

СОГЛАСОВАНО
Заместитель генерального директора,
Руководитель Метрологического центра
ООО «Автопрогресс-М»



В.Н. Абрамов

«26» января 2023 г.

МП АПМ 77-22

«ГСИ. Машины координатно-измерительные ПС. Методика
поверки»

г. Москва
2023 г.

1 Общие положения

Настоящая методика поверки применяется для поверки машин координатно-измерительных ИИС (далее – КИМ), производства ООО «ИИС», г. Балашиха, используемых в качестве рабочих средств измерений и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверки.

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

1.2 КИМ до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта 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 Выполнение всех требований настоящей методики обеспечивает прослеживаемость поверяемого средства измерений к следующим государственным первичным эталонам:

ГЭТ 192-2019 - ГПСЭ единицы длины в области измерений геометрических параметров поверхностей сложной формы, в том числе эвольвентных поверхностей и угла наклона линии зуба.

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 1.

Таблица 1 – 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
Контроль условий поверки	Да	Да	8
Подготовка к поверке и опробование средства измерений	Да	Да	8
Проверка программного обеспечения средства измерений	Да	Да	9
Определение метрологических характеристик	-	-	10
Определение абсолютной погрешности измерительной головки МРЕ _P	Да	Да	10.1
Определение абсолютной погрешности сканирования измерительной головки МРЕ _{ТНР} за время сканирования 72 с	Да	Да	10.2
Определение диапазона и абсолютной объемной погрешности измерений МРЕ _Е	Да	Да	10.3
Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	Да	Да	11

3 Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия измерений:

- температура окружающей среды, °С от +18 до +22;
- допустимое изменение температуры, °С, не более, в течении 1 ч 0,5;
- допустимое изменение температуры, °С, не более, в течении 24 ч 1,0;
- относительная влажность воздуха, % от 30 до 70.

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 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
Основные средства поверки		
10.1	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 от 06 апреля 2021 г. №472 – сфера	Меры для поверки систем координатно-измерительных ROMER Absolute Arm (рег. № 64593-16)
10.2	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 от 06 апреля 2021 г. №472 – сфера; Средство измерений времени в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений времени и частоты, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от «26» сентября 2022 г. № 2360 - секундомер	Меры для поверки систем координатно-измерительных ROMER Absolute Arm (рег. №64593-16) Секундомер механический СОСпр (рег. № 11519-11)

10.3	Рабочие эталоны единицы длины 3-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 Росстандарта от 29 декабря 2018 г. № 2840 - меры длины концевые плоскопараллельные	Меры длины концевые плоскопараллельные набор № 9, модель 240411 (рег. № 9291-91)
Вспомогательное оборудование		
8, 9, 10.1, 10.2, 10.3	Средство измерений температуры окружающей среды: диапазон измерений от +15 до +25 °С, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,3^\circ\text{C}$ Средство измерений относительной влажности воздуха: диапазон измерений от 0 до 98 %, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm 0,1$ %	Термогигрометр ИВА-6, модификация ИВА-6Н-Д (рег. № 46434-11)
Примечание – 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 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 бензином или спиртом ректификатом 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 проверяют взаимодействие частей на холостом ходу перемещением подвижных узлов на полные диапазоны, дискретность отсчета. Перемещения должны быть плавными, без рывков и скачков. Дискретность отсчета должна соответствовать значениям, указанным в приложении А.

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) «Visual DMIS» выполняется в следующем порядке:

- запустить ПО «Visual DMIS»;
- в меню выбрать «Помощь»;
- выбрать «О программе».

Идентификация ПО «RationalDMIS» выполняется в следующем порядке:

- запустить ПО «RationalDMIS»;
- в меню выбрать «Помощь»;
- выбрать «О программе».

Идентификация ПО «PowerInspect» выполняется в следующем порядке:

- запустить ПО «PowerInspect»;
- проверить наименование программного обеспечения и определить его версию после загрузки ПО. Сведения о наименовании программного обеспечения и номере версии ПО представлены на экране в течение одной секунды после нажатия иконки программы на рабочем столе компьютера;

Идентификационные данные программного обеспечения должны соответствовать данным, приведённым в таблице 4.

Таблица 4 – Идентификационные данные программного обеспечения

Идентификационные данные (признаки)	Значение		
	Visual DMIS	RationalDMIS	PowerInspect
Идентификационное наименование ПО	Visual DMIS	RationalDMIS	PowerInspect
Номер версии (идентификационный номер ПО)	не ниже 7.0.6	не ниже 7.0	не ниже PI 20x
Цифровой идентификатор ПО	-	-	-

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

10 Определение метрологических характеристик средства измерений

10.1 Определение абсолютной погрешности измерительной головки MPEP

Установить сферу на плите рабочего стола КИМ с помощью стойки. Для измерений использовать самый жесткий щуп.

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

Рекомендуемая модель измерений включает:

- одну точку на вершине испытываемой сферы;
- четыре точки, равномерно распределенных на окружности, расположенной на $22,5^\circ$ ниже вершины (рис 1);
- восемь точек, равномерно распределенных на окружности, расположенной на 45° ниже вершины, и повернутых на $22,5^\circ$ относительно предшествующей группы;
- четыре точки, равномерно распределенных на окружности, расположенной на $67,5^\circ$ ниже вершины (рис 1), и повернутых на $22,5^\circ$ относительно предшествующей группы;
- восемь точек, равномерно распределенных на окружности, расположенной на 90° ниже вершины, т.е. на диаметре, и повернутых относительно предыдущей группы на $22,5^\circ$.

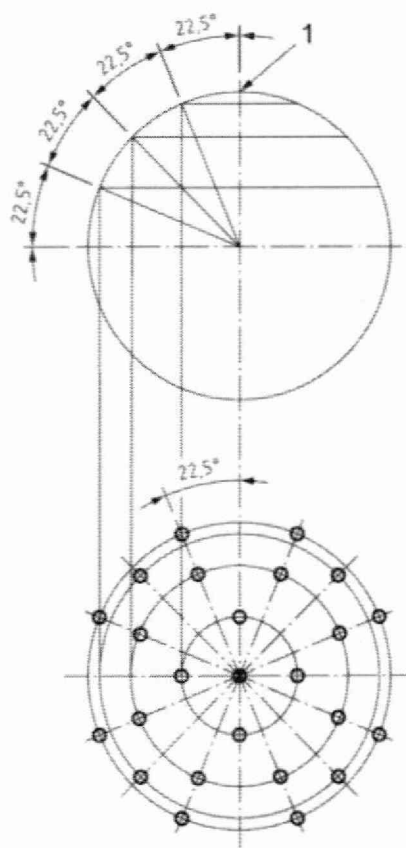


Рисунок 1 – Точки касания на сфере для определения абсолютной погрешности измерительной головки, МРЕР

10.2 Определение абсолютной погрешности сканирования измерительной головки МРЕР_{ТНР} за время сканирования 72 с

Установить сферу на плите рабочего стола КИМ с помощью стойки.

Для измерений использовать самый жесткий щуп. Рекомендуется выбрать положение щупа относительно оси сферы под углом, приблизительно равным 45° .

Произвести три цикла измерений (в режиме непрерывного сканирования).

В каждом цикле измеряются 4 определенные линии по сфере в режиме сканирования:

- первая линия – на экваторе сферы (360° сканирования);
- вторая линия – в параллельной плоскости на 8 мм выше первой линии (360° сканирования);
- третья линия – сегмент (180° сканирования), проходящий через полюс;
- четвертая линия – еще один сегмент (180° сканирования) повернут на 90° относительно третьей линии и смещен на 8 мм от полюса.

Каждый цикл сканирования начинается с установки щупа в промежуточную точку, расположенную на расстоянии 10 мм от испытуемой сферы. Из этой точки щуп по нормали подводится к ее поверхности. Каждый цикл сканирования завершается отводом щупа в промежуточную точку, расположенную на расстоянии не менее 10 мм от испытуемой сферы.

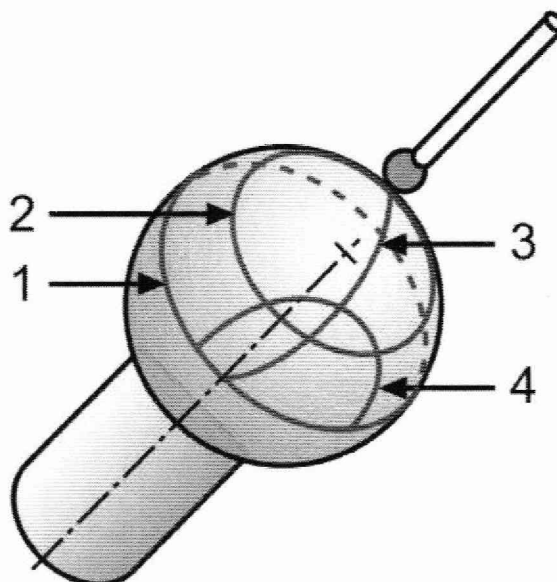


Рисунок 2 – Вид и расположение линий на сфере.

10.3 Определение абсолютной объемной погрешности MPE_E

Определение абсолютной объемной погрешности MPE_E производится с помощью мер длины концевых плоскопараллельных 3-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 Росстандарта от 29 декабря 2018 г. № 2840 из набора номиналом от 50 до 1000 мм.

Концевые меры длины устанавливают в пространстве измерений КИМ вдоль линии измерений, используя теплоизолирующие перчатки. Обязательно осуществляется компенсация погрешностей, связанных с отклонениями параметров окружающей среды, отличающихся от нормальных.

При проведении поверки должно быть измерено не менее трех отрезков различной длины. Концевые меры длины выбирают таким образом, чтобы значение длины наибольшей из мер составляло не менее 75 % диапазона измерений вдоль данной оси, для КИМ с диапазоном измерений по выбранной оси более 1200 мм – использовать в качестве наибольшей меры меру длиной 1000 мм. В качестве наименьшей меры используют меру 50 мм.

Производится сбор точек с измерительных поверхностей концевых мер и определяется их длина. Измерения проводят в семи различных положениях (рис. 3), каждое измерение повторяется 3 раза.

Для диапазона измерений свыше 1200 мм рекомендуется проводить измерения вдоль осей в нескольких местах, равномерно расположенных по длине оси, а для пространственных диагоналей рекомендуется проводить измерения впереди и сзади, справа и слева рабочего объема КИМ.

Измерения должны проводиться в автоматическом режиме.

Для машины координатно-измерительной ПИС серии МΙΑ модификации 654 М измерения проводятся в ручном режиме.

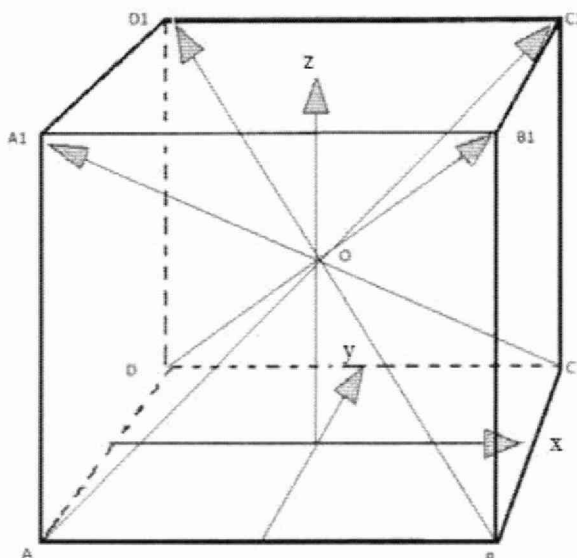


Рисунок 3 – Стандартные положения, в которых производят измерения в пределах объема КИМ

11 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

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

$$MPE_p = |\max(D_{i+})| + |\max(D_{i-})|, \text{ мм, где:}$$

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

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

Абсолютная погрешность измерений не должна превышать значений, указанных в приложении А.

11.2 Абсолютную погрешность сканирования MPE_{TNR} за определенное время сканирования определяют как сумму максимальных отклонений измеренного профиля в положительную и отрицательную области от средней сферы, рассчитанной по методу наименьших квадратов:

$$MPE_{TNR} = |\max(D_{i+})| + |\max(D_{i-})|, \text{ мм, где:}$$

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

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

С помощью секундомера засекают время сканирования всех четырех прямых для каждого цикла, с момента первого касания щупа к сфере.

Абсолютная погрешность сканирования MPE_{TNR} не должна превышать значений, указанных в приложении А.

11.3 Абсолютная объемная погрешность MPE_E вычисляется по формуле:

$$MPE_E = L_{jik} - L_{джик}, \text{ мм, где}$$

$L_{джик}$ – действительное значение длины КМД,

L_{jik} – результат измерений,

j – порядковый номер КМД,

i – порядковый номер измерений,

k – порядковый номер положения.

Результаты измерений абсолютной объемной погрешности MPE_E должны соответствовать значениям, указанным в приложении А.

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, предоставляющего 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, предоставляющего средства измерений на поверку, выдаётся извещение о непригодности установленной формы с указанием основных причин.

Руководитель отдела
ООО «Автопрогресс – М»



М.А. Скрипка

Приложение А
(Обязательное)

Метрологические характеристики

Таблица А.1 - Метрологические характеристики машин координатно-измерительных ИИС серии МИА

Модификация	Дискретность отсчета измерительных шкал, мкм	Диапазон измерений, мм			Пределы допускаемой абсолютной погрешности (L – измеряемая длина в мм), мкм						
		X	Y	Z	Контактный датчик SP25M/SP80			Контактный датчик TP200		Контактный датчик TP20	
					MPE _E	MPE _P	MPE _{ТНР}	MPE _E	MPE _P	MPE _E	MPE _P
654 S	0,1	От 0 до 500	От 0 до 600	От 0 до 400	$\pm(1,8+L/300)$	$\pm 1,9$	$\pm 3,0$	$\pm(2,1+L/300)$	$\pm 2,2$	$\pm(2,3+L/300)$	$\pm 2,4$
866 S	0,1	От 0 до 600	От 0 до 800	От 0 до 600	$\pm(2,1+L/300)$	$\pm 2,2$	$\pm 3,1$	$\pm(2,4+L/300)$	$\pm 2,5$	$\pm(2,6+L/300)$	$\pm 2,7$
1086 S	0,1	От 0 до 800	От 0 до 1000	От 0 до 600	$\pm(2,2+L/300)$	$\pm 2,3$	$\pm 3,2$	$\pm(2,5+L/300)$	$\pm 2,6$	$\pm(2,7+L/300)$	$\pm 2,8$
1286 S	0,1	От 0 до 800	От 0 до 1200	От 0 до 600	$\pm(2,2+L/300)$	$\pm 2,3$	$\pm 3,2$	$\pm(2,5+L/300)$	$\pm 2,6$	$\pm(2,7+L/300)$	$\pm 2,8$
1586 S	0,1	От 0 до 800	От 0 до 1500	От 0 до 600	$\pm(2,2+L/300)$	$\pm 2,3$	$\pm 3,2$	$\pm(2,5+L/300)$	$\pm 2,6$	$\pm(2,7+L/300)$	$\pm 2,8$
654	0,05	От 0 до 500	От 0 до 600	От 0 до 400	$\pm(1,5+L/300)$	$\pm 1,7$	$\pm 2,8$	$\pm(1,8+L/300)$	$\pm 2,0$	$\pm(2,0+L/300)$	$\pm 2,3$
866	0,05	От 0 до 600	От 0 до 800	От 0 до 600	$\pm(1,7+L/300)$	$\pm 1,9$	$\pm 2,9$	$\pm(2,1+L/300)$	$\pm 2,3$	$\pm(2,3+L/300)$	$\pm 2,6$
1086	0,05	От 0 до 800	От 0 до 1000	От 0 до 600	$\pm(1,7+L/300)$	$\pm 1,9$	$\pm 3,0$	$\pm(2,2+L/300)$	$\pm 2,4$	$\pm(2,4+L/300)$	$\pm 2,7$
1286	0,05	От 0 до 800	От 0 до 1200	От 0 до 600	$\pm(1,7+L/300)$	$\pm 1,9$	$\pm 3,0$	$\pm(2,2+L/300)$	$\pm 2,4$	$\pm(2,4+L/300)$	$\pm 2,7$
1586	0,05	От 0 до 800	От 0 до 1500	От 0 до 600	$\pm(1,7+L/300)$	$\pm 1,9$	$\pm 3,0$	$\pm(2,2+L/300)$	$\pm 2,4$	$\pm(2,4+L/300)$	$\pm 2,7$

Примечание:

1. MPE_E – абсолютная объемная погрешность;
2. MPE_P – абсолютная погрешность измерительной головки;
3. MPE_{ТНР} – абсолютная погрешность сканирования измерительной головки за время сканирования 72 с.

Таблица А.2 - Метрологические характеристики машин координатно-измерительных ИС серии МІА

Модификация	Дискретность отсчета измерительных шкал, мкм	Диапазон измерений, мм			Пределы допускаемой абсолютной погрешности (L – измеряемая длина в мм), мкм			
		X	Y	Z	Контактный датчик МСР		Контактный датчик ТР20	
					MPE _E	MPE _P	MPE _E	MPE _P
654 М	0,1	От 0 до 500	От 0 до 600	От 0 до 400	$\pm(3,5+L/250)$	$\pm 3,9$	$\pm(3,5+L/250)$	$\pm 3,9$

Примечание:

1. MPE_E – абсолютная объемная погрешность;
2. MPE_P – абсолютная погрешность измерительной головки.

Таблица А.3 – Метрологические характеристики машин координатно-измерительных ИС серии МЕТРА

Модификация	Дискретность отсчета измерительных шкал, мкм	Диапазон измерений, мм			Пределы допускаемой абсолютной погрешности (L – измеряемая длина в мм), мкм							
		X	Y	Z	Контактный датчик SP25M/SP80			Контактный датчик TP200		Контактный датчик TP20		
					MPE _E	MPE _P	MPE _{THP}	MPE _E	MPE _P	MPE _E	MPE _P	
866	0,05	От 0 до 600	От 0 до 800	От 0 до 600	$\pm(1,2+L/350)$	$\pm 1,5$	$\pm 2,6$	$\pm(1,9+L/300)$	$\pm 2,1$	$\pm(2,1+L/300)$	$\pm 2,4$	
1287	0,05	От 0 до 800	От 0 до 1200	От 0 до 700	$\pm(1,4+L/350)$	$\pm 1,7$	$\pm 2,6$	$\pm(2,1+L/300)$	$\pm 2,3$	$\pm(2,3+L/300)$	$\pm 2,6$	
1587	0,05	От 0 до 800	От 0 до 1500	От 0 до 700	$\pm(1,4+L/350)$	$\pm 1,7$	$\pm 2,6$	$\pm(2,1+L/300)$	$\pm 2,3$	$\pm(2,3+L/300)$	$\pm 2,6$	
2287	0,05	От 0 до 800	От 0 до 2200	От 0 до 700	$\pm(1,4+L/350)$	$\pm 1,7$	$\pm 2,6$	$\pm(2,1+L/300)$	$\pm 2,3$	$\pm(2,3+L/300)$	$\pm 2,6$	
12108	0,05	От 0 до 1000	От 0 до 1200	От 0 до 800	$\pm(1,7+L/350)$	$\pm 2,1$	$\pm 2,9$	$\pm(2,5+L/300)$	$\pm 2,7$	$\pm(2,7+L/300)$	$\pm 3,0$	
15108	0,05	От 0 до 1000	От 0 до 1500	От 0 до 800	$\pm(1,7+L/350)$	$\pm 2,1$	$\pm 2,9$	$\pm(2,5+L/300)$	$\pm 2,7$	$\pm(2,7+L/300)$	$\pm 3,0$	
22108	0,05	От 0 до 1000	От 0 до 2200	От 0 до 800	$\pm(1,7+L/350)$	$\pm 2,1$	$\pm 2,9$	$\pm(2,5+L/300)$	$\pm 2,7$	$\pm(2,7+L/300)$	$\pm 3,0$	
25108	0,05	От 0 до 1000	От 0 до 2500	От 0 до 800	$\pm(1,7+L/350)$	$\pm 2,1$	$\pm 2,9$	$\pm(2,5+L/300)$	$\pm 2,7$	$\pm(2,7+L/300)$	$\pm 3,0$	
30108	0,05	От 0 до 1000	От 0 до 3000	От 0 до 800	$\pm(1,7+L/350)$	$\pm 2,1$	$\pm 2,9$	$\pm(2,5+L/300)$	$\pm 2,7$	$\pm(2,7+L/300)$	$\pm 3,0$	

Примечание:

1. MPE_E – абсолютная объемная погрешность;
2. MPE_P – абсолютная погрешность измерительной головки;
3. MPE_{THP} – абсолютная погрешность сканирования измерительной головки за время сканирования 72 с.

Продолжение таблицы А.3 – Метрологические характеристики машин координатно-измерительных ИИС серии МЕТРА

Модификация	Дискретность отсчета измерительных шкал, мкм	Диапазон измерений, мм			Пределы допускаемой абсолютной погрешности (L – измеряемая длина в мм), мкм							
		X	Y	Z	Контактный датчик SP25M/SP80			Контактный датчик TP200		Контактный датчик TP20		
					MPE _E	MPE _P	MPE _{THP}	MPE _E	MPE _P	MPE _E	MPE _P	
151210	0,05	От 0 до 1200	От 0 до 1500	От 0 до 1000	$\pm(2,0+L/350)$	$\pm 2,5$	$\pm 3,3$	$\pm(2,9+L/300)$	$\pm 3,1$	$\pm(3,1+L/300)$	$\pm 3,4$	
221210	0,05	От 0 до 1200	От 0 до 2200	От 0 до 1000	$\pm(2,0+L/350)$	$\pm 2,5$	$\pm 3,3$	$\pm(2,9+L/300)$	$\pm 3,1$	$\pm(3,1+L/300)$	$\pm 3,4$	
251210	0,05	От 0 до 1200	От 0 до 2500	От 0 до 1000	$\pm(2,0+L/350)$	$\pm 2,5$	$\pm 3,3$	$\pm(2,9+L/300)$	$\pm 3,1$	$\pm(3,1+L/300)$	$\pm 3,4$	
301210	0,05	От 0 до 1200	От 0 до 3000	От 0 до 1000	$\pm(2,0+L/350)$	$\pm 2,5$	$\pm 3,3$	$\pm(2,9+L/300)$	$\pm 3,1$	$\pm(3,1+L/300)$	$\pm 3,4$	
221510	0,05	От 0 до 1500	От 0 до 2200	От 0 до 1000	$\pm(3,1+L/350)$	$\pm 3,3$	$\pm 4,3$	$\pm(3,7+L/300)$	$\pm 3,7$	$\pm(3,9+L/300)$	$\pm 3,9$	
251510	0,05	От 0 до 1500	От 0 до 2500	От 0 до 1000	$\pm(3,1+L/350)$	$\pm 3,3$	$\pm 4,3$	$\pm(3,7+L/300)$	$\pm 3,7$	$\pm(3,9+L/300)$	$\pm 3,9$	
301510	0,05	От 0 до 1500	От 0 до 3000	От 0 до 1000	$\pm(3,1+L/350)$	$\pm 3,3$	$\pm 4,3$	$\pm(3,7+L/300)$	$\pm 3,7$	$\pm(3,9+L/300)$	$\pm 3,9$	
301810	0,05	От 0 до 1800	От 0 до 3000	От 0 до 1000	$\pm(3,7+L/350)$	$\pm 3,9$	$\pm 4,9$	$\pm(4,3+L/300)$	$\pm 4,3$	$\pm(4,5+L/300)$	$\pm 4,5$	
351810	0,05	От 0 до 1800	От 0 до 3500	От 0 до 1000	$\pm(3,7+L/350)$	$\pm 3,9$	$\pm 4,9$	$\pm(4,3+L/300)$	$\pm 4,3$	$\pm(4,5+L/300)$	$\pm 4,5$	

Примечание:

1. MPE_E – абсолютная объемная погрешность;
2. MPE_P – абсолютная погрешность измерительной головки;
3. MPE_{THP} – абсолютная погрешность сканирования измерительной головки за время сканирования 72 с.