Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

_____А.Н. Пронин

«29» апреля 2024 г.

Государственная система обеспечения единства измерений

ГИРИ ГЭ-П

Методика поверки

МП 2301-213-2024

Руководитель лаборатории госэталонов
в области измерения массы и силы

_____И.Ю. Шмигельский

Заместитель руководителя лаборатории

_____В.И. Богданова

Руководитель сектора массы

_____Ю.И. Каменских

г. Санкт-Петербург
2024 г.

Содержание

1 Общие положения 3
2 Перечень операций поверки средства измерений 3
3 Требования к условиям проведения поверки 4
4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку (при наличии специальных требований) 4
5 Метрологические и технические требования к средствам поверки 5
6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки 7
7 Внешний осмотр средства измерений 7
8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений 7
9 Определение метрологических характеристик средства измерений 7
10 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям 8
11 Оформление результатов поверки 14

Приложение А (обязательное) Метрологические характеристики гирь ГЭ-П 15
Приложение Б (справочное) Обработка результатов поверки микрограммового набора с применением матричного метода 17

1 Общие положения

1.1 Настоящая методика поверки (далее МП) распространяется на гири ГЭ-П (далее – гири), изготавливаемые ООО «Промконструкция», г. Челябинск, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической поверки.

1.2 Прослеживаемость поверяемых гирь к Государственному первичному эталону единицы массы ГЭТ 3-2020 обеспечивается в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений массы, утвержденной приказом Росстандарта от 04 июля 2022 г. № 1622 (далее – ГПС для СИ массы).

1.3 Метод поверки основан на передаче единицы массы гирь сличением с эталонными гирями при помощи компаратора и соответствует ГПС для СИ массы и ГОСТ OIML R 111-1 – 2009 «Государственная система обеспечения единства измерений. Гири классов E_1, E_2, F_1, F_2, M_1, M_{1-2}, M_2, M_{2-3} и M_3. Часть 1. Метрологические и технические требования» (далее – ГОСТ OIML R 111-1–2009).

При поверке определяют значение условной массы гирь.

Если плотность окружающего воздуха ρ_a во время измерений отличается от нормальной плотности воздуха $\rho_0 = 1{,}2$ кг/м^3 более чем на 10 %, то при поверке определяют значение массы гири m, а значение условной массы гири m_c вычисляют из значения массы гири m по формуле (1).

Условная масса гири m_c и масса гири m с фактической плотностью ρ и плотностью воздуха ρ_a связаны между собой соотношением

$$m_c = m \cdot (1 - \rho_a/\rho)/0{,}99985. \quad (1)$$

1.4 Методикой поверки не предусмотрена возможность проведения поверки в сокращенном объеме. Набор гирь рассматривается как одно средство измерений (СИ) и не может быть поверено в сокращенном объеме.

Гири, сформированные в виде комплекта и помещенные в один футляр, входят в комплект как отдельные средства измерений со своим заводским номером, который приводится на маркировочной табличке. Такие гири поверяются как отдельные СИ.

Примечания:

1. При пользовании настоящей методикой поверки целесообразно проверить действие ссылочных документов по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.
2. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящей методикой следует руководствоваться заменяющим (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

2 Перечень операций поверки средства измерений

2.1 При проведении поверки должны быть выполнены следующие операции, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень операций поверки

Наименование операции	Номер раздела (пункта) МП, в соответствии с которым выполняется операция поверки	Обязательность проведения операции при поверке	
		первичной	периодической
1 Внешний осмотр	7	Да	Да
2 Подготовка к поверке и опробование	8	Да	Да
2 Определение метрологических характеристик	9	-	-
2.1 Определение шероховатости поверхности	9.1	Да (только визуальный контроль)	Да (только визуальный контроль)
2.2 Определение остаточной намагниченности	9.2	Да	Нет. Допускается проводить только в случае сомнения
2.3 Определение магнитной восприимчивости	9.3	Да только для E_1	Нет
2.4 Определение плотности материала гирь	9.4	Да только для E_1	Нет
2.5 Определение условной массы и абсолютной погрешности	9.5	Да	Да
3 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям	10	Да	Да

2.2 Последовательность проведения операций поверки обязательна.

2.3 Если при проведении той или иной операции получают отрицательный результат, дальнейшая поверка прекращается, гирю (набор гирь) признают непригодной.

3 Требования к условиям проведения поверки

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия:

- температура окружающего воздуха от 18 °С до 27 °С;
- относительная влажность воздуха от 40 % до 60 %;
- изменение температуры в помещении должно быть ±0,3 °С в час с максимумом ±0,5 °С за 12 часов при поверке гирь класса точности E_1;
- изменение относительной влажности воздуха в помещении должно быть ±5 % за 4 часа при поверке гирь класса точности E_1;
- изменение температуры в помещении должно быть ±0,7 °С в час с максимумом ±1 °С за 12 часов при поверке микрограммовых гирь;
- изменение относительной влажности воздуха в помещении должно быть ±10 % за 4 часа при поверке микрограммовых гирь.

Примечание – Если компараторы массы имеют более узкий диапазон рабочих температур и относительной влажности, чем приведенные выше, то эти условия должны быть соблюдены.

4 Требования к специалистам, осуществляющим поверку (при наличии специальных требований)

Специалисты, осуществляющие поверку, должны иметь высшее или среднее техническое образование, должны изучить правила работы с поверяемым средством измерений и обладать соответствующей квалификацией для работы с эталонным оборудованием.

5 Метрологические и технические требования к средствам поверки

5.1 Перечень средств поверки представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Перечень средств поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, метрологические и основные технические характеристики средства поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 3 Контроль условий проведения поверки	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от 18 °С до 27 °С, с ценой деления не более 0,1 °С при поверке гирь класса E_1.	Термометр сопротивления платиновый виброточный ТСПВ-1.1, рег. № в ФИФ 50256-12; измерители температуры многоканальные прецизионные МИТ8, рег. № в ФИФ 19736-11
	Средства измерений температуры окружающей среды в диапазоне измерений от 18 °С до 27 °С, с ценой деления не более 0,2 °С при поверке микрограммовых гирь	Термогигрометры автономные ИВА-6, рег. № в ФИФ 82393–21; барометр цифровой РТВ330, рег. № в ФИФ 742508-09; гигрометр Rotronik рег. № в ФИФ 26379-04
	Средства измерений атмосферного давления с ценой деления не более 1 мбар (гПа).	
	Средства измерений относительной влажности воздуха в диапазоне от 40 % до 60 % с погрешностью не более ±5 %.	
п. 9.1 Определение шероховатости поверхности	Образцы шероховатости по ГОСТ 9378-93. В соответствии с В.5 (приложение В) ГОСТ OIML R 111-1–2009.	Образцы шероховатости рег. № в ФИФ 51747-12
п. 9.2 Определение остаточной намагниченности	Измеритель магнитной восприимчивости с пределами допускаемой относительной погрешности ±15 %	Измеритель магнитной восприимчивости, рег. № в ФИФ 51747-12, миллитесламетр портативный универсальный ТПУ-01, рег. № в ФИФ 28134-12
п. 9.3 Определение магнитной восприимчивости	Измеритель магнитной восприимчивости с пределами допускаемой относительной погрешности ±15 %	Измеритель магнитной восприимчивости, рег. № в ФИФ 51747-12
п. 9.4 Определение плотности материала гирь	Вода дистиллированная по ГОСТ Р 58144-2018. Средства поверки выбирают исходя из используемого метода определения плотности по В.7 Приложения В ГОСТ OIML R 111-1–2009	Вода дистиллированная по ГОСТ Р 58144-2018

Продолжение таблицы 2 – Перечень средств поверки

Операции поверки, требующие применение средств поверки	Наименование и тип (условное обозначение) основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования, метрологические и основные технические характеристики средства поверки	Перечень рекомендуемых средств поверки
п. 9.5 Определение условной массы и абсолютной погрешности	Для поверки гирь класса точности E_1 (в том числе применяемых в составе вторичных (рабочих) эталонов): гиря из состава эталона-копии с номинальным значением 1 кг и компараторы массы с максимальными нагрузками от $2 \cdot 10^{-3}$ до 20 кг из состава Государственного вторичного эталона-копии единицы массы по ГПС для СИ массы.	Государственный вторичный эталон-копия единицы массы с номинальным значением 1 кг, рег. № в ФИФ 2.1.ZZB.0021.2014, рег. № в ФИФ 2.1.ZZB.0438.2023.
	Для поверки одиночных гирь класса точности E_1 (в том числе применяемых в составе вторичных (рабочих) эталонов) методом подекадной калибровки (совокупных измерений) путём введения поверяемой гири в набор гирь. В качестве вспомогательного набора применяют набор гирь из состава вторичного (рабочего) эталона единицы массы по ГПС для СИ массы.	Государственный вторичный рабочий эталон единицы массы в диапазоне значений от $1 \cdot 10^{-6}$ до 20 кг, рег. № в ФИФ 2.1.ZZB.0243.2019.
	Для поверки микрограммовых гирь (в том числе применяемых в составе рабочих эталонов единицы массы 1-го разряда): гиря с номинальным значением массы 1 мг и компаратор массы с максимальной нагрузкой от $2 \cdot 10^{-3}$ из состава вторичного (рабочего) эталона единицы массы по ГПС для СИ массы.	Государственный вторичный рабочий эталон единицы массы в диапазоне значений от $1 \cdot 10^{-6}$ до 20 кг, рег. № в ФИФ 2.1.ZZB.0243.2019.
	Для поверки одиночных микрограммовых гирь (в том числе применяемых в составе рабочих эталонов единицы массы 1-го разряда) методом подекадной калибровки (совокупных измерений) путём введения поверяемой гири в набор гирь. В качестве вспомогательного набора применяют набор микрограммовых гирь из состава рабочего эталона единицы массы 1-го разряда по ГПС для СИ массы.	
	Примечание - Схема передачи размера единицы микрограммовым гирям предусматривает использование дополнительной вспомогательной гири номинальной массы 0,05 мг	

5.2 Допускается использовать при поверке другие утвержденные и аттестованные эталоны единиц величин, средства измерений утвержденного типа и поверенные, удовлетворяющие метрологическим требованиям, указанным в таблице 2.

6 Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки

При проведении поверки должны соблюдаться правила безопасности в соответствии с ГОСТ 12.2.003-91, а также правилами безопасности, определяемые при эксплуатации поверяемых средств измерений и используемых средств поверки, приведенных в эксплуатационной документации и нормативных документах, а также правилами технической эксплуатации и правил техники безопасности при работе на электроустановках, а также правила по охране труда, действующих на месте проведения поверки.

7 Внешний осмотр средства измерений

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие следующим требованиям:

- конструкция, форма, комплектность, маркировка и состав наборов гирь должны соответствовать требованиям ГОСТ OIML R 111-1–2009, описанию типа средства измерений и технической документации изготовителя;
- качество футляров должно соответствовать требованиям технической документации изготовителя;
- на поверхности гирь не должно быть трещин, сколов, следов коррозии, забоин, глубоких царапин.

8 Подготовка к поверке и опробование средства измерений

При подготовке к проведению поверки должны быть выполнены следующие операции:

8.1 Перед проведением поверки гирь должны быть выполнены подготовительные работы в соответствии с ДА.5 Приложения ДА ГОСТ OIML R 111-1–2009.

8.2 Компараторы массы из состава эталонов должны быть подготовлены к работе в соответствии с их руководством по эксплуатации.

8.3 Перед началом поверки следует выполнить 2-3 нагружения компаратора гирей, номинальная масса которой близка к максимальной массе поверяемых гирь, до достижения стабильных показаний.

8.4 При выполнении измерений массы микрограммовых гирь рекомендуется использовать дополнительное освещение и увеличительное стекло (лупа).

9 Определение метрологических характеристик средства измерений

9.1 Определение шероховатости

Определение шероховатости поверхности гирь массой более 500 мг проводят визуально в соответствии с разделом В.5.3.2 приложения В ГОСТ OIML R 111-1–2009, с применением образцов шероховатости.

Гири считают годными, если визуально установлено, что шероховатость поверхности гирь соответствуют требованиям п. 11 ГОСТ OIML R 111-1–2009.

9.2 Определение остаточной намагниченности

Определение остаточной намагниченности гирь проводят с помощью измерителя магнитной восприимчивости, в соответствии с В.6.4 ГОСТ OIML R111-1-2009. Для гирь с номинальным значением массы менее 2 г применяют миллитесламетр.

Гири считают годными, если полученные максимальные значения остаточной намагниченности гирь не превышают значений, приведенных в 9.1 ГОСТ OIML R111-1-2009.

9.3 Определение магнитной восприимчивости

Определение магнитной восприимчивости гирь выполняют с помощью измерителя магнитной восприимчивости в соответствии с В.6.4 ГОСТ OIML R111-1-2009.

Гири считают годными, если магнитная восприимчивость гирь не превышает значений, приведенных в 9.2 ГОСТ OIML R111-1-2009.

9.4 Определение плотности материала гирь

Плотность материала гирь класса E_1 при первичной поверке определяют в соответствии с п. В.7 Приложения В ГОСТ OIML R 111-1–2009.

Гири считают годными, если плотность материала гирь не превышает значений, приведенных в п.10 ГОСТ OIML R111-1-2009.

9.5 Определение условной массы и абсолютной погрешности гирь

9.5.1Определение условной массы и абсолютной погрешности гирь выполняют методом прямого (непосредственного) сличения или методом совокупных измерений (с применением метода последовательных подстановок или с применением матричного метода) при помощи компаратора. Для этого применяют метод точного взвешивания, например замещение, осуществляемый в виде трех типов циклов взвешивания в соответствии с Приложением С ГОСТ OIML R 111-1–2009. Абсолютную погрешность гирь рассчитывают, как разность между условной массой и номинальным значением гирь.

9.5.2 Условную массу гирь класса точности E_1 с номинальным значением массы 1 кг определяют методом прямого (непосредственного) сличения с эталоном-копией при помощи компаратора в соответствии с ДА. 6.6.2 Приложения ДА ГОСТ OIML R 111-1–2009.

9.5.3 Условную массу гирь из наборов гирь определяют методом совокупных измерений разностей масс различных комбинаций гирь с эталоном-копией или со старшей гирей в поверяемой декаде гирь в соответствие с п. 10.2 настоящей методики и С.3.2 Приложения С ГОСТ OIML R 111-1–2009.

9.5.4 Измерение условной массы одиночных гирь выполняют методом совокупных измерений путём введения добавочных гирь, дополняющих их до полной декады или набора гирь (см. п.9.5.3).

10 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.1 Обработка результатов поверки гирь при использовании метода прямого сличения

10.1.1 Вычисление условной массы поверяемых гирь выполняют в соответствии ДА.7.1 Приложения ДА ГОСТ OIML R 111-1–2009.

10.1.2 Определение расширенной неопределенности условной массы гирь при непосредственном сличении выполняют в соответствии с ДА.7.2 Приложения ДА ГОСТ OIML R 111-1–2009.

10.2 Обработка результатов поверки наборов гирь при использовании метода совокупных измерений

10.2.1 Массу гирь из наборов определяют методом совокупных измерений сличением различных комбинаций гирь с эталонной гирей или со старшей гирей в поверяемой декаде гирь. К поверяемому набору добавляют гири известной массой, обозначенные «*». При этом младшая гиря в старшей декаде используется в качестве опорной гири последующей по порядку младшей декаде. Например, для набора гирь (1 г-500 г) эталонной гирей является эталон-копия 1 кг; для набора гирь (1 мг-500 мг) опорной эталонной гирей является гиря 1 г из состава вторичного (рабочего) эталона единицы массы).

Схема измерений приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Схема измерений массы гирь из наборов с дополнительной гирей 1*

№ п/п	1000	500	200	200•	100	50	20	20•	10	5	2	2•	1	1*	a
1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a1
2	0	1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a2
3	0	0	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	a3
4	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	a4
5	0	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	a5
6	0	0	0	0	0	1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	a6
7	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	a7
8	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1	-1	0	a8
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1	0	a9
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	-1	0	a10
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	-1	a11
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	a12
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	a13

Здесь «1» означает опорную гирю (R), с которой сравнивают комбинацию гирь или отдельную гирю, «-1» означает гири (Т), которые сравнивают, «0» означает гири не участвующие в данном сравнении. «a_i» - измеренная на компараторе разность массы Т- R методом замещения по циклу RTTR. Значение a_i получают как среднее арифметическое значение из числа проведенных циклов

$$\bar{a}_i = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} a_{i,j}, \quad (2)$$

где $a_{i,j}$ – j – я измеренная разность массы в i – ом сравнении ($i = 1, 2, \ldots, 13$);

j – номер цикла взвешивания ($j = 1, 2, \ldots, n$);

n – число циклов не менее, указанного в С.4.3 Приложения С ГОСТ OIML R 111-1–2009.

$$a_{i,j} = \frac{1}{2}[(I_{T1} - I_{R1}) + (I_{T2} - I_{R2})]_j, \quad (3)$$

где I_{T1} и I_{T2} – показания компаратора при 2-м и 3-м измерении в цикле RTTR для поверяемой гири Т;

I_{R1} и I_{R2} - показания компаратора при 1-м и 4-м измерении в цикле RTTR для исходной гири R;

10.2.2 Набор гирь класса точности E_1 (1 г - 500 г)

В качестве исходного эталона применяют гирю номинальной массой 1000 г – из состава эталона-копии.

Условную массу гирь m_i с учетом поправки на действие выталкивающей силы воздуха рассчитывают по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
m_{500} &= \frac{m_{1000}-(a_1-a_2)}{2} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{500} - \frac{1}{2}V_{1000}\right);\\
m_{200} &= \frac{2m_{500}-(2a_2-3a_3+2a_4+a_5)}{5} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{200} - \frac{2}{5}V_{500}\right);\\
m_{200*} &= \frac{2m_{500}-(2a_2+2a_3-3a_4+a_5)}{5} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{200*} - \frac{2}{5}V_{500}\right);\\
m_{100} &= \frac{m_{200}-(a_3-a_5)}{2} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{100} - \frac{1}{2}V_{200}\right);\\
m_{50} &= \frac{m_{100}-(a_5-a_6)}{2} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{50} - \frac{1}{2}V_{100}\right);\\
m_{20} &= \frac{2m_{50}-(2a_6-3a_7+2a_8+a_9)}{5} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{20} - \frac{2}{5}V_{50}\right);\\
m_{20*} &= \frac{2m_{50}-(2a_6+2a_7-3a_8+a_9)}{5} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{20*} - \frac{2}{5}V_{50}\right);\\
m_{10} &= \frac{m_{20}-(a_7-a_9)}{2} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{10} - \frac{1}{2}V_{20}\right);\\
m_5 &= \frac{m_{10}-(a_9-a_{10})}{2} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_5 - \frac{1}{2}V_{10}\right);
\end{aligned} \quad (4)$$

$$m_2 = \frac{2m_5-(2a_{10}-3a_{11}+2a_{12}+a_{13})}{5} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_2 - \frac{2}{5}V_5\right);$$
$$m_{2*} = \frac{2m_5-(2a_{10}+2a_{11}-3a_{12}+a_{13})}{5} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{2*} - \frac{2}{5}V_5\right);$$
$$m_1 = \frac{m_2-(a_{11}-a_{13})}{2} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_1 - \frac{1}{2}V_2\right);$$
$$m_{1*} = \frac{m_2-(a_{11}+a_{13})}{2} + (\rho_a - 0{,}0012)\left(V_{1*} - \frac{1}{2}V_2\right),$$

где m_{1000} – условное значение массы эталонной гири в г, взятое из свидетельства о его аттестации;

ρ_a – плотность воздуха в г/см^3;

V_i – объем гири i-го номинального значения в см^3;

a_i – разность между массой наибольшей гири и массой соответствующей суммы гирь, измеренной на компараторах массы в г.

Примечание – при выполнении периодической поверки используют значение объема, полученное при первичной поверке. При отсутствии данной информации выполняют измерение объема (плотности) гири.

10.2.3 Набор гирь класса точности E_1 (1 мг - 500 мг)

В качестве исходного эталона применяют гирю с номинальной массой 1 г. Схема измерений – в соответствии с таблицей 3. Условную массу гирь рассчитывают по формулам (4) без учета поправки на действие выталкивающей силы воздуха.

Например, условную массу гири номинальной массы 500 мг рассчитывают по формуле:

$$m_{500} = \frac{m_{1000}-(a_1-a_2)}{2}.$$

10.2.4 Набор гирь класса точности E_1 (1 кг - 10 кг) и одиночная гиря 20 кг.

Передачу единицы массы гирям (1 кг - 20 кг) E_1 выполняют по схеме, представленной в таблице 4.

Таблица 4 – Схема определения массы гирь (1 кг – 20 кг)

№ п/п	$1_{эк}$	1	2	2•	5	10	20
1	-1	1	0	0	0	0	0
2	-1	-1	1	0	0	0	0
3	-1	-1	0	1	0	0	0
4	0	-1	-1	-1	1	0	0
5	0	-1	-1	-1	-1	1	0
6	0	-1	-1	-1	-1	-1	1

Здесь $1_{эк}$ – исходная эталонная гиря 1 кг из состава эталона-копии. Остальные – поверяемые гири массой соответственно 1, 2, 2•, 5, 10, 20 кг.

На основании таблицы 4 составляют уравнения взвешиваний:

$$\begin{aligned}
&m_1 - m_{эк} + (\rho_a - 1{,}2)(V_{эк} - V_1) = a_1;\\
&m_2 - m_{эк} - m_1 + (\rho_a - 1{,}2)(V_{эк} + V_{1э} - V_2) = a_2;\\
&m_{2*} - m_{эк} - m_1 + (\rho_a - 1{,}2)(V_{эк} + V_{1э} - V_{2*}) = a_3;\\
&m_5 - m_2 - m_{2*} - m_1 + (\rho_a - 1{,}2)(V_2 + V_{2*} + V_1 - V_5) = a_4;\\
&m_{10} - m_5 - m_2 - m_{2*} - m_1 + (\rho_a - 1{,}2)(V_5 + V_2 + V_{2*} + V_1 - V_{10}) = a_5;\\
&m_{20} - m_{10} - m_5 - m_2 - m_{2*} - m_1 + (\rho_a - 1{,}2)(V_{10} + V_5 + V_2 + V_{2*} + V_1 - V_{20}) = a_6.
\end{aligned} \quad (5)$$

Решения уравнений взвешивания получают методом последовательных подстановок:

$$\begin{aligned}
&m_1 = a_1 + m_{эк} + (\rho_a - 1{,}2)(V_1 - V_{эк}):\\
&m_2 = a_1 + a_2 + 2m_{эк} + (\rho_a - 1{,}2)(V_2 - V_{эк} - V_1);\\
&m_{2*} = a_1 + a_3 + 2m_{эк} + (\rho_a - 1{,}2)(V_{2*} - V_{эк} - V_1);\\
&m_5 = 3a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + 5m_{эк} + (\rho_a - 1{,}2)(V_5 - \sum V_5);\\
&m_{10} = 6a_1 + 2a_2 + 2a_3 + a_4 + a_5 + 10m_{эк} + (\rho_a - 1{,}2)(V_{10} - \sum V_{10});\\
&m_{20} = 12a_1 + 4a_2 + 4a_3 + 2a_4 + a_5 + a_6 + 20m_{эк} + (\rho_a - 1{,}2)(V_{20} - \sum V_{20}).
\end{aligned} \quad (6)$$

10.2.5 Определение массы микрограммовых гирь (0,05 мг – 0,5 мг) выполняют по схеме, представленной в таблице 5. Данная схема предусматривает использование дополнительной вспомогательной гири номинальной массы 0,05 мг, которая вводится в схему сличений и обозначается в таблице 5 как «0,05*».

Таблица 5 – Схема определения массы микрограммовых гирь (0,05 мг – 0,5 мг)

№ п/п	Номинальная масса гирь, мг							a
	1,0	0,5	0,2	0,2•	0,1	0,05	0,05*	
	ms	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	
1	1	-1	-1	-1	-1	0	0	a_1
2	0	1	-1	-1	0	-1	-1	a_2
3	0	0	1	0	-1	-1	-1	a_3
4	0	0	0	1	-1	-1	-1	a_4
5	0	0	0	0	1	-1	-1	a_5
6	0	0	0	0	0	1	-1	a_6

В таблице 5 введены обозначения: ms – условная массы эталонной гири; m_i – условная масса *i*-ой поверяемой гири; a_i – измеренная на компараторе разность массы гирь, соответствующая *i*-ой строке таблицы 5 ($i = 1,2, \dots, 6$).

На основании таблицы 5 составляют 6 уравнений с 6 неизвестными (массами поверяемых гирь):

$$\begin{aligned} ms - m_{0.5} - m_{0.2} - m_{0.2\bullet} - m_{0.1} &= a_1; \\ m_{0.5} - m_{0.2} - m_{0.2\bullet} - m_{0.05} - m_{0.05*} &= a_2; \\ m_{0.2} - m_{0.1} - m_{0.05} - m_{0.05*} &= a_3; \\ m_{0.2} - m_{0.1} - m_{0.05} - m_{0.05*} &= a_4; \\ m_{0.1} - m_{0.05} - m_{0.05*} &= a_5; \\ m_{0.05} - m_{0.05*} &= a_6. \end{aligned} \quad (7)$$

Условные значения массы поверяемых гирь находят по формулам:

$$\begin{aligned} m_{0.5} &= \frac{1}{2}(ms - a_1 + a_2 - a_5); \\ m_{0.2} &= \frac{1}{5}(ms - a_1 - a_2 + 3a_3 - 2a_4); \\ m_{0.2\bullet} &= \frac{1}{5}(ms - a_1 - a_2 - 2a_3 + 3a_4); \\ m_{0.1} &= \frac{1}{10}(ms - a_1 - a_2 - 2a_3 - 2a_4 + 5a_5); \\ m_{0.05} &= \frac{1}{20}(ms - a_1 - a_2 - 2a_3 - 2a_4 - 5a_5 + 10a_6); \\ m_{0.05*} &= \frac{1}{20}(ms - a_1 - a_2 - 2a_3 - 2a_4 - 5a_5 - 10a_6). \end{aligned} \quad (8)$$

10.2.6 Схемы сличения гирь и формулы для вычисления их массы при подекадной калибровке приведены в Приложении ДГ ГОСТ OIML R 111-1–2009.

10.3 Расчет неопределенности значения условной массы гирь

10.3.1 Расчет расширенной неопределенности значения условной массы гирь для метода непосредственного сличения

Расширенную неопределенность значения условной массы гирь при доверительной вероятности 0,95 для метода непосредственного сличения выполняют в соответствии с ДА.7.2 Приложения ДА ГОСТ OIML R 111-1–2009.

10.3.2 Расчет расширенной неопределенности значения условной массы гирь для метода совокупных измерений

Расширенную неопределенность значения условной массы гирь при доверительной вероятности 0,95 выполняют по ДА.7.2.8 Приложения ДА ГОСТ OIML R 111-1–2009.

10.3.2.1 Расчет стандартной неопределенности значения условной массы гирь из состава набора гирь массой от 1 г до 500 г, от 1 мг до 500 мг

Суммарную стандартную неопределенность измерений массы гирь рассчитывают по формулам

$$u_{500} = \frac{1}{2}\sqrt{(U_{1000}/2)^2 + u_{inst}^2(m_{1000}) + u_{a1}^2 + u_{a2}^2 + u_{d_{1000}}^2 + ub_{1000}^2};$$

$$u_{200} = \frac{1}{5}\sqrt{4u_{500}^2 + 4u_{a2}^2 + 9u_{a3}^2 + 4u_{a4}^2 + u_{a5}^2 + u_{d_{500}}^2 + ub_{500}^2};$$

$$u_{100} = \frac{1}{2}\sqrt{u_{200}^2 + u_{a3}^2 + u_{a5}^2 + u_{d_{200}}^2 + ub_{200}^2};$$

$$u_{50} = \frac{1}{2}\sqrt{u_{100}^2 + u_{a5}^2 + u_{a6}^2 + u_{d_{100}}^2 + ub_{100}^2};$$

$$u_{20} = \frac{1}{5}\sqrt{4u_{50}^2 + 4u_{a6}^2 + 9u_{a7}^2 + 4u_{a8}^2 + u_{a9}^2 + u_{d_{50}}^2 + ub_{50}^2}; \quad (9)$$

$$u_{10} = \frac{1}{2}\sqrt{u_{20}^2 + u_{a7}^2 + u_{a9}^2 + u_{d_{100}}^2 + u_{d_{20}}^2 + ub_{20}^2};$$

$$u_5 = \frac{1}{2}\sqrt{u_{10}^2 + u_{a9}^2 + u_{a10}^2 + u_{d_{10}}^2 + ub_{10}^2};$$

$$u_2 = \frac{1}{5}\sqrt{4u_5^2 + 4u_{a10}^2 + 9u_{a11}^2 + 4u_{a12}^2 + u_{a13}^2 + u_{d_5}^2 + ub_5^2};$$

$$u_1 = \frac{1}{2}\sqrt{u_2^2 + u_{a11}^2 + u_{a13}^2 + u_{d_2}^2 + ub_2^2}.$$

где U_{1000} – расширенная неопределенность исходной эталонной гири массой 1000 г для набора (1 г – 500 г) E_1 и массой 1000 мг - для набора (1 мг – 500 мг)E_1;

u_{ai} – стандартная неопределенность ai –го взвешивания (СКО компаратора на i -ю нагрузку;

$u_{d_i} = \frac{d_i}{\sqrt{6}}$ – стандартная неопределенность от дискретности компаратора d_i;

ub_i – стандартная неопределенность из-за выталкивающей силы воздуха, зависящая от разности квадратов неопределенности объемов сличаемых гирь и разности плотности воздуха и стандартным значением плотности воздуха, определяемая по формулам:

$$ub_{500}^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V500}^2 + 2u_{V200}^2 + u_{V100}^2);$$

$$ub_{200}^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V200}^2 + u_{V100}^2 + u_{V50}^2 + 2u_{V20}^2 + u_{V10}^2);$$

$$ub_{100}^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V100}^2 + u_{V50}^2 + 2u_{V20}^2 + u_{V10}^2);$$

$$ub_{50}^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V50}^2 + 2u_{V20}^2 + u_{V10}^2);$$

$$ub_{20}^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V20}^2 + u_{V10}^2 + u_{V5}^2 + 2u_{V2}^2 + u_{V1}^2); \quad (10)$$

$$ub_{10}^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V10}^2 + u_{V5}^2 + 2u_{V2}^2 + u_{V1}^2);$$

$$ub_5^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V5}^2 + 2u_{V2}^2 + u_{V1}^2);$$

$$ub_2^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V2}^2 + 2u_{V1}^2);$$

$$ub_1^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(2u_{V1}^2).$$

10.3.2.2 Расчет стандартной неопределенности значения условной массы гирь из состава набора гирь массой от 1 кг до 10 кг и одиночной гири 20 кг

Суммарную стандартную неопределенность условной массы гирь рассчитывают по формулам:

$$u_1 = \sqrt{u_{1e}^2 + u_{a1}^2 + u_{d_1}^2};$$

$$u_2 = \sqrt{4u_{1e}^2 + u_{a1}^2 + u_{a2}^2 + u_{d_2}^2 + ub_2^2};$$

$$u_5 = \sqrt{25u_{1e}^2 + 9u_{a1}^2 + u_{a2}^2 + u_{a3}^2 + u_{a4}^2 + u_{d_5}^2 + ub_5^2}; \quad (11)$$

$$u_{10} = \sqrt{100u_{1e}^2 + 36u_{a1}^2 + 4u_{a2}^2 + 4u_{a3}^2 + u_{a4}^2 + u_{a5}^2 + u_{d_{10}}^2 + ub_{10}^2};$$

$$u_{20} = \sqrt{400u_{1e}^2 + 144u_{a1}^2 + 16u_{a2}^2 + 16u_{a3}^2 + 4u_{a4}^2 + u_{a5}^2 + u_{a6}^2 + u_{d_{20}}^2 + ub_{20}^2},$$

где $u_{1e} = \frac{U_{1e}}{2}$ – стандартная неопределенность исходной эталонной гири массой 1000 г;

U_{1e} – расширенная неопределенность исходной эталонной гири массой 1000 г;

u_{ai} – стандартная неопределенность ai –го взвешивания (СКО компаратора на i -ю нагрузку (СКО компаратора на i – нагрузку);

$u_{d_i} = \frac{d_i}{\sqrt{6}}$ – стандартная неопределенность от дискретности компаратора d_i;

ub_i – стандартная неопределенность из-за выталкивающей силы воздуха, зависящая от разности квадратов неопределенности объемов сличаемых гирь и разности плотности воздуха и стандартного значения плотности воздуха, определяемая по формулам:

$$ub_1^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(2u_{V1}^2);$$
$$ub_2^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V2}^2 + 2u_{V1}^2);$$
$$ub_5^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V5}^2 + 2u_{V2}^2 + u_{V1}^2); \quad (12)$$
$$ub_{10}^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V10}^2 + u_{V5}^2 + 2u_{V2}^2 + u_{V1}^2);$$
$$ub_{20}^2 = (\rho_a - 1{,}2)^2(u_{V20}^2 + u_{V10}^2 + u_{V5}^2 + 2u_{V2}^2 + u_{V1}^2).$$

10.3.2.3 Расчет стандартной неопределенности значения условной массы гирь из состава набора микрограммовых гирь от 0,05 до 0,5 мг

Суммарную стандартную неопределенность условной массы гирь рассчитывают по формулам:

$$u_{0,5} = \frac{1}{2}\sqrt{u_1^2 + u_{a1}^2 + u_{a2}^2 + u_{a5}^2 + u_{d_1}^2};$$

$$u_{0,2} = \frac{1}{5}\sqrt{u_1^2 + u_{a1}^2 + u_{a2}^2 + 9u_{a3}^2 + 4u_{a4}^2 + u_{d_1}^2}; \quad (13)$$

$$u_{0,1} = \frac{1}{10}\sqrt{u_1^2 + u_{a1}^2 + u_{a2}^2 + 4u_{a3}^2 + 4u_{a4}^2 + 25u_{a5}^2 + u_{d_1}^2};$$

$$u_{0,05} = \frac{1}{20}\sqrt{u_1^2 + u_{a1}^2 + u_{a2}^2 + 4u_{a3}^2 + 4u_{a4}^2 + 25u_{a5}^2 + 100u_{a5}^2 + u_{d_1}^2}.$$

где $u_1 = \frac{U_1}{2}$ – стандартная неопределенность исходной эталонной гири массой 1 мг;

u_{ai} – стандартная неопределенность ai –го взвешивания (СКО компаратора на i -ю нагрузку;

$u_{d_i} = \frac{d_i}{\sqrt{6}}$ – стандартная неопределенность от дискретности компаратора d_i.

10.4 Подтверждение соответствия средства измерений метрологическим требованиям

10.4.1 Гирю считают выдержавшей испытание, если:

- полученные значения метрологических характеристик соответствуют значениям, установленным в описании типа СИ и приведенным в Приложении А.
- значение расширенной неопределенности условной массы гири при доверительной вероятности 0,95 не превышает значений, приведенных в п.5.2 ГОСТ OIML R 111-1–2009.
- значение условной массы гири, полученное при поверке, соответствует неравенству, приведенному п.5.3 ГОСТ OIML R 111-1–2009.

10.4.2 Набор гирь считают выдержавшим испытание, если каждая гиря набора соответствует п. 10.4.1 настоящей методики поверки.

10.4.3 Гири (набор гирь) класса точности E_1 признают соответствующими обязательным метрологическим требованиям ко вторичному (рабочему) эталону единица массы, микрограммовые гири – к рабочему эталону единица массы 1-го разряда при условии выполнения требований, приведённых в п.10.4.1 (п.10.4.2) настоящей методики и требований, установленных в ГПС для СИ массы.

11 Оформление результатов поверки

11.1 Результаты измерений записываются в соответствии с требованиями системы качества, аккредитованного на проведение поверки средств измерений юридического лица или индивидуального предпринимателя, выполняющего поверку.

11.2 На гирю (набор гирь) оформляют протокол по форме, принятой у аккредитованных на поверку юридических лиц с учетом требований ГОСТ OIML R 111-1–2009.

11.3 Гиря (набор гирь), удовлетворяющие требованиям настоящей методики, признают годными к применению. При отрицательных результатах поверки гирю (набор гирь) к применению не допускают.

11.4 Сведения о результатах поверки средства измерений в целях её подтверждения передаются в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с Порядком создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений. По заявлению владельца средства измерений или лица, представившего его на поверку, в зависимости от результата поверки выдаётся свидетельство о поверке средства измерений или извещение о непригодности к применению средства измерений.

Приложение А
(обязательное)

Метрологические характеристики гирь ГЭ-П

Таблица А.1 – Пределы допускаемой абсолютной погрешности гирь

Номинальное значение массы гирь	Пределы допускаемой абсолютной погрешности гирь ± δm, мг, для класса точности E_1
20 кг	10
10 кг	5,0
5 кг	2,5
2 кг	1,0
1 кг	0,5
500 г	0,25
200 г	0,10
100 г	0,05
50 г	0,03
20 г	0,025
10 г	0,020
5 г	0,016
2 г	0,012
1 г	0,010
500 мг	0,008
200 мг	0,006
100 мг	0,005
50 мг	0,004
20 мг	0,003
10 мг	0,003
5 мг	0,003
2 мг	0,003
1 мг	0,003

Таблица А.2 – Диапазоны допускаемых значений плотности материала гирь

Номинальное значение массы гирь	Диапазоны допускаемых значений плотности материала гирь P_{min}, P_{max}, 10^3кг·м$^{-3}$, для класса точности гирь E_1
≥ 100 г	от 7,934 до 8,067
50 г	от 7,92 до 8,08
20 г	от 7,84 до 8,17
10 г	от 7,74 до 8,28
5 г	от 7,62 до 8,42
2 г	от 7,27 до 8,89
1 г	от 6,9 до 9,6
500 мг	от 6,3 до 10,9
200 мг	от 5,3 до 16,0
100 мг	≥ 4,4
50 мг	≥ 3,4
20 мг	≥ 2,3

Таблица А.3 – Максимальные значения шероховатости поверхности гирь

Шероховатость поверхности	Класс точности гирь E_1
R_z, мкм	0,5
R_a, мкм	0,1

Таблица А.4 – Пределы допускаемых абсолютных значений остаточной намагниченности M, выраженные в единицах остаточной магнитной индукции $\mu_0 M$.

Максимальная остаточная магнитная индукция	Класс точности гирь E_1
$\mu_0 M$, мкТл	2,5

Таблица А.5 – Пределы допускаемых абсолютных значений магнитной восприимчивости χ.

Номинальное значение массы гирь m	Максимальные значения магнитной восприимчивости гирь χ для класса точности E_1
$m \leq 1$ г	0,25
2 г $\leq m \leq 10$ г	0,06
20 г $\leq m$	0,02

Таблица А.6 – Пределы допускаемой абсолютной погрешности микрограммовых гирь

Номинальное значение массы гирь	Допускаемая погрешность ± δm, мг
500 мкг	0,003
200 мкг	0,003
100 мкг	0,003
50 мкг	0,003

Приложение Б
(справочное)

Обработка результатов поверки микрограммового набора с применением матричного метода

Обработку результатов поверки микрограммового набора удобно проводить с применением матриц.

Система уравнений взвешиваний в матричном виде имеет вид:

$$\boldsymbol{D} \cdot \boldsymbol{m} = \boldsymbol{a}, \qquad (Б.1)$$

где $\boldsymbol{D}$ – матрица коэффициентов системы уравнений взвешиваний (6х6);

$\boldsymbol{m}$ – вектор неизвестных масс поверяемых гирь (6х1);

$\boldsymbol{a}$ – вектор свободных членов (6х1);

Здесь и далее матрицы и векторы обозначают жирным шрифтом.

Единственное решение системы (12) имеет вид:

$$\boldsymbol{m} = \boldsymbol{D}^{-1} \cdot \boldsymbol{a}. \qquad (Б.2)$$

Для микрограммового набора матрица коэффициентов системы уравнений имеет вид:

$$D := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \qquad a := \begin{pmatrix} ms - a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{pmatrix}$$

$$D^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 0 & -\frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{5} & -\frac{1}{5} & \frac{3}{5} & -\frac{2}{5} & 0 & 0 \\ \frac{1}{5} & -\frac{1}{5} & -\frac{2}{5} & \frac{3}{5} & 0 & 0 \\ \frac{1}{10} & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{5} & -\frac{1}{5} & \frac{1}{2} & 0 \\ \frac{1}{20} & -\frac{1}{20} & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{4} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{20} & -\frac{1}{20} & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{10} & -\frac{1}{4} & -\frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

Матрицу $\boldsymbol{D}^{-1}$ находим обращением матрицы $\boldsymbol{D}$.

Умножение матрицы $\boldsymbol{D}^{-1}$ на вектор $\boldsymbol{a}$ выполняют путем умножения элементов i -ой строки матрицы $\boldsymbol{D}^{-1}$ на элементы j -ого столбца вектора $\boldsymbol{a}$ и суммирования по j. В результате получаем вектор с j строками. Математически это правило можно записать в виде:

$$(\boldsymbol{D}^{-1}\boldsymbol{a})_i = \sum_j D_{ij} a_j \qquad .$$

Тогда будем иметь

для строки1: $\frac{1}{2}\cdot(ms - a_1) + \frac{1}{2}\cdot a_2 + 0\cdot a_3 + 0\cdot a_4 - \frac{1}{2}\cdot a_5 + 0\cdot a_6$

для строки 2: $\frac{1}{5}\cdot(ms - a_1) - \frac{1}{5}\cdot a_2 + \frac{3}{5}\cdot a_3 - \frac{2}{5}\cdot a_4 - 0\cdot a_5 + 0\cdot a_6$

для строки 3: $\frac{1}{5}\cdot(ms - a_1) - \frac{1}{5}\cdot a_2 - \frac{2}{5}\cdot a_3 + \frac{3}{5}\cdot a_4 - 0\cdot a_5 + 0\cdot a_6$

для строки 4: $\frac{1}{10}\cdot(ms - a_1) - \frac{1}{10}\cdot a_2 - \frac{1}{5}\cdot a_3 - \frac{1}{5}\cdot a_4 + \frac{1}{2}\cdot a_5 + 0\cdot a_6$

для строки 5: $\frac{1}{20}\cdot(ms - a_1) - \frac{1}{20}\cdot a_2 - \frac{1}{10}\cdot a_3 - \frac{1}{10}\cdot a_4 - \frac{1}{4}\cdot a_5 + \frac{1}{2}\cdot a_6$

для строки 6: $\frac{1}{20}\cdot(ms - a_1) - \frac{1}{20}\cdot a_2 - \frac{1}{10}\cdot a_3 - \frac{1}{10}\cdot a_4 - \frac{1}{4}\cdot a_5 - \frac{1}{2}\cdot a_6$.

Искомые массы можно представить в виде

$$
\begin{aligned}
m_1 &= \tfrac{1}{2}(ms - a_1 + a_2 - a_5)\\
m_2 &= \frac{1}{5}(ms - a_1 - a_2 + 3a_3 - 2a_4)\\
m_3 &= \tfrac{1}{5}(ms - a_1 - a_2 - 2a_3 + 3a_4)\\
m_4 &= \tfrac{1}{10}(ms - a_1 - a_2 - 2a_3 - 2a_4 + 5a_5)\\
m_5 &= \frac{1}{20}(ms - a_1 - a_2 - 2a_3 - 2a_4 - 5a_5 + 10a_6)\\
m_6 &= \tfrac{1}{20}(ms - a_1 - a_2 - 2a_3 - 2a_4 - 5a_5 - 10a_6).
\end{aligned}
\qquad (Б.3)
$$