Таблица А.1 – Метрологические характеристики

Наименование характеристики	Значение
Диапазон измерений приращения координат в условной системе координат по каждой из осей координат, м	от 1,5 до 80
Диапазон измерений длин, м	от 1,5 до 80
Допускаемое среднее квадратическое отклонение измерений длин мм	$1,2+10 \cdot 10^{-6} \cdot L^2$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений длин, мм	$\pm (2+20 \cdot 10^{-6} \cdot L^2)$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений приращения координат в условной системе координат по каждой из осей координат, мм	$\pm (2+20 \cdot 10^{-6} \cdot L^2)$
Диапазон измерений углов, градус ¹⁾ - горизонтальных - вертикальных	от 0 до 360 от -140 до +140
Допускаемое среднее квадратическое отклонение измерений углов, секунда	21
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений углов, секунда	± 36
¹⁾ Здесь и далее по тексту: градус, секунда – единицы измерений плоского угла;	
²⁾ Где L – расстояние до точки сканирования, мм	

Приложение Б
(рекомендуемое)

Структура локальной поверочной схемы

