

СОГЛАСОВАНО
Руководитель центра испытаний СИ
ООО «Автопрогресс-М»



В.Н. Абрамов

«12» сентября 2024 г.

МП АПМ 08-24

«ГСИ. Машины координатно-измерительные портативные
Tomelleri Engineering.
Методика поверки»

г. Москва
2024 г.

1 Общие положения

Настоящая методика поверки применяется для поверки машин координатно-измерительных портативных Tomelleri Engineering (далее – КИМ), производства Tomelleri Engineering S.r.l., Италия, используемых в качестве рабочих средств измерений и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверки.

1.1 В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в таблицах 1 – 8.

Таблица 1 – Метрологические характеристики КИМ Tomelleri Engineering серии MICRON с пятью осями вращения

Модификация	Диапазон измерений, мм			Повторяемость результата измерений координат точки (при измерениях контактным щупом), мм	Пределы допускаемой абсолютной объемной погрешности измерений (при измерениях контактным щупом), мм (L - длина в мм)
	По оси X	По оси Y	По оси Z		
MICRON 250 5-axis	от 0 до 250	от 0 до 250	от 0 до 250	±0,005	±(0,004 + L/60000)
MICRON 400S 5-axis	от 0 до 400	от 0 до 250	от 0 до 250	±0,007	±(0,005 + L/60000)

Таблица 2 – Метрологические характеристики КИМ Tomelleri Engineering серии MERCURY с шестью осями вращения

Модификация	Диапазон измерений, мм	Повторяемость результата измерений координат точки (при измерениях контактным щупом), мм	Пределы допускаемой абсолютной объемной погрешности измерений (при измерениях контактным щупом), мм
MERCURY 1300 6-axis	от 0 до 1300	±0,008	±0,015
MERCURY 1800 6-axis	от 0 до 1800	±0,008	±0,018

Таблица 3 – Метрологические характеристики КИМ Tomelleri Engineering серии SPACE с шестью осями вращения

Модификация	Диапазон измерений, мм	Повторяемость результата измерений координат точки (при измерениях контактным щупом), мм	Пределы допускаемой абсолютной объемной погрешности измерений (при измерениях контактным щупом), мм
SPACE 1800 6-axis	от 0 до 1800	±0,018	±0,025
SPACE 2500 6-axis	от 0 до 2500	±0,022	±0,036
SPACE 3200 6-axis	от 0 до 3200	±0,032	±0,045

Таблица 4 – Метрологические характеристики КИМ Tomelleri Engineering серии SPACE PLUS с шестью осями вращения

Модификация	Диапазон измерений, мм	Повторяемость результата измерений координат точки (при измерениях контактным щупом), мм	Пределы допускаемой абсолютной объемной погрешности измерений (при измерениях контактным щупом), мм
SPACE PLUS 1800 6-axis	от 0 до 1800	$\pm 0,012$	$\pm 0,020$
SPACE PLUS 2500 6-axis	от 0 до 2500	$\pm 0,016$	$\pm 0,026$
SPACE PLUS 3200 6-axis	от 0 до 3200	$\pm 0,020$	$\pm 0,036$
SPACE PLUS 4000 6-axis	от 0 до 4000	$\pm 0,024$	$\pm 0,046$

Таблица 5 – Метрологические характеристики КИМ Tomelleri Engineering серии SPACE PLUS с семью осями вращения

Модификация	Диапазон измерений, мм	Повторяемость результата измерений координат точки (при измерениях контактным щупом), мм	Пределы допускаемой абсолютной объемной погрешности измерений (при измерениях контактным щупом), мм
SPACE PLUS 1800 7-axis	от 0 до 1800	$\pm 0,017$	$\pm 0,027$
SPACE PLUS 2500 7-axis	от 0 до 2500	$\pm 0,021$	$\pm 0,034$
SPACE PLUS 3200 7-axis	от 0 до 3200	$\pm 0,026$	$\pm 0,045$
SPACE PLUS 4000 7-axis	от 0 до 4000	$\pm 0,030$	$\pm 0,056$

Таблица 6 – Метрологические характеристики КИМ Tomelleri Engineering серии EXPLORER с шестью осями вращения

Модификация	Диапазон измерений, мм	Повторяемость результата измерений координат точки (при измерениях контактным щупом), мм	Пределы допускаемой абсолютной объемной погрешности измерений (при измерениях контактным щупом), мм
EXPLORER 5000 6-axis	от 0 до 5000	$\pm 0,038$	$\pm 0,065$
EXPLORER 7000 6-axis	от 0 до 7000	$\pm 0,056$	$\pm 0,102$
EXPLORER 9000 6-axis	от 0 до 9000	$\pm 0,075$	$\pm 0,150$

Таблица 7 – Метрологические характеристики КИМ Tomelleri Engineering серии EXPLORER с семью осями вращения

Модификация	Диапазон измерений, мм	Повторяемость результата измерений координат точки (при измерениях контактным щупом), мм	Пределы допускаемой абсолютной объемной погрешности измерений (при измерениях контактным щупом), мм
EXPLORER 5000 7-axis	от 0 до 5000	$\pm 0,050$	$\pm 0,075$
EXPLORER 7000 7-axis	от 0 до 7000	$\pm 0,070$	$\pm 0,117$
EXPLORER 9000 7-axis	от 0 до 9000	$\pm 0,090$	$\pm 0,170$

Таблица 8 – Метрологические характеристики КИМ Tomelleri Engineering семиосевых с лазерным сканером SCANSURF

Модификация	Диапазон измерений, мм	Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений отклонений формы при измерениях лазерным сканером SCANSURF, мм, модификаций:							
		SC1B050	SC1R050	SC1B100	SC1R100	SCSB080	SCSR080	SCMB080	SCMR080
SPACE PLUS 1800 7-axis	от 0 до 1800	$\pm 0,066$	$\pm 0,066$	$\pm 0,104$	$\pm 0,104$	$\pm 0,045$	$\pm 0,045$	$\pm 0,040$	$\pm 0,040$
SPACE PLUS 2500 7-axis	от 0 до 2500	$\pm 0,069$	$\pm 0,069$	$\pm 0,106$	$\pm 0,106$	$\pm 0,050$	$\pm 0,050$	$\pm 0,045$	$\pm 0,045$
SPACE PLUS 3200 7-axis	от 0 до 3200	$\pm 0,075$	$\pm 0,075$	$\pm 0,110$	$\pm 0,110$	$\pm 0,058$	$\pm 0,058$	$\pm 0,054$	$\pm 0,054$
SPACE PLUS 4000 7-axis	от 0 до 4000	$\pm 0,082$	$\pm 0,082$	$\pm 0,115$	$\pm 0,115$	$\pm 0,067$	$\pm 0,067$	$\pm 0,064$	$\pm 0,064$
EXPLORER 5000 7-axis	от 0 до 5000	$\pm 0,096$	$\pm 0,096$	$\pm 0,125$	$\pm 0,125$	$\pm 0,083$	$\pm 0,083$	$\pm 0,081$	$\pm 0,081$
EXPLORER 7000 7-axis	от 0 до 7000	$\pm 0,127$	$\pm 0,127$	$\pm 0,154$	$\pm 0,154$	$\pm 0,122$	$\pm 0,122$	$\pm 0,121$	$\pm 0,121$
EXPLORER 9000 7-axis	от 0 до 9000	$\pm 0,180$	$\pm 0,180$	$\pm 0,197$	$\pm 0,197$	$\pm 0,180$	$\pm 0,180$	$\pm 0,180$	$\pm 0,180$

1.2 КИМ до ввода в эксплуатацию подлежат первичной поверке, в процессе эксплуатации – периодической поверке.

1.3 Первичной поверке подвергается каждый экземпляр КИМ.

1.4 Периодической поверке подвергается каждый экземпляр КИМ, находящегося в эксплуатации, через межповерочные интервалы.

1.5 Обеспечение прослеживаемости поверяемой КИМ к Государственному первичному эталону ГЭТ 192-2019 осуществляется через концевые меры длины 3-го разряда методом прямых измерений геометрических параметров поверхностей сложной формы, в том числе эвольвентных поверхностей и угла наклона линии зуба, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 472 от 06 апреля 2021 г.

1.6 В методике поверки реализован следующий метод передачи единиц: метод прямых измерений.

2 Перечень операций поверки средств измерений

Для поверки КИМ должны быть выполнены операции, указанные в таблице 9.

Таблица 9 – Операции поверки

Наименование операции поверки	Обязательность выполнения операции 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
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик средства измерений	-	-	10
Определение повторяемости результата измерений координат точки при измерениях контактным щупом	Да	Да	10.1
Определение абсолютной объемной погрешности измерений при измерениях контактным щупом	Да	Да	10.2
Определение абсолютной погрешности измерений отклонений формы при измерениях лазерным сканером SCANSURF	Да ^{1), 2)}	Да ^{1), 2)}	10.3

¹⁾ только для КИМ, оснащенных лазерным сканером, с указанием в сведениях о поверке информации о модели и заводском номере устройства;

²⁾ только при наличии в комплекте лазерного сканера, с обязательной передачей в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений информации об объеме проведенной поверки.

3 Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия измерений:

- температура окружающего воздуха, °С от +16,7 до +23,3;

- относительная влажность воздуха, %, не более 90

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

4.1 К проведению поверки допускаются специалисты организации, аккредитованной в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации на проведение поверки средств измерений данного вида, имеющие необходимую квалификацию, ознакомленные с руководством по эксплуатации и настоящей методикой поверки.

4.2 Для проведения поверки КИМ достаточно одного поверителя.

5 Метрологические и технические требованиям к средствам поверки

При проведении поверки должны применяться средства поверки, приведенные в таблице 10.

Таблица 10 – Средства поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
Основные средства поверки		
10.1, 10.3	Рабочий эталон 1-го разряда в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений геометрических параметров поверхностей сложной формы, в том числе эвольвентных поверхностей и угла наклона линии зуба, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 472 от «06» апреля 2021 г. – сфера	Меры для поверки систем координатно-измерительных ROMER Absolute Arm (рег. № 64593-16)
10.2	Рабочий эталон единицы длины 4-го разряда согласно Государственной поверочной схеме для средств измерений длины в диапазоне от $1 \cdot 10^{-9}$ до 100 м и длин волн в диапазоне от 0,2 до 50 мкм, утвержденной Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 2840 от «29» декабря 2018 г. – меры длины концевые плоскопараллельные	Меры длины концевые плоскопараллельные набор № 9, модель 240411 (рег. № 9291-91)
Вспомогательное оборудование		
8, 9, 10.1 - 10.3	Средство измерений температуры окружающей среды: диапазон измерений от +15 до +25 °C, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,3$ °C Средство измерений относительной влажности воздуха: диапазон измерений от 0 до 98 %, пределы допускаемой абсолютной погрешности ± 2 %	Термогигрометр ИВА-6, модификация ИВА-6Н-Д (рег.№ 46434-11)
10.2, 10.3	Приспособление для фиксации мер длины концевых плоскопараллельных (рисунок А.1 Приложения А)	Приспособление для фиксации мер длины концевых плоскопараллельных

Продолжение таблицы 10

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
<p>Примечание – допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице.</p>		

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении поверки, меры безопасности должны соответствовать требованиям по технике безопасности согласно эксплуатационной документации на КИМ и средства поверки, правилам по технике безопасности, действующим на месте проведения поверки.

7 Внешний осмотр средства измерений

При внешнем осмотре устанавливают соответствие КИМ следующим требованиям:

- соответствие внешнего вида КИМ описанию типа средств измерений;
- наружные поверхности КИМ не должны иметь дефектов, влияющих на ее эксплуатационные характеристики;
 - на рабочих поверхностях КИМ не должно быть царапин, забоин и других дефектов, влияющих на плавность перемещений подвижных узлов КИМ;
 - наконечники щупов не должны иметь сколов, царапин и других дефектов;
 - маркировка и комплектность должны соответствовать требованиям эксплуатационной документации.

Если перечисленные требования не выполняются, КИМ признают непригодной к применению, дальнейшие операции поверки не производят.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

8.1 Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- с помощью термогигрометра проверить соответствие условий окружающей среды требованиям, приведенным в п.3;
- КИМ подготавливают к работе в соответствии с требованиями эксплуатационной документации;
- измерительные поверхности эталонных (образцовых) средств измерений: концевых мер длины очищают от смазки, промывают авиационным бензином марки Б-70 по ГОСТ 1012-2013 или другим моющим средством для промывки и обезжиривания и протирают чистой салфеткой;
- средства поверки выдерживают до начала измерений в помещении, где проводят поверку КИМ в течение 24 часов и 1 час в рабочем (измерительном) объеме КИМ.

8.2 При опробовании проверить:

- отсутствие качки и смещений неподвижно соединенных деталей и элементов;
- плавность и равномерность движения подвижных частей;
- правильность взаимодействия с комплектом принадлежностей;
- работоспособность всех функциональных режимов и узлов.

Если перечисленные требования не выполняются, КИМ признают непригодной к применению, дальнейшие операции поверки не производят.

9 Проверка программного обеспечения средства измерений

Идентификация программного обеспечения (далее – ПО) «PolyWorks Inspector» выполняется в следующем порядке:

- запустить ПО «PolyWorks Inspector»;
- выбрать пункт «Справка»;
- выбрать пункт «О PolyWorks|Inspector»;
- считать идентификационные данные ПО.

Идентификация ПО «Aberlink 3D» выполняется в следующем порядке:

- запустить ПО «Aberlink 3D»;
- выбрать пункт «Помощь» («Help»);
- нажать на иконку с изображением КИМ;
- считать идентификационные данные ПО.

Идентификация ПО «Tomelleri Tubo» выполняется в следующем порядке:

- запустить ПО «Tomelleri Tubo»;
- считать идентификационные данные ПО в верхнем правом углу интерфейса ПО;

Идентификация ПО «TomelleriCORE» выполняется в следующем порядке:

- запустить ПО «TomelleriCORE»;
- считать идентификационные данные ПО в верхней части окна интерфейса ПО;

Идентификационные данные программного обеспечения должны соответствовать данным, приведённым в таблице 11.

Таблица 11 – Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Идентификационное наименование ПО	Номер версии (идентификационный номер) ПО	Цифровой идентификатор ПО
Значение	PolyWorks Inspector	не ниже 2022 IR8.1	-
	Aberlink 3D	не ниже 3.20.4	-
	Tomelleri Tubo	не ниже R.7.45	-
	TomelleriCore	не ниже V1.0.12.0	-

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

10 Определение метрологических характеристик средства измерений

10.1 Определение повторяемости результата измерений координат точки при измерениях контактным щупом

10.1.1 Повторяемость результата измерений координат точки при измерениях контактным щупом определяется с помощью сферы, закрепленной на виброустойчивом основании, путем вычисления координат центра сферы с предварительно определенными параметрами.

10.1.2 Произвести измерения на 3-х различных расстояниях сферы относительно КИМ, как показано на рисунке А.2 Приложения А к настоящей методике поверки.

10.1.3 Сферу закрепить на расстоянии от 0 до 20 % половины диапазона (радиуса) измерений КИМ.

10.1.4 Произвести 3 цикла измерений. В каждом цикле произвести измерения поверхности сферы в 25 равномерно расположенных на полусфере точках.

Рекомендуемая модель измерений включает (Рисунок 1):

- одну точку на вершине испытуемой сферы;
- четыре точки (равномерно распределенных) на $22,5^\circ$ ниже вершины
- восемь точек (равномерно распределенных) на 45° ниже вершины и повернутых на $22,5^\circ$ относительно предшествующей группы;

- четыре точки (равномерно распределенных) на $67,5^\circ$ ниже вершины повернутых на $22,5^\circ$ относительно предшествующей группы;

- восемь точек (равномерно расположенных) на 90° ниже вершины, т.е. на диаметре и повернутых относительно предыдущей группы на $22,5^\circ$.

10.1.5 Снять сферу, поочерёдно закрепить её на расстоянии 20 – 80% и 80 – 100% половины диапазона (радиуса) измерений от КИМ (рисунок А.2 Приложения А к настоящей методике поверки) и повторить действия по п. 10.1.4.

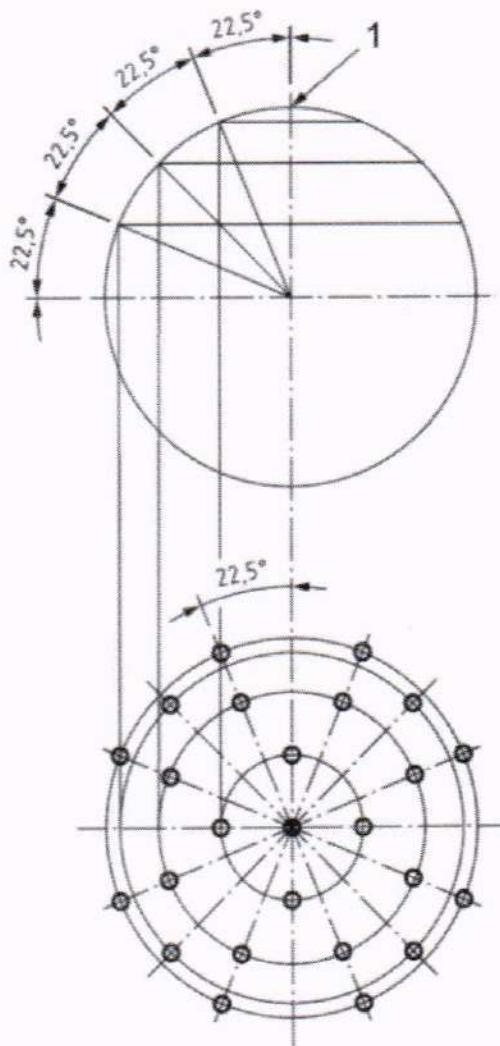


Рисунок 1 – Точки касания на сфере для определения повторяемости результата измерений координат точки

10.2 Определение абсолютной объемной погрешности измерений при измерениях контактным щупом

10.2.1 Абсолютная объемная погрешность измерений при измерениях контактным щупом определяется с помощью мер длины концевых плоскопараллельных (далее – меры). Измеряется расстояние между двумя торцами меры с последующим вычислением отклонения от эталонного значения её длины. Необходимо использовать не менее трёх мер. Рекомендуемые номинальные значения длины мер: 50, 500, 1000 мм.

10.2.2 Меры устанавливаются и закрепляются на виброустойчивое основание в пространстве измерения КИМ таким образом, чтобы наибольшая из измеряемых мер находилась в области от 60 до 100 % диапазона измерений КИМ.

10.2.3. Измерения каждой меры производятся в 7 различных положениях (Рисунок 3): вдоль осей X, Y, Z; по двум диагоналям в плоскости XY; по двум пространственным диагоналям в объеме XYZ. Положение осей машины показано на рисунке 2.

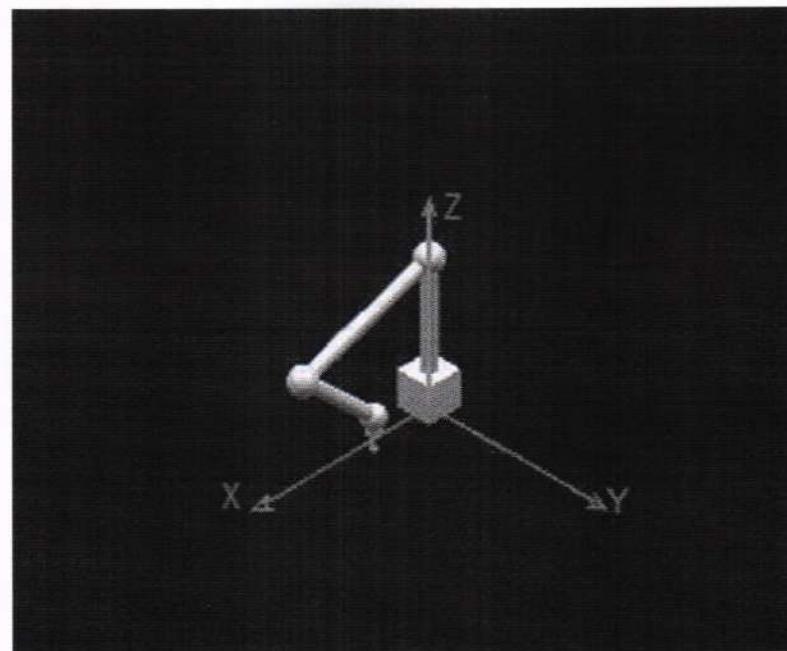
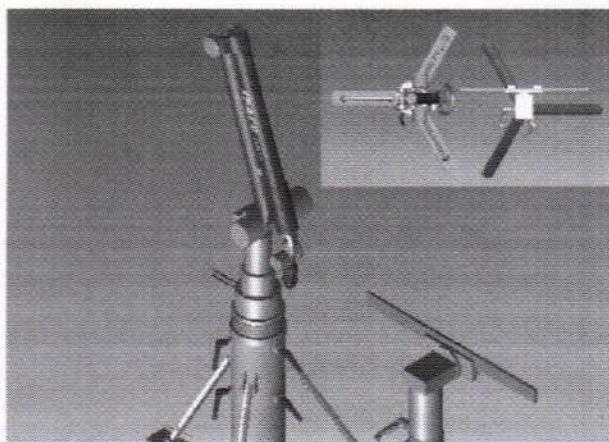


Рисунок 2 – Расположение осей машины

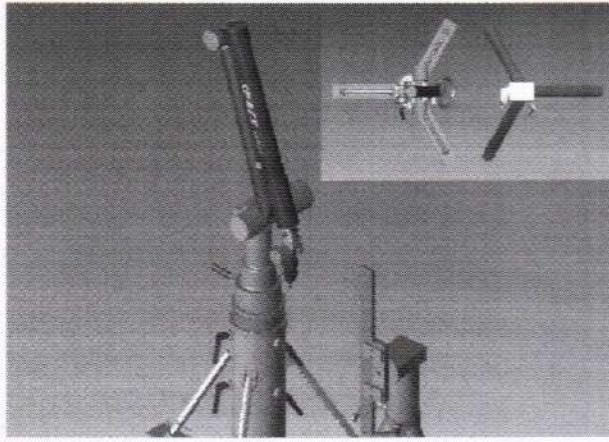
10.2.4. Каждая мера измеряется 3 раза. Производятся измерения 4-х точек: три на одной рабочей поверхности меры, образующие плоскость, и одна на другой. Затем при помощи ПО вычисляется расстояние между плоскостью и точкой, которое и является длиной концевой меры. Общее расположение мер для измерений показано на рисунке 3.



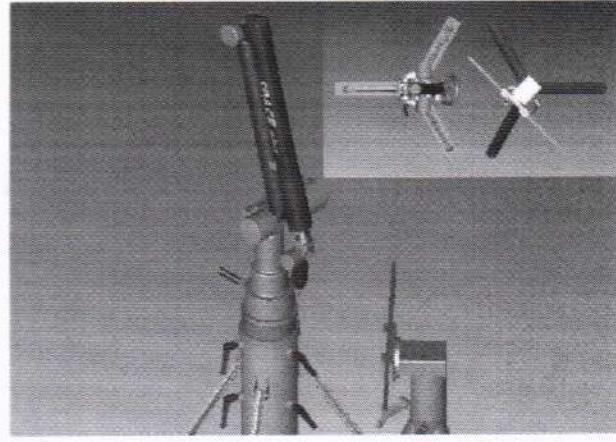
Ось X



Ось Y



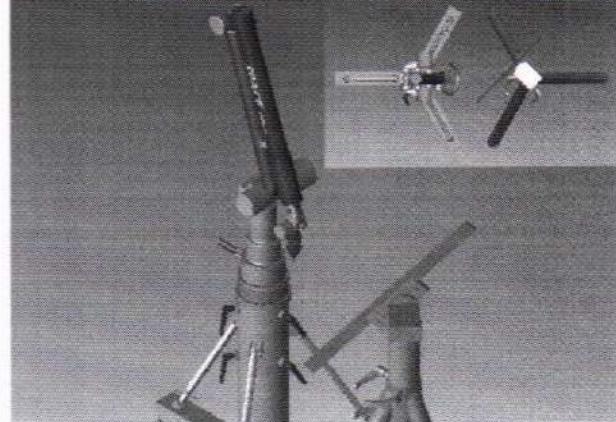
Ось Z



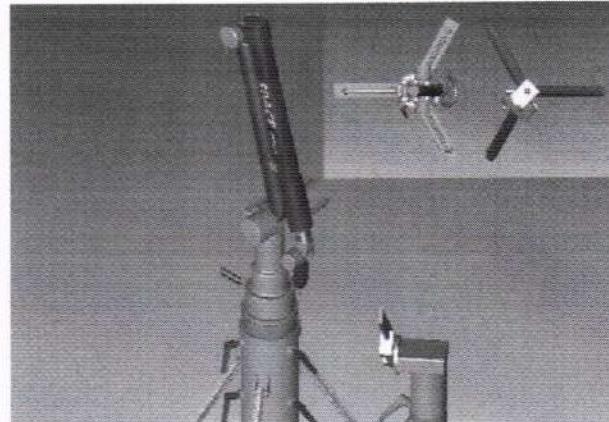
Диагональ 1 в плоскости XY



Диагональ 2 в плоскости XY



Пространственная диагональ 1 в объеме XYZ



Пространственная диагональ 2 в объеме XYZ

Рисунок 3 – Рекомендуемые положения мер

10.3 Определение абсолютной погрешности измерений отклонений формы при измерениях лазерным сканером SCANSURF

Сферу установить на виброустойчивое основание с помощью стойки. Провести сканирование сферы в любом направлении в одном положении сканера и получить облако точек, в соответствии со сканируемой областью на сфере (рис. 4).

Построить из полученного облака точек аппроксимирующую сферу методом наименьших квадратов. Определить погрешность измерений отклонений формы при использовании 95% точек полученного облака точек.

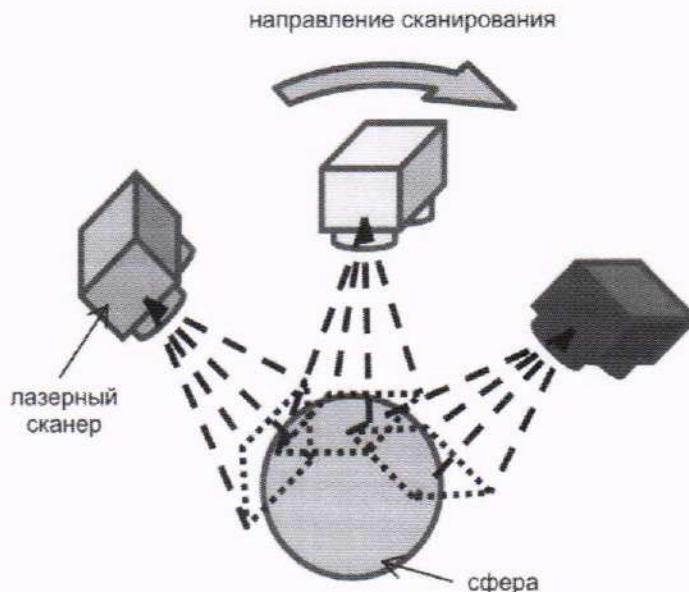


Рисунок 4 – Область лазерного сканирования сферы для определения погрешности измерений отклонений формы

11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

11.1 Определение повторяемости результата измерений координат точки при измерениях контактным щупом

Повторяемость определяется как сумма максимальных отклонений измеренного профиля в положительную и отрицательную области от средней сферы, рассчитанной по методу наименьших квадратов:

$$MPE_p = |\max(D_{i+})| + |\max(D_{i-})|,$$

где D_{i+} - отклонение точки i от средней сферы в положительную область, мм;

D_{i-} - отклонение точки i от средней сферы в отрицательную область, мм.

Значение повторяемости результатов измерений координат точки при измерениях контактным щупом не должна превышать значений, указанных в таблицах 1 – 7 к настоящей методике поверки.

Если требования данного пункта не выполняются, КИМ признают непригодной к применению.

11.2 Абсолютная объемная погрешность измерений при измерениях контактным щупом определяется по формуле:

$$\Delta l_i = l_{i\text{изм}} - l_{i\text{ном}},$$

где Δl_i – абсолютная погрешность измерений при i -ой итерации;

$l_{i\text{изм}}$ – измеренное расстояние между торцами меры при i -ой итерации;

$l_{i\text{ном}}$ – номинальное расстояние между торцами меры (действительная длина меры).

Проверка диапазона измерений осуществляется одновременно с определением погрешности измерений методом проведения измерений во всём заявляемом диапазоне.

Значение абсолютной объемной погрешности измерений не должно превышать значений, указанных в таблицах 1 – 7 к настоящей методике поверки.

Если требования данного пункта не выполняются, КИМ признают непригодной к применению.

11.3 Определение абсолютной погрешности измерений отклонений формы при измерениях лазерным сканером SCANSURF

Абсолютная погрешность измерений отклонений формы определяется как сумма максимальных отклонений измеренного профиля в положительную и отрицательную области от средней сферы, рассчитанной по методу наименьших квадратов:

$$P_{Form} = |\max(D_{i+})| + |\max(D_{i-})|,$$

где P_{Form} – абсолютная погрешность измерений;

D_{i+} - отклонение точки i от средней сферы в положительную область,

D_{i-} - отклонение точки i от средней сферы в отрицательную область.

Значение абсолютной погрешности измерений не должно превышать значений, указанных в таблице 8.

Если требования данного пункта не выполняются, КИМ признают непригодной к применению.

12 Оформление результатов поверки

12.1 Результаты поверки оформляются протоколом, составленным в виде сводной таблицы результатов поверки по каждому пункту разделов 7 – 11 настоящей методики поверки.

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

12.3 При положительных результатах поверки КИМ признается пригодной к применению и по заявлению владельца средств измерений или лица, представляющего средства измерений на поверку, выдается свидетельство о поверке установленной формы. Нанесение знака поверки на средство измерений не предусмотрено.

12.4 При отрицательных результатах поверки, КИМ признается непригодной к применению и по заявлению владельца средств измерений или лица, представляющего средства измерений на поверку, выдается извещение о непригодности установленной формы с указанием основных причин.

И.о. заместителя руководителя
центра испытаний СИ
ООО «Автопрогресс – М»



О.Ю. Куранова

Приложение А
(Обязательное)

**Приспособление для фиксации мер длины концевых плоскопараллельных
и схема проведения измерений**



Рисунок А.1 – приспособление для фиксации мер длины концевых плоскопараллельных

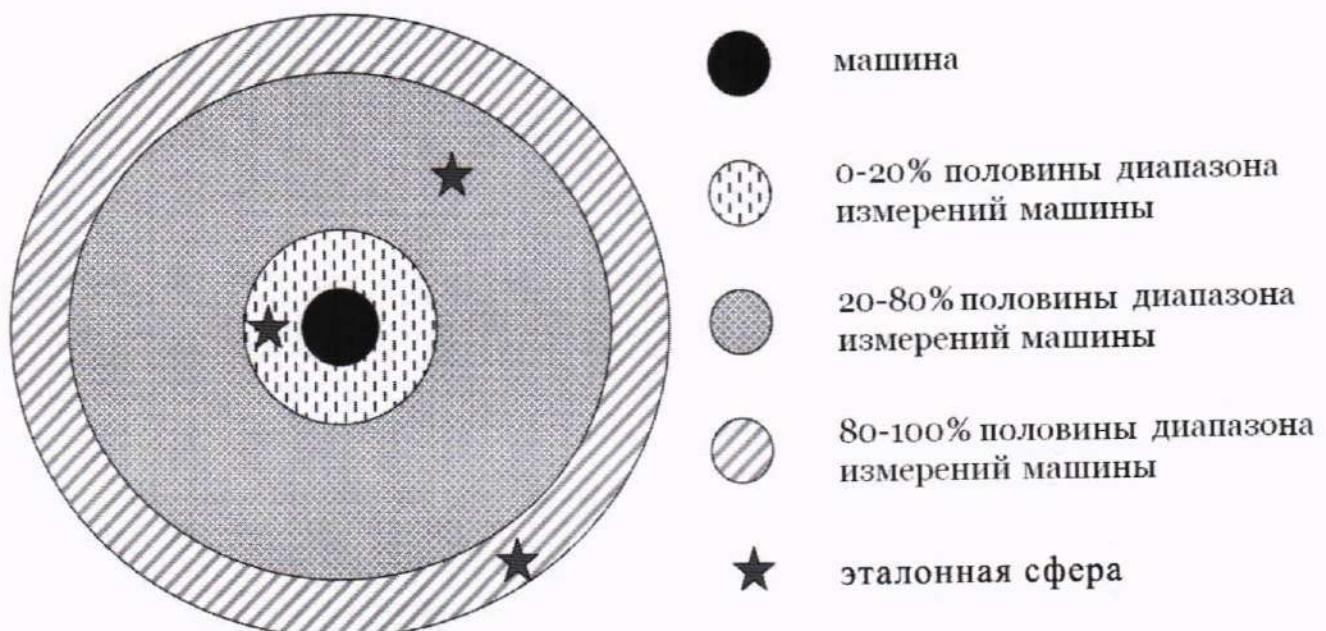


Рисунок А.2 – Схема взаимных расположений сферы на разном расстоянии относительно КИМ