ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО СТАНДАРТАМ
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ



УТВЕРЖДАЮ"
Директор ВНИИМС
_____ В.В.Сажин
"__03__ 1989 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Машины трехкоординатные измерительные с измеряемым объемом не более I x I x I $м^3$

Методика метрологической аттестации

МИ 1976-89

Москва, 1989 г.

gost.e-ecolog.ru

Группа Т88.1

Дата введения с 1.07.89 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

Машины трехкоординатные измерительные с измеряемым объемом не более IxIxI $м^3$

Методика метрологической аттестации МИ

Настоящая рекомендация распространяется на машины измерительные трехкоординатные (в дальнейшем - ТИМ) с измеряемым объемом не более (1x1x1) $м^3$, средней точности (4 - 5 мкм/м), измеряющие прямоугольную систему координат и контактную ощупывающую головку, и устанавливает методику их метрологической аттестации.

I. ОПЕРАЦИИ И СРЕДСТВА АТТЕСТАЦИИ

I.I. При проведении аттестации ТИМ должны быть выполнены операции и применены средства, указанные в табл. I.

Таблица 1

Наименование операции	Номер пункта	Средства аттестации и их нормативно-технические характеристики
Внешний осмотр	4.I.	
Опробование	4.2	Типовая деталь с параметрами, наиболее часто контролируемыми на аттестуемой ТИМ.
Определение метрологических параметров	4.3	

Наименование операции	Номер пункта	Средства аттестации и их нормативно-технические характеристики
Определение отклонений от прямолинейности перемещения и малых поворотов подвижных узлов вдоль осей x и y.	4.3.1	Поверочная линейка из твердокаменных пород (мостик) типа ШМ.ТК 0-го класса точности с длиной измерительной поверхности, равной диапазону перемещения вдоль оси и погрешностью аттестации не более ± 1 мкм/м. Измерительная головка с ц.д. не более 1 мкм. Рычаг с плечом 100 или 200 мм или Лазерный измеритель перемещений типа ИПЛ с приспособлением для измерения отклонений от прямолинейности или Автоколлиматор типа АК-02У с плоским зеркалом Приспособление для установки зеркала на пиноль ТИМ Электронный уровень код. 128 Приспособление для установки уровня пиноль ТИМ.
Определение отклонений от прямолинейности перемещения и малых поворотов подвижных узлов вдоль оси Z.	4.3.2	Поверочный угольник 90^0 из твердокаменных пород типа УШ.ТК или УБ.ТК 0-го класса точности с длиной измерительной поверхности, равной диапазону перемещения вдоль оси и погрешностью аттестации по прямолинейности не более ± 1 мкм/м и погрешностью аттестации угла 90^0 не более ± 0,5". Измерительная головка с ц.д. не более 1 мкм.

Наименование операции	Номер пункта	Средства аттестации и их нормативно-технические характристики
		Рычаг с плечом 100 или 200 мм Приспособление для установки угольника на столе ТИМ или Лазерный измеритель перемещений типа ИПЛ с приспособлением для измерения отклонений от прямолинейности Рычаг с плечом 100 или 200 мм Образцовая пентопризма с углом 90°, который аттестован с погрешностью не более ± 0,5".
Определение отклонений от перпендикулярности осей перемещений	4.3.3	То же
Определение измерительных усилий ощупывающей головки	4.3.4	Динамометр с пределами измерений от 0 до 100 сН с погрешностью измерений не более ± 3 сН Приспособление с микрометрической подачей для установки динамометра на столе ТИМ.
Определение погрешности ощупывающей головки	4.3.5	Образцовое кольцо 4-го разряда по ГОСТ 8.020-75 диаметром до 50 мм.
Определение погрешностей измерений вдоль осей координат	4.3.6.	Образцовые плоскопараллельные концевые меры длины 3-го разряда по МИ 1604-87 Устройство для установки концевых мер длины в пространстве измерений или

Наименование операции	Номер пункта	Средства аттестации и их нормативно-технические характеристики
		Образцовая ступенчатая концевая мера, аттестованная по 3-му разряду по МИ 1604-87.
Определение пространственной погрешности измерения расстояния между двумя точками	4.3.7	Образцовые плоскопараллельные концевые меры длины 3-го разряда по МИ 1604-87. Устройство для установки концевых мер длины в пространстве измерений ТИМ. или Образцовая ступенчатая концевая мера длины, аттестованная по 3-му разряду по МИ 1604-87
Определение случайной погрешности измерения ТИМ	4.3.8	То же или Образцовое кольцо 4-го разряда по ГОСТ 8.020-75 диаметром до 50 мм.
Определение стабильности функционирования ТИМ при измерении геометрических параметров поверхности	4.3.9	Образцовая комплексная параметрическая мера или Набор образцовых параметрических мер.

1.2. Допускается применять другие средства аттестации, прошедшие метрологическую аттестацию в органах Государственной метрологической службы и удовлетворяющие требованиям настоящей рекомендации.

2. ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

2.1. При проведении аттестации должны быть соблюдены следующие требования безопасности:

- электронная аппаратура в части требований безопасности должна соответствовать ГОСТ 22261-76 и ГОСТ 12.2.0070-75;

- электронная аппаратура ТИМ и поверочного оборудования должны быть заземлены и перед ними на полу должны лежать резиновые коврики; во время работы кожухи электронной аппаратуры должны быть закрыты;

- до включения в сеть должны быть подключены кабели связи. Запрещается в процессе работы отсоединять их, а также проводить замену предохранителей;

- установленные предохранители должны соответствовать маркировке на панелях этих блоков;

- запрещается вскрывать и переставлять составные части ТИМ и поверочного оборудования при включенных в сеть кабелях питания;

- лица, обслуживающие лазерный измеритель перемещений, должны быть обеспечены светофильтрами СС1-СС15 ГОСТ 9411-75 и руководствоваться эксплуатационной документацией на лазеры и "Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров"; утвержденными приказом Минздрава СССР от 21.04.81 г. № 2392-81.

3. УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ АТТЕСТАЦИИ И ПОДГОТОВКА К НЕЙ

3.1. При проведении аттестации должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающей среды	20 ± 2°С
- допускаемое изменение температуры	0,5°С/ч.
- допускаемый пространственный градиент температур	0,3°С/м
	Прямое падение лучей солнца и расположение ТИМ вблизи источников тепла не допускается
- относительная влажность воздуха	45 ± 10 %
- атмосферное давление	1000 ± 200 гПа (760 ± 160 мм рт.ст.)

- внешние вибрации должны соответствовать рекомендациям изготовителя ТИМ.

3.2. Перед метрологической аттестацией должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- ТИМ должна быть подготовлена к работе в соответствии с требованиями эксплуатационной документации;

- все измерительные поверхности образцовых средств измерений: поверочной линейки, поверочного угольника, измерительной головки, концевых мер длины, образцовых колец, образцовой параметрической меры, динамометра, типовой детали, должны быть очищены от смазки и промыты авиационным бензином марки Б-70 по ГОСТ 1012-72 и спиртом-ректификатом по ГОСТ 18300-72 и протерты чистой салфеткой;

- оптические поверхности используемых оптических образцовых средств измерений должны быть промыты спиртом-ректификатом по ГОСТ 18300-72;

- все образцовые средства должны быть выдержаны на рабочем месте до начала аттестации в течение 24 ч.

4. ПРОВЕДЕНИЕ АТТЕСТАЦИИ

4.1. Внешний осмотр.

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие ТИМ следующим требованиям:

- наружные поверхности ТИМ не должны иметь дефектов, влияющих на их (ее) эксплуатационные характеристики и ухудшающих внешний вид;

- на рабочих поверхностях направляющих и рабочего стола не должно быть царапин, забоин и других дефектов, влияющих на плавность перемещений подвижных узлов ТИМ;

- наконечники ощупывающие головки не должны иметь сколов, царапин и других дефектов;

- маркировка и комплектность должны соответствовать требованиям технической документации.

4.2. Опробование.

Проверяют взаимодействие частей на холостом ходу перемещением подвижных узлов на полные диапазоны. Перемещения должны быть плавными, без рывков, скачков и заеданий.

Затем проводят однократное измерение типовой детали с использованием всех функциональных узлов и программного обеспечения КИМ. При наличии ЧПУ то же самое выполняют в автоматическом режиме.

4.3. Определение метрологических параметров.

4.3.1. Определение отклонений от прямолинейности перемещения и малых поворотов подвижных узлов вдоль осей x и y в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Измерения отклонений от прямолинейности перемещения осуществляют вдоль линий, параллельных соответствующей оси x или y, в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Линии измерения располагают в крайних положениях рабочего пространства ТИМ, соответственно в 4-х - вдоль одной из осей и в 2-х - вдоль другой.

Вдоль каждой линии производят измерения не менее чем в 15-и точках 3-я циклами, состоящими из прямого и обратного хода, соответственно в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

4.3.1.1. Определение отклонений от прямолинейности с помощью поверочной линейки.

Поверочную линейку устанавливают вдоль линии измерения. В пиноль ТИМ устанавливают измерительную головку. Наконечник измерительной головки перемещением пиноли ТИМ вводят в контакт с измерительной поверхностью поверочной линейки, расположенной горизонтально или вертикально соответственно для измерений в вертикальной или горизонтальной плоскости вдоль оси x или y. Затем зажимают другие оси ТИМ, выставляют линейку вдоль контролируемой оси и проводят последовательно отсчеты по измерительной головке V, а также определяют положения измеряемой точки вдоль измеряемой оси U, отсчитывая по цифровому табло соответствующей оси ТИМ. Обработка результатов измерений приведена в разделе 5.

4.3.I.2. Определение отклонений от прямолинейности с помощью лазерного измерителя перемещений.

Лазерный блок измерителя устанавливают или непосредственно на плите рабочего стола ТИМ, или на штативе рядом с ТИМ. Пучек лазера устанавливают вдоль измеряемой линии. Отражатель приспособления для измерения прямолинейности измерителя устанавливают на плите рабочего стола ТИМ в конце измеряемой линии, а блок интерферометра для измерения прямолинейности устанавливают пиноль ТИМ. (В случае использования для измерения отклонений от прямолинейности приспособления для измерения малых углов его отражатель устанавливают на пиноль ТИМ, а блок интерферометра - на плиту рабочего стола в начале измеряемой линии). Отсчитывают V_i (V_i угл при измерении малых углов) и U_i проводят соответственно по цифровому табло лазерного измерителя перемещений и ТИМ. При возможности состыковки ЭВМ ТИМ и измерителя перемещений результаты перемещений от измерителя перемещений поступают в ЭВМ ТИМ, где их обрабатывают вместе с отсчетами по ТИМ. Обработка результатов измерений приведена в разд.5.

4.3.I.3. Определение отклонений от прямолинейности с помощью автоколлиматора.

Автоколлиматор устанавливают на плиту рабочего стола и направляют ось автоколлиматора вдоль измеряемой линии. Зеркало автоколлиматора устанавливают с помощью приспособления на пиноль ТИМ. Производят точное выставление оси автоколлиматора вдоль оси ТИМ и снятие показаний по автоколлиматору V_i угл и ТИМ U . Обработка результатов измерений приведена в разд. 5.

4.3.I.4. Определение малых поворотов подвижных узлов.

Определение малых поворотов подвижных узлов проводят вдоль одной из линий измерений для каждой оси КИМ. Малые повороты, происходящие в плоскостях ТИМ вдоль осей перемещений, вычисляют по результатам измерений отклонений от прямолинейности. Для малых поворотов, происходящих в плоскости, перпендикулярной к оси перемещения, необходимы специальные измерения.

В случае применения для измерения отклонений от прямолинейности поверочной линейки или лазерного измерителя перемещений с

приспособлением для измерения прямолинейности их применяют также и для измерения малых поворотов в плоскости, перпендикулярной к оси перемещения. При этом после окончания измерения отклонений от прямолинейности вдоль оси, выбранной для измерения малых поворотов, измерительная головка или блок интерферометра, установленный на пиноли ТИМ, снимают с пиноли и устанавливают на нее через рычаг длиной 100 или 200 мм, устанавливаемый перпендикулярно линии измерения. После этого измерения отклонений от прямолинейности повторяют по тем же точкам, по которым проводились измерения без рычага. Обработка результатов измерений приведена в разд. 5.

Для измерения малых поворотов в плоскости, перпендикулярной к оси перемещения, можно применить также электронный уровень мод. 128. Однако его применение возможно только в том случае, если ТИМ установлена без плавающих виброизолирующих опор. При использовании таких опор возможно применение дифференциального электронного уровня, при выполнении следующих условий:

- уровень в дифференциальном режиме должен иметь погрешность измерения не более $\pm$ 0,2";
- наклоны КИМ при перемещении ее подвижных узлов не должны превышать диапазона измерений электронного уровня.

Для проведения измерений преобразователь электронного уровня мод.128 устанавливают на пиноль ТИМ в измеряемой плоскости с помощью приспособления для его установки. После выставления уровня в нулевое положение на одном из концов линии измерения пиноль перемещают по тем же точкам измерения, которые использовались для измерения прямолинейности. В каждой из этих точек снимают показания по уровню, показывающие непосредственно измеряемые малые повороты. При использовании дифференциального электронного уровня один преобразователь аналогично устанавливают на пиноли ТИМ, а второй - на плите рабочего стола.

4.3.2. Определение отклонений от прямолинейности перемещения и малых поворотов подвижного узла вдоль оси z .

Измерения отклонений от прямолинейности перемещения подвижного узла проводят вдоль одной линии, параллельной оси z , в двух взаимоперпендикулярных плоскостях z - x и z - y. Вдоль линии проводят измерения не менее чем в 15-ти точках 3-мя циклами, состоя-

щими из прямого и обратного хода, в каждой из плоскостей. Определение малых поворотов в плоскостях $Z - X$ и $Z - Y$ проводят вычислительным путем по результатам измерений отклонений от прямолинейности, в плоскости $X - Y$ проводят дополнительные измерения.

При применении поверочного угольника его устанавливают на плите рабочего стола ТИМ в одно... из плоскостей измерения с помощью приспособления для его установки, позволяющего регулировать его положение в вертикальной плоскости. Измерительную головку устанавливают на пиноли ТИМ. Затем угольник выставляют и отсчитывают V_i и U_i. Обработка результатов измерений приведена в разд. 5.

Для определения малых поворотов в плоскости $X - Y$ измерительную головку после проведения измерений отклонений от прямолинейности вынимают из пиноли и устанавливают снова через рычаг длиной 100 или 200 мм, после чего измерения повторяют. Обработка результатов измерений приведена в разд. 5.

При применении лазерного измерителя перемещений с образцовой пентапризмой обязательно применение приспособления для измерения линейных отклонений от прямолинейности. При этом лазерный блок устанавливают или на плиту рабочего стола ТИМ, или на штативе рядом с ТИМ. Лазерный пучек направляют через пентапризму вдоль линии измерения. Отражатель устанавливают на пиноли ТИМ, а блок интер.ерометра - на плите стола. После выставления лазерного пучка проводят отсчеты по цифровым табло измерителя перемещений и ТИМ. Обработка результатов измерений приведена в разд. 5.

Для определения малых поворотов в плоскости $X - Y$ отражатель после проведения измерений отклонений от прямолинейности снимают с пиноли и устанавливают снова через рычаг 100 или 200 мм, после чего измерения повторяют. Обработка результатов измерений приведена в разд. 5.

4.3.3. Определение отклонений от перпендикулярности осей перемещений.

Измерения проводят в каждой из плоскостей, образуемых осями ТИМ: $X - Y$, $X - Z$, и $Y - Z$. Плоскости измерения располагают так, чтобы максимально охватить рабочую зону ТИМ. Для плоскости $X - Y$ плоскость измерения следует располагать на высоте, примерно, 100 мм над поверхностью плиты рабочего стола. Для плоскостей $X - Z$ и

У - Z плоскости измерения следует располагать примерно в середине рабочего пространства ТИМ. Вдоль каждой из двух линий измерения, образующих контролируемый угол между осями, проводят измерения не менее чем в 10 точках. Всего проводят 3 цикла измерений, состоящих из прямого и обратного ходов по каждой из линий.

4.3.2.1. Определение отклонений от перпендикулярности осей перемещений с помощью поверочного угольника.

Поверочный угольник располагают последовательно в каждой из плоскостей измерения с использованием приспособления для установки угольника. При этом угольник устанавливают сначала грубо в плоскости измерения. В пиноль ТИМ устанавливают измерительную головку. С помощью головки угольник выставляют точно, а затем проводят отсчитывание по головке и по цифровому табло ТИМ вдоль каждой из линий измерения $V1_i$, $V2_i$ и $V2_i$, $U2_i$. Обработка результатов измерений приведена в разд. 5.

Возможно также применение неаттестованного поверочного угольника. При этом применяют метод поворота угольника на 180° в одной и той же плоскости измерения. Измерения проводят в двух положениях аналогично как при использовании аттестованного угольника. Обработка результатов измерений в этом случае также приведена в разд. 5.

4.3.3.2. Определение отклонений от перпендикулярности осей перемещений с помощью лазерного измерителя перемещений.

Применение лазерного измерителя перемещений с образцовой пентапризмой возможно только в случае применения приспособления для измерения линейных отклонений от прямолинейности. При этом блоки лазерного измерителя перемещений и пентапризму устанавливают также, как описано в п.4.3.2., однако при этом пентапризму устанавливают так, чтобы плоскость измерения располагалась в соответствии с п.4.3.3. После выставления лазерного пучка проводят отсчитывание по цифровым табло измерителя перемещений и ТИМ вдоль каждой из линий измерения $V1_i$, $U1_i$ и $V2_i$, $U2_i$. Обработка результатов измерений приведена в разд. 5.

При наличии одновременно поверочного угольника и лазерного измерителя перемещений с пентапризмой рекомендуют проводить измерения отклонений от перпендикулярности осей ТИМ в плоскости Z - У

с помощью лазерного измерителя перемещений, а в плоскостях X - Z и Y - Z - с помощью поверочного угольника, так как при этом можно иметь угольник меньших размеров, в связи с меньшим диапазоном перемещений по оси Z , проведение измерений с помощью угольника требует меньше затрат времени.

4.3.4. Определение измерительных усилий ощупывающей головки.

Измерительные усилия головки определяют вдоль каждой координатной оси ТИМ по двум противоположным направлениям.

4.3.4.1. Определение измерительных усилий ощупывающей головки для ТИМ с ручным управлением.

Динамометр устанавливают на приспособление с микрометрической подачей. При этом измерительную площадку динамометра следует располагать перпендикулярно соответствующей оси ТИМ. Приспособление закрепляют на плите рабочего стола ТИМ. Измерительный наконечник головки подводят возможно ближе к площадке динамометра, затем микроподачей приспособления динамометр подают вдоль оси ТИМ до срабатывания ощупывающей головки. В момент подачи головкой светового или звукового сигнала снимают показания по динамометру. Далее проводят аналогичные операции вдоль всех осей и направлений ТИМ.

4.3.4.2. Определение измерительных усилий ощупывающей головки для ТИМ с ЧПУ.

Динамометр закрепляют непосредственно на плите рабочего стола ТИМ или с помощью приспособления таким образом, чтобы измерительная площадка располагалась перпендикулярно измеряемому направлению оси ТИМ. Затем в режиме обучения ощупывают измерительную площадку динамометра, а затем ощупывание повторяют в режиме ЧПУ. Показания динамометра снимают после срабатывания головки и прекращения ее перемещения. Затем аналогичные операции проводят по всем осям и направлениям ТИМ.

4.3.5. Определение погрешности ощупывающей головки.

Образцовое кольцо устанавливают на плите рабочего стола ТИМ последовательно в трехкоординатных плоскостях ТИМ: X - Y, X - Z, Y - Z . В каждой плоскости используют наиболее жесткий щуп. Проводят 3 цикла измерений. В каждом цикле проводят ощу-

пывания измерительной поверхности кольца в среднем сечении не менее чем в 30 равномерно распределенных по окружности точках. Обработка результатов измерений приведена в разд. 5.

4.3.6. Определение погрешностей измерений вдоль осей координат.

Определение погрешностей измерений вдоль осей координат проводит вдоль линий, параллельных этим осям и расположенных в местах с наибольшими и наименьшими ожидаемыми погрешностями. Для осей X и У эти линии должны располагаться как минимум в двух местах пространства измерений: дкак можно ближе к штриховой мере измерительной системы контролируемой оси и как можно дальше от нее. Если оси измерения проводять вдоль одной линии. Измерения проводят на отрезках, воспроизводимых рядом концевых мер длины или ступенчатой концевой мерой . При этом должно быть измерено не менее 7-и отрезков различной длины с максимальнным размером не менее 0,8 верхнего предела измерений контролируемой оси. Каждый отрезок измеряют не менее 3-х раз. На ощупывающую головку устанавливают самый жесткий и короткий щуп из имеющихся в комплекте.

4.3.6.I. Определение координатных погрешностей с помощью концевых мер длины.

Устройства с образцовыми мерами длины устанавливают в пространстве измерений ТИМ вдоль измеряемой линии, параллельной контролируемой оси. После грубой начальной установки вдоль оси дальнейшее выставление устройства проводят с помощью ощупывающей головки, установленной на пиноли ТИМ, по боковой поверхности самой длинной меры устройства или специальной поверхности устройства7. Выставление остальных мер относительно этой поверхности должно быть проведено при юстировки устройства. При этом для мер с номинальным размером менее 50 мм выставление проводят по измерительной поверхности меры, а для мер свыше 50 мм выставление проводит по боковой поверхности меры. При выставлении устройства может быть проведен контроль выставления всех мер на устройстве и при необходимости проведена дополнительная юстировка устройства.

После окончания выставления ощупывающую головку ТИМ калибруют по установленной предприятием-изготовителем методике и измеряют размеры концевых мер последовательным ощупыванием средних то-

чек измерительных поверхностей мер. При повторении измерений концевые меры следует оставлять в неизменном положении.

4.3.6.2. Определение координатных погрешностей с помощью ступенчатой концевой меры длины.

Ступенчатую концевую меру после установки вдоль линии измерения выставляют вдоль оси измерения по специальной поверхности выставления, имеющейся на ней обычно на боковой поверхности корпуса. Для точного выставления используют ощупывающую головку ТИМ или измерительную головку, установленную на пиноли ТИМ. После калибровки ощупывающей головки измеряют ряд отрезков с помощью измерительных поверхностей меры. При этом необходимо выбирать такие отрезки, которые бы реализовали параметры детали, образованные как наружными, так и внутренними поверхностями, а также в одном направлении. Ощупывание измерительных поверхностей меры проводят в средних точках, соответствующих точкам аттестации меры.

Вычисление погрешностей измерений осуществляют одинаково для обоих типов образцовых мер. Результаты измерения длины отрезка, представляемого образцовой мерой $L_{из}$ и действительное значение этого отрезка $L_{об}$, взятое из свидетельства на меру, сравнивают друг с другом и вычисляют по ним погрешность измерения $\Delta = L_{из} - L_{об}$.

4.3.7. Определение пространственной погрешности измерения расстояния между двумя точками.

Определение пространственной погрешности измерения расстояния между двумя точками проводят вдоль линий, расположенных по диагоналям координатных плоскостей: X - Y, X - Z, Y - Z, и по одной диагонали пространства измерений ТИМ. Измерения проводят на отрезках, воспроизводимых рядом концевых мер длины или ступенчатой концевой мерой. При этом должно быть измерено не менее 7-и отрезков различной длины вдоль каждой линии с максимальным размером не менее 0,8 длины соответствующей диагонали. Каждый отрезок измеряют не менее 3-х раз. На ощупывающую головку устанавливают самый короткий и жесткий щуп, позволяющий измерять соответствующий отрезок.

4.3.7.I. Определение пространственной погрешности измерения с помощью концевых мер длины.

Устройство с образцовыми концевыми мерами длины устанавливают в пространстве измерений ТИМ вдоль измеряемой диагонали. Расположение мер в пространстве измерения ТИМ определяют для мер длиной до 50 мм по одной из измерительных поверхностей меры, а для мер большей длины - по двум боковым поверхностям. Ощупывают 3 точки на измерительной поверхности меры или соответственно по 3 точки на каждой из боковых поверхностей. Точки следует располагать как можно дальше друг от друга. Ориентацию каждой меры определяют отдельно. Затем проводят ощупывание средних точек каждой измерительной поверхности меры и обрабатывают полученные результаты измерений с помощью ЭВМ ТИМ.

4.3.7.2. Определение пространственной погрешности измерения с помощью ступенчатой концевой меры длины.

Ступенчатую концевую меру длины устанавливают в пространстве измерений ТИМ вдоль измеряемой диагонали. Затем проводят определение ориентации меры по специальной поверхности выставление меры ощупыванием 3-х точек на ней, разносенных как можно дальше друг от друга. Затем проводят ощупывание средних точек на измерительных поверхностях меры.

Погрешность измерений вычисляют (определяют) также, как указано в п.4.3.6.

4.3.8. Определение случайной погрешности измерения ТИМ.

Случайную погрешность определяют по концевой мере длины или по ступенчатой концевой мере, выставленной вдоль координатной оси ТИМ. Проводят последовательно 30 ощупываний измерительной поверхности концевой меры сначала по одному направлению перемещения, а затем по противоположному. При каждом ощупывании снимают показания $\mathcal{O}_i$ по соответствующей координате ТИМ. Такие измерения проводят отдельно для каждой оси ТИМ. Возможно объединение этой операции с определением координатной погрешности. Обработка результатов измерений представлена в разд. 5.

4.3.9. Определение стабильности функционирования ТИМ при измерении геометрических параметров поверхностей.

Для определения стабильности ТИМ применяют или образцовую комплексную параметрическую меру, представляющую все параметры, измеряемые с помощью имеющегося программного обеспечения, или набор отдельных образцовых параметрических мер, также представляющих все параметры, измеряемые на данной ТИМ.

Комплексную меру или набор мер устанавливают на плите рабочего стола ТИМ в произвольном месте пространства измерений. Затем проводят измерения всех параметров мер в определенной последовательности. При наличии у ТИМ ЧПУ измерения выполняют в этом режиме. Измерения проводят сериями по 30 измерений всех параметров в одной серии. Затем измерения повторяют в течение одной рабочей смены. То же самое выполняют вручную при отсутствии ЧПУ. Обработка результатов измерений представлена в разд. 5.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

5.1. Обработка результатов измерений отклонений от прямолинейности

Отклонение от прямолинейности определяют отдельно для каждой линии в двух плоскостях по методу средней линии.

5.1.1. При применении для измерений средств, измеряющих непосредственно линейные отклонения (поверочная линейка с измерительной головкой, лазерный измеритель перемещений с приспособлением для измерения прямолинейности) сначала определяют положение средней линии, а затем отклонения от нее.

Положение средней линии определяют по формуле

$$V_{Pi} = a \cdot L_i + b \qquad (1)$$

$$a = \frac{\sum L_i \cdot \sum V_i - N \cdot \sum (L_i \cdot V_i)}{\sum L_i - N \cdot \sum L_i} \qquad (2)$$

$$b = \frac{\sum L_i \cdot \sum L_i \cdot V_i - \sum V_i \cdot \sum L_i}{\sum L_i - N \cdot \sum L_i} \qquad (3)$$

где $L_i = V_i - V_{нач}$ - расстояние текущей точки от начальной точки вдоль измеряемой оси, мм;

N - число измеренных точек вдоль измеряемой оси.

Отклонение от средней линии в каждой измеренной точке:

$$V_{дейст.} = V_i - V_{ср\,i} \qquad (4)$$

Максимальное отклонение от прямолинейности:

$$V_{max} = |V_{max\ отр.}| + |V_{max\ полож}| \qquad (5)$$

5.I.2. При применении для измерений средств, измеряющих угловые отклонения (автоколлиматор с плоским зеркалом, лазерный измеритель перемещений с приспособлением для измерения малых углов), сначала вычисляют линейные отклонения. При этом вычисляют коэффициент

$$C_i = 0{,}004848 \cdot S_i \qquad (6)$$

где S_i - расстояние между измеренными точками вдоль измеряемой оси, равное $S_i = V_i - V_{i-1}$. Затем вычисляют линейное отклонение от прямолинейности для текущей точки:

$$V_i = (V_{i\,угл} - V_1) \cdot C_i + V_{i-1} \qquad (7)$$

При равномерном расположении измеренных точек вдоль измеряемой линии коэффициент C - постоянная величина.

Далее вычисления производят по формулам (I) - (7).

5.2. Обработка результатов измерений малых поворотов.

Значения малых поворотов вычисляют разными методами для результатов измерений с помощью средств для измерения малых углов (автоколлиматоров, электронных уровней) и с помощью средств для измерения отклонений от прямолинейности (поверочных линеек, лазерных измерителей перемещений с приспособлением для измерения прямолинейности).

5.2.I. Значения малых поворотов при применении средств для измерения малых углов определяют по разности текущего и предыдущего отсчетов.

5.2.2. При применении средств для измерения отклонений от прямолинейности сначала проводят вычисления отклонений от прямолинейности, измеренных при установке измерительной головки или измерительного отражателя непосредственно на пиноль ТИМ или через рычаг I00 или 200 мм, согласно п.5.I.I.. Затем определяют разность между полученными отклонениями от прямолинейности при различных установках измерительной головки, после чего определяют разность между текущим и предыдущим значениями разностей отклонений Q_i и вычисляют значение этих разностей в угловых секундах по формуле:

$$Q_{i\,угл} = (Q_i / S_i) \cdot 206265'' \qquad (8)$$

5.3. Обработка результатов измерений отклонений от перпендикулярности

Сначала отдельно для каждой из осей в контролируемой плоскости вычисляют положение средней линии по формулам (I) - (3) соответственно по отсчетам $V1_i$, $V1_i$ для одной оси и $V2_i$, $V2_i$ для второй оси параметры a_1, b_2 и a_2, b_2. По параметрам a_1 и a_2 определяют соответственно углы $\theta1$ и $\theta2$ по формуле $\theta = arctg\,a$ или для малых углов - $\theta = a_\xi \cdot 206265''$. Отклонение от перпендикулярности определяют по формуле:

$$W = \theta2 - \theta1 + G_{угол} \qquad (9)$$

где $G_{угол}$ - отклонение от 90° образцового угольника или пентапризмы, угловые секунды.

При использовании неаттестованного угольника вычисляют W_I для первого положения угольника и W_2 для второго по формуле $W = \theta2 - \theta1$. Затем отклонение от перпендикулярности осей вычисляют по формуле

$$W = \frac{W_I - W_2}{2} \qquad (10)$$

5.4. Обработка результатов определения погрешности ощупывающей головки

При обработке результатов измерений при определении погрешности ощупывающей головки сначала проводят вычисление средней окружности, а затем - максимальные отклонения от средней линии измеренных значений по выступам и впадинам, сумма которых определит максимальную погрешность ощупывающей головки. При использовании ЭВМ, входящей в комплект ТИМ, вычисления проводят по стандартным программам вычисления диаметра окружности. При ручной обработке возможно применение графического метода, при котором по измеренным координатам строят график, на который затем накладывают круговой шаблон, например, используемых в кругломерах, и графически определяют погрешность ощупывающей головке по сумме максимальной впадины и выступа.

5.5. Обработка результатов измерений при определении случайной погрешности измерения ТИМ.

Для каждого из направлений измерений вычисляют по 30 результатам измерений средней квадратической погрешности измерений по формуле:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (a_i - a_{cp})^2}{29}} \qquad (11)$$

где a_{cp} - среднее арифметическое из 30 результатов измерений.

За оценку максимальной случайной погрешности принимают максимальное значение средней квадратичной погрешности по всем шести направлениям измерения.

5.6. Обработка результатов измерений при определении стабильности функционирования ТИМ.

При определении стабильности функционирования вычисляют для каждого параметра Р среднее значение параметра $P_{ср}$ и среднюю квадратическую погрешность определения параметра в каждой серии σ_P:

$$P_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{N} P_i}{N}, \qquad (12)$$

$$\sigma_p \approx \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (P_i - P_{ср})^2}{(N-1)}} \qquad (13)$$

где P_i - текущее значение параметра,
N - число измерений в серии.

6. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АТТЕСТАЦИИ

6.1. При положительных результатах аттестации выдают свидетельство установленной формы с указанием фактических результатов определения погрешностей ТИМ.

6.2. При отрицательных результатах аттестации выдают извещение о непригодности с указанием причин непригодности.

Начальник отдела 32 Лукьянов В.С.

gost.e-ecolog.ru