

Федеральное автономное учреждение
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени профессора Н.Е. Жуковского»
ФАУ «ЦАГИ»

СОГЛАСОВАНО

Начальник отделения измерительной
техники и метрологии,
главный метролог ФАУ «ЦАГИ»



Государственная система обеспечения единства измерений

Набор калибровочных мер массы и длины в области измерений координат центра масс
НКМ-5т

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП 4.28.036-2024

Заместитель начальника НИО-7

А.И. Самойленко

Инженер 1 категории сектора № 3 НИО-7

А.А. Колпаков

Инженер 1 категории сектора № 3 НИО-7

В.Ю. Шевченко

Разработчик:

Начальник сектора № 3 НИО-7

С.В. Дыцков

г. Жуковский
2025 г.

1 Область применения

Настоящий документ распространяется на набор калибровочных мер массы и длины в области измерений координат центра масс НКМ-5т (заводской номер 03/07) (далее – набор) и устанавливает методику его первичной и периодической поверки.

2 Нормативные ссылки

В настоящей методике поверки использованы ссылки на следующие нормативные документы:

Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ	Об обеспечении единства измерений
ГОСТ Р 58516-2019	Кисти и щетки малярные. Технические условия
ГОСТ 1012-2013	Бензины авиационные. Технические условия
ГСТ 18300-87	Спирт этиловый ректифицированный технический. Технические условия
ГОСТ ОИМЛ R 111-1-2009	Государственная система обеспечения единства измерений. Гири классов Е ₁ , Е ₂ , F ₁ , F ₂ , M ₁ , M ₁₋₂ , M ₂ , M ₂₋₃ и M ₃ . Часть 1. Метрологические и технические требования
ГОСТ 1050-2013	Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия
ГОСТ 2789-73	Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики
ГОСТ 25346-2013	Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки
ГОСТ 16093-2004	Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором
МИ 1747-87	Государственная система обеспечения единства измерений. Меры массы образцовые и общего назначения

3 Термины и определения

В настоящей методике поверки используются термины с соответствующими определениями, приведенные в Федеральном законе от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

4 Общие положения

4.1 Настоящая методика поверки применяется для поверки набора, используемого в качестве рабочего эталона в соответствии с локальной поверочной схемой для средств измерений массы, координат центра масс и момента инерции, утвержденной ФГУП «ЦАГИ» (в ред. от 01.08.2022) (далее – локальная поверочная схема ФГУП «ЦАГИ»), и передаче ему единицы массы – килограмма (кг) и единицы длины в области измерений координат центра масс – метра (м). Структурная схема локальной поверочной схемы приведена в приложении А.

4.2 Прослеживаемость набора в соответствии с локальной поверочной схемой ФГУП «ЦАГИ», обеспечивается к государственному первичному эталону единицы массы ГЭТ 3-2020 методом сличения с помощью компаратора и государственному первичному эталону ГЭТ 192-2019 методом косвенных измерений. Пределы допускаемой погрешности метода косвенных измерений, обусловленной показателями точности используемых средств поверки, не превышают 1/3 пределов допускаемого отклонения от номинальных значений величин, воспроизведенных набором.

4.3 Допускается проводить периодическую поверку в сокращенном объеме для части воспроизводимых величин и (или) элементов набора. В этом случае поверка проводится в соответствии со всеми положениями данной методики, за исключением тех, которые имеют отношение к определению величин, не подвергающихся поверке, при этом в записях о результатах поверки указываются наименования величин и (или) перечень элементов, для которых осуществлена поверка.

4.4 Поверка в сокращенном объеме проводится на основании письменного заявления владельца средства измерений или лица, представившего средство измерений на поверку, оформленного в произвольной форме.

4.5 В результате поверки должны быть подтверждены метрологические требования, приведенные в таблицах 1, 2.

Таблица 1 – Метрологические характеристики воспроизведения массы

Воспроизводимая величина	Диапазон воспроизведения, кг	Пределы допускаемой погрешности воспроизведения массы, г	Расширенная неопределенность воспроизведения массы, г
Масса	от 50 до 5000	$\pm 5 \cdot 10^{-2} \cdot m$	$5/3 \cdot 10^{-2} \cdot m$

где m – воспроизводимая масса, кг

Таблица 2 – Метрологические характеристики воспроизведения координат центра масс

Воспроизводимая величина	Диапазон воспроизведения, мм	Пределы допускаемого отклонения от номинального значения воспроизводимых координат центра масс, мм	Пределы допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения координат центра масс, мм
Координата центра масс эталонных мер набора	вертикальная X	от 20,0 до 836,0	$\pm 0,15$
	горизонтальная Y	от -3,1 до 1,5	$\pm 0,10$
	горизонтальная Z	от -1,8 до 2,3	$\pm 0,10$
Координата центра масс характерных конфигураций набора	вертикальная X	от 33,3 до 3583,4	$\pm 0,15$
	горизонтальная Y	от -300,0 до 300,0	$\pm 0,10$
	горизонтальная Z	от -300,0 до 300,0	$\pm 0,10$

5 Перечень операций поверки

При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 3.

Таблица 3 – Операции при поверке

Наименование операции	Проведение операции при		Номер раздела (пункта) методики поверки, в соответствии с которым выполняется операция поверки
	первой проверке	периодической проверке	
Внешний осмотр	Да	Да	10
Определение шероховатости	Да	Нет	11
Подготовка к поверке и опробование	Да	Да	12
Определение метрологических характеристик			13
Определение значений, погрешности и расширенной неопределенности воспроизведения массы, воспроизводимой элементами и характерными конфигурациями набора	Да	Да	13.1
Определение значений и пределов абсолютной погрешности воспроизведения координат центра масс эталонных мер и характерных конфигураций	Да	Да	13.2
Подтверждение соответствия набора метрологическим требованиям	Да	Да	14
Оформление результатов поверки	Да	Да	15

5.2 При получении отрицательного результата любой из операций по таблице 2 поверку набора рекомендуется прекратить. Последующие операции поверки проводят, если отрицательный результат предыдущей операции не влияет на достоверность поверки последующего параметра.

6 Требования к условиям поверки

6.1 При выполнении измерений массы в процессе поверки соблюдают следующие условия:

Температура воздуха, °С	20 ± 2
Максимальное изменение температуры за 12 часов, °С.....	± 1
Относительная влажность воздуха, %, не более.....	80
Напряжение сети переменного тока, В	220^{+22}_{-33}
Частота сети, Гц	50 ± 1

6.2 При выполнении геометрических измерений соблюдают следующие условия:

Температура воздуха, °С	20 ± 3
Максимальное изменение температуры в процессе измерений, °С, не более	± 1
Относительная влажность воздуха, %, не более	80
Допускаемая абсолютная погрешность измерений температуры, °С.....	$\pm 0,3$
Напряжение сети переменного тока, В	220 ± 15
Частота сети, Гц	50 ± 1

6.3 Помещение, где проводятся измерения массы (весовая комната), должно быть оборудовано виброзащитными фундаментами для установки компаратора массы или устойчивыми прочными столами, не подверженными вибрациям.

6.4 В весовой комнате должно быть исключено одностороннее нагревание мер набора, гирь и компараторов массы. Воздух в помещении не должен содержать вредных примесей и газов, вызывающих коррозию мер набора, гирь и деталей компараторов.

7 Требования к специалистам, осуществляющим поверку

7.1 В качестве персонала, выполняющего непосредственные измерения при поверке, допускаются лица с высшим образованием или среднетехническим и дополнительным образованием по профилю, соответствующему выполняемым измерениям.

7.2 В качестве персонала, выполняющего обработку результатов измерений и вычисление параметров при поверке, допускаются лица с высшим образованием и дополнительным образованием по профилю, соответствующему выполняемым измерениям.

7.3 Персонал, выполняющий поверку, должен иметь опыт поверки или калибровки аналогичных наборов, а также опыт практической работы с эталонами и средствами измерений, указанными в таблице 3, не менее одного года.

8 Метрологические и технические требования к средствам поверки

8.1 При выполнении поверки по данной методике применяют средства поверки, приведенные в таблице 4 и соответствующие требованиям локальной поверочной схемы ФГУП «ЦАГИ», структура которой приведена в приложении А. *Допускается применять средства поверки с метрологическими и техническими характеристиками, отличные от рекомендуемых, в том случае, если они обеспечивают требуемую точность передачи единиц величин поверяемому набору.*

8.2 Эталоны единиц величин, используемые при поверке, должны быть утверждены приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в соответствии с пунктом 6 «Положение об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2010 г. N 734» и аттестованы.

8.3 Применяемые при поверке средства измерений должны быть утвержденного типа и поверены.

Таблица 4 – Средства поверки

Номер пункта методики поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
10	Бензин по ГОСТ 1012-2013 или спирт по ГСТ 18300-87	-
	Кисть или щетка ГОСТ Р 58516-2019	-
	Салфетка полотняная или ветошь	-
	Средства измерений температуры от 15 до 25 °C с абсолютной погрешностью не более 0,3 °C и относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 до 90 %, с погрешностью не более 3 %	Термогигрометр ИВА-6 Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 46434-11 Диапазон измерений температуры: от 0 до 60 °C Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений температуры: ± 0,3 °C Диапазон измерения влажности: от 0 до 98 %

Номер пункта методики поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
		Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений отн. влажности: $\pm 2\%$ (в диапазоне от 0 до 90 %), $\pm 3\%$ (в диапазоне от 90 до 98 %)
	Средство измерений времени, диапазон измерений не менее от 0 до 24 ч, погрешность измерений не более 10 с	Секундомер электронный «Интеграл С-01» Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 44154-20 Диапазон измерений - не ограничен; Погрешность $\pm 2,5$ с/сут.
12	Прибор для измерений параметров шероховатости, верхний предел измерений параметра шероховатости Ra не менее 1,6, предел допускаемой погрешности $\pm 5\%$, не более	Прибор для измерений параметров шероховатости серии 178, модификация Surftest SJ-210, Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 54174-13 Измеряемый параметр шероховатости – Ra ; Диапазон измерений от -200 до 160 мкм; Предел допускаемой основной систематической погрешности $\pm 5\%$.
	Средства измерений температуры от 15 до 25 °C с абсолютной погрешностью не более 0,3 °C и относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 до 90 %, с погрешностью не более 3 %	Термогигрометр ИВА-6 Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 46434-11 Диапазон измерений температуры: от 0 до 60 °C Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений температуры: $\pm 0,3$ °C Диапазон измерения влажности: от 0 до 98 % Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений отн. влажности: $\pm 2\%$ (в диапазоне от 0 до 90 %), $\pm 3\%$ (в диапазоне от 90 до 98 %)
13.1	Гири, соответствующие классу точности F_2 по ГОСТ OIML R 111-1-2009 Масса от $1 \cdot 10^{-3}$ до 20 кг	Гири от 1 мг до 1 кг класса точности F_2 Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 52768-13: - номинальные значения массы от 1 мг до 1 кг; - допускаемые отклонения массы от $\pm 0,006$ до $\pm 1,6$ мг. Гири общего назначения 3-ого класса типа КГ-3, Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 16034-97 - Номинальные значения массы от 1 до 10 кг; - Допускаемые отклонения массы от ± 15 до ± 150 мг Гири 20 кг, Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 52768-13 - Номинальное значение массы 20 кг; - Допускаемые отклонения массы ± 100 мг
	Компараторы массы Диапазон сличаемых масс от 10 г до 550 кг СКО $\leq 1/7,5$ пределов допускаемых отклонений для гирь класса M_1 по ГОСТ OIML R 111-1-2009	Компаратор массы МС-1000, Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 50151-12 - диапазон номинальных значений сравниваемых масс от 0,1 до 1000 г; - СКО показаний весов 0,0005 г (до 1 кг); - СКО показаний весов 0,0004 г (до 500 г). Компаратор массы МС-10К, Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 50151-12 - диапазон номинальных значений сравниваемых масс от 50 до 10000 г;

Номер пункта методики поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
		<ul style="list-style-type: none"> - СКО показаний весов 0,005 г (до 10 кг); - СКО показаний весов 0,004 г (до 5 кг); - СКО показаний весов 0,015 г (до 2 кг).
		<p>Весы электронные ХР-К, модификация ХР155KS (в режиме компаратора массы), Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 38187-14</p> <ul style="list-style-type: none"> - диапазон номинальных значений сравниваемых масс от 0,05 до 150,00 кг; - СКО показаний весов 0,08 г (до 100 кг); - СКО показаний весов 0,15 г (св. 100 кг).
		<p>Весы электронные ХР-К, модификация ХР604КМ (в режиме компаратора массы), Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 38187-14</p> <ul style="list-style-type: none"> - диапазон номинальных значений сравниваемых масс от 0,2 до 600,0 кг; - СКО показаний весов 0,2 г (до 200 кг); - СКО показаний весов 0,3 г (св. 200 кг).
	Средства измерений температуры от 15 до 25 °C с абсолютной погрешностью не более 0,3 °C и относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 до 90 %, с погрешностью не более 3 %	<p>Термогигрометр ИВА-6 Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 46434-11 Диапазон измерений температуры: от 0 до 60 °C Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений температуры: $\pm 0,3$ °C Диапазон измерения влажности: от 0 до 98 % Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений отн. влажности: ± 2 % (в диапазоне от 0 до 90 %), ± 3 % (в диапазоне от 90 до 98 %)</p>
13.2	<p>Рабочий эталон согласно локальной поверочной схеме, диапазон измерений: от 0 до 2000 мм, Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений: ± 30 мкм, не более</p> <p>Гири массой от 1 мг до 1 кг, соответствующие классу точности F₂ по ГОСТ OIML R 111-1-2009</p> <p>Весы лабораторные электронные Диапазон измерений: от 5 до 12000 г Класс точности: высокий (II)</p> <p>Установка с призматическими опорами Диапазон регулировки расстояния между опорами: от 50 до 500 мм;</p>	<p>Машина координатная измерительная портативная CimCore 5100 INFINITI 2.0 Plus, исп. 5124 Plus, Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 42764-09</p> <ul style="list-style-type: none"> - Диапазон измерений длины от 0 до 2,4 м; - Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений длины $\pm 0,025$ мм. <p>Гири от 1 мг до 1 кг класса точности F₂ Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 52768-13:</p> <ul style="list-style-type: none"> - номинальные значения массы от 1 мг до 1 кг; - допускаемые отклонения массы от $\pm 0,006$ до $\pm 1,6$ мг. <p>Весы лабораторные электронные AJ-СЕ/AJН-СЕ, мод. AJ-12КСЕ, Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 25752-07</p> <ul style="list-style-type: none"> - Диапазон измерений от 5 до 12000 г; - Класс точности: высокий (II) <p>Установка с призматическими опорами УПО-1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Диапазон регулировки расстояния между опорами от 50 до 500 мм; - Высота от пола до опор 400 мм, не менее; - Минимальная масса проверяемых изделий 9 кг;

Номер пункта методики поверки	Метрологические и технические требования к средствам поверки, необходимые для проведения поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
	Высота от пола до опор 400 мм, не менее; Максимальная масса проверяемых изделий 600 кг.	- Максимальная масса проверяемых изделий 600 кг.
	Средства измерений температуры от 15 до 25 °C с абсолютной погрешностью не более 0,3 °C и относительной влажности воздуха в диапазоне от 20 до 90 %, с погрешностью не более 3 %	Термогигрометр ИВА-6 Регистрационный номер в ФИФ ОЕИ: 46434-11 Диапазон измерений температуры: от 0 до 60 °C Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений температуры: ± 0,3 °C Диапазон измерения влажности: от 0 до 98 % Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности измерений относительной влажности: ± 2 % (в диапазоне от 0 до 90 %), ± 3 % (в диапазоне от 90 до 98 %)

9 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

9.1 При проведении поверки в помещении, где располагаются средства измерений, эталоны и другие технические средства, персоналу, надлежит соблюдать требования безопасности, указанные в следующих документах:

- эксплуатационные документы набора и используемых средств поверки;
- инструкции по охране труда при эксплуатации ПЭВМ и другого оборудования вычислительной техники;
- инструкции по охране труда для слесарей-сборщиков изделий;
- инструкции для стропальщиков по безопасному производству работ грузоподъемными машинами;
- инструкции при перемещении грузов вручную.

10 Подготовка к поверке и опробование

10.1 При подготовке к поверке проводят следующие работы:

10.1.1 Поверхности эталонных мер и крепежных элементов очищают от пыли и грязи кистью или щеткой, не допуская повреждения поверхности, и при необходимости протирают полотняной салфеткой или ветошью, смоченной в бензине, чистом спирте или других растворителях. После чистки эталонные меры и крепежные элементы должны быть просушенены в течение 1 ч.

10.1.2 Эталонные меры и крепежные элементы выдерживают в помещении, где будут производиться измерения, не менее 24 ч.

10.1.3 Перед началом измерений массы элементы набора выдерживают рядом с компаратором массы не менее 2 ч.

10.2 При опробовании проверяют собираемость набора.

10.3 Условия поверки контролируются указанными в разделе 6 средствами измерений температуры, относительной влажности и атмосферного давления.

10.4 Условия поверки не должны превышать указанных в разделе 6 значений.

11 Внешний осмотр

11.1 При внешнем осмотре устанавливают соответствие следующим требованиям:

- внешний вид набора должен соответствовать описанию и изображению, приведенному в описании типа;

- комплектность и состав набора должны соответствовать указанной в его паспорте;

- форма и маркировка эталонных мер и крепежных элементов должны соответствовать паспорту набора.

11.2 Результаты поверки считают положительными, если комплектность, состав набора, форма и маркировка элементов набора соответствуют их эксплуатационным документам и описанию типа. Поверку прекращают при несовпадении комплектности, состава набора, формы и маркировки элементов набора эксплуатационной документации и описанию типа.

12 Определение шероховатости

12.1 Оценить вмятины, впадины, царапины на поверхности элементов набора.

12.2 Проверить качество поверхности элементов набора: она должна быть гладкой и непористой.

12.3 Измерить шероховатость поверхностей эталонных мер прибором для измерений параметров шероховатости.

12.4 Визуально оценить число царапин на поверхности каждой эталонной меры и их глубину.

12.5 Результаты поверки считают положительными, если у всех элементов набора отсутствуют глубокие царапины, поверхность гладкая и непористая, шероховатость поверхности не хуже Ra 1,6 по ГОСТ 2789-73. Поверку прекращают при наличии грубых повреждений поверхности, визуально заметных сколов, большого числа царапин (более 10 % поверхности) или шероховатости поверхности более Ra 1,6.

13 Определение метрологических характеристик

Определение массы и координат центра масс выполняют как для элементов набора в соответствии с указанной в описании типа набора комплектностью, так и для характерных конфигураций (конфигураций, воспроизводящих крайние точки диапазона воспроизведения) набора, которые являются частным случаем расчета произвольных конфигураций. В таблице 5 приведено описание характерных конфигураций набора. Номинальные значения воспроизводимых характерными конфигурациями массы и координат центра масс приведены в паспорте набора.

Таблица 5 – Описание характерных конфигураций набора

Обозначение	Состав	Воспроизводимые характерной конфигурацией крайние точки диапазона воспроизведения			
		Масса	Координаты центра масс		
			Вертикальная X	Горизонтальная Y	Горизонтальная Z
Mmin/ Xmin/ Ymin/ Zmin	Гиря 50 (ПТХН.1709.200.001) зав. № 4 – 1 шт.; Болт установки гири 50 (ПТХН.1709.200.009) зав. № 56 – 1 шт.; Гайка (ПТХН.1709.200.008) зав. № 28 – 1 шт. Эталонная мера «Гиря 50» устанавливается с помощью крепежных элементов «Болт установки гири 50» и «Гайка» в отверстие диаметром 12 мм с координатами (Y=-300 мм; Z=-300 мм).	Минимальная	Минимальная	Минимальная	Минимальная

Mmin/ Xmin/ Ymax/ Zmax	Гиря 50 (ПТХН.1709.200.001) зав. № 4 – 1 шт.; Болт установки гири 50 (ПТХН.1709.200.009) зав. № 56 – 1 шт.; Гайка (ПТХН.1709.200.008) зав. № 28 – 1 шт. Эталонная мера «Гиря 50» устанавливается с помощью крепежных элементов «Болт установки гири 50» и «Гайка» в отверстие диаметром 12 мм с координатами (Y=300 мм; Z=300 мм)	Миним альная	Миним альная	Максима льная	Максима льная
Mmax	Сегмент (ПТХН.1709.200.100) – 3 шт.; Гиря 50 (ПТХН.1709.200.001) – 4 шт. Гиря 140 (ПТХН.1709.200.002) – 8 шт.; Стойка (1688.100.00) -1 шт.; Гиря 100 (1688.000.01) – 1 шт.; Гиря 115 (1688.000.02) – 7 шт.; Гиря 20 M1 – 50 шт.; Сопутствующие крепежные элементы. Элементы набора располагаются без привязки к координатам.	Максим альная	-	-	-
Xmax	Сегмент (ПТХН.1709.200.100) – 3 шт.; Стойка (1688.100.00) -1 шт.; Гиря 100 (1688.000.01) – 1 шт.; Гиря 115 (1688.000.02) – 7 шт.; Сопутствующие крепежные элементы. Схематичное изображение с указанием элементов приведено на рисунке 1. Нижний элемент характерной конфигурации (эталонная мера типа «Сегмент» зав. № 001) располагается в четырех отверстиях (диаметром 24 мм) на диаметре 450 мм, центр которого имеет координаты (Y=0 мм; Z=0 мм).	-	Максим альная	-	-

13.1 Определение значений, погрешности и расширенной неопределенности воспроизведения массы, воспроизводимой элементами и характерными конфигурациями набора

13.1.1 Измерениям подлежит масса каждого элемента набора. Используется метод АВВА сличений с помощью гирь и компараторов массы согласно ГОСТ ОИМЛ R 111-1-2009 с числом циклов измерений, равным одному. При измерениях необходимо обеспечивать максимально возможное центрирование сличаемых элементов набора и эталонных гирь. Номинальные значения массы элементов набора указаны в 1723.000.00 ПС «Набор калибровочный мер массы и длины в области измерений координат центра масс НКМ-5т. Паспорт» (далее – паспорт набора).

13.1.2 Температура окружающей среды должна контролироваться перед началом и в процессе проведения измерений, полученные значения должны быть зарегистрированы в протоколе измерений.

13.1.3 Определение значений условной массы элементов набора m_{ct} выполняется по формуле:

$$m_{ct} = m_{cr} + \overline{\Delta m_c}, \quad (1)$$

где $\overline{\Delta m_c} = \frac{(I_{t1}-I_{r1})+(I_{t2}-I_{r2})}{2}$ – среднее значение результата измерений разности масс сличаемых гирь;

I_{r1} и I_{r2} – показания компаратора масс с установленными на нем эталонными гирями, индексы 1 и 2 обозначают первую (АВВА) и вторую (АВВА) установку эталонных гирь на платформу компаратора;

I_{t1} и I_{t2} – показания компаратора масс с установленным на нем элементом набора в процессе практической реализации метода измерений АВВА, индексы 1 и 2 обозначают первую (АВВА) и вторую (АВВА) установку элемента набора на платформу компаратора;

$m_{cr} = \sum_{i=1}^n m_{cri}$ – условная масса каждой из n эталонных гирь условной массой m_{cri} , участвующих в измерениях.

13.1.4 Погрешность измерения массы элементов набора $\Delta_{m_{ct}}$ рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{m_{ct}} = m_{ct} - m_0, \quad (2)$$

где m_0 – номинальное значение массы элемента набора, указанное в паспорте набора.

13.1.5 Стандартная неопределенность процесса взвешивания $u_w(\Delta m_c)$ (оценка по типу А) вычисляется по формуле:

$$u_w(\Delta m_c) = \frac{s(\Delta m_c)}{\sqrt{2}}, \quad (3)$$

где $s(\Delta m_c) = \frac{|(I_{t1}-I_{r1})-\bar{\Delta m_c}| - |(I_{t2}-I_{r2})-\bar{\Delta m_c}|}{2\sqrt{3}}$ – среднее квадратическое отклонение измерений разности масс.

13.1.6 Стандартная неопределенность массы эталонных гирь $u(m_{cr})$ (оценка по типу В) рассчитывается по формуле:

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\left(\frac{U(m_{cr})}{k}\right)^2 + u_{instr}^2(m_{cr})}, \quad (4)$$

где $U(m_{cr}) = \sum_{i=1}^n U(m_{cri})$ – максимальное значение расширенной неопределенности используемых при практической реализации метода измерений АВВА эталонных гирь с расширенной неопределенностью $U(m_{cri})$;

$u_{instr}(m_{cr}) = \sum_{i=1}^n u_{instr}(m_{cri})$ – максимальное значение нестабильности используемых при практической реализации метода измерений АВВА эталонных гирь с нестабильностью $u_{instr}(m_{cri})$.

13.1.7 Стандартная неопределенность компаратора u_{ba} (оценка по типу В) рассчитывается по формуле:

$$u_{ba} = \frac{d}{\sqrt{6}}, \quad (5)$$

где d – разрешение компаратора.

13.1.8 Суммарная стандартная неопределенность значений условной массы элементов набора находится по формуле:

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\Delta m_c) + u^2(m_{cr}) + u_{ba}^2}, \quad (6)$$

13.1.9 Расширенная неопределенность $U(m_{ct})$ значений массы элементов набора при доверительной вероятности 0,95 определяется по формуле:

$$U(m_{ct}) = k \cdot u_c(m_{ct}), \quad (7)$$

где $k = 2$ – коэффициент расширения при доверительной вероятности 0,95.

13.1.10 Масса M_K характерных конфигураций набора вычисляется по формуле:

$$M_K = \sum_{i=1}^p M_{Mi} + \sum_{j=1}^k M_{kpj}, \quad (8)$$

где M_{Mi} – масса i-й эталонной меры из состава характерной конфигурации;

M_{kpj} – масса j-го крепежного элемента из состава характерной конфигурации;

p – общее число эталонных мер в составе характерной конфигурации;

k – общее число крепежных элементов в составе характерной конфигурации.

13.1.11 Погрешность воспроизведения массы Δ_{M_K} характерными конфигурациями набора вычисляется по формуле:

$$\Delta_{M_K} = \sum_{i=1}^p \Delta_{M_{Mi}} + \sum_{j=1}^k \Delta_{M_{kpj}}, \quad (9)$$

где $\Delta_{M_{Mi}}$ – погрешность массы i-й эталонной меры из состава характерной конфигурации;

$\Delta_{M_{kpj}}$ – погрешность массы j-го крепежного элемента из состава характерной конфигурации.

13.1.12 Расширенная неопределенность воспроизведения массы $U(M_K)$ характерных конфигураций набора вычисляется по формуле:

$$U(M_K) = \sum_{i=1}^p U(M_{Mi}) + \sum_{j=1}^k U(M_{kpj}), \quad (10)$$

где $U(M_{Mi})$ – расширенная неопределенность определения массы i-й эталонной меры из состава характерной конфигурации;

$U(M_{kpj})$ – расширенная неопределенность определения массы j-го крепежного элемента из состава характерной конфигурации.

13.1.13 Результаты поверки считаются положительным, если погрешность измерения массы элементов набора $\Delta_{m_{ct}}$ и характерных конфигураций Δ_{M_K} не превышает $\pm 5 \cdot 10^{-2} \cdot m$, расширенная неопределенность массы элементов набора $U(m_{ct})$ и характерных конфигураций $U(M_K)$ не превышает $\pm 5/3 \cdot 10^{-2} \cdot m$.

13.2 Определение значений и пределов абсолютной погрешности воспроизведения координат центра масс эталонных мер и характерных конфигураций

Измерение геометрических размеров эталонных мер

13.2.1 Измерения геометрических размеров эталонных мер (кроме эталонных мер типа «Гиря КГО-2» и «Гиря ГО-20», предназначенных только для воспроизведения массы) проводят методом прямых измерений с помощью машины координатной измерительной портативной.

13.2.2 Измерению подлежат геометрические размеры, указанные для измерений на эскизах эталонных мер. Эскизы эталонных мер приведены в паспорте набора.

13.2.3 Температура окружающей среды должна контролироваться каждый час, измеренные значения должны быть зарегистрированы в протоколе.

13.2.4 Количество сечений для измерений диаметров: продольных – не менее 4, поперечных – не менее 3. Количество сечений для измерений высот: – не менее 10. Сечения должны быть равномерно расположены по измеряемой поверхности.

13.2.5 Результаты измерений геометрических размеров эталонных мер должны быть зарегистрированы в миллиметрах с точностью до трех знаков после запятой в протоколах измерений.

Измерение отклонений формы и расположения поверхностей эталонных мер

13.2.6 Измерения отклонений формы и расположения поверхностей эталонных мер (кроме эталонных мер типа «Гиря КГО-2» и «Гиря ГО-20», предназначенных только для

воспроизведения массы) проводят с помощью машины координатной измерительной портативной.

13.2.7 Измерению подлежат:

1) Отклонение от плоскости EFE плоских верхней и нижней поверхностей эталонных мер типа «Сегмент» и «Гиря» по всему сечению.

2) Отклонение профиля продольного сечения EFP наружных и внутренних боковых цилиндрических поверхностей эталонных мер типа «Сегмент» на всей длине с установлением формы (конусообразность, бочкообразность, седлообразность), кроме поверхностей под посадку крепежных элементов.

3) Отклонение от прямолинейности EFL вертикальной оси эталонных мер типа «Сегмент» и «Гиря» на всей длине.

4) Отклонение от параллельности EFA плоских верхней и нижней поверхностей эталонных мер типа «Сегмент» и «Гиря» между собой в пределах всего сечения.

5) Отклонение от соосности EPC осей цилиндрических поверхностей всех эталонных мер и оси центров крепежных отверстий эталонной меры типа «Сегмент» и «Гиря». База – ось (ось центров) нижних крепежных отверстий.

6) Отклонения от перпендикулярности EPR оси средней цилиндрической поверхности эталонной меры типа «Сегмент» по отношению к ее нижней плоской поверхности на всей длине цилиндрической поверхности.

13.2.8 Количество измерительных точек для определения отклонения от плоскости – не менее 90, для определения остальных параметров – не менее 30.

13.2.9 Результаты измерений отклонений формы и расположения эталонных мер должны быть зарегистрированы в миллиметрах с точностью до трех знаков после запятой в протоколах измерений.

Измерения геометрических размеров крепежных элементов

13.2.10 Измерения размеров крепежных элементов выполняется с помощью машины координатной измерительной портативной по эскизам, приведенным в паспорте набора.

13.2.11 Результаты измерений геометрических размеров крепежных элементов должны быть зарегистрированы в миллиметрах с точностью до двух знаков после запятой в протоколах измерений.

Определение координат центра масс статической балансировкой

13.2.12 Координаты центра масс статической балансировкой определяют только для эталонных мер типа «Сегмент» с целью учета влияния неоднородности материала на метрологические характеристики, определяемые при поверке.

13.2.13 Экспериментальным методом определяют координаты центра масс с помощью установки с призматическими опорами, машины координатной измерительной портативной, гирь массой от 1 мг до 1 кг и весов лабораторных электронных.

13.2.14 Температура окружающей среды должна контролироваться каждый час, измеренные значения должны быть зарегистрированы в протоколе.

13.2.15 Установку с призматическими опорами УПО-1 устанавливают на ровную горизонтальную поверхность.

Вертикальная координата центра масс

13.2.16 Эталонную меру балансировочными штифтами устанавливают на призматические опоры (рисунок 1).

13.2.17 В случае, если конструкция находится в равновесии (отсутствует опрокидывание), в протоколе поверки регистрируют $m_{rp} = 0$, что означает отсутствие опрокидывающего момента, который появляется при смещении положения центра масс

относительно плоскости симметрии балансировочных штифтов (смещении относительно конструкторского положения центра масс $L_{б.к.ан.}$).

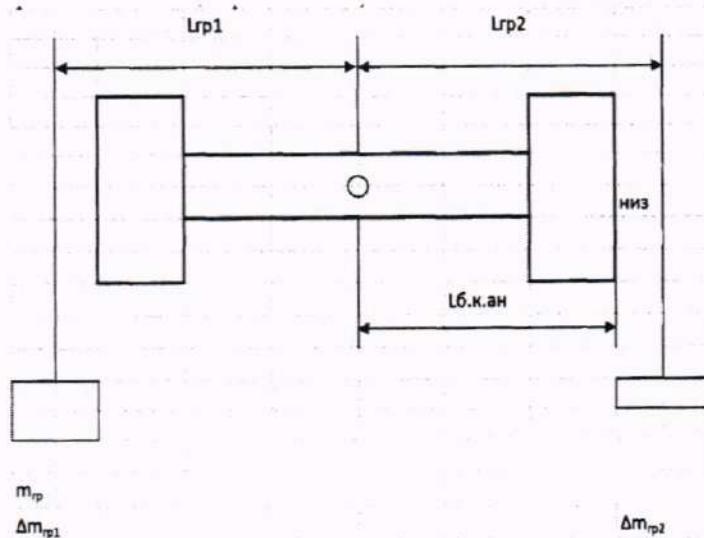


Рисунок 1 - Схема проведения статической балансировки

13.2.18 В случае, если конструкция не уравновешена (присутствует дисбаланс, вызывающий опрокидывание), для компенсации дисбаланса на один из краев эталонной меры на расстоянии L_{rp} от штифтов помещают уравновешивающий груз (гири массой от 100 г до 5 кг), массу m_{rp} которого определяют подбором. Критерий достаточности массы груза – равновесие конструкции (отсутствие опрокидывания), обусловленное уравновешиванием моментов от действия силы тяжести уравновешивающего груза и эталонной меры. В протоколе поверки регистрируют подобранную массу уравновешивающего груза и расстояние L_{rp} , на котором она была размещена.

13.2.19 Для определения погрешности, обусловленной трением в опорах установки с призматическими опорами УПО-1, к уравновешивающему грузу на расстоянии L_{rp1} от плоскости симметрии балансировочных штифтов добавляют корректирующие грузы существенно меньшей массы (начиная от $0,1m_{rp}$). Значение корректирующей массы Δm_{rp1} также определяют методом подбора. Критерием достаточности является выход системы из положения равновесия. Затем повторяют процедуру, размещая корректирующие грузы массой Δm_{rp2} на противоположной (относительно центра масс) от места расположения уравновешивающих грузов стороны эталонной меры на расстоянии L_{rp2} . В протоколе поверки регистрируют подобранные массы корректирующего груза для каждой стороны Δm_{rp1} и Δm_{rp2} и расстояния L_{rp1} и L_{rp2} .

13.2.20 Рассчитывают определенную балансировкой координату центра масс при температуре 20°C $x_{ст.б.20}$, мм, по формуле:

$$x_{ст.б.20} = L_{б.к.ан.} \cdot q_{t20L_{б.к.ан.}} - \frac{m_{rp} \cdot L_{rp}}{m_c} \cdot q_{t20ст.б.} \quad (11)$$

где $L_{б.к.ан.} = (h_{всп21} + h_{всп24})/2$ – расстояние, мм, от нижней плоскости эталонной меры до плоскости симметрии балансировочных штифтов;

m_{rp} – масса уравновешивающего груза, кг, при которой система остается в равновесии;

L_{rp} – расстояние, мм, от плоскости симметрии балансировочных штифтов до оси уравновешивающего груза, измеренное машиной координатной измерительной портативной в процессе балансировки;

$m_{б.к.}$ – масса эталонной меры, кг;

$q_{t20L_{б.к.ан.}}$ – температурная поправка на температуру измерения $L_{б.к.ан.}$ (вводится, если температура отклоняется от нормального значения 20°C более, чем на установленное в п. 12.2.22 значение);

$q_{t20ct.b.}$ – температурная поправка для приведения к 20 °C (вводится, если температура при балансировке отклоняется от нормального значения 20 °C более, чем на установленное в п. 12.2.22 значение).

13.2.21 Правила введения температурной поправки при статической балансировке:

$$\begin{aligned} q_{t20L_{б.к.ан.}} &= 1 + \alpha_{\text{эт}} \cdot |\Delta t_{L_{б.к.ан.}}| \text{ при } \Delta t_{L_{б.к.ан.}} \leq -1 \text{ °C}; \\ q_{t20ct.b.} &= 1 + \alpha_{\text{эт}} \cdot |\Delta t_{ct.b.}| \text{ при } \Delta t_{ct.b.} \leq -1 \text{ °C}; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} q_{t20L_{б.к.ан.}} &= 1 - \alpha_{\text{эт}} \cdot |\Delta t_{L_{б.к.ан.}}| \text{ при } \Delta t_{L_{б.к.ан.}} \geq 1 \text{ °C}; \\ q_{t20ct.b.} &= 1 - \alpha_{\text{эт}} \cdot |\Delta t_{ct.b.}| \text{ при } \Delta t_{ct.b.} \geq 1 \text{ °C}; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \Delta t_{L_{б.к.ан.}} &= t_{L_{б.к.ан.}} - 20 \text{ °C} \\ \Delta t_{ct.b.} &= t_{ct.b.} - 20 \text{ °C} \end{aligned} \quad (14)$$

где $\alpha_{\text{эт}} = 11,6 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1}$ – температурный коэффициент линейного расширения материала эталонной меры;

$\Delta t_{L_{б.к.ан.}}$ – отклонение температуры $t_{L_{б.к.ан.}}$ при измерении $L_{б.к.ан.}$ от нормального значения (20 °C);

$\Delta t_{ct.b.}$ – отклонение температуры $t_{ct.b.}$ при проведении статической балансировки от нормального значения (20 °C);

13.2.22 Опытным путем измеряется порог нечувствительности статической балансировки $\Delta_{cm.b.}$. Для этого, в уравновешенном состоянии, на один из подвесов устанавливается дополнительный груз или гиря и методом перебора определяется значение этой добавочной массы Δm_{gp1} . Затем добавочный груз убирается, система возвращается в исходное уравновешенное состояние и выполняется определение Δm_{gp2} добавлением грузов с целью определения порога нечувствительности на второй поддон.

$$\Delta_{cm.b.} = \frac{\Delta m_{gp1} \cdot L_{gp1} + \Delta m_{gp2} \cdot L_{gp2}}{2m_{б.к.}} \quad (15)$$

13.2.23 Результаты измерений регистрируют в протоколе измерений.

Горизонтальные координаты центра масс

13.2.24 Этalonную меру установить на установку с призматическими опорами УПО-1. В выбранной системе координат измеряются расстояния между началом координат и (обозначения в соответствии с приложением А паспорта набора):

осью балансировки, определяемой расположением отверстий с условным обозначением D14H и D14B – $L_{б.к.ан.г.}$;

осью крепежных отверстий нижнего фланца с условным обозначением D10H, D11H, D12H, D13H – $L_{б.к.ан.г.н.ф.}$. Ось определяется с помощью программного обеспечения машины координатно-измерительной портативной как середина окружности, определяемой центрами крепежных отверстий D10H, D11H, D12H, D13H;

осью крепежных отверстий верхнего фланца с условным обозначением D10B, D11B, D12B, D13B – $L_{б.к.ан.г.в.ф.}$. Ось определяется с помощью программного обеспечения машины координатно-измерительной портативной как середина окружности, определяемой центрами крепежных отверстий D10B, D11B, D12B, D13B.

13.2.25 Выполняется статическая балансировка аналогично со статической балансировкой при определении горизонтальных координат центра масс (п. 12.2.18-12.2.20). В отверстия с условным обозначением 14H и 14B вкручиваются штифты, которыми эталонная мера

типа «Сегмент» устанавливает на призматические опоры. В случае, если конструкция находится в равновесии (отсутствует опрокидывание), в протоколе поверки регистрируют $m_{\text{гр}} = 0$, что означает отсутствие опрокидывающего момента, который появляется при смещении положения центра масс относительно плоскости симметрии балансировочных штифтов.

13.2.26 В случае, если конструкция не уравновешена (присутствует дисбаланс, вызывающий опрокидывание), на штифты с условным обозначением d4 и h4, в выемке на их поверхности подвешиваются через призматический нож поддоны, предназначенные для размещения используемых при поиске устойчивого положения гирь. Установкой гирь добиваются уравновешивания, после чего измеряются длина плечей $L_{\text{б.к.ан.г.в.ф.}}$ и $L_{\text{б.к.ан.г.н.ф.}}$ подвешивания поддонов с гирами, а также измеряется масса поддонов с гирами каждого из подвесов $m_{\text{гр.}+Y}$ и $m_{\text{гр.}-Y}$.

13.2.27 Рассчитывают определенные балансировкой горизонтальные координаты центра масс эталонных мер типа «Сегмент» при температуре 20 °C $y_{\text{ст.6.20}}$ и $z_{\text{ст.6.20}}$, мм, по формулам:

$$y_{\text{ст.6.20}} = L_{\text{б.к.ан.г.}} \cdot q_{t20L_{\text{б.к.ан.}}} - \frac{m_{\text{гр.}+Y} \cdot L_{\text{гр.}+Y} - m_{\text{гр.}-Y} \cdot L_{\text{гр.}-Y}}{m_{\text{б.к.}} + m_{\text{гр.}+Y} + m_{\text{гр.}-Y}} \cdot q_{t20\text{ст.б.}} \quad (16)$$

$$z_{\text{ст.6.20}} = L_{\text{б.к.ан.г.}} \cdot q_{t20L_{\text{б.к.ан.}}} - \frac{m_{\text{гр.}+Z} \cdot L_{\text{гр.}+Z} - m_{\text{гр.}-Z} \cdot L_{\text{гр.}-Z}}{m_{\text{б.к.}} + m_{\text{гр.}+Z} + m_{\text{гр.}-Z}} \cdot q_{t20\text{ст.б.}} \quad (17)$$

где $m_{\text{гр.}+Y}$ – масса уравновешивающих элементов со стороны «+Y», кг, при которой система остается в равновесии;

$m_{\text{гр.}-Y}$ – масса уравновешивающих элементов со стороны «-Y», кг, при которой система остается в равновесии;

$m_{\text{гр.}+Z}$ – масса уравновешивающих элементов со стороны «+Z», кг, при которой система остается в равновесии;

$m_{\text{гр.}-Z}$ – масса уравновешивающих элементов со стороны «-Z», кг, при которой система остается в равновесии;

$L_{\text{гр.}+Y}$ – расстояние, мм, от плоскости симметрии балансировочных штифтов до точки подвеса уравновешивающих элементов со стороны «+Y», измеренное в процессе балансировки;

$L_{\text{гр.}-Y}$ – расстояние, мм, от плоскости симметрии балансировочных штифтов до точки подвеса уравновешивающих элементов со стороны «-Y», измеренное в процессе балансировки;

$L_{\text{гр.}+Z}$ – расстояние, мм, от плоскости симметрии балансировочных штифтов до точки подвеса уравновешивающих элементов со стороны «+Z», измеренное в процессе балансировки;

$L_{\text{гр.}-Z}$ – расстояние, мм, от плоскости симметрии балансировочных штифтов до точки подвеса уравновешивающих элементов со стороны «-Z», измеренное в процессе балансировки;

$m_{\text{б.к.}}$ – масса эталонной меры, кг;

$q_{t20L_{\text{б.к.ан.}}}$ и $q_{t20\text{ст.б.}}$ – в соответствии с формулами (12-14).

13.2.28 Все используемые в расчетах значения длины должны быть приведены к температуре 20 °C с использованием формул (12-14).

Определение значений и отклонений от номинальных значений координат центра масс, воспроизводимых эталонными мерами, крепежными элементами, а также характерными конфигурациями набора

13.2.29 Вычисляют аналитическим методом вертикальную координату центра масс эталонных мер x_M и крепежных элементов $x_{\text{кр}}$ набора при температуре измерений по формуле:

$$x_M = x_{kp} = \left(\sum_{j=1}^r k_j d_j^2 h_j k_{aj} (H_j + h_j / 2) \right) / \left(\sum_{j=1}^r k_j d_j^2 h_j \right), \quad (18)$$

где k_j – коэффициент типа j -того элементарного цилиндра ($k_j = 1$ для валов; $k_j = -1$ - для отверстий);

d_j, h_j – диаметр и высота каждого j -того элементарного цилиндра;

k_{aj} – коэффициент расположения j -того элементарного цилиндра по выбранной для расчета оси ($k_{aj} = 1$ для элементов, расположенных в области положительных значений рассматриваемой оси координат; $k_{aj} = -1$ для элементов, расположенных в области отрицательных значений рассматриваемой оси координат – характерно для болтов);

$H_{aj} = Ca1_j \cdot La1_j + Ca2_j \cdot La2_j + Ca3_j \cdot La3_j + \dots$ - расстояние от начала координат до нижней поверхности элементарного цилиндра (выражается через функцию, аргументы и коэффициенты которой определяются в зависимости от используемой конфигурации);

q – количество элементарных цилиндров, на которые условно разбит элемент набора.

Примечания: для штифтов, которыми оснащены эталонные меры типа «Сегмент» множитель ($H_{aj} + h_j / 2$) заменяется на H_{aj} .

Для эталонных мер и крепежных элементов набора расчет горизонтальных координат центра масс не проводится, принимаются $y_M = y_{kp} = 0$ и $z_M = z_{kp} = 0$, за исключением эталонных мер типа «Сегмент», для которых $y_M = y_{kp} = y_{ct.6.20}$ и $z_M = z_{kp} = z_{ct.6.20}$.

13.2.30 Для вычисления значений по формуле (18) используют эскизы эталонных мер и крепежных элементов, приведенные паспорте набора.

13.2.31 В качестве значений геометрических размеров эталонных мер и крепежных элементов в формулу (18) подставляют их измеренные в соответствии с п. 13.2.1-13.2.4 и 13.2.10 значения.

13.2.32 Вычисляют аналитическим методом координаты центра масс эталонных мер $x_{M20}, y_{M20}, z_{M20}$ и крепежных элементов x_{kp20}, y_{kp20} и z_{kp20} при температуре 20 °C по формуле:

$$x_{M20} = x_M \cdot q_{t20} \quad (19)$$

$$x_{kp20} = x_{kp} \cdot q_{t20} \quad (20)$$

$$y_{M20} = y_M \cdot q_{t20} \quad (21)$$

$$y_{kp20} = y_{kp} \cdot q_{t20} \quad (22)$$

$$z_{M20} = z_M \cdot q_{t20} \quad (23)$$

$$z_{kp20} = z_{kp} \cdot q_{t20} \quad (24)$$

q_{t20} – температурная поправка (вводится, если температура при измерениях геометрических размеров отклоняется от нормального значения 20 °C более, чем на установленное в п. 13.2.33 значение).

13.2.33 Правила введения температурных поправок:

$$\begin{cases} q_{t20} = 1 - \alpha_{\text{ст}} \cdot |\Delta t| \text{ при } \Delta t \geq 1 \text{ °C}; \\ q_{t20} = 1; \\ q_{t20} = 1 - \alpha_{\text{ст}} \cdot |\Delta t| \text{ при } \Delta t \leq -1 \text{ °C}; \end{cases}, \quad (25)$$

$$\Delta t = t - 20 \text{ °C}, \quad (26)$$

где Δt – отклонение, $^{\circ}\text{C}$, температуры при измерениях геометрических размеров эталонных мер t от нормального значения (20°C).

13.2.34 Для эталонных мер типа «Сегмент» вычисляют отклонение координат центра масс Δx_{M20} , Δy_{M20} , Δz_{M20} , мм, вычисленного аналитическим методом при температуре 20°C (п. 3.3.5.4) от определенного статической балансировкой $x_{\text{ст.6.20}}$, $y_{\text{ст.6.20}}$, $z_{\text{ст.6.20}}$ при температуре 20°C (п. 3.3.3.9, 3.3.3.16):

$$\Delta x_{M20} = x_{M20} - x_{\text{ст.6.20}} \quad (27)$$

$$\Delta y_{M20} = y_{M20} - y_{\text{ст.6.20}} \quad (28)$$

$$\Delta z_{M20} = z_{M20} - z_{\text{ст.6.20}} \quad (29)$$

где x_{20} , y_{20} , z_{20} – значения воспроизводимых координат центра масс эталонными мерами набора, вычисленные аналитически.

Если Δx_{20} , Δy_{20} , Δz_{20} больше пределов допускаемого отклонения от номинального значения воспроизводимых координат центра масс указанного в таблице 2 паспорта набора, то вносится корректировка в приложения паспорта набора.

13.2.35 При расчете конфигураций набора, в том числе характерных, измеренное значение установочной высоты (расстояния от начала координат до нижней поверхности) элементов набора приводят к температуре 20°C с учетом п. 13.2.33 по формуле:

$$Lx_{\text{уст.м20}} = Lx_{\text{уст.м}} \cdot q_{t20}; \quad (30)$$

$$Lx_{\text{уст.кр20}} = Lx_{\text{уст.кр}} \cdot q_{t20}, \quad (31)$$

где $Lx_{\text{уст.м20}}$ – установочная высота, мм, эталонной меры при температуре 20°C ;

$Lx_{\text{уст.кр20}}$ – установочная высота, мм, крепежного элемента эталонной меры при температуре 20°C ;

$Lx_{\text{уст.м}}$ – установочная высота, мм, эталонной меры при температуре измерений;

$Lx_{\text{уст.кр}}$ – установочная высота, мм, крепежного элемента эталонной меры при температуре измерений.

13.2.36 Вычисляют координаты центра масс X_K , Y_K , Z_K мм, характерных конфигураций набора при температуре измерений по формуле:

$$X_K = \frac{\sum_{i=1}^p (M_{mi} \cdot x_{mi}) + \sum_{j=1}^k (M_{kpi} \cdot x_{kpi})}{M_K} \quad (32)$$

$$Y_K = \frac{\sum_{i=1}^p (M_{mi} \cdot y_{mi}) + \sum_{j=1}^k (M_{kpi} \cdot y_{kpi})}{M_K} \quad (33)$$

$$Z_K = \frac{\sum_{i=1}^p (M_{mi} \cdot z_{mi}) + \sum_{j=1}^k (M_{kpi} \cdot z_{kpi})}{M_K} \quad (34)$$

где M_{mi} – масса i -й эталонной меры из состава характерной конфигурации;

x_{mi} , y_{mi} , z_{mi} – координата центра масс i -й эталонной меры из состава характерной конфигурации с учетом ее расположения относительно начала координат по выбранной оси;

M_{kpj} – масса j-го крепежного элемента из состава характерной конфигурации;

$x_{kpj}, y_{kpj}, z_{kpj}$ - координата центра масс j-й крепежного элемента из состава характерной конфигурации с учетом его расположения относительно начала координат по выбранной оси;

p – общее число эталонных мер в составе характерной конфигурации;

k – общее число крепежных элементов в составе характерной конфигурации.

13.2.37 Вычисляют координату центра масс A_{k20} (x, y или z), мм, характерных конфигураций набора при температуре 20 °C с учетом п. 13.2.33 по формуле:

$$X_{K20} = X_K \cdot q_{t20} \quad (35)$$

$$Y_{K20} = Y_K \cdot q_{t20} \quad (36)$$

$$Z_{K20} = Z_K \cdot q_{t20}, \quad (37)$$

Отклонение от номинального значения воспроизводимых координат центра масс эталонных мер набора $\Delta_{\text{ном}}(x_{M20})$, $\Delta_{\text{ном}}(y_{M20})$, $\Delta_{\text{ном}}(z_{M20})$ и характерных конфигураций $\Delta_{\text{ном}}(X_{K20})$, $\Delta_{\text{ном}}(Y_{K20})$, $\Delta_{\text{ном}}(Z_{K20})$ при температуре 20 °C вычисляются по формулам:

$$\Delta_{\text{ном}}(x_{M20}) = x_{M20} - x_{M20}^{\text{ном}} \quad (38)$$

$$\Delta_{\text{ном}}(y_{M20}) = y_{M20} - y_{M20}^{\text{ном}} \quad (39)$$

$$\Delta_{\text{ном}}(z_{M20}) = z_{M20} - z_{M20}^{\text{ном}} \quad (40)$$

$$\Delta_{\text{ном}}(X_{K20}) = X_{K20} - X_{K20}^{\text{ном}} \quad (41)$$

$$\Delta_{\text{ном}}(Y_{K20}) = Y_{K20} - Y_{K20}^{\text{ном}} \quad (42)$$

$$\Delta_{\text{ном}}(Z_{K20}) = Z_{K20} - Z_{K20}^{\text{ном}} \quad (43)$$

где $x_{M20}^{\text{ном}}$, $y_{M20}^{\text{ном}}$, $z_{M20}^{\text{ном}}$ - номинальное значение воспроизводимых координат центра масс эталонными мерами набора;

$X_{K20}^{\text{ном}}$, $Y_{K20}^{\text{ном}}$, $Z_{K20}^{\text{ном}}$ - номинальное значение воспроизводимых координат центра масс характерными конфигурациями набора.

13.2.38 Результаты испытаний считаются положительным, если отклонения от номинального значения воспроизводимых координат центра масс эталонных мер набора при температуре 20 °C не более $\pm 0,15$ мм для $\Delta_{\text{ном}}(x_{M20})$, не более $\pm 0,10$ мм для $\Delta_{\text{ном}}(y_{M20})$ и $\Delta_{\text{ном}}(z_{M20})$.

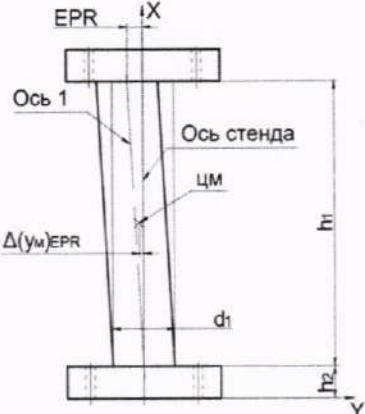
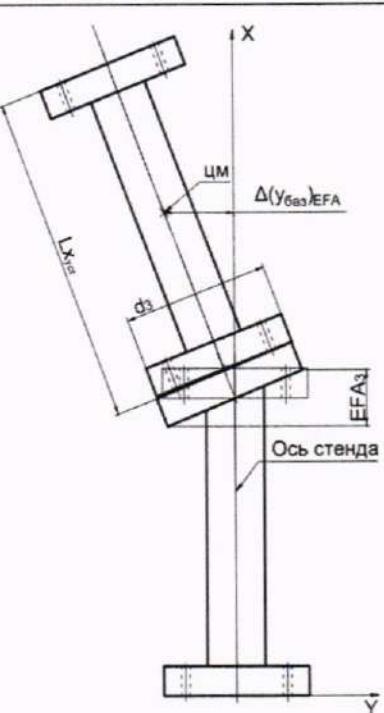
Результаты испытаний считаются положительным, если отклонения от номинального значения воспроизводимых координат центра масс характерных конфигураций набора при температуре 20 °C не более $\pm 0,15$ мм для $\Delta_{\text{ном}}(X_{K20})$, не более $\pm 0,10$ мм для $\Delta_{\text{ном}}(Y_{K20})$ и $\Delta_{\text{ном}}(Z_{K20})$.

Определение систематической погрешности эталонных мер и характерных конфигураций набора, обусловленной отклонениями формы и расположения поверхностей эталонных мер

13.2.39 Рассчитать в соответствии с указаниями таблицы 6 суммарные погрешности эталонных мер, обусловленные отклонениями формы и расположения их поверхностей $\Delta(x_m)_{\text{EFE}}$, $\Delta(Lx_{\text{уст.м}})_{\text{EFE}}$, $\Delta(x_m)_{\text{EFP}}$, $\Delta(y_m)_{\text{EFL}}$, $\Delta(y_m)_{\text{EPC}}$, $\Delta(y_{\text{баз}})_{\text{EPC}}$, $\Delta(y_m)_{\text{EPR}}$, $\Delta(y_{\text{баз}})_{\text{EPA}}$.

Таблица 6 – Выражения для расчета погрешности, обусловленной отклонениями формы и расположения поверхностей эталонных мер

Вид отклонения	Эскиз	Выражение для погрешности
Отклонение от плоскости EFE		$\Delta(x_m)_{EFE} = \frac{EFEh}{2}$ $\Delta(Lx_{ym})_{EFE} = \frac{EFEh + EFEb}{2}$
Отклонение профиля продольного сечения (конусообразность) EFP		$\Delta(x_i)_{EFP} = \frac{D_i \cdot EFP_i + EFP_i^2}{3 \cdot D_i^2 + 6 \cdot D_i \cdot EFP_i + 4 \cdot EFP_i^2}$ $\Delta(x_m)_{EFP} = \frac{\pi}{4 \cdot V} \sqrt{\sum_{i=1}^3 (d_i^2 \cdot h_i \cdot \Delta(x_i)_{EFP})^2}$
Отклонение от прямолинейности оси EFL		$\Delta(y_m)_{EFL} = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot h_1 \cdot 0,7 \cdot EFL_1}{4 \cdot V}$
Отклонение от соосности EPC		$\Delta(y_m)_{EPC} = \frac{\pi}{4 \cdot V} \sqrt{\sum_{i=1}^3 (d_i^2 \cdot h_i \cdot EPC_i)^2}$ $\Delta(y_{oax})_{EPC} = EPC_4$

Вид отклонения	Эскиз	Выражение для погрешности
Отклонение от перпендикулярности EPR		$\Delta(y_m)_{EPR} = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot h_1 \cdot EPR \left(1 - \frac{h_1}{2(h_1 + h_2)} \right)}{4 \cdot V}$
Отклонение от параллельности EFA		$\Delta(y_{баз})_{EFA} = \frac{Lx_{y_{cm}} \cdot EFA3}{2 \cdot d_3}$

13.2.40 Рассчитывают систематическую погрешность $\Delta_{c1}(x_m)$ воспроизведения вертикальной координаты каждой эталонной меры по формуле:

$$\Delta_{c1}(x_m) = \pm \sqrt{\Delta(x_m)_{EFE}^2 + \Delta(x_m)_{EFP}^2}, \quad (44)$$

где $\Delta(x_m)_{EFE}$ – суммарная погрешность эталонной меры, вызванная отклонениями от плоскости EFE ее плоских поверхностей;

$\Delta(x_m)_{EFP}$ – суммарная погрешность эталонной меры, вызванная отклонениями профиля продольного сечения EFP ее боковых цилиндрических поверхностей.

13.2.41 Рассчитывают систематическую погрешность $\Delta_{c1}(y_m)$ и $\Delta_{c1}(z_m)$ воспроизведения горизонтальных координат каждой эталонной меры по формуле:

$$\Delta_{c1}(y_m) = \pm \sqrt{\Delta(y_m)_{EFL}^2 + \Delta(y_m)_{EPC}^2 + \Delta(y_{баз})_{EPC}^2 + \Delta(y_m)_{EPR}^2 + \Delta(y_{баз})_{EFA}^2}, \quad (45)$$

$$\Delta_{c1}(z_m) = \pm \sqrt{\Delta(z_m)_{EFL}^2 + \Delta(z_m)_{EPC}^2 + \Delta(z_{баз})_{EPC}^2 + \Delta(z_m)_{EPR}^2 + \Delta(z_{баз})_{EFA}^2}, \quad (46)$$

где $\Delta(y_m)_{EFL}$, $\Delta(z_m)_{EFL}$ – погрешность эталонной меры, вызванная отклонением от прямолинейности EFL ее продольных осей OY и OZ соответственно;

$\Delta(y_m)_{EPC}$, $\Delta(z_m)_{EPC}$ – суммарная погрешность эталонной меры, вызванная отклонениями от соосности EPC между осями OY и OZ ее цилиндрических поверхностей;

$\Delta(y_{баз})_{EPC}$, $\Delta(z_{баз})_{EPC}$ – погрешность базирования эталонной меры, вызванная отклонениями от соосности EPC между осями OY и OZ ее нижних и верхних базовых отверстий;

$\Delta(y_m)_{EPR}$, $\Delta(z_m)_{EPR}$ – погрешность эталонной меры, вызванная отклонениями от перпендикулярности EPR осей OY и OZ ее цилиндрических поверхностей по отношению к его нижней плоской поверхности;

$\Delta(y_{баз})_{EPA}$, $\Delta(z_{баз})_{EPA}$ – погрешность эталонной меры, вызванная отклонениями от параллельности EPA ее плоских поверхностей относительно осей OY и OZ соответственно.

13.2.42 Рассчитывают систематическую погрешность $\Delta_{c1}(X_k)$ воспроизведения вертикальной координаты каждой характерной конфигурации по формуле:

$$\Delta_{c1}(X_k) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{M_{Mi} \cdot \Delta_{c1}(A_{Mi})}{M_k} \right)^2 + \sum_{j=1}^b \left(\Delta(Lx_{уст.mj})_{EFEj} \right)^2} \quad (47)$$

где M_i – масса i-го элемента набора, входящего в состав характерной конфигурации;

M_k – масса характерной конфигурации;

$\Delta_{c1}(A_{Mi})$ – систематическая погрешность воспроизведения вертикальной координаты i-й эталонной меры в системе координат характерной конфигурации;

m – количество эталонных мер в конфигурации.

$\Delta(Lx_{уст.mj})_{EFEj}$ – суммарная погрешность установочной высоты j-х эталонных мер в конфигурации, расположенных ниже рассматриваемой;

b – количество эталонных мер в конфигурации, расположенных ниже рассматриваемого.

13.2.43 Рассчитывают систематическую погрешность $\Delta_{c1}(Y_k)$ и $\Delta_{c1}(Z_k)$ воспроизведения горизонтальных координат каждой характерной конфигурации по формуле:

$$\Delta_{c1}(Y_k) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{M_{Mi} \cdot \Delta_{c1}(y_{Mi})}{M_k} \right)^2} \quad (48)$$

$$\Delta_{c1}(Z_k) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{M_{Mi} \cdot \Delta_{c1}(z_{Mi})}{M_k} \right)^2} \quad (49)$$

где $\Delta_{c1}(y_{Mi})$ и $\Delta_{c1}(z_{Mi})$ – систематическая погрешность воспроизведения горизонтальной координаты i-й эталонной меры, рассчитанная в соответствии с п. 13.2.41.

Определение систематической погрешности воспроизведения координат центра масс, обусловленной неоднородностью материала

13.2.44 За систематическую погрешность, обусловленную неоднородностью материала Δ_{c2} , принимается максимальное из значений отклонения координат центра масс (x, y и z) Δ_{a20} (п. 13.2.34) и порога нечувствительности статической балансировки $\Delta_{cm,б}$ (п. 13.2.22).

13.2.45 Рассчитывают систематическую погрешность $\Delta_{c2}(X_k)$ воспроизведения координат центра масс характерными конфигурациями набора, включающими сегменты, по формуле:

$$\Delta_{C2}(X_K) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\sum_{i=1}^w M_{Mi} \cdot \Delta_{C2}(x_{Mi})}{M_K} \right)^2} \quad (50)$$

$$\Delta_{C2}(Y_K) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\sum_{i=1}^w M_{Mi} \cdot \Delta_{C2}(y_{Mi})}{M_K} \right)^2} \quad (51)$$

$$\Delta_{C2}(Z_K) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\sum_{i=1}^w M_{Mi} \cdot \Delta_{C2}(z_{Mi})}{M_K} \right)^2} \quad (52)$$

где $\Delta_{C2}(x_{Mi})$, $\Delta_{C2}(y_{Mi})$, $\Delta_{C2}(z_{Mi})$ – систематическая погрешность воспроизведения координат (x, y и z) i-й эталонной меры типа «Сегмент», обусловленный неоднородностью материала;

w – количество эталонных мер типа «Сегмент» в конфигурации.

Определение погрешности воспроизведения координат центра масс характерных конфигураций набора, обусловленной отклонением координат центра масс элементов набора от номинальных значений

13.2.46 Рассчитывают систематическую погрешность $\Delta_{C3}(X_K)$, $\Delta_{C3}(Y_K)$, $\Delta_{C3}(Z_K)$ воспроизведения координат центра масс характерными конфигурациями, обусловленную отклонением координат центра масс элементов набора от номинальных значений по формуле:

$$\Delta_{C3}(X_K) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{M_{Mi} \cdot (\Delta(x_M)_\Sigma + \sum_{j=1}^b \Delta(Lx_{yct}))^2}{M_K}} \quad (53)$$

$$\Delta_{C3}(Y_K) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{M_{Mi} \cdot (\Delta(y_M)_\Sigma + \sum_{j=1}^b \Delta(Lyz_{изм}))^2}{M_K}} \quad (54)$$

$$\Delta_{C3}(Z_K) = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{M_{Mi} \cdot (\Delta(z_M)_\Sigma + \sum_{j=1}^b \Delta(Lyz_{изм}))^2}{M_K}} \quad (55)$$

где $\Delta(x_M)_\Sigma$, $\Delta(y_M)_\Sigma$, $\Delta(z_M)_\Sigma$ – систематическая погрешность воспроизведения координат (x, y и z) i-й эталонной меры типа «Сегмент», обусловленный неоднородностью материала;

m – количество эталонных мер в характерной конфигурации;

b – количество эталонных мер, на которые устанавливается i-й элемента набора характерной конфигурации;

Определение значений и пределов абсолютной погрешности воспроизведения координат центра масс эталонных мер и характерных конфигураций

13.2.47 Оценивают пределы абсолютной погрешности воспроизведения координат центра масс эталонных мер $\Delta(x_M)_\Sigma$, $\Delta(y_M)_\Sigma$, $\Delta(z_M)_\Sigma$, крепежных элементов $\Delta(x_{kp})_\Sigma$, $\Delta(y_{kp})_\Sigma$, $\Delta(z_{kp})_\Sigma$ и характерных конфигураций $\Delta(X_K)_\Sigma$, $\Delta(Y_K)_\Sigma$, $\Delta(Z_K)_\Sigma$ по формулам:

для координат центра масс эталонных мер:

$$\Delta(x_M)_\Sigma = \pm(|\Delta(x_M)| + |\Delta_{c1}(x_M)| + |\Delta_{c2}(x_M)|) \quad (56)$$

$$\Delta(y_M)_\Sigma = \pm(|\Delta(y_M)| + |\Delta_{c1}(y_M)| + |\Delta_{c2}(y_M)|) \quad (57)$$

$$\Delta(z_M)_\Sigma = \pm(|\Delta(z_M)| + |\Delta_{c1}(z_M)| + |\Delta_{c2}(z_M)|) \quad (58)$$

для координат центра масс крепежных элементов:

$$\Delta(x_{kp})_\Sigma = \pm \Delta(x_{kp}) \quad (59)$$

$$\Delta(y_{kp})_\Sigma = \pm \Delta(y_{kp}) \quad (60)$$

$$\Delta(z_{kp})_\Sigma = \pm \Delta(z_{kp}) \quad (61)$$

для координат центра масс характерных конфигураций:

$$\Delta(X_K)_\Sigma = \pm(|\Delta(X_K)| + |\Delta_{c1}(X_K)| + |\Delta_{c2}(X_K)| + |\Delta_{c3}(X_K)|) \quad (62)$$

$$\Delta(Y_K)_\Sigma = \pm(|\Delta(Y_K)| + |\Delta_{c2}(Y_K)| + |\Delta_{c3}(Y_K)| + |\Delta_{c4}(Y_K)|) \quad (63)$$

$$\Delta(Z_K)_\Sigma = \pm(|\Delta(Z_K)| + |\Delta_{c2}(Z_K)| + |\Delta_{c3}(Z_K)| + |\Delta_{c4}(Z_K)|) \quad (64)$$

$\Delta_{c4}(Y_K)$, $\Delta_{c4}(Z_K) = \Delta L_{\text{доп}}$ – погрешность воспроизведения горизонтальных координат центра масс в характерных конфигурациях, обусловленная погрешностью измерений расстояния L от начала координат измерительной платформы стенда до мест установки элементов набора вдоль горизонтальной оси;

$\Delta L_{\text{доп}} = 0,03$ мм – пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений расстояния L ;

13.2.48 Результаты испытаний считаются положительным, если пределы абсолютной погрешности воспроизведения координат центра масс всех эталонных мер $\Delta(x_M)_\Sigma$ не более $\pm 0,5$ мм, $\Delta(y_M)_\Sigma$ и $\Delta(z_M)_\Sigma$ не более $\pm 0,3$ мм, а также характерных конфигураций $\Delta(X)_\Sigma$ не более $\pm 0,5$ мм, $\Delta(Y, Z)_\Sigma$ не более $\pm 0,3$ мм.

14 Подтверждение соответствия набора метрологическим требованиям

14.1 При первичной поверке набор признается соответствующими установленным метрологическим требованиям и пригодными к дальнейшему применению, если по каждой характеристике для всех элементов и характерных конфигураций набор соответствует требуемому уровню локальной поверочной схемы ФГУП «ЦАГИ», в соответствии с которой он планируется применяться для поверки.

14.2 При периодической поверке набор признается соответствующими установленным метрологическим требованиям и пригодными к дальнейшему применению, если по каждой характеристике для всех элементов и характерных конфигураций набор соответствует требуемому уровню локальной поверочной схемы ФГУП «ЦАГИ», в соответствии с которой он планируется применяться для поверки.

15 Оформление результатов поверки

15.1 Результаты поверки набора оформляют установленным порядком.

15.2 Протокол поверки оформляется в произвольной форме.

15.3 При положительных результатах поверке оформляется свидетельство о поверке, в котором должно быть приведено подтверждение соответствия обязательным требованиям к эталонам (заключение о соответствии требуемому уровню локальной поверочной схемы), в соответствии с которой набор планируется применять для поверки. Знак поверки наносят в паспорт набора и на свидетельство о поверке (в случае его оформления).

15.4 При отрицательных результатах поверки оформляется извещение о непригодности к применению.

15.5 При поверке в сокращенном объеме в свидетельстве о поверке указывают, для каких величин и (или) элементов набора была произведена поверка.

15.6 Результаты поверки установленным порядком передают в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Приложение А
(рекомендуемое)

Структура локальной поверочной схемы передачи единиц массы и длины в области измерений координат центра масс с помощью набора калибровочных мер массы и длины в области измерений координат центра масс НКМ-5т

