

---

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И  
СЕРТИФИКАЦИИ (ЕАСС)  
EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND  
CERTIFICATION (EASC)

---



Рекомендация  
по межгосударственной  
стандартизации

Проект  
(1-я редакция)

PMГ \_\_\_\_\_ 20\_\_

---

Государственная система обеспечения  
единства измерений

**ВЕСЫ НЕАВТОМАТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ. МЕТОДИКА  
КАЛИБРОВКИ**

Москва  
Стандартинформ  
2019 г.

*Предисловие*

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) представляет собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В дальнейшем возможно вступление в ЕАСС национальных органов по стандартизации других государств.

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0-92 “Межгосударственная система стандартизации. Основные положения” и ГОСТ 1.2-2015 “Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Порядок разработки, принятия, применения, обновления и отмены”

*Сведения о стандарте*

1 ПОДГОТОВЛЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 310 «Приборы весоизмерительные», Обществом с ограниченной ответственностью «ОКБ Веста», ООО «ИМС» и Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологии им. Д.И. Менделеева федерального агентства по техническому регулированию и метрологии на основе собственного модифицированного перевода стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Управлением метрологии федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ )

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны По МК (ИСО 3166) 004-97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации

4 Настоящая рекомендация является модифицированной по отношению к европейскому руководству EURAMET Calibration Guide No. 18. Version 4.0 (11/2015). При этом раздел 3 «Терминология и обозначения» дополнен ссылками на РМГ 29-2013, ГОСТ OIML R 76-1-2011 и ГОСТ OIML R 111-1-2009. При этом дополнительные слова,

включенные в текст стандарта, выделены курсивом.

5 Постановлением Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии от . .20 г. № -ст межгосударственная рекомендация введена в действие непосредственно в качестве рекомендации Российской Федерации с датой введения в действие с 1 20 г.

#### 6 ВВЕДЕНА впервые

*Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящей рекомендации и изменений к ней на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных (государственных) стандартов, издаваемых в этих государствах.*

*Информация об изменениях к настоящей рекомендации публикуется в указателе (каталоге) «Межгосударственные стандарты», а текст изменений – в информационных указателях «Межгосударственные стандарты». В случае пересмотра или отмены настоящей рекомендации соответствующая информация будет опубликована в информационном указателе «Межгосударственные стандарты».*

© Стандартиформ 2019

Исключительное право официального опубликования настоящей рекомендации на территории указанных выше государств принадлежит национальным (государственным) органам по стандартизации этих государств.

Настоящая рекомендация не может быть полностью или частично воспроизведена, тиражирована и распространена в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Федеральной службы по техническому регулированию и метрологии.

## Содержание

1	ВВЕДЕНИЕ .....	6
2	НАЗНАЧЕНИЕ .....	6
3	ТЕРМИНОЛОГИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ .....	7
4	ОБЩИЕ АСПЕКТЫ КАЛИБРОВКИ.....	7
4.1	Элементы калибровки .....	7
4.1.1	Диапазон калибровки .....	7
4.1.2	Место калибровки .....	8
4.1.3	Предварительные условия, подготовки .....	8
4.2	Испытательная нагрузка и показание .....	9
4.2.1	Основное соотношение между нагрузкой и показанием .....	9
4.2.2	Действие выталкивающей силы воздуха .....	9
4.2.3	Влияния конвекции .....	11
4.2.4	поправка на выталкивающую силу для образцового значения массы .....	12
4.3	Испытательные нагрузки .....	12
4.3.1	Эталонные гири .....	13
4.3.2	Прочие испытательные нагрузки .....	13
4.3.3	Использование замещающих нагрузок.....	13
4.4	Показания .....	15
4.4.1	Общие сведения .....	15
4.4.2	Разрешение .....	15
5	МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ .....	16
5.1	Испытание повторяемости .....	16
5.2	Испытание погрешности показаний .....	17
5.3	Испытание эксцентриситета .....	18
5.4	Вспомогательные измерения .....	19
6	РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ .....	20
6.1	Повторяемость .....	20
6.2	Погрешности показаний .....	20
6.2.1	Дискретные значения .....	20
6.2.2	Характеристики диапазона взвешивания .....	21
6.3	Влияние внецентренного нагружения .....	21
7	НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ .....	22
7.1	Стандартная неопределенность для дискретных значений .....	22
7.1.1	Стандартная неопределенность показания .....	22
7.1.2	Стандартная неопределенность образцовой массы .....	24
7.1.3	Стандартная неопределенность погрешности .....	28
7.2	Стандартная неопределенность для характеристики.....	28
7.3	Расширенная неопределенность при калибровке .....	28
7.4	Стандартная неопределенность результата взвешивания .....	29
7.4.1	Стандартная неопределенность используемого отсчета .....	30
7.4.2	Неопределенность погрешности отсчета .....	31
7.4.3	Неопределенность, обусловленная влияниями окружающей среды .....	31
7.4.4	Неопределенность, обусловленная эксплуатацией измерительного прибора .....	33
7.4.5	Стандартная неопределенность результата взвешивания .....	35

7.5	Расширенная неопределенность результата взвешивания .....	35
7.5.1	Погрешности, учитываемые поправками .....	35
7.5.2	Погрешности, включаемые в неопределенность .....	36
7.5.3	Другие способы аттестации прибора .....	37
8	СЕРТИФИКАТ КАЛИБРОВКИ .....	37
8.1	Общие сведения .....	38
8.2	Сведения о процедуре калибровки .....	38
8.3	Результаты измерений .....	38
8.4	Дополнительные сведения .....	39
9	ЗНАЧЕНИЕ МАССЫ ИЛИ УСЛОВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ МАССЫ .....	40
9.1	Значение массы .....	40
9.2	Условное значение массы .....	40
10	ССЫЛОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ .....	40
	ПРИЛОЖЕНИЕ А: РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА .....	42
A1	Формула для плотности воздуха .....	42
A1.1	Упрощенная версия формулы СИРМ, экспоненциальная версия .....	42
A1.2	Средняя плотность воздуха .....	42
A2	Вариации параметров, определяющих давление воздуха .....	43
A2.1	Барометрическое давление .....	43
A2.2	Температура .....	43
A2.3	Относительная влажность .....	44
A3	Неопределенность плотности воздуха .....	44
	ПРИЛОЖЕНИЕ В: КОЭФФИЦИЕНТ ОХВАТА $k$ ДЛЯ РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ .....	45
B1	Цель .....	45
B2	Нормальное распределение и достаточная достоверность .....	45
B3	Нормальное распределение, достаточная достоверность отсутствует .....	46
B4	Определение $k$ для ненормальных распределений .....	46
	ПРИЛОЖЕНИЕ С: ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОКАЗАНИЙ .....	47
C1	Цель .....	47
C2	Функциональные зависимости .....	47
C3	Члены, не зависящие от отсчетов .....	53
	ПРИЛОЖЕНИЕ D: ОБОЗНАЧЕНИЯ .....	54
	ПРИЛОЖЕНИЕ E: СВЕДЕНИЯ О ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЕ ВОЗДУХА .....	56
E1	Плотность эталонных гирь .....	56
E2	Выталкивающая сила воздуха для гирь, соответствующих OIML R111 .....	56
	ПРИЛОЖЕНИЕ F: ВЛИЯНИЯ КОНВЕКЦИИ.....	58
F1	Зависимость температуры от времени .....	58
F2	Изменение кажущейся массы .....	60
	ПРИЛОЖЕНИЕ G: МИНИМАЛЬНЫЙ ВЕС .....	62
	ПРИЛОЖЕНИЕ H: ПРИМЕРЫ .....	<b>Ошибка! Залка не определена.</b>
H1	Прибор с нагрузочной способностью 220 г и ценой деления шкалы 0,1 мг <b>Ошибка! Залка не определена.</b>	
H2	Прибор с нагрузочной способностью 60 кг, многоинтервальный .....	<b>Ошибка! Залка не определена.</b>

Н3 Прибор с нагрузочной способностью 30 000 кг, цена деления шкалы 10 кг  
**Ошибка! Закладка не определена.**

Н4 Определение функции аппроксимации погрешности **Ошибка! Закладка не определена.**

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Весы неавтоматического действия (далее - весы) широко используются для измерений массы. Для некоторых определенных в национальном законодательстве применений весы подлежат законодательному метрологическому контролю – т.е. утверждению типа, поверке и т.д. – но существует растущая потребность в подтверждении их метрологических характеристик посредством калибровки, например когда это требуется стандартами ИСО 9001 или ИСО/МЭК 17025. *Калибровку выполняют лаборатории, аккредитованные в национальной системе аккредитации. Калибровке в добровольном порядке могут подвергаться весы, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Настоящий документ может применяться при разработке методик калибровки конкретных весов.*

## 2 НАЗНАЧЕНИЕ

Настоящий документ содержит руководство по статической калибровке весов с автоматическим установлением показаний, в частности для

1. выполнения требуемых измерений,
2. вычисления результатов измерений,
3. определения неопределенности измерений,
4. заполнения сертификатов калибровки.

Объектом калибровки является показание весов в ответ на приложенную нагрузку. Результаты измерений выражаются в единицах массы. На показание весов влияет местное значение ускорения свободного падения, температура и плотность материала нагрузки, а также температура и плотность окружающего воздуха.

Неопределенность измерений в значительной мере зависит от свойств самих калибруемых весов, а не только от оборудования калибровочной лаборатории; ее можно в некоторой степени снижать за счет увеличения числа измерений, выполненных для калибровки. В этом документе не задаются нижние или верхние границы для неопределенности измерений.

Для калибровочной лаборатории и заказчика достаточно прийти к соглашению относительно ожидаемого значения неопределенности измерений, которое является приемлемым с точки зрения использования весов и с точки зрения стоимости калибровки.

Хотя настоящий документ не предназначен для представления одной или нескольких унифицированных методик, использование которых было бы обязательным, этот документ дает общее руководство по созданию методик калибровки, результаты которых могут рассматриваться как эквивалентные в организациях-членах EURAMET и государств-членов СНГ.

Любая такая методика должна, для ограниченного количества испытательных нагрузок, включать определение погрешности показания и неопределенности измерений, приписываемой этим погрешностям. Процедура испытаний должна насколько возможно близко походить на обычно выполняемые пользователем процедуры взвешивания – например взвешивание дискретных нагрузок, непрерывное взвешивание с возрастанием или убыванием, использование устройства тарирования.

Методика может дополнительно включать в себя рекомендации для пользователя весов в отношении погрешностей и приписанной неопределенности измерений, показаний, при обычных условиях эксплуатации весов, и / или правил как преобразовать показание, полученное для взвешенного объекта, в значение массы или условное значение массы этого объекта.

Представленная в этом руководстве информация предназначена и должна использоваться:

1. органами аккредитации лабораторий для калибровки весов,
2. лабораториями, аккредитованными для калибровки весов,
3. испытательными центрами, лабораториями или изготовителями, использующими весы для измерений, связанных с качеством продукции, на которое распространяются требования СМК (например серии ИСО 9000, ИСО 10012, ИСО/МЭК 17025).

### **3 ТЕРМИНОЛОГИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ**

Используемая в этом документе терминология главным образом основана на существующих документах

- РМГ 29-2013 «Метрология. Основные термины и определения»;
- ГОСТ OIML R76-1-2011 [2] (или EN 45501 [3]) для терминов, относящихся к функционированию, конструкции и метрологических характеристик весов неавтоматического действия;
- ГОСТ OIML R111-1-2009 [4] для терминов, относящихся к гирям;
- JCGM 200 [5] для терминов, относящихся к калибровке.

Для таких терминов в этом документе объяснения не приводятся, но при первом появлении в тексте даются ссылки.

Обозначения, смысл которых не самоочевиден, поясняются при их первом использовании в тексте. Те обозначения, которые используются более чем в одном разделе основного документа, собраны в Приложении D.

### **4 ОБЩИЕ АСПЕКТЫ КАЛИБРОВКИ**

#### **4.1 Элементы калибровки**

Калибровка заключается в

1. приложении испытательных нагрузок к весам в заданных условиях,
2. определении погрешности или изменения показания, и
3. оценивании неопределенности результата измерений, которая должна быть отнесена к этим результатам.

#### **4.1.1 Диапазон калибровки**

Если заказчиком не требуется иное, калибровка распространяется на весь диапазон взвешивания [2] (или [3]) от нуля до максимальной нагрузки *Max*. Заказчик может задать часть диапазона взвешивания, ограниченную минимальной нагрузкой *Min'* и наибольшей нагрузкой при взвешивании *Max'*, или отдельные номинальные нагрузки, для которых ему требуется калибровка.

Для весов с несколькими диапазонами взвешивания [2] (или [3]), заказчик должен определить диапазон(ы), которые требуется калибровать. Вышеприведенный параграф можно применять к каждому диапазону в отдельности.

#### **4.1.2 Место калибровки**

Обычно калибровку выполняют на месте эксплуатации весов.

Если после калибровки весы перемещают в другое место расположения, то возможные влияния, обусловленные

1. разницей в значениях ускорения свободного падения;
2. изменением условий окружающей среды;
3. механическими и температурными условиями транспортирования

могут изменить метрологические характеристики весов и сделать калибровку недействительной. Если для отдельных весов или типа весов невосприимчивость к этим влияниям не была ясно продемонстрирована, то перемещений весов после калибровки следует избегать. Если такая невосприимчивость не может быть доказана, сертификат о калибровке не должен приниматься в качестве доказательства прослеживаемости измерений.

#### **4.1.3 Предварительные условия, подготовительные операции**

Калибровку не следует выполнять при несоответствии следующим условиям

1. Весы можно легко идентифицировать;
2. Все функции весов свободны от влияния загрязнений или повреждений, и функции, необходимые для калибровки, выполняются в соответствии с назначением;
3. Представления значений массы однозначны и показания легко считываются;
4. Обычные условия эксплуатации (воздушные потоки, вибрации, прочность площадки, на которой установлены весы и т.п.) приемлемы для калибруемых весов;
5. Перед калибровкой весы включены в течение необходимого времени, например в течение времени, указанного в документации изготовителя, для прогрева весов;
6. Весы выставлены по уровню, если требуется;
7. Весы предварительно нагружались до приблизительно наибольшей испытательной нагрузки по крайней мере один раз, рекомендуется повторное нагружение.

Весы, рассчитанные на регулярную юстировку перед использованием, следует юстировать перед калибровкой, если с заказчиком не согласовано иное. Юстировку следует выполнять средствами, обычно используемыми заказчиком, и в соответствии с инструкциями изготовителя, если применимо. Юстировку следует осуществлять посредством внешних или встроенных испытательных нагрузок.



Наиболее приемлемой рабочей процедурой для весов с высоким разрешением (с относительным разрешением лучше  $1 \times 10^5$  от полной шкалы) является выполнение юстировки весов непосредственно перед калибровкой, а также непосредственно перед использованием.

Весы, оснащенные устройством автоматической установки нуля или устройством слежения за нулем [2] (или [3]), калибруют с работающими или отключенными устройствами, как это будет определено пользователем (заказчиком).

Для калибровки на месте следует попросить пользователя обеспечить во время калибровки преобладание обычных условий эксплуатации. Это позволит отразить в результатах измерений, насколько это возможно, такие влияющие факторы как воздушные потоки, вибрации, наклон грузоприемной платформы и, следовательно, включить их в неопределенность измерений.

## 4.2 Испытательная нагрузка и показание

### 4.2.1 Основное соотношение между нагрузкой и показанием

В общем виде показание весов пропорционально силе, с которой воздействует объект массой  $m$  на грузоприемное устройство

$$I = k_s m g (1 - \rho / \rho_a) \quad (4.2.1-1)$$

где  $g$  местное ускорение свободного падения;  
 $\rho_a$  плотность окружающего воздуха;  
 $\rho$  плотность объекта;  
 $k_s$  юстировочный коэффициент.

Заключенные в скобки члены учитывают уменьшение этой силы вследствие воздействия на объект выталкивающей силы воздуха.

### 4.2.2 Действие выталкивающей силы воздуха

В настоящее время для юстировки и/или калибровки весов принято использовать гири, откалиброванные по условному значению массы  $m_c^1$ . Принципиально, при стандартной плотности воздуха  $\rho_0 = 1,2 \text{ кг/м}^3$  весы должны показывать условную массу  $m_c$  взвешиваемого объекта.

Юстировку выполняют при плотности воздуха  $\rho_{as}$  так, что влияния  $g$  и действующей выталкивающей силы на юстировочную гирю с условной массой  $m_{cs}$  включаются в юстировочный коэффициент  $k_s$ . Следовательно, во время юстировки показание  $I_s$  равно

$$I_s = m_{cs} \quad (4.2.2-1)$$

Юстировку выполняют при условиях, характеризуемых действующими значениями  $g_s$ ,  $\rho_s \neq \rho_c$ , и так как  $\rho_{as} \neq \rho$ , они обозначаются индексом «S» и применимы только при этих условиях. Для другого тела с условной массой  $m_c$  с  $\rho \neq \rho_c$ , взвешенного на тех же весах, но

<sup>1</sup> Условное значение массы  $m_c$  некоторого тела определено в [4] как численное значение массы  $m$  гири со стандартной плотностью  $\rho_c = 8000 \text{ кг/м}^3$ , которая уравнивает это тело при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  в воздухе с плотностью  $\rho_0$ :

$$m_c = m \{ (1 - \rho / \rho_c) / (1 - \rho / \rho_0) \} \quad (4.2.2-2)$$

где  $\rho_0 = 1,2 \text{ кг/м}^3$  = стандартное значение плотности воздуха

при других условиях:  $g \neq g_s$  и  $\rho_a \neq \rho_{as}$ , показание в общем виде (пренебрегая членами 2-го или большего порядка) равно [6]

$$I = m_e(g/g_s)\{1 - (\rho - \rho)(1/\rho - 1/\rho_s) - (\rho - \rho_{as})/\rho_s\} \quad (4.2.2-3)$$

Если весы не перемещали, то значение  $g$  не изменилось, поэтому  $g/g_s = 1$ . Именно этот случай рассматривается далее.

Показание весов будет совпадать с условной массой тела только в некоторых частных случаях, самыми очевидными являются:

- $\rho_a = \rho_{as} = \rho$ .
- взвешивание выполняется при  $\rho_a = \rho_{as}$  и плотность взвешиваемого тела  $\rho = \rho_s$ .

Формула еще более упрощается в случае, когда некоторые значения плотностей равны:

- а) взвешивание некоторого тела в воздухе со стандартной плотностью  $\rho_a = \rho$  тогда

$$I = m_e[1 - (\rho - \rho_{as})/\rho_s] \quad (4.2.2-4)$$

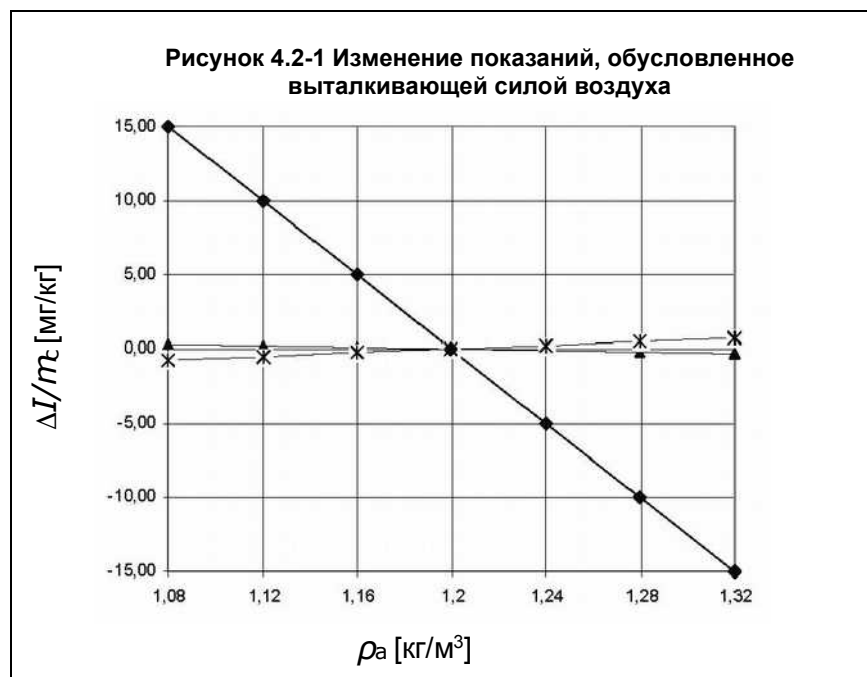
- б) взвешивание некоторого тела с плотностью, равной плотности юстировочной гири  $\rho = \rho_s$ , тогда снова (как в случае а))

$$I = m_e[1 - (\rho - \rho_{as})/\rho_s] \quad (4.2.2-5)$$

- с) взвешивание при такой же плотности воздуха, как во время юстировки:  $\rho_a = \rho_{as}$  тогда

$$I = m_e[1 - (\rho - \rho)(1/\rho - 1/\rho_s)] \quad (4.2.2-6)$$

На рисунке 4.2-1 показаны примеры величин относительных изменений  $\Delta I/m_c = (I - m)/m_c$  для весов, отъюстированных гирями с  $\rho_s = \rho$  используемых при калибровке.



Линия  $\bullet$  относится к телу с  $\rho = 7\,810$  кг/м<sup>3</sup>, взвешиваемому при  $\rho_a = \rho_{as}$  (как в случае с выше)

Линия  $\blacktriangle$  относится к телу с  $\rho = 8\,400$  кг/м<sup>3</sup>, взвешиваемому при  $\rho_a = \rho_{as}$  (как в случае с выше)

Линия  $\otimes$  относится к телу с  $\rho = \rho_s = \rho_c$  после юстировки при  $\rho_{as} = \rho_0$  (как в случае b выше)

Очевидно, что при этих условиях изменения плотности воздуха имеют намного большее влияние, чем различия плотностей тел.

Дополнительные сведения о плотности воздуха даны в приложении А, и о выталкивающей силе воздуха для гирь - в приложении Е.

#### 4.2.3 Влияния конвекции

Если гири были транспортированы к месту калибровки, их температура может отличаться от температуры весов и окружающей среды. Разность температур  $\Delta T$  определяется как разность температуры гири и температуры окружающего воздуха. В этом случае следует отметить два явления:

- Начальная разность температур  $\Delta T_0$  может быть снижена до меньшего значения  $\Delta T$  за счет акклиматизации за время  $\Delta t$ ; она происходит быстрее для гирь меньшего размера, чем для больших.
- Когда гирю помещают на грузоприемное устройство, действующая разность  $\Delta T$  создает вокруг гири поток воздуха, приводящий к возникновению паразитных сил, которые вызывают видимое изменение показаний весов, связанное с  $\Delta m_{conv}$  гири. Знак  $\Delta m_{conv}$  обычно противоположен знаку  $\Delta T$ , его значение выше для гирь большего размера, чем для меньших.

Соотношение между указанными величинами:  $\Delta T_0$ ,  $\Delta t$ ,  $\Delta T$ ,  $m$  и  $\Delta m_{conv}$  нелинейны и зависят от условий теплообмена между гирями и окружающей их средой – см. [7].

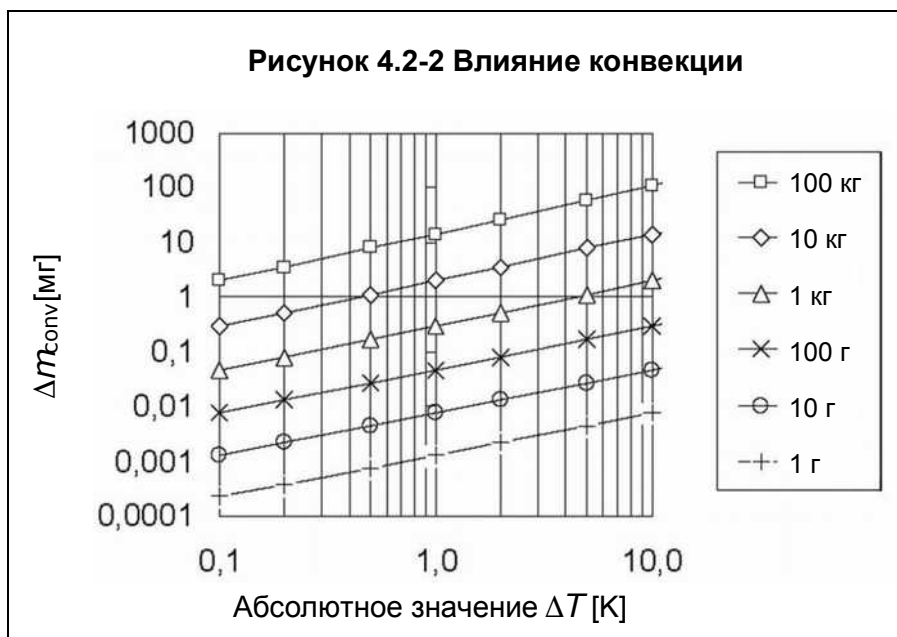


Рисунок 4.2-2 дает представление о величине наблюдаемого изменения массы в зависимости от разности температур для некоторых отдельных номинальных значений массы гирь.

Этот эффект следует учитывать либо, давая гирям акклиматизироваться до такой степени, чтобы оставшееся в изменение массы  $\Delta m_{conv}$  было пренебрежимо мало, принимая во внимание требуемую заказчиком неопределенность калибровки, либо принимая во внимание возможное изменение показания в бюджете неопределенности калибровки. Эффект может быть значительным для гирь высокой точности, например для гирь класса точности  $E_2$  или  $F_1$  по ГОСТ OIML R 111-2009 [4].

Более подробные сведения приведены в приложении F.

#### 4.2.4 Поправка на выталкивающую силу для опорного значения массы

Для определения погрешности показания весов используют стандартные гири с известным условным значением массы  $m_{Cal}$ . Их плотность  $\rho_{Cal}$  обычно отличается от стандартного значения  $\rho_s$ , а плотность воздуха  $\rho_{aCal}$  во время калибровки обычно отличается от  $\rho_0$ .

Погрешность  $E$  показания равна

$$E = I - I_{ref} \tag{4.2.4-1}$$

где  $I_{ref}$  – опорное значение показания весов, далее называемое опорным значением массы,  $m_{ref}$ . В результате влияний выталкивающей силы воздуха, конвекции, дрейфа и других, которые могут привести к небольшим поправочным членам  $\delta m_x$ , опорное значение  $m_{ref}$  не будет равно условному значению массы  $m_{Cal}$

$$m_{ref} = m_{Cal} + \delta m_B + \delta m_{..} \tag{4.2.4-2}$$

Поправка на выталкивающую силу воздуха  $\delta m_B$  зависит от величин  $\rho_s$  и  $\rho_{as}$ , которые были во время юстировки, но они обычно не известны. Предполагается, что используются гири стандартной плотности  $\rho_s = \rho$ . Общим выражением для поправки из (4.2.2-3) будет

$$\delta m_B = -m_{\text{Cal}}[(\rho_{\text{Cal}} - \rho)(1/\rho_{\text{Cal}} - 1/\rho_c) + (\rho_{\text{Cal}} - \rho_s)/\rho_c] \quad (4.2.4-3)$$

Для плотности воздуха  $\rho_{\text{as}}$  рассматриваются две ситуации. Если юстировка весов выполняется непосредственно перед калибровкой, то  $\rho_{\text{as}} = \rho_{\text{Cal}}$ . Тогда уравнение (4.2.4-3) принимает простой вид

$$\delta m_B = -m_{\text{Cal}}[(\rho_{\text{Cal}} - \rho)(1/\rho_{\text{Cal}} - 1/\rho_c)] \quad (4.2.4-4)$$

Если юстировка весов выполняется независимо от калибровки, при неизвестной плотности воздуха  $\rho_{\text{as}}$ , то невозможна поправка для последнего члена уравнения (4.2.4-3), который по существу составляет часть погрешности показания. Вносимая поправка должна также быть (4.2.4-4) [10].

Начиная отсюда индекс «Cal» будет опускаться, за исключением случаев, где он необходим во избежание неясности.

### 4.3 Испытательные нагрузки

Испытательными нагрузками предпочтительно должны являться стандартные гири, прослеживаемые до первичного эталона единицы массы СИ. Однако можно использовать другие испытательные нагрузки для испытаний сравнительного характера – например испытания на нецентральное нагружение, испытания на повторяемость; или для простого нагружения весов – например предварительное нагружение, тарная нагрузка при работе устройства тарирования, замещающая нагрузка.

#### 4.3.1 Стандартные гири

Прослеживаемость гирь, используемых при испытаниях, должна быть продемонстрирована посредством калибровки/поверки [8], заключающейся в

1. определении условного значения массы  $m_c$  и/или поправки к номинальному значению  $m_n$ :  $\delta m_c = \delta m - \delta m_n$  вместе с расширенной неопределенностью калибровки  $U_{95}$ , или
2. подтверждении того, что  $m_c$  находится в пределах максимально допускаемых погрешностей  $m_{pe}$   
 $m_n - (m_{pe} - \delta m) \leq m_c \leq m_n + (m_{pe} - \delta m)$ .

Гири должны также отвечать следующим требованиям в той степени, которая применима к их точности:

3. плотность  $\rho_s$  достаточно близкая к стандартной  $\rho_c = 8\,000 \text{ кг/м}^3$ ,
4. чистота поверхности гири (шероховатость), достаточная для предотвращения изменений массы вследствие загрязнения или налипания,
5. магнитные свойства, обеспечивающие минимальное взаимодействие с калибруемыми весами.

Гири должны соответствовать ГОСТ OIML R 111-1-2009 [4].

Максимально допускаемые погрешности или неопределенности калибровки эталонных гирь должны быть совместимы с с ценой деления шкалы  $d$  [2] (или [3]) весов и/или потребностями заказчика в отношении неопределенности калибровки весов.

#### 4.3.2 Прочие испытательные нагрузки

Для некоторых применений, упомянутых в 4.3, 2-е предложение, нет необходимости в том, чтобы условное значение массы испытательной нагрузки было известно. В этих случаях можно использовать отличные от эталонных гирь нагрузки, уделив должное внимание следующему:

1. Форма, материал, состав должны обеспечивать удобное обращение;
2. Форма, материал, состав должны позволять легко определять положение центра тяжести;
3. Их масса должна оставаться постоянной на протяжении всего периода использования их для калибровки;
4. Их плотность должна быть легко оцениваемой;
5. Нагрузки с малой плотностью (напр. наполненные песком или гравием контейнеры), могут требовать специального внимания в отношении выталкивающей силы воздуха. Температура и атмосферное давление могут требовать контроля на протяжении всего периода использования этих нагрузок для калибровки.

#### 4.3.3 Использование замещающих нагрузок

Испытательная нагрузка, условное значение массы которой должно быть известным, должна полностью состоять из эталонных гирь. Но когда это невозможно, или же эталонных гирь недостаточно для калибровки нормального диапазона весов или диапазона, согласованного с заказчиком, для замещения можно использовать любую другую нагрузку, удовлетворяющую 4.3.2. Калибруемые весы используются в качестве компаратора для подбора замещающей нагрузки  $L_{sub}$  таким образом, чтобы она давала приблизительно такое же показание  $I$ , как соответствующая нагрузка  $L_{st}$ , составленная из эталонных гирь.

Первая испытательная нагрузка  $L_{T1}$ , составленная из эталонных гирь  $m_{ref}$ , дает показание

$$I(L_{st}) = I(m_{ref}) \quad (4.3.3-1)$$

После удаления  $L_{st}$  помещают замещающую нагрузку  $L_{sub1}$  и подбирают так, чтобы она давала приблизительно такое же показание

$$I(L_{sub1}) \approx I(m_{ref}) \quad (4.3.3-2)$$

поэтому

$$L_{sub1} = m_{ref} + I(L_{sub1}) - I(m_{ref}) = m_{ref} + \Delta I \quad (4.3.3-3)$$

Следующую испытательную нагрузку  $L_{T2}$  составляют добавлением  $m_{ref}$

$$L_{T2} = L_{sub1} + m_{ref} = 2m_{ref} + \Delta I \quad (4.3.3-4)$$

$m_{ref}$  снова заменяют замещающей нагрузкой  $\approx L_{sub1}$ , подбирая до  $\approx I(L_{T2})$ .

Эту процедуру можно повторять для получения испытательных нагрузок  $L_{T3}, \dots, L_{Tn}$

$$L_{Tn} = nm_{ref} + \Delta I + \Delta I + \dots + \Delta I_1 \quad (4.3.3-5a)$$

Однако с каждым этапом замещения неопределенность общей испытательной нагрузки возрастает значительно больше, чем при составлении ее только из эталонных гирь, вследствие влияний повторяемости и разрешения весов. – ср. также 7.1.2.6<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Пример: для весов с  $Max = 5000$  кг и  $d = 1$  кг стандартная неопределенность для 5 т эталонных гирь класса точности M1 – исходя из их номинального значения и используя (7.1.2-3) – равна приблизительно 150 г, тогда как стандартная

Если испытательная нагрузка  $L_{T1}$  составлена из более чем одной эталонной гири, можно сначала использовать эталонные гири для создания  $N$  отдельных испытательных нагрузок  $m_{ref,k} (k = 1, \dots, N)$  с условием

$$m_{ref,1} < m_{ref,2} < \dots < m_{ref,N} = m_{ref} = L_{T1}. \quad (4.3.3-6)$$

Далее  $L_{T1}$  заменяют замещающей нагрузкой  $L_{sub1}$  и затем испытательные нагрузки  $m_{ref,k}$  можно снова последовательно добавлять. Отдельные испытательные нагрузки будут обозначаться  $L_{Tn,k}$ , где

$$L_{Tn,k} = (n - 1)m_{ref} + m_{ref,k} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta_n L_1 \quad (4.3.3-5b)$$

## 4.4 Показания

### 4.4.1 Общие сведения

Любое показание  $I$ , относящееся к испытательной нагрузке, по существу представляет разность показаний  $I_L$  с нагрузкой и  $I_0$  без нагрузки, перед приложением нагрузки

$$I = I_L - I_0 \quad (4.4.1-1a)$$

Предпочтительно для любого испытания записывать показания без нагрузки вместе с показаниями при нагрузке. В случае, если пользователь весов для каждого нагружения учитывает возвращение к нулю при обычном использовании весов, например, в случае значительного дрейфа, в показание можно вносить поправку согласно уравнению (4.4.1-1b)<sup>3</sup>. Однако запись показаний без нагрузки может быть излишней, если методика испытаний требует выставления нуля весов перед приложением испытательной нагрузки.

Для любой испытательной нагрузки, в том числе и без нагрузки, показание  $I$  весов считают и записывают только, если его можно считать стабильным. Если высокое разрешение прибора или условия окружающей среды на месте калибровки препятствуют стабильности показаний, следует оценивать и записывать среднее значение вместе с информацией о наблюдаемой вариабельности (напр. разброс значений, дрейф в обоих направлениях).

Во время калибровочных тестов следует записывать исходные показания, а не погрешности или изменения показаний.

### 4.4.2 Разрешение

Показания обычно получают в виде целых чисел, кратных действительной цене деления шкалы  $d$ .

По усмотрению калибровочной лаборатории и с разрешения заказчика можно применять средства для получения показаний с разрешением более высоким, чем  $d$ , напр.

неопределенность испытательной нагрузки составленной из 1 т эталонных гирь и 4 т замещающей нагрузки, используя (7.1.2-16a), будет приблизительно 1,2 кг. В этом примере не учитывается вклад неопределенностей, обусловленных выталкивающей силой воздуха и дрейфом. Также принято, что в неопределенность показания входит только погрешность округления без нагрузки и с нагрузкой.

<sup>3</sup> В случае линейного дрейфа отсчет с поправкой получают согласно

$$I = I_L - (I_0 + I_i)/2 \quad (4.4.1-1b)$$

где  $I_0$  и  $I_i$  есть показания без нагрузки до и после приложения нагрузки.

когда проверяется соответствие техническим условиям и требуется меньшая неопределенность. Такими средствами могут быть

1. Переключение показывающего устройства на меньшую цену деления шкалы  $d_T < d$  («служебный режим»). В таком случае показания получают в виде целого числа, кратного  $d_T$ .
2. Приложение небольших дополнительных испытательных гирь с шагами  $d_T = d/5$  или  $d/10$  для более точного определения нагрузки, при которой показание однозначно изменяется с  $I$  на  $I + d$  («метод точки перехода»). В этом случае показание  $I$  записывают вместе с суммой  $\Delta L$  для  $n$  дополнительных испытательных гирь, необходимых для увеличения  $I$  на одно  $d$ .

Показание  $I_L$  равно

$$I_L = I + d/2 - \Delta L \pm d/2 - n d \quad (4.4.2-1)$$

Если применяется метод точки перехода, рекомендуется применять его для показаний при нуле и для показаний с нагрузкой.

## 5 МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Испытания обычно выполняют для определения

- повторяемости показаний,
- погрешности показаний,
- влияния на показание внецентренного приложения нагрузки.

Калибровочной лаборатории, принимающей решение о количестве измерений для своей обычной процедуры калибровки, следует учесть, что в общем большее количество измерений ведет к снижению неопределенности результата измерения, но увеличивает затраты.

Принимая во внимание обычное использование весов, подробности испытания, выполняемого для отдельной калибровки, можно закрепить в соглашении между заказчиком и калибровочной лабораторией. Возможно соглашение сторон о дополнительных испытаниях и проверках, которые могут способствовать оценке метрологических характеристик весов при особых условиях эксплуатации. Любое такое соглашение должно согласовываться с минимальными числами испытаний, определенными в последующих разделах.

### 5.1 Испытание на повторяемость

Это испытание заключается в повторном помещении одного и того же груза на грузоприемное устройство, при одинаковых условиях манипулирования грузом и весами, и при постоянных условиях испытания.

Испытательную нагрузку(и) не требуется калибровать или поверять, за исключением случая, когда результаты служат для определения погрешности показания согласно 5.2. Испытательная нагрузка должна, по возможности, состоять из одного отдельного предмета.



Испытание выполняют с по меньшей мере одной испытательной нагрузкой  $L_T$ , которую следует выбрать в целесообразном соотношении  $d_{Max}$  и разрешением весов, чтобы можно было оценить метрологические характеристики весов. Для весов с постоянной ценой деления шкалы  $d$  нагрузка приблизительно  $0,5Max \leq L_T \leq Max$  достаточно обычна; ее часто понижают для весов, у которых  $L_T$  может составлять несколько 1000 кг. Для многоинтервальных весов [2] (или [3]) может быть предпочтительной нагрузка чуть меньше  $Max_1$ . Для многодиапазонных весов может быть достаточной нагрузка чуть меньше максимальной нагрузки диапазона с наименьшей ценой деления шкалы. Специальное значение  $L_T$  может быть принято сторонами когда это оправдано с точки зрения определенного применения весов.

Это испытание может быть выполнено более чем в одной точке, с испытательными нагрузками  $L_{Tj}$ ,  $1 \leq j \leq k_L$ , где  $k_L$  = число испытательных точек.

Перед выполнением испытания показание следует установить на нуль. Нагрузку следует прикладывать не меньше 5 раз, или не меньше 3 раз, если  $L_T \geq 100$  кг.

Показания  $I_{Li}$  записывают при каждом помещении нагрузки. После каждого снятия нагрузки показание следует проверить и может быть установить на нуль, если оно не показывает нуль; регистрация показания без нагрузки  $I_{0i}$  может быть целесообразна согласно 4.4.1. Дополнительно следует регистрировать состояние устройства установки или слежения за нулем, если оно имеется.

## 5.2 Испытание на погрешность показаний

Это испытание выполняют с  $k_L \geq 5$  различными испытательными нагрузками  $L_{Tj}$ ,  $1 \leq j \leq k_L$ , достаточно равномерно распределенными по обычному диапазону взвешивания или в отдельных испытательных точках, принятых согласно 4.1.1. Примеры целевых значений

- $k_L = 5$ : нуль или  $Min$ ;  $0,25 Max$ ;  $0,5 Max$ ;  $0,75 Max$ ;  $Max$ . Возможно отклонение фактических испытательных нагрузок от целевого значения вплоть до  $0,1 Max$  при условии, что разность между последовательными испытательными нагрузками не меньше  $0,2 Max$ ,
- $k_L = 11$ : нуль или  $Min$ , 10 приращений по  $0,1 Max$  до  $Max$ . Возможно отклонение фактических испытательных нагрузок от целевого значения вплоть до  $0,05 Max$  при условии, что разность между последовательными испытательными нагрузками не меньше  $0,08 Max$ ,

Целью этого испытания является определение погрешности весов во всем диапазоне взвешивания.

Если согласован значительно меньший диапазон калибровки, число испытательных нагрузок можно соответственно сократить, при условии сохранения не менее 3 испытательных точек, включая  $Min'$  и  $Max'$ , и разности между двумя последовательными испытательными нагрузками не больше  $0,15Max$ .

Необходимо, чтобы испытательные нагрузки состояли из соответствующих эталонных гирь или замещающих нагрузок согласно 4.3.3.

Перед выполнением испытания показание следует установить на нуль. Испытательные нагрузки  $L_{Tj}$  обычно прикладывают однократно одним из следующих способов

1. увеличивая пошагово с разгрузкой между отдельными шагами – в соответствии с большинством использований весов для взвешивания одиночных нагрузок;
2. непрерывно увеличивая пошагово без разгрузки между отдельными шагами; здесь возможны эффекты сползания результатов, но меньше перемещений нагрузки на приемник и с него по сравнению с перечислением 1;
3. непрерывно увеличивая и уменьшая пошагово – процедура, принятая для поверочных испытаний в [2] (или [3]), комментарии такие же, как для перечисления 2;
4. непрерывно уменьшая пошагово, начиная с  $Max$  – имитация использования весов в качестве бункерных весов для субтрактивного дозирования, комментарии такие же, как для перечисления 2.

Для многоинтервальных весов– см. [2] (или [3]), указанные выше методы можно изменять для шагов нагрузки меньше  $Max$ , прилагая возрастающие и/или убывающие тарные нагрузки, тарируя весы, и прилагая испытательную нагрузку близкую, но не превышающую  $Max_1$  для получения показаний с  $d_1$ .

Для весов с несколькими диапазонами [2] (или [3]) заказчик может определять диапазон(ы) для калибровки (см. 4.1.1, 2-й параграф).

Дополнительные испытания могут потребоваться для оценки метрологических характеристик весов в специальных условиях применения, напр. показаний после операции уравнивания тары, изменений показания при постоянной нагрузке в течение определенного времени и т.д.

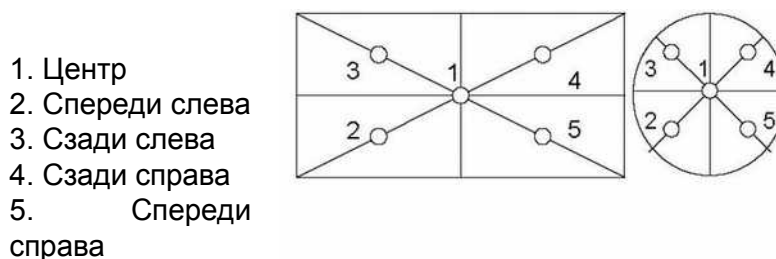
Испытание или отдельные нагружения можно повторять для совмещения с испытанием повторяемости согласно 5.1.

Показания  $I_{Lj}$  регистрируют для каждой нагрузки. Если нагрузки снимаются, показание нуля следует проверять и, возможно, сбрасывать на нуль, если весы его не показывают; регистрация показаний без нагрузки  $I_{0j}$  может быть целесообразна согласно 4.4.1.

### 5.3 Испытание эксцентриситета

Это испытание заключается в помещении испытательной нагрузки  $L_{ecc}$  в различные положения на грузоприемном устройстве так, чтобы центр тяжести прикладываемой нагрузки принимал положения, показанные на рисунке 5.3-1 или насколько возможно равноценные.

**Рис. 5.3-1 Положения нагрузки для испытания эксцентриситета**



Возможны применения, в которых испытательную нагрузку невозможно поместить в центре грузоприемного устройства или вблизи него. В таком случае достаточно помещать испытательную нагрузку в остающихся положениях, как показано на рисунке 5.3-1. В

зависимости от формы платформы число положений вне центра может отклоняться от показанного на рисунке 5.3-1.

Для сокращенного диапазона взвешивания испытательная нагрузка  $L_{ecc}$  должна быть приблизительно  $Max/3$  или выше, либо  $Min' + (Max' - Min')/3$  или выше.

Для специальных грузоприемных устройств следует учитывать рекомендации изготовителя, если имеются, и следующие из конструкции весов очевидные ограничения – напр. см. ГОСТ OIML R76-2011 [2] (или EN 45501 [3]).

Для весов с несколькими диапазонами [2] (или [3]) испытание следует выполнять в диапазоне с определенной заказчиком наибольшей максимальной нагрузкой (см. 4.1.1, 2-й параграф).

Испытательную нагрузку не требуется калибровать или поверять, за исключением случая, когда результаты служат для определения погрешностей показания согласно 5.2.

Испытание можно выполнять различными способами:

1. Перед выполнением испытания показание следует установить на нуль. Испытательную нагрузку сначала помещают в положение 1, затем перемещают в остальные 4 положения в произвольном порядке. Показания  $I_{Li}$  регистрируют для каждого положения нагрузки.
2. Испытательную нагрузку сначала помещают в положение 1, затем весы тарируют. Затем испытательную нагрузку перемещают в остальные 4 положения в произвольном порядке. Показания  $I_{Li}$  регистрируют для каждого положения нагрузки.
3. Перед выполнением испытания показание следует установить на нуль. Испытательную нагрузку сначала помещают в положение 1, убирают, и затем помещают в следующее положение и т.д., до снятия из последнего положения. Показания  $I_{Li}$  регистрируют для каждого положения нагрузки. После каждого снятия нагрузки показание следует проверить и может быть установлено на нуль, если оно не показывает нуля; регистрация показания без нагрузки  $I_{0i}$  может быть целесообразна согласно 4.4.1.
4. Испытательную нагрузку сначала помещают в положение 1, затем весы тарируют. Затем испытательную нагрузку перемещают в следующее положение и потом обратно в положение 1 и т.д., до снятия из последнего положения. Показание для положения в центре  $I_{L1}$  регистрируют отдельно для всех показаний вне центра  $I_{Li}$ .

Методы 3 и 4 рекомендуются для весов, которые во время испытания эксцентриситета показывают значительный дрейф.

Для методов 2 и 4 устройства установки или слежения за нулем следует выключать во время всего испытания эксцентриситета.

#### **5.4 Вспомогательные измерения**

Рекомендуются следующие вспомогательные измерения и регистрации, в особенности если калибровку требуется выполнить с наименьшей возможной неопределенностью.

С учетом влияний выталкивающей силы воздуха – ср. 4.2.2:

Температуру воздуха в разумной близости от весов во время калибровки следует измерять по меньшей мере однократно. Если весы используются в регулируемой среде, интервал изменения температуры следует регистрировать, напр. по термографу, настройкам регулирующего устройства и т.д.

Атмосферное давление или, по умолчанию, высота площадки над уровнем моря также может быть полезна.

С учетом влияний конвекции – ср. 4.2.3:

Для предотвращения чрезмерных влияний конвекции следует проявлять особую осторожность, соблюдая предельное значение для разности температуры эталонных гирь и весов, и/или регистрируя выдерживаемое время акклиматизации. Для проверки разности температур может быть полезен термометр, помещенный в футляр эталонных гирь.

С учетом влияний магнитного взаимодействия:

Для весов с высоким разрешением рекомендуется проверка отсутствия заметного влияния магнитного взаимодействия. Эталонную гирю взвешивают вместе с прокладкой из немагнитного материала (напр. дерево, пластмасса), помещаемой сверху и снизу гири для получения двух различных показаний.

Если разность между этими двумя показаниями значительно отличается от нуля, это следует отметить в качестве предостережения в сертификате калибровки.

## 6 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Приведенные в главах 6 и 7 процедуры и формулы обеспечивают основу для оценки результатов калибровочных испытаний, и поэтому не требуют дополнительного описания в протоколе испытаний. Если используемые процедуры и формулы отличаются от приведенных в этом руководстве, в протоколе испытаний может потребоваться привести дополнительные сведения.

Это не подразумевает, что все формулы, обозначения и/или индексы используются для представления результатов в сертификате калибровки.

В этом разделе используется определение показания  $I$  согласно данному в 4.4.

### 6.1 Повторяемость

По  $n$  показаниям  $I_{ji}$  для заданной испытательной нагрузки  $L_j$  вычисляют среднее квадратическое отклонение  $S_j$ .

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2} \quad (6.1-1)$$

где

$$\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji} \quad (6.1-2)$$

Если прикладывалась только одна испытательная нагрузка, индекс  $j$  можно опустить.

## 6.2 Погрешность показаний

### 6.2.1 Дискретные значения

Для испытательной нагрузки  $L_{Tj}$  погрешность показания вычисляют согласно

$$E_j = I_j - m_{\text{ref}j} \quad (6.2-1)$$

Если показание  $I_j$  есть среднее нескольких отсчетов  $I_j$ , его следует понимать как среднее значение согласно (6.1-2).

Опорное значение массы  $m_{\text{ref}}$  можно применить к его номинальному значению  $m_{Nj}$

$$m_{\text{ref}j} = m_{Nj} \quad (6.2-2)$$

или, точнее, к его действительному условному значению  $m_c$

$$m_{\text{ref}j} = m_{cj} = (m_{Nj} + \delta m_{ej}) \quad (6.2-3)$$

Если испытательная нагрузка составлена из нескольких гирь, в приведенных выше формулах  $m_{Nj}$  заменяется на  $(\sum m_{Nj})_j$  и  $\delta m_{ej}$  заменяется на  $(\sum \delta m_{ej})_j$ .

Возможно внесение дополнительных поправок согласно (7.1.2-1).

### 6.2.2 Характеристики диапазона взвешивания

Дополнительно или в качестве альтернативы дискретным значениям  $I_j$ ,  $E_j$ , для диапазона взвешивания можно определить характеристическую, или калибровочную кривую, позволяющую оценивать погрешность показаний для любого показания  $I$  в пределах диапазона.

Функцию

$$E = f(I) \quad (6.2-4)$$

можно получить путем соответствующей аппроксимации, которая должна, в общем, быть основана на методе «наименьших квадратов»

$$\sum v_j^2 = \sum (f(I_j) - E_j)^2 = \text{minimum} \quad (6.2-5)$$

где

$v_j$  -остаточные погрешности;

$f$  -функция аппроксимации.

Аппроксимация должна также

- учитывать неопределенности  $u(E_j)$  погрешностей;
- использовать моделирующую функцию, отражающую физические свойства весов, например. вид зависимости между нагрузкой и показанием  $I = g(L)$ ;
- включать проверку математического соответствия найденных для моделирующей функции параметров с действующими данными.

Принимается, что для любой  $m_j$  погрешность  $E_j$  остается той же, если действующее показание  $I_j$  заменить его номинальным значением  $I_{Nj}$ . Расчеты для оценки (6.2-5) можно поэтому выполнять с наборами данных  $m_j, E_j$ , или  $I_{Nj}, E_j$ .

В приложении С даны рекомендации по выбору приемлемой формулы аппроксимации и по необходимым расчетам.

### 6.3 Влияние нецентрального нагружения

По показаниям  $I_i$ , полученных для различных положений нагрузки согласно 5.3, вычисляют разности  $\Delta I_{\text{ecc}}$

Для методов 1 и 2 согласно 5.3

$$\Delta I_{\text{ecc}i} = I_{Li} - I_{L1} \quad (6.3-1)$$

Для метода 3 согласно 5.3

$$\Delta I_{\text{ecc}i} = (I_{Li} - I_i) - I_{L1} \quad (6.3-2)$$

Для метода 4 согласно 5.3

$$\Delta I_{\text{ecc}i} = I_{Li} - I_{L1i} \quad (6.3-3)$$

где для каждого показания вне центра  $I_{Li}$  соответствующее показание в центре  $I_{L1i}$  используется для расчета.

## 7 НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

В этом и следующих разделах имеются составляющие неопределенности, соответствующие небольшим поправкам, которые пропорциональны некоторому определенному значению массы или некоторому определенному показанию. Для показателя, представляющего отношение этой неопределенности к соответствующему значению массы или показанию, будет использоваться обозначение  $U_{\text{rel}}$ .

Пример: пусть

$$u(\delta m_{\text{corr}}) = m \cdot u(\text{corr}) \quad (7-1)$$

с безразмерным членом  $u(\text{corr})$ , то

$$u_{\text{rel}}(\delta m_{\text{corr}}) = u(\text{corr}) \quad (7-2)$$

Соответственно, связанная с ним дисперсия будет обозначаться  $u_{\text{rel}}^2(\delta m_{\text{corr}})$  и связанная расширенная неопределенность  $U_{\text{rel}}(\delta m_{\text{corr}})$ .

Для определения неопределенности члены второго порядка принимаются пренебрежимо малыми, но если вклады членов первого порядка исключаются, вклады членов второго порядка следует учитывать (см. JCGM 101 [9], 9.3.2.6).

### 7.1 Стандартная неопределенность для дискретных значений

Основная формула для погрешности калибровки имеет следующий вид

$$E = I - m_f \quad (7.1-1)$$

с дисперсией

$$u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{\text{ref}}) \quad (7.1-2)$$

Когда используются замещающие нагрузки, см. 4.3.3,  $m_{\text{ref}}$  заменяют на  $L_{Tn}$  или  $L_{Tn,k}$  в обоих выражениях.

Далее приводится развернутое пояснение для составляющих.

### 7.1.1 Стандартная неопределенность показания

Для учета источников изменчивости показаний весов формулу (4.4.1-1) дополняют поправочными членами  $\delta I_{xx}$ , как показано ниже

$$I = \bar{I} + \delta I_{\text{dig}L} + \delta I_{\text{rep}} + \delta I_{\text{ecc}} - \bar{I} - \delta I_{\text{dig}0} + \dots \quad (7.1.1-1)$$

Можно добавлять дополнительные поправочные члены в особых условиях (влияния температуры, дрейф, гистерезис,...), которые далее не рассматриваются.

Математическое ожидание всех этих поправок равно нулю. Их стандартными неопределенностями являются нижеследующие.

7.1.1.1  $\delta I_{\text{dig}0}$  учитывает погрешность округления показания без нагрузки. Пределы равны  $\pm d_0/2$  или  $\pm d_T/2$  по применимости; принято прямоугольное распределение, отсюда

$$u(\delta I_{\text{dig}0}) = d_0 / (2\sqrt{3}) \quad (7.1.1-2a)$$

или

$$u(\delta I_{\text{dig}0}) = d_T / (2\sqrt{3}) \quad (7.1.1-2b)$$

соответственно.

Примечание 1. п. 4.4.2 о значимости  $d_T$ .

Примечание 2. в весах утвержденного типа по ГОСТ OIML R76-1-2011 [2] (или EN 45501 [3]) погрешность округления нулевого показания после операции установки нуля или уравнивания тары ограничена до  $\pm d_0/4$ , поэтому

$$u(\delta I_{\text{dig}0}) = d_0 / (4\sqrt{3}) \quad (7.1.1-2c)$$

7.1.1.2  $\delta I_{\text{dig}L}$  учитывает погрешность округления показания при нагрузке. Пределы равны  $\pm d_L/2$  или  $\pm d_T/2$  по применимости; принимается прямоугольное распределение, отсюда

$$u(\delta I_{\text{dig}L}) = d_L / 2\sqrt{3} \quad (7.1.1-3a)$$

или

$$u(\delta I_{\text{dig}L}) = d_T / 2\sqrt{3} \quad (7.1.1-3b)$$

Примечание: в многоинтервальных весах  $d_L$  изменяется в зависимости от  $I$ .

7.1.1.3  $\delta I_{\text{rep}}$  учитывает повторяемость показаний весов; принимается нормальное распределение, оцениваемое как

$$u(\delta I_{\text{rep}}) = s(I) \quad (7.1.1-5)$$

где  $s(I)$  определено в 6.1.

Если показание  $I$  является единственным отсчетом и выполнено только одно испытание на повторяемость, эту неопределенность повторяемости можно рассматривать в качестве репрезентативной для всего диапазона весов.

Если показание  $I_j$  есть среднее из  $N$  показаний, полученных с той же самой испытательной нагрузкой при испытании на погрешность показания, то соответствующая стандартная неопределенность равна

$$u(\delta I_{\text{rep}}) = s(I) / \sqrt{N} \quad (7.1.1-6)$$

Если несколько значений  $s_j$  ( $s_j = s(I_j)$  в сокращенной записи) определены с различными испытательными нагрузками, то следует использовать наибольшее значение  $s_j$  для двух испытательных точек, содержащих показание, погрешность которого была определена.

Для многоинтервальных и многодиапазонных весов, когда испытание на повторяемость выполняют более чем в одном интервале/диапазоне, среднее квадратическое отклонение в каждом интервале/диапазоне можно рассматривать в качестве репрезентативного для всех показаний весов в соответствующем интервале/диапазоне.

Примечание: Для приводимого в сертификате калибровки среднего квадратического отклонения следует пояснять, относится оно к одному показанию или среднему из  $N$  показаний.

7.1.1.4  $\delta I_{\text{ecc}}$  учитывает погрешность вследствие смещения центра тяжести испытательной нагрузки относительно центра платформы весов. Это влияние может возникать когда испытательная нагрузка состоит из нескольких гирь. Когда этим влиянием пренебречь нельзя, оценку его абсолютного значения можно получить на основании следующих допущений:

- определяемые в (6.3-1) разности  $\Delta I_{\text{ecc}}$  пропорциональны расстоянию нагрузки от центра платформы грузоприемного устройства;
- определяемые в (6.3-1) разности  $\Delta I_{\text{ecc}}$  пропорциональны значению нагрузки;
- эффективный центр тяжести испытательных нагрузок расположен относительно центра платформы не дальше чем на половине расстояния между центром платформы и положениями смещенных нагрузок, согласно рисунку 5.3-1.

Исходя из определенной согласно 6.3 наибольшей разности,  $\delta I_{\text{ecc}}$  оценивается как

$$\delta I_{\text{ecc}} \leq \{|\Delta I_{\text{ecc}}|_{\text{max}} / (2I_{\text{ecc}})\} I \quad (7.1.1-9)$$

Принимается прямоугольное распределение, поэтому стандартная неопределенность равна

$$u(\delta I_{\text{ecc}}) = I |\Delta I_{\text{ecc}}|_{\text{max}} / (2I_{\text{ecc}} \sqrt{3}) \quad (7.1.1-10)$$

или, в относительном виде



$$u_{\text{rel}}(\delta I_{\text{ecc}}) = |\Delta I_{\text{ecc}}|_{\text{max}} / (2 I_{\text{ecc}} \sqrt{3}) \quad (7.1.1-11)$$

7.1.1.5 Стандартную неопределенность показания обычно получают из выражения

$$u^2(I) = d_0^2/12 + d_f^2/12 + u^2(\delta I_{\text{rep}}) + u_{\text{rel}}^2(\delta I_{\text{ecc}}) I^2 \quad (7.1.1-12)$$

Примечание 1: неопределенность  $u(I)$  является постоянной только когда  $s$  постоянна, а вызываемая нецентральной нагрузкой погрешность не рассматривается.

Примечание 2: первые два члена в правой части можно изменять в специальных случаях, как сказано в 7.1.1.1 и 7.1.1.2.

## 7.1.2 Стандартная неопределенность опорного значения массы

Из 4.2.4 и 4.3.1 опорное значение массы равно

$$m_{\text{ref}} = m_N + \delta m_c + \delta m_B + \delta m_D + \delta m_{\text{env}} + \delta m \dots \quad (7.1.2-1)$$

Крайний справа член означает добавочные поправки, которые могут потребоваться в специальных условиях. Далее они не рассматриваются.

Поправки и их стандартные неопределенности следующие

7.1.2.1  $\delta m_c$  есть поправка к  $m_N$  для получения условного значения массы  $m_c$ ; приводится в сертификате калибровки гирь вместе с расширенной неопределенностью калибровки  $U$  и коэффициентом охвата  $k$ . Стандартная неопределенность равна

$$u(\delta m_c) = U/k \quad (7.1.2-2)$$

Если гиря откалибрована с определенными допусками  $Tol$ , напр. до  $m_{\text{ref}}$  данной в ГОСТ OIML R111-1-2009 [4], и если используется ее номинальное значение  $m_N$ , то  $\delta m_c = 0$ , и принимается прямоугольное распределение, тогда

$$u(\delta m_c) = Tol \sqrt{3} \quad (7.1.2-3)$$

Когда испытательная нагрузка состоит из нескольких гирь, для учета предполагаемой корреляции стандартные неопределенности суммируются арифметически, а не через сумму квадратов. Для испытательных нагрузок, частично состоящих из замещающих нагрузок, см. 7.1.2.6.

7.1.2.2  $\delta m_B$  есть поправка на выталкивающую силу воздуха, как изложено в 4.2.4. Значение зависит от плотности  $\rho$  юстировочной гири и принятого интервала плотности воздуха  $\rho_a$  в лаборатории.

$$\delta m_B = -m_N(\rho_a - \rho)(1/\rho - 1/\rho) \quad (7.1.2-4)$$

С относительной стандартной неопределенностью

$$u_{\text{rel}}^2(\delta m_B) = u^2(\rho_a)(1/\rho - 1/\rho)^2 + (\rho_a - \rho)^2 u^2(\rho)/\rho^4 \quad (7.1.2-5a)^4$$

<sup>4</sup> Более точной формулой для (7.1.2-5a) будет [10]

$$u_{\text{rel}}^2(\delta m_B) = u^2(\rho_a)(1/\rho - 1/\rho)^2 + (\rho_a - \rho)[(\rho_a - \rho) - 2(\rho_1 - \rho)]u^2(\rho)/\rho^4 \quad (7.1.2-5b)$$

Поскольку значения  $\rho$ ,  $u(\rho)$ ,  $\rho_a$  и  $u(\rho_a)$  известны, их следует использовать для определения  $u_{rel}(\delta m_B)$ .

Плотность  $\rho$  и ее стандартную неопределенность, при отсутствии этой информации, оценивают в соответствии с известными данными или на основании информации, предоставленной изготовителем. В приложении Е1 даны международно принятые значения плотности для материалов, обычно используемых для изготовления гирь.

Плотность воздуха  $\rho_a$  и ее стандартную неопределенность можно рассчитать на основании данных температуры и атмосферного давления при их наличии (относительная влажность имеет меньшее влияние), или оценить ее исходя из высоты над уровнем моря.

Если установлено соответствие гирь ГОСТ OIML R111-1-2009 [4], а информация о  $\rho$  и  $\rho_a$  отсутствует, можно обратиться к разделу 10 в ГОСТ OIML R111-1-2009<sup>5</sup>. Поправки не вносятся, а относительные неопределенности есть, если весы юстируют непосредственно перед калибровкой

$$u_{rel}(\delta m_B) \approx m p \phi (4 m_N \sqrt{3}), \quad (7.1.2-5c)$$

если весы не юстируют перед калибровкой

$$u_{rel}(\delta m_B) \approx (0,1 \theta / \rho_c + m p \phi (4 m_N)) / \sqrt{3} \quad (7.1.2-5d)$$

Если возможно некоторое допущение об изменении температуры в месте расположения весов, уравнение (7.1.2-5d) можно заменить следующим:

$$u_{rel}(\delta m_B) \approx \sqrt{1,07 \times 10^4 + 1,33 \times 10^6 T^{-2} \Delta T^2} \cdot \theta / \rho_c + m p \phi (4 m_N \sqrt{3}) \quad (7.1.2-5e)$$

где  $\Delta T$  есть наибольшая вариация температуры окружающей среды, которую можно принять для места расположения (подробности см. в приложениях А2.2 и А3).

Из требования в сноске 5 можно получить пределы значения  $\rho$ : напр. для класса  $E_2$ :  $|\rho - \rho_c| \leq 200 \text{ кг/м}^3$ , и для класса  $F_1$ :  $|\rho - \rho_c| \leq 600 \text{ кг/м}^3$ .

Примечание: Вследствие того, что плотность материалов используемых для эталонных гирь обычно ближе к  $\rho_c$ , чем позволяют пределы ГОСТ OIML R111-1-2009, последние 3 формулы можно рассматривать в качестве верхних пределов для  $u_{rel}(\delta m_B)$ . Когда простое сравнение этих значений с разрешением весов ( $d / Max$ ) показывает их достаточную незначительность, более тщательный расчет этой составляющей неопределенности исходя из действительных данных может быть излишним.

7.1.2.3  $\delta m_B$  соответствует возможному дрейфу  $m_c$  с момента последней калибровки. Предельное значение  $D$  лучше принимать исходя из разности  $m_c$ , следующей из сертификатов калибровки эталонных гирь.

где  $\rho_{a1}$  есть плотность воздуха во время калибровки эталонных гирь. Эта формула полезна, когда весы располагаются высоко над уровнем моря, иначе возможна завышенная оценка неопределенности.

<sup>5</sup> Плотность используемого для гирь материала должна быть такой, чтобы отклонение в 10 % от стандартной плотности воздуха (1,2 кг/м<sup>3</sup>) не вызывало погрешность выше одной четверти от наибольшей допустимой погрешности.

$D$  можно оценить, учитывая качество гирь, а также периодичность и аккуратность их использования, по меньшей мере в несколько раз больше их расширенной неопределенности  $U(\delta m_c)$

$$D = k_D U(\delta m_c) \quad (7.1.2-10)$$

где  $k_D$  есть выбираемое значение между 1 и 3.

В отсутствие информации о дрейфе значение  $D$  выбирают равным *тресогласно* ГОСТ OIML R 111-1-2009 [4].

Его не рекомендуется использовать в качестве поправки, но допустимо принять равномерное распределение в пределах  $\pm D$  (прямоугольное распределение). Стандартная неопределенность тогда

$$u(\delta m_D) = D / \sqrt{3} \quad (7.1.2-11)$$

Если комплект гирь откалиброван с нормированной расширенной относительной неопределенностью  $U_{rel}(\delta m_c)$ , может быть приемлемым ввести относительное предельное значение для дрейфа  $D_{rel} = D/m_i$  относительную неопределенность для дрейфа

$$u_{rel}(\delta m_D) = D_{rel} / \sqrt{3} \quad (7.1.2-12)$$

7.1.2.4  $\delta m_{conv}$  соответствует влияниям конвекции согласно 4.2.3. Предельное значение  $\Delta m_{conv}$  можно взять из приложения F, в зависимости от известной разности температуры  $\Delta T$  и массы эталонной гири.

Его не рекомендуется использовать в качестве поправки, но допустимо принять равномерное распределение в пределах  $\pm \Delta m_{conv}$ . Стандартная неопределенность тогда

$$u(\delta m_{conv}) = \Delta m_{conv} / \sqrt{3} \quad (7.1.2-13)$$

Можно полагать, что это влияние существенно только для классов  $F_1$  или выше.

7.1.2.5 Стандартную неопределенность эталонной массы получают из – ср. 7.1.2

$$u^2(m_{ref}) = u^2(\delta m_e) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) \quad (7.1.2-14)$$

с вкладами с 7.1.2.1 по 7.1.2.4.

7.1.2.6 Когда испытательная нагрузка частично состоит из замещающих нагрузок согласно 4.3.3, и испытательные нагрузки определяются согласно (4.3.3-5a), стандартная неопределенность для суммы

$$L_{Tn} = nm_{ref} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta_n L_1$$

описывается следующим выражением

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{ref}) + 2[u^2(I_1) + u^2(I_2) + \dots + u^2(I_{n-1})] \quad (7.1.2-15a)$$

где  $u(m_{ref})$  из 7.1.2.5,  $u(I_j)$  и из 7.1.1.5 для  $I = (L_{Tj})$

Когда испытательная нагрузка частично состоит из замещающих нагрузок согласно 4.3.3, и испытательные нагрузки определяются согласно (4.3.3-5b), стандартная

неопределенность  $L_{Tn,k} = (n - 1)m_{ref} + m_{ref,k} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1}$  для суммы описывается следующим выражением

$$u^2(L_{Tn,k}) = [(n - 1)u(m_{ref}) + u(m_{ref,k})]^2 + 2[u^2(I_1) + u^2(I_2) + \dots + u^2(I_{n-1})] \quad (7.1.2-15b)$$

где  $u(m_{ref})$  из 7.1.2.5, и  $u(I_j)$  из 7.1.1.5 для  $I = (L_{Tj})$

Примечание: Неопределенности  $u(I_j)$  также следует учитывать для показаний, когда замещающую нагрузку юстируют так, что  $\Delta I$  становится нулевой.

В зависимости от типа замещающей нагрузки, может оказаться необходимым добавить дополнительные составляющие:

- от внецентренного нагружения согласно 7.1.1.4 для некоторых или всех фактических показаний  $I(L_{Tj})$
- от воздействия выталкивающей силы воздуха на замещающие нагрузки, когда они выполнены из материалов с низкой плотностью (напр. песок, гравий) и плотность воздуха значительно изменяется во время использования замещающих нагрузок.

Если  $u(I_j) = \text{const}$ , выражение (7.1.2-15a) упрощается до

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{ref}) + 2[(n - 1)u^2(I)] \quad (7.1.2-16a)$$

и выражение (7.1.2-15b) упрощается до

$$u^2(L_{Tn,k}) = [(n - 1)u(m_{ref}) + u(m_{ref,k})]^2 + 2[(n - 1)u^2(I)] \quad (7.1.2-16b)$$

### 7.1.3 Стандартная неопределенность погрешности

Стандартную неопределенность погрешности, с учетом 7.1.1 и 7.1.2, соответственно, вычисляют по формуле

$$u^2(E) = u^2(\delta I_{dig0}) + u^2(\delta I_{dig}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(\delta m_e) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{onv}) \quad (7.1.3-1a)$$

или, если применяются относительные неопределенности, по формуле

$$u^2(E) = u^2(\delta I_{dig0}) + u^2(\delta I_{dig}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc})^2 + \{u_{rel}^2(\delta m_e) + u_{rel}^2(\delta m_B) + u_{rel}^2(\delta m_D)\} m_{ref}^2 + u^2(\delta m_{onv}) \quad (7.1.3-1b)$$

В случае использования замещающих нагрузок

$$u^2(E_{n,k}) = u^2(\delta I_{dig0}) + u^2(\delta I_{dig}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(L_{Tn,k}) \quad (7.1.3-1c)$$

где  $n$  относится к числу шагов замещения и  $k$  есть число эталонных гирь.

Все входные величины считаются некоррелированными, поэтому ковариации не рассматриваются. Индекс "j" опускается.

Ввиду того, что погрешности обычно мало сопоставимы с показанием, или даже могут быть нулевыми, в (7.1.3-1b) значения  $m_{ref}$  и  $I$  можно заменить на  $I_N$ .

Члены в (7.1.3-1b) можно затем объединить в простую формулу, лучше отражающую абсолютный характер у одних членов и пропорциональность показанию у других

$$u^2(E) = \alpha^2 + \beta^2 I^2 \quad (7.1.3-2)$$

## 7.2 Стандартная неопределенность для характеристики

Когда аппроксимацию выполняют для получения формулы  $E = f(I)$  для всего диапазона взвешивания согласно 6.2.2, стандартную неопределенность погрешности согласно 7.1.3 следует изменить, чтобы согласовать с методом аппроксимации. В зависимости от моделирующей функции это может быть

- простая дисперсия, которую добавляют в (7.1.3-1), или
- набор дисперсий и ковариаций, включающий дисперсии в (7.1.3-1).

Расчеты должны также включать проверку математической согласованности моделирующей функции с наборами данных  $E_j$ ,  $I_j$ ,  $u(E_j)$ .

Для аппроксимаций предлагается подход с использованием минимального  $\chi^2$ , подобный подходу в методе наименьших квадратов. Подробности приведены в приложении С.

## 7.3 Расширенная неопределенность при калибровке

Расширенная неопределенность погрешности равна

$$U(E) = k u(E) \quad (7.3-1)$$

Коэффициент охвата  $k$  следует выбирать таким, чтобы расширенная неопределенность соответствовала вероятности охвата 95,45 %.

Дополнительные сведения об определении коэффициента охвата даны в приложении В.

## 7.4 Стандартная неопределенность результата взвешивания

В главах 7.4 и 7.5 приведены рекомендации по оцениванию неопределенности измерений при обычном использовании весов, поэтому с учетом неопределенности измерений при калибровке. Если калибровочная лаборатория предлагает своим заказчикам такие оценки на основании информации, которая не была получена этой лабораторией путем измерений, такие оценки не следует представлять в виде части калибровочного сертификата. Однако допустимо предоставлять такие оценки при условии их четкого отделения от результатов калибровки.

Пользователь весов должен быть осведомлен о различии ситуаций, имеющих место при обычном использовании и при калибровке, в некоторых, если не во всех этих аспектах:

1. получаемые для взвешиваемых тел показания не являются таковыми при калибровке;
2. процесс взвешивания может отличаться от процедуры при калибровке;
  - a. обычно для каждой нагрузки получают один отсчет, а не несколько отчетов для получения некоторого среднего;
  - b. отсчет относится к цене деления шкалы/ веса не наибольшему разрешению;
  - c. нагружение осуществляется в направлении возрастания и убывания, не только вверх – или наоборот,

- d. нагрузка может находиться на грузоприемном устройстве длительное время, без разгрузки на каждом этапе – или наоборот;
  - e. внецентренное приложение нагрузки;
  - f. использование устройства уравнивания тары и т.д.;
3. окружающие условия (температура, атмосферное давление и т.д.) могут быть различными;
  4. для весов, не юстируемых регулярно, например с использованием встроенного устройства, юстировка может изменяться вследствие дрейфа или изнашивания. В отличие от пунктов с 1 по 3, такое влияние поэтому следует рассматривать в отношении определенного интервала времени, например в течение одного года или обычного интервала между калибровками;
  5. повторяемость юстировки.

В целях ясного различия полученных при калибровке показаний  $I$  и полученных при взвешивании нагрузки на откалиброванных весах в результаты взвешивания  $L$ , вводятся следующие термины и обозначения

- $R_L$  - отсчет при взвешивании нагрузки  $L$  на откалиброванных весах после калибровки.
- $R_0$  - отсчет без нагрузки на откалиброванных весах, получаемый после калибровки.

Отсчеты снимают в виде одиночных отсчетов с нормальным разрешением (кратных  $d$ ), с вносимыми при необходимости поправками.

Для отсчета, снятого в таких же условиях, как те, что преобладали при калибровке, результат можно называть результатом взвешивания в условиях калибровки  $W^*$

$$W^* = R_L + \delta R_{\text{dig}L} + \delta R_{\text{rep}} + \delta R_{\text{ecc}} - (R_0 + \delta R_{\text{dig}0}) - E \quad (7.4-1a)$$

с соответствующей неопределенностью

$$u(W^*) = \sqrt{\{u^2(E) + u^2(\delta R_{\text{dig}0}) + u^2(\delta R_{\text{dig}L}) + u^2(\delta R_{\text{rep}}) + u^2(\delta R_{\text{ecc}})\}} \quad (7.4-2a)$$

Чтобы учесть остальные возможные влияния на результат взвешивания, в отсчет формально добавлены дополнительные поправки общего характера, дающие общий результат взвешивания

$$W = W^* + \delta R_{\text{instr}} + \delta R_{\text{proc}} \quad (7.4-1b)$$

где  $\delta R_{\text{instr}}$  представляет поправочный член, учитывающий влияния окружающей среды, и  $\delta R_{\text{proc}}$  представляет поправочный член, учитывающий эксплуатацию весов.

Соответствующая неопределенность равна

$$u(W) = \sqrt{u^2(W^*) + u^2(\delta R_{\text{instr}}) + u^2(\delta R_{\text{proc}})} \quad (7.4-2b)$$

Добавленные члены и соответствующие стандартные неопределенности рассмотрены в 7.4.3 и 7.4.4. Стандартные неопределенности  $u(W^*)$  и  $u(W)$  в окончательном виде представлены в 7.4.5.

Разделы 7.4.3 и 7.4.4, 7.4.5 и 7.5 содержат рекомендации пользователю весов по оцениванию неопределенности результатов взвешивания, получаемых в обычных условиях применения. Они не являются исчерпывающими или обязательными.

#### 7.4.1 Стандартная неопределенность отсчета при эксплуатации

Для учета источников изменчивости показания применима (7.1.1-1) с заменой  $I$  на  $R$

$$R = \bar{R} + \delta R_{\text{dig}L} + \delta R_{\text{rep}} + \delta R_{\text{ecc}} - (R_0 + \delta R_{\text{dig}0}) \dots \quad (7.4.1-1)$$

Поправки и их стандартные неопределенности следующие

7.4.1.1  $\delta R_{\text{dig}0}$  учитывает погрешность округления при нулевом отсчете. 7.1.1.1 применим при условии, что вариант  $d_T < d$  исключен, поэтому

$$u(\delta R_{\text{dig}0}) = d_0 / \sqrt{12} \quad (7.4.1-2)$$

7.4.1.2  $\delta R_{\text{dig}L}$  учитывает погрешность округления при отсчете с нагрузкой. 7.1.1.2 применим при условии, что случай  $d_T < d_L$  исключен, поэтому

$$u(\delta R_{\text{dig}L}) = d_L / \sqrt{12} \quad (7.4.1-3)$$

7.4.1.3  $\delta R_{\text{rep}}$  учитывает повторяемость весов. 7.1.1.3 применима, соответствующее среднее квадратическое отклонение  $s$  для одного отсчета следует брать из калибровочного сертификата, так

$$u(\delta R_{\text{rep}}) = s \text{ или } u(\delta R_{\text{rep}}) = s(R) \quad (7.4.1-4)$$

Примечание: Для расчета неопределенности следует использовать среднее квадратическое отклонение, а не среднее квадратическое отклонение среднего значения.

7.4.1.4  $\delta R_{\text{ecc}}$  учитывает погрешность вследствие смещения центра тяжести испытательной нагрузки относительно центрального положения.

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{ecc}}) = |\Delta I_{\text{ecc}i}|_{\text{max}} / (2L_{\text{ecc}}\sqrt{3}) \quad (7.4.1-5)$$

7.4.1.5 Стандартную неопределенность показания затем получают с помощью

$$u^2(R) = d_0^2/12 + d_L^2/12 + s^2(R) + (|\Delta I_{\text{ecc}i}|_{\text{max}} / (2L_{\text{ecc}}\sqrt{3}))^2 R^2 \dots \quad (7.4.1-6)$$

#### 7.4.2 Неопределенность погрешности отсчета

Когда отсчет  $R$  соответствует показанию  $I_{calj}$  приведенному в калибровочном сертификате,  $u(E_{calj})$  можно брать отсюда. Для прочих отсчетов  $u(E)$  можно вычислять по (7.1.3-2), если известны  $\alpha$  и  $\beta$ , или получать используя формулу аппроксимации согласно 7.2.

Неопределенность  $u(E)$  обычно не меньше  $u(E_{calj})$  для показания  $I_j$ , которое близко к фактическому отсчету  $R$ , за исключением определяемых с помощью аппроксимации.

Примечание: В калибровочном сертификате обычно представлено  $U_{95}(E_{cal})$ , из которого вычисляют  $u(E_{cal})$  делением  $U_{95}(E_{cal})$  на коэффициент охвата  $k$ , указанный в сертификате.

#### 7.4.3 Неопределенность, обусловленная влияниями окружающей среды

Член  $\delta R_{instr}$  учитывает три влияния:  $\delta R_{temp}$ ,  $\delta R_{buoy}$  и  $\delta R_{adj}$  рассматриваемые далее. За исключением вклада, обусловленного действием выталкивающей силы воздуха, они обычно неприменимы к весам, юстировку которых выполняют непосредственно перед их фактическим использованием. Для других весов они применимы. Поправки фактически не применяются, соответствующие неопределенности оценивают исходя из известных пользователю свойств весов.

7.4.3.1 Член  $\delta R_{temp}$  учитывает изменение характеристик весов вследствие изменения температуры окружающей среды. Предельное значение можно оценивать равным  $\delta R_{temp} = K_T \Delta T R$ , где  $\Delta T$  есть максимальное изменение температуры в месте расположения весов, и  $K_T$  есть чувствительность весов к изменению температуры. Если весы регулируют переключением юстировки в зависимости от температуры посредством встроенных гирь, то  $\Delta T$  можно уменьшить до порога переключения.

Обычно имеются технические условия изготовителя, такие, что  $K_T = [\partial I(\text{Max}) / \partial T] / M$ . Во многих случаях указывают в  $10^{-6} / \text{K}$ . По умолчанию для весов с утвержденным типом согласно ГОСТ OIML R76-1-2011 [2] (или EN 45501 [3]), можно принять  $|K_T| \leq \text{tr}(\text{Max}) / (M \times \Delta T_{Approval})$  где  $\Delta T_{Approval}$  есть температурный диапазон поверки, указанный на маркировке весов; для других весов следует принимать или допущение с запасом, приводящее к многократному (от 3 до 10 раз) от сравнимого значения для весов с утвержденным типом, или же может быть не приведено вообще никакой информации для использования весов при всех других значениях температуры, отличной от калибровочной.

Диапазон изменения температуры  $\Delta T$  (полный размах) следует оценивать с учетом места эксплуатации весов, как сказано в приложении A2.2.

Принимается прямоугольное распределение, поэтому относительная неопределенность равна

$$u_{rel}(\delta R_{temp}) = K_T \Delta T / \sqrt{12} \quad (7.4.3-1)$$

7.4.3.2 Член  $\delta R_{buoy}$  учитывает изменение юстировки весов вследствие изменения плотности воздуха; без внесения поправки.

Когда весы юстируют непосредственно перед использованием и возможно некоторое допущение относительно изменения плотности воздуха относительно значения плотности воздуха во время калибровки  $\Delta \rho_a$ , вклад в неопределенность может быть [10]

$$u_{rel}(\delta R_{buoy}) = \frac{\Delta \rho_a}{\rho_c^2} u(\rho_s) \quad (7.4.3-2)$$



где  $u(\rho_s)$  есть неопределенность плотности юстировочной гири, используемой для юстировки (встроенной или внешней).

Когда весы не юстируют перед использованием и возможно некоторое допущение относительно изменения плотности воздуха  $\Delta\rho_a$ , вклад в неопределенность может быть

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{буоу}}) = \frac{\Delta\rho_a}{\rho_c\sqrt{3}} \quad (7.4.3-3)$$

Если возможны некоторые допущения для изменения температуры в месте расположения весов, уравнение (7.4.3-3) можно аппроксимировать следующим:

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{буоу}}) = \frac{\sqrt{1,07 \times 10^{-4} + 1,33 \times 10^{-6} K^{-2} \Delta T^2} \cdot \rho_0}{\rho_c} \quad (7.4.3-4)$$

где  $\Delta T$  есть наибольшее изменение температуры в месте расположения весов (подробности см. в приложениях А2.2 и А3).

Если допущение об изменении плотности невозможно, наиболее консервативным подходом будет

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{буоу}}) = \frac{0,1\rho_0}{\rho_c\sqrt{3}} \quad (7.4.3-5)$$

7.4.3.3 Член  $\delta R_{\text{adj}}$  учитывает изменение характеристик прибора с момента калибровки, вызванное дрейфом, или износом.

Предельное значение можно брать из результатов предыдущих калибровок, если они имеются, в виде наибольшей разности  $|\Delta E(Ma\chi)|$  между погрешностями при  $Ma\chi$  или вблизи него для двух любых последовательных калибровок. По умолчанию  $\Delta E(Ma\chi)$  следует брать из технических условий изготовителя весов, или можно оценить в виде  $\Delta E(Ma\chi) = \text{tr}\epsilon(Ma\chi)$  для весов, соответствующих утвержденному типу согласно ГОСТ OIML R76-1-2011 [2] (или EN 45501 [3]). Любое такое значение можно рассматривать с учетом ожидаемых межкалибровочных интервалов и принимая достаточно линейный характер изменения во времени.

Принимается прямоугольное распределение, поэтому относительная неопределенность равна

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{adj}}) = |\Delta E(Ma\chi)| / (Ma\chi\sqrt{3}) \quad (7.4.3-6)$$

7.4.3.4 Относительную стандартную неопределенность, связанную с погрешностями, обусловленными влияниями окружающей среды, вычисляют из выражения

$$u_{\text{rel}}^2(\delta R_{\text{мстр}}) = u_{\text{rel}}^2(\delta R_{\text{temp}}) + u_{\text{rel}}^2(\delta R_{\text{буоу}}) + u_{\text{rel}}^2(\delta R_{\text{adj}}) \quad (7.4.3-7)$$

#### 7.4.4 Неопределенность, обусловленная эксплуатацией весов

Поправочный член  $\delta R_{\text{прос}}$  учитывает добавочные погрешности ( $\delta R_{\text{Tare}}$ ,  $\delta R_{\text{time}}$  и  $\delta R_{\text{recd}}$ ), которые возможны, когда процедура(ы) взвешивания отличны от таковых при калибровке. Поправки фактически не применяются, соответствующие неопределенности оценивают исходя из известных пользователю свойств весов.

7.4.4.1 Член  $\delta R_{\text{Tare}}$  учитывает результат взвешивания нетто после операции уравнивания тары [2] (или [3]). Приписываемые возможные погрешность и

неопределенность следует оценивать, учитывая основное соотношение между соответствующими отсчетами

$$R_{\text{Net}} = R_{\text{Gross}} - R_{\text{Tare}} \quad (7.4.4-1)$$

где  $R$  есть фиктивные отсчеты, обрабатываемые внутри весов, тогда как видимое показание  $R_{\text{Net}}$  получают непосредственно, после установки показания весов на нуль вместе с тарной нагрузкой на грузоприемном устройстве. Результат взвешивания в этом случае теоретически равен

$$W_{\text{Net}} = R_{\text{Net}} - [R_{\text{Gross}} - R_{\text{Tare}}] + \delta R_{\text{instr}} + \delta R_{\text{proc}} \quad (7.4.4-2)$$

согласно (7.4-1).

Погрешности в членах «брутто» (gross) и «тара» (tare) следует брать как погрешности для эквивалентных значений  $R$ , как выше. Однако значения массы тары – и, следовательно, значения брутто – обычно не записывают.

Погрешность тогда можно оценить как

$$E_{\text{Net}} = E(\text{Net}) + \delta R_{\text{Tare}} \quad (7.4.4-3)$$

где  $E(\text{Net})$  есть погрешность для отсчета  $R_{\text{Net}}$ , а  $R_{\text{Tare}}$  есть добавочная поправка, учитывающая влияние нелинейности кривой погрешности

$E_{\text{cal}}(I)$ . Для численной оценки нелинейности можно применить рекурсию к первой производной функции  $E = f(R)$ , если она известна, или можно вычислить угловой коэффициент  $q_E$  по двум точкам калибровки согласно

$$q_E = \frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{E_{j+1} - E_j}{I_{j+1} - I_j} \quad (7.4.4-4)$$

Наибольшие и наименьшие значения производной или коэффициента принимают в качестве предельных значений для поправки  $\delta R_{\text{Tare}}$ , для которой можно принимать прямоугольное распределение. Эти результаты в относительной стандартной неопределенности

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{Tare}}) = (q_{E \text{ max}} - q_{E \text{ min}}) / \sqrt{12} \quad (7.4.4-5)$$

Чтобы оценить неопределенность  $u(W)$ , считают  $R = \text{Net}$ . Для  $u(E)$  справедливо принимать  $u(E(\text{Net})) = u(E(R = \text{Net}))$ , потому что имеется полная корреляция между величинами, вносящими вклад в неопределенности погрешностей фиктивного брутто и отсчетами для тары.

7.4.4.2 Член  $\delta R_{\text{time}}$  учитывает возможные влияния ползучести и гистерезиса в таких ситуациях как

- а) нагружение при калибровке непрерывно с возрастанием, или непрерывно с возрастанием и убыванием (метод 2 или 3 в 5.2) так, что нагрузка остается на грузоприемном устройстве в течение определенного периода времени; это

весьма значительно когда применяется метод замещения, обычно для весов с высокой максимальной нагрузкой. При обычном использовании взвешиваемую дискретную нагрузку помещают на грузоприемное устройство и выдерживают на нем в течение интервала, необходимого для получения отсчета или вывода на печатающее устройство; погрешность показания может отличаться от значения, получаемого для этой же нагрузки при калибровке.

Когда испытания выполняют непрерывно вверх и вниз, наибольшую разность погрешностей  $\Delta E_j$  для любой испытательной нагрузки  $m_j$  можно принимать в качестве предельного значения для этого влияния, приводящего к относительной стандартной неопределенности

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{time}}) = \Delta E_{j\text{max}} / (m_j \sqrt{12}) \quad (7.4.4-6)$$

Когда испытания выполняют только с возрастанием, погрешность при возвращении к нулю  $E_0$ , если определена, можно использовать для оценки относительной стандартной неопределенности

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{time}}) = E_0 / (M a \sqrt{3}) \quad (7.4.4-7)$$

Если эта информация отсутствует, предельное значение для весов с утверждением типа согласно ГОСТ OIML R76-1-2011 [2] (или EN 45501 [3]) можно оценивать как

$$\Delta R = R \text{ пре}(M a \sqrt{3}) \quad (7.4.4-8)$$

Для весов без такого утверждения типа консервативная оценка может быть кратной ( $m = 3 \div 10$  раз) этому значению.

Относительная стандартная неопределенность равна

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{time}}) = \text{пре}(M a \sqrt{3}) \quad (7.4.4-9a)$$

для весов с утверждением типа и

$$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{time}}) = m \text{ пре}(M a \sqrt{3}) \quad (7.4.4-9b)$$

для весов без утверждения типа.

- b) нагружение при калибровке с разгрузкой между шагами нагружения, взвешиваемые при обычном использовании, нагрузки выдерживают на грузоприемном устройстве в течение более длительного периода. При отсутствии какой-либо другой информации – например наблюдения показания в течение типичного периода времени – в качестве применимой для (7.4.4-9) может быть принята рекурсия.
- c) нагружение при калибровке только с возрастанием, разгрузочное взвешивание производится в процессе эксплуатации.. Эту ситуацию можно считать обратной операции уравнивания тары – см. 7.4.4.1 – совмещенной с пунктом b) выше. Применяются (7.4.4-5) и (7.4.4-9).

Примечание. В случае разгрузочного взвешивания отсчет  $R$  следует брать в виде положительного значения, хотя весы могут показывать его отрицательным.

7.4.4.3  $\delta R_{ecc}$  учитывает погрешность вследствие смещения центра тяжести испытательной нагрузки относительно центрального положения. (7.4.1-5) применяется с изменением, полностью учитывающим влияние, обнаруженное во время калибровки, поэтому

$$u_{rel}(\delta R_{ecc}) = |\Delta I_{ecc}|_{max} / (L_{ecc}\sqrt{3}) \quad (7.4.4-10)$$

#### 7.4.5 Стандартная неопределенность результата взвешивания

Стандартную неопределенность результата взвешивания вычисляют по формулам, указанным в пп. с 7.4.1 по 7.4.4, по применимости.

Для результата взвешивания в условиях калибровки

$$u^2(W^*) = d_0^2/12 + d_L^2/12 + s^2(R) + u_{rel}^2(\delta R_{ecc})R^2 + u^2(E) \quad (7.4.5-1a)$$

Для результата взвешивания в целом

$$u^2(W) = u^2(W^*) + [u_{rel}^2(\delta R_{temp}) + u_{rel}^2(\delta R_{buoy}) + u_{rel}^2(\delta R_{adj}) + u_{rel}^2(\delta R_{tare}) + u_{rel}^2(\delta R_{time})]R^2 \quad (7.4.5-1b)$$

Несколько вкладов в  $u(W)$  можно сгруппировать в два члена  $\alpha_w^2$  и  $\beta_w^2$

$$u^2(W) = \alpha_w^2 + \beta_w^2 R^2 \quad (7.4.5-2)$$

где  $\alpha_w^2$  есть сумма квадратов всех абсолютных стандартных неопределенностей, и  $\beta_w^2$  есть сумма квадратов всех относительных стандартных неопределенностей.

### 7.5 Расширенная неопределенность результата взвешивания

#### 7.5.1 Погрешности, учитываемые поправками

Полная формула для результата взвешивания, эквивалентного отсчету с поправкой на определенную посредством калибровки погрешность, следующая

$$W^* = R - E(R) \pm U(W^*) \quad (7.5.1-1a)$$

или

$$W = R - E(R) \pm U(W) \quad (7.5.1-1b)$$

по применимости.

Расширенную неопределенность  $U(W)$  определяют как

$$U(W^*) = k u(W^*) \quad (7.5.1-2a)$$

или

$$U(W) = k u(W) \quad (7.5.1-2b)$$

где  $u(W^*)$  или  $u(W)$  по применимости из 7.4.5.

Для  $U(W^*)$  коэффициент охвата  $k$  следует определять согласно 7.3.

Для  $U(W)$  коэффициент охвата  $k$  будет, во многих случаях, равен 2, даже когда среднее квадратическое отклонение  $S$  получено только по нескольким измерениям, и/или

когда  $k_{cal} > 2$  указано в сертификате калибровки. Это обусловлено большим количеством членов, вносящих вклад в  $u(W)$ .

### 7.5.2 Погрешности, включаемые в неопределенность

Калибровочная лаборатория и заказчик могут согласовать получение «общей неопределенности»  $U_g(W)$ , которая включает погрешности показания, так что в используемые показания не требуется вносить поправки

$$W = R \pm I_g(W) \quad (7.5.2-1)$$

Если погрешности не сосредоточены вокруг нуля, они создают односторонний вклад в неопределенность, который можно учесть только приблизительно. Для простоты и удобства «общую неопределенность» лучше задавать в виде некоторого выражения для всего диапазона взвешивания, вместо отдельных значений, заданных для определенных значений результата взвешивания.

Пусть  $E(R)$  будет некоторая функция, или  $E^0$  будет одно значение, репрезентативное для всех погрешностей, указанных в диапазоне измерений в сертификате калибровки. Сочетание с используемыми неопределенностями может, в принципе, принять вид, описываемый одним из этих выражений

$$U_{gl}(W) = k\sqrt{u^2(W) + (E(R))^2} \quad (7.5.2-2a)$$

$$U_{gl}(W) = k\sqrt{u^2(W) + (E^0)^2} \quad (7.5.2-2b)$$

$$U_{gl}(W) = k\sqrt{u^2(W) + (E^0)^2 (R/Ma_{\chi})^2} \quad (7.5.2-2c)$$

$$U_{gl}(W) = ku(W) + |E(R)| \quad (7.5.2-3a)$$

$$U_{gl}(W) = ku(W) + |E^0| \quad (7.5.2-3b)$$

$$U_{gl}(W) = ku(W) + |E^0| R/Ma_{\chi} \quad (7.5.2-3c)$$

Достаточно часто (7.5.2-3a) принимают в качестве основы для формулировки общей неопределенности. Таким образом,  $U(W) = k u(W)$  часто аппроксимируют следующей формулой

$$U(W) \approx U(W=0) + \left\{ \left[ \frac{U(W=Ma_{\chi})}{U(W=0)} \right] / Ma_{\chi} \right\} R \quad (7.5.2-3d)$$

и  $E(R)$  часто аппроксимируют выражением  $E(R) = aR$  согласно (C2.2-16) и (C2.2-16a), так что

$$U_{gl}(W) \approx U(W=0) + \left\{ \left[ \frac{U(W=Ma_{\chi})}{U(W=0)} \right] / Ma_{\chi} \right\} R + a_1 |R| \quad (7.5.2-3e)$$

Дополнительные сведения о получении формулы  $E(R)$  репрезентативного значения  $E^0$  см. в приложении С.

По аналогии с (7.5.2-3d), для многоинтервальных весов  $U(W)$  указывается по интервалам, как

$$U(W) \approx U(Ma_{\chi_1}) + \left\{ \frac{U(Ma_{\chi}) - U(Ma_{\chi_1})}{Ma_{\chi} - Ma_{\chi_1}} \right\} \cdot (R - Ma_{\chi}) \quad (7.5.2-3f)$$

а для многодиапазонных весов  $U(W)$  указывается по диапазонам.

Важно обеспечить, чтобы  $U_g(W)$  сохраняла вероятность охвата не меньше 95 % во всем диапазоне взвешивания. Для  $U_g(W)$  коэффициент охвата  $k$  будет, во многих случаях, равен 2 даже когда среднее квадратическое отклонение  $S$  получено только по нескольким измерениям, и/или когда  $k_{cal} > 2$  указано в сертификате калибровки. Это обусловлено большим количеством членов, вносящих вклад в  $u(W)$ .

### 7.5.3 Другие способы квалификации весов

Заказчик может ожидать от калибровочной лаборатории или запросить у нее формулировку соответствия определенным техническим условиям  $|W - R| \leq Tol$  где  $Tol$  является приемлемым допуском. Допуск может быть задан в виде “ $Tol = \% \text{ от } R$ ”, “ $Tol = n d$ ”, или подобном.

Соответствие может быть заявлено согласно ISO/IEC 17025, при условии, что

$$|E(R) + U(W(R))| \leq Tol(R) \quad (7.5.3-1)$$

для отдельных значений  $R$  или для каких-либо значений в пределах целого диапазона взвешивания или его части.

В пределах одного и того же диапазона взвешивания о соответствии можно заявлять для различных частей диапазона взвешивания, для различных значений  $Tol$ .

Если пользователь определяет требование относительной точности измерений, в приложении G «Минимальный вес» приведены дополнительные рекомендации.

## 8 СЕРТИФИКАТ КАЛИБРОВКИ

В этом разделе приведены рекомендации относительно информации, которую полезно представлять в сертификате калибровки. Они предназначены для обеспечения соответствия ISO/IEC 17025, который имеет приоритет.

### 8.1 Общие сведения

Идентификация калибровочной лаборатории;  
справка об аккредитации (аккредитующий орган, номер аккредитации);  
идентификация сертификата (номер калибровки, дата выпуска, количество страниц);  
подпись(и) уполномоченных лиц(а).

Идентификация заказчика.

Идентификация калибруемых весов;  
сведения о весах (изготовитель, тип весов, максимальная нагрузка  $Max$ , цена деления шкалы  $d$ , место установки).

Предупреждение о возможности воспроизведения сертификата только полностью, если нет письменного разрешения калибровочной лаборатории на иное.

**8.2 Сведения о процедуре калибровки**

Дата измерений;  
 место калибровки;  
 условия окружающей среды и/или применение, которые могут влиять на результаты калибровки.

Сведения о весах (выполняемая юстировка: внутренняя или внешняя, в случае внешней указать используемую гирю, любые аномалии функций, настройка ПО в той степени, в которой она влияет на калибровку, и т.д.).

Ссылка на применяемую процедуру или ее описание, если это не очевидно из сертификата, напр. постоянный интервал времени, выдерживаемый между нагружениями и/или отсчетами.

Согласования с заказчиком, напр. превышенный диапазон калибровки, метрологические характеристики, соответствие которым заявлено.

Сведения о прослеживаемости результатов измерений.

**8.3 Результаты измерений**

Показания и/или погрешности для приложенных испытательных нагрузок, или относящиеся к показаниям погрешности – в виде дискретных значений и/или уравнений, полученных аппроксимацией;  
 подробности процедуры нагружения, если целесообразно для понимания вышеуказанного;  
 СКО, определенные относительно одного показания;  
 сведения о выполненных испытаниях эксцентриситета;  
 расширенная неопределенность результатов измерений для погрешности показаний результатов.

Указание коэффициента охвата  $k$ , с сообщением вероятности охвата, и обоснованием  $k \neq 2$ , если применимо.

Если показания/погрешности определяются не по нормальным отсчетам – отдельным отсчетам с нормальным разрешением весов – следует привести предупреждение о том, что сообщаемая неопределенность меньше, чем определяемая по нормальным отсчетам.

**8.4 Дополнительные сведения**

Дополнительные сведения о об ожидаемой в применении неопределенности измерений, включая условия, при которых она применима, можно добавлять к сертификату, не делая их его частью.

Если погрешности учитываются поправкой, следует использовать эту формулу

$$W = R - E(R) \pm U(W) \quad (8.4-1)$$

вместе с уравнением для  $E(R)$ .

Если погрешности включены в «общую неопределенность», следует использовать эту формулу

$$W = R \pm U(W) \quad (8.4-2)$$

Следует добавить формулировку о том, что расширенная неопределенность значений из этой формулы соответствует вероятности охвата не меньше 95 %.

Дополнительно:

Формулировка о соответствии заданным техническим условиям и диапазоне применимости, где уместно.

Эта формулировка может иметь вид

$$W = R \pm Tol \quad (8.4-3)$$

и быть дана

в дополнение к результатам измерений или в качестве отдельной формулировки со ссылкой на результаты измерений, заявленные в качестве сохраняемых в калибровочной лаборатории.

Эту формулировку можно сопроводить указанием на то, что все результаты измерений, дополненные расширенной неопределенностью измерений, находятся в заданных техническими условиями пределах.

Можно приводить сведения о минимальных значениях веса для различных допусков взвешивания согласно приложению G.

Для менее сведущих заказчиков, если уместно, можно предоставить рекомендации по

определению погрешности показания;  
внесению в отсчеты поправок при использовании, путем вычитания соответствующих погрешностей;  
интерпретации показаний и/или погрешностей, представленных меньшим числом разрядов, чем у цены деления шкалы  $d$ .

Может быть полезно представить значения  $U(W^*)$  для всех отдельных погрешностей или для функции  $E(R)$ , полученной аппроксимацией.

## 9 ЗНАЧЕНИЕ МАССЫ ИЛИ УСЛОВНОЕ ЗНАЧЕНИЕ МАССЫ

Величина  $W$  есть оценка условного значения массы  $m_x$  взвешиваемого объекта<sup>6</sup>. Для определенных применений может быть необходимо получать из  $W$  значение массы  $m$  или более точное значение для  $m_x$ .

Плотность  $\rho$  или объем  $V$  объекта, вместе с оценкой их стандартной неопределенности, должны быть известны из других источников.

### 9.1 Значение массы

Масса объекта равна

$$m = W [1 + \alpha (1/\rho - 1/\rho_c)] \quad (9.1-1)$$

Пренебрегая членами второго и высших порядков, относительную стандартную неопределенность  $u_{rel}(m)$  получают в виде

$$u_{rel}^2(m) = \frac{u^2(W)}{W^2} + u^2(\rho_a) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c}\right)^2 + \alpha^2 \frac{u^2(\rho)}{\rho^4} \quad (9.1-2)$$

Для  $\rho_a$  и  $u(\rho_a)$  (плотность воздуха) см. приложение A.

<sup>6</sup> В большинстве случаев, особенно когда результаты используются для торговли, значение  $W_{is}$  используется как результат взвешивания



Если  $V$  и  $u(V)$  известны вместо  $\rho$  и  $u(\rho)$ ,  $\rho$  можно аппроксимировать  $W/V$ , и  $u_{rel}(\rho)$  можно заменить на  $u_{rel}(V)$ .

## 9.2 Условное значение массы

Условное значение массы объекта равно

$$m_c = W[1 + (\rho - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_0)] \quad (9.2-1)$$

Пренебрегая членами второго и высших порядков, относительную стандартную неопределенность  $u_{rel}(m_c)$  получают в виде

$$u_{rel}^2(m_c) = \frac{u^2(W)}{W^2} + u^2(\rho_0) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0}\right)^2 + (\rho - \rho_0) \frac{u^2(\rho)}{\rho^4} \quad (9.1-2)$$

Применимы комментарии, данные к (9.1-2).

## 10 ССЫЛОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

- [1] Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (МБМВ, МЭК, Международная федерация клинической химии и лабораторной медицины, ИСО, ИЮПАК, ИЮПАП, МОЗМ и Международное сотрудничество по аккредитации лабораторий (2008): Оценка данных измерений – Руководство по выражению неопределенности измерений (GUM), GUM 1995 с небольшими поправками, JGCM 2008).
- [2] ГОСТ OIML R 76-1-2011: ГСИ. Весы неавтоматического действия. Часть 1. Метрологические и технические требования. Испытания.
- [3] EN 45501: Metrological Aspects of Non-automatic Weighing Instruments, Edition 2015 (Приборы для взвешивания неавтоматические. Метрологические аспекты, издание 2015).
- [4] ГОСТ OIML R111-1-2009. ГСИ. Гири классов E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>1-2</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>2-3</sub>, M<sub>3</sub>. Часть 1. Метрологические и технические требования.
- [5] JCGM 200:2012 (VIM), International Vocabulary of Metrology – Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM), JCGM 200:2012 (МБМВ, МЭК, Международная федерация клинической химии и лабораторной медицины, ИСО, ИЮПАК, ИЮПАП, МОЗМ и Международное сотрудничество по аккредитации лабораторий (2012): Международный словарь по Метрологии – Основные и общие понятия и соответствующие термины (VIM), 3-е издание с небольшими изменениями, 2012)
- [6] Comprehensive Mass Metrology, M. Kochsiek, M. Glaser, WILEY-VCH Verlag Berlin GmbH, Berlin. (Полная метрология массы, М.Кошичек, М. Глязер, WILEY-VCH Verlag Berlin GmbH, Берлин) ISBN 3-527-29614-X
- [7] M. Gläser: Change of the apparent mass of weights arising from temperature differences, Metrologia 36 (1999), p. 183-197 (Изменение кажущейся массы гирь вследствие разностей температур, Метрология 36 (1999), с. 183-197)
- [8] ILAC P10:01/2013, ILAC Policy on the Traceability of Measurement Results, 2013 (Международное сотрудничество по аккредитации лабораторий, Политика ILAC по прослеживаемости результатов измерений, 2013)
- [9] JCGM 101:2008, Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement (101:2008, Оценка данных измерений – Дополнение 1 к «Руководству по выражению неопределенности измерений» – Распространение распределений с использованием метода Монте-Карло, 1-е издание, 2008)
- [10] A. Malengo, Buoyancy effects and correlation in calibration and use of electronic balances, Metrologia 51 (2014) p. 441–451 (А. Маленго, Влияния выталкивающей силы и корреляции в калибровке и применении электронных весов, Метрология 51 (2014) с. 441–451)

- [11] A. Picard, R. S. Davis, M. Gläser, K. Fujii: Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007), Metrologia 45 (2008) с. 149-155 (А. Пикар, Р.С. Дэвис, М. Глязер и К. Фуджи: Пересмотренная формула для плотности влажного воздуха (Международный комитет мер и весов - 2007) Metrologia 45 (2008), с. 149–155)
- [12] R. T. Birge, The Calculation of Errors by the Method of Least Squares, Phys. Rev. 40, 207 (1932) (Т. Бирдж, Вычисление погрешностей методом наименьших квадратов, Физ. рев. 40, 207 (1932))
- [13] Dictionary of Weighing Terms – A Guide to the Terminology of Weighing, R. Nater, A. Reichmuth, R. Schwartz, M. Borys and P. Zervos, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. (Словарь терминов взвешивания – Руководство по терминологии взвешивания, Р.Нэтер, А.Райхмут, Р.Шварц, М.Борис и П.Цервос, Шпрингер, Берлин, Гейдельберг, 2009) ISBN 978-3-642-02013-1

**ПРИЛОЖЕНИЕ А: РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ ВОЗДУХА**

Примечание - В приложении А используются обозначения  $T$  для температуры в К, а  $t$  для температуры в °С.

**А1 Формула для плотности воздуха**

Самой точной формулой для определения плотности влажного воздуха является формула, рекомендованная СИРМ [11]<sup>7</sup>. Для целей настоящего руководства достаточна менее сложная формула, дающая несколько менее точные результаты.

**А1.1 Упрощенная версия формулы СИРМ, экспоненциальная версия**

Из ГОСТ OIML R111-1-2009 [4], раздел ЕЗ

$$\rho_a = \frac{0,34848p - 0,009RH \exp(0,061t)}{273,15 + t} \quad (\text{A1.1-1})$$

где

- $\rho_a$  - плотность воздуха в кг/м<sup>3</sup>;
- $p$  - Атмосферное давление в гПа;
- $RH$  - относительная влажность воздуха в %;
- $t$  - температура воздуха в °С.

Относительная неопределенность этой приближенной формулы  $U_{\text{form}}/\rho_a = 2,4 \times 10^{-4}$  при следующих окружающих условиях

$$\begin{aligned} 600 \text{ гПа} &\leq p \leq 1\,100 \text{ гПа}; \\ 20 \% &\leq RH \leq 80 \%; \\ 15 \text{ °С} &\leq t \leq 27 \text{ °С}. \end{aligned}$$

Не считая неопределенности  $U_{\text{form}}$ , неопределенности оценок  $p$ ,  $RH$  и  $t$  определяют неопределенность  $\rho_a$  (см. раздел А3).

**А1.2 Средняя плотность воздуха**

Если измерение температуры и атмосферного давления невозможно, среднюю плотность воздуха на месте можно рассчитать исходя из высоты над уровнем моря, как рекомендовано в [4]

$$\rho_a = \rho_0 \exp\left(-\frac{\rho_0}{p_0} g h_{\text{SL}}\right) \quad (\text{A1.2-1})$$

- где
- $\rho_0$  = 1 013,25 гПа;
  - $\rho_0$  = 1,200 кг/м<sup>3</sup>;
  - $g$  = 9,81 м/с<sup>2</sup>;
  - $h_{\text{SL}}$  = высота над уровнем моря в метрах.

Этот расчет для плотности воздуха предназначен для 20 °С и  $RH = 50$  %.

<sup>7</sup> Относительная неопределенность формулы плотности воздуха СИРМ-2007, без неопределенности параметров, равна  $U_{\text{form}}/\rho_a = 2,2 \times 10^{-5}$ , наилучшая достижимая относительная неопределенность, которая включает вклады в неопределенность для результатов температуры, влажности и давления, составляет  $u(\rho_a)/\rho_a = 8 \times 10^{-5}$ . Рекомендованные диапазоны температуры и давления, в которых возможно использование формулы СИРМ-2007, следующие:  $600 \text{ гПа} \leq p \leq 1\,100 \text{ гПа}$ ,  $15 \text{ °С} \leq t \leq 27 \text{ °С}$ .

Относительная неопределенность этой приближенной формулы  $U_{\text{form}} / \rho = 1,2 \times 10^{-2}$ .

## A2 Вариации параметров, определяющих давление воздуха

Для оценивания неопределенностей, связанных с оценками  $p$ ,  $RH$  и  $t$ , в следующей главе приведены некоторые рекомендации по их типичным вариациям. Эти сведения можно использовать когда измерения параметров окружающей среды не производятся.

### A2.1 Атмосферное давление

В любом заданном месте эти вариации не больше чем  $\Delta p = \pm 40$  гПа относительно среднего<sup>8</sup>. В этих пределах распределение не равномерное, так как предельные значения имеют место только однажды в несколько лет. Было обнаружено, что это распределение в основном нормальное. Учитывая типичные изменения атмосферного давления, практично принять стандартную неопределенность

$$u(p) = 10 \text{ гПа} \quad (\text{A2.1-1})$$

Среднее атмосферное давление  $p(h_{\text{SL}})$  (в гПа) можно оценивать в соответствии с международным Эталонном Атмосферы, и можно оценить исходя из высоты  $h_{\text{SL}}$  в метрах над уровнем моря для места расположения, используя соотношение

$$p(h_{\text{SL}}) = p_0 \exp(-h_{\text{SL}} \times 0,00012 \text{ м}^{-1}) \quad (\text{A2.1-2})$$

где  $p_0 = 1\,013,25$  гПа

### A2.2 Температура

Возможные изменения  $\Delta T = T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$  температуры в месте использования весов можно оценить, исходя из информации, которую легко получить

пределы, заданные заказчиком на основании его опыта;  
отсчеты, полученные от пригодных средств;  
настройки контрольного средства измерений, когда помещение акклиматизировано или температура установилась;

в случае по умолчанию, следует применять разумное суждение, приводящее к – например

$17 \text{ °C} \leq t \leq 27 \text{ °C}$  для закрытых офисных или лабораторных помещений с окнами,  
 $\Delta T \leq 5 \text{ K}$  для закрытых помещений без окон в центре здания,  
 $-10 \text{ °C} \leq t \leq +30 \text{ °C}$  или  $\Delta T \leq 40 \text{ K}$  для открытых мастерских или заводских площадей.

Как сказано для атмосферного давления, равномерное распределение маловероятно для открытых мастерских или цеховых площадей, где преобладает атмосферная температура. Однако во избежание различных допущений для ситуаций в различных помещениях, рекомендуется допущение равномерного распределения, дающее

$$u(T) = \Delta T \sqrt{12} \quad (\text{A2.2-1})$$

<sup>8</sup> Пример: в Ганновере (Германия) наблюдавшаяся за 20 лет разность между наивысшим и самым низким атмосферным давлением была 77,1 гПа (сведения DWD, Немецкой метеорологической службы).

**A2.3 Относительная влажность**

Возможные изменения  $\Delta RH = RH_{\max} - RH_{\min}$  относительной влажности в месте использования весов можно оценить, исходя из информации, которую легко получить

пределы, заданные заказчиком на основании его опыта;  
отсчеты, полученные от пригодных средств;  
настройки контрольного средства измерений, когда помещение акклиматизировано;

в случае по умолчанию, следует применять разумное суждение, приводящее, например, к

$30\% \leq RH \leq 80\%$  для закрытых офисных или лабораторных помещений с окнами,  
 $\Delta RH \leq 30\%$  для закрытых помещений без окон в центре здания,  
 $20\% \leq RH \leq 80\%$  для открытых мастерских или цеховых площадей.

Следует помнить, что  
при  $RH < 40\%$  эффекты электростатики могут влиять на результат взвешивания на весах с высоким разрешением,  
при  $RH > 60\%$  может начать появляться коррозия.

Как сказано для атмосферного давления, равномерное распределение маловероятно для открытых мастерских или цеховых площадей, где преобладает атмосферная относительная влажность. Однако во избежание различных допущений для ситуаций в различных помещениях, рекомендуется допущение равномерного распределения, дающее

$$u(RH) = \Delta RH \sqrt{12} \quad (\text{A2.3-1})$$

**A3 Неопределенность плотности воздуха**

Относительную стандартную неопределенность плотности воздуха  $u(\rho_a) / \rho_a$  можно рассчитать

$$\frac{u(\rho_a)}{\rho_a} = \sqrt{\left(\frac{u_p(\rho_a)}{\rho_a} \cdot u(p)\right)^2 + \left(\frac{u_T(\rho_a)}{\rho_a} \cdot u(T)\right)^2 + \left(\frac{u_{RH}(\rho_a)}{\rho_a} \cdot u(RH)\right)^2 + \left(\frac{u_{\text{form}}(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2} \quad (\text{A3-1})$$

с коэффициентами чувствительности (полученными из формулы СИРМ для плотности воздуха)

$u_p(\rho_a) / \rho_a = 1 \times 10^{-5} \text{ Па}^{-1}$  для атмосферного давления,

$u_T(\rho_a) / \rho_a = -4 \times 10^{-3} \text{ К}^{-1}$  для температуры воздуха,

$u_{RH}(\rho_a) / \rho_a = 9 \times 10^{-3}$  для относительной влажности (единицей  $RH$  в этом случае является 1, не %).

Эти коэффициенты чувствительности также можно использовать для уравнения (A1.1-1).

Уравнение (A3-1) можно аппроксимировать в виде (A3-2), исходя из следующих допущений:

- стандартная неопределенность для вариаций давления, исходя из метеорологических данных, показывающая, что это нормальное распределение, равна 10 гПа;
- максимальная вариация влажности равна 100 %.
- максимальную вариацию температуры в этом месте включают в виде  $\Delta T$

$$\frac{u(\rho_a)}{\rho_a} = \sqrt{1,07 \times 10^4 + 1,33 \times 10^6 K^{-2} \Delta T^2} \quad (A3-2)$$

**Примеры стандартной неопределенности плотности воздуха, вычисленной для различных параметров с помощью формулы (A.1.1-1)**

$u(p)$ , гПа	$\Delta T$ , К	$\Delta RH$ , %	$\frac{u_p(\rho_a)}{\rho_a} u(p)$	$\frac{u_T(\rho_a)}{\rho_a} u(T)$	$\frac{u_{RH}(\rho_a)}{\rho_a} u(RH)$	$\frac{u_{form}(\rho_a)}{\rho_a}$	$\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}$
10	2	20	$1 \times 10^{-2}$	$-2,31 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$1,03 \times 10^{-2}$
10	2	100	$1 \times 10^{-2}$	$-2,31 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$1,06 \times 10^{-2}$
10	5	20	$1 \times 10^{-2}$	$-5,77 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-2}$
10	5	100	$1 \times 10^{-2}$	$-5,77 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$1,18 \times 10^{-2}$
10	10	20	$1 \times 10^{-2}$	$-1,15 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$1,53 \times 10^{-2}$
10	10	100	$1 \times 10^{-2}$	$-1,15 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$1,55 \times 10^{-2}$
10	20	20	$1 \times 10^{-2}$	$-2,31 \times 10^{-2}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,52 \times 10^{-2}$
10	20	100	$1 \times 10^{-2}$	$-2,31 \times 10^{-2}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$2,53 \times 10^{-2}$
10	30	20	$1 \times 10^{-2}$	$-3,46 \times 10^{-2}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$3,61 \times 10^{-2}$
10	30	100	$1 \times 10^{-2}$	$-3,46 \times 10^{-2}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$3,61 \times 10^{-2}$
10	40	20	$1 \times 10^{-2}$	$-4,62 \times 10^{-2}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$4,73 \times 10^{-2}$
10	40	100	$1 \times 10^{-2}$	$-4,62 \times 10^{-2}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$4,73 \times 10^{-2}$
10	50	20	$1 \times 10^{-2}$	$-5,77 \times 10^{-2}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$5,86 \times 10^{-2}$
10	50	100	$1 \times 10^{-2}$	$-5,77 \times 10^{-2}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-4}$	$5,87 \times 10^{-2}$

$\Delta T$  есть максимальная вариация температуры и  $\Delta RH$  есть максимальная вариация влажности в месте расположения весов.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ В: КОЭФФИЦИЕНТ ОХВАТА $k$ ДЛЯ РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ**

Примечание - В этом приложении общее обозначение  $u$  используется для результата измерений, а не в качестве какой-либо отдельной величины в виде показания, погрешности, массы взвешиваемого тела и т.д.

### **В1 Цель**

Коэффициент охвата  $k$  следует во всех случаях выбирать таким, чтобы расширенная неопределенность измерения имела вероятность охвата 95,45 %.

### **В2 Нормальное распределение и достаточная достоверность**

Значение  $k = 2$ , соответствующее вероятности 95,45%, применяется когда

а) погрешности показания можно приписать нормальное (гауссово) распределение,

и

b) стандартная неопределенность  $u(E)$  является достаточно достоверной (т.е. имеет достаточное число степеней свободы), см. JCGM 100 [1].

Допущение о нормальном распределении можно принимать когда несколько (т.е.  $N \geq 3$ ) составляющих неопределенности, полученных по «регулярным» распределениям (нормальное, равномерное или подобное), дают в  $u(E)$  сравнимые вклады.

Достаточная достоверность зависит от степеней свободы. Этот критерий выполняется когда вклад типа А в  $u(E)$  отсутствует в менее чем 10 наблюдениях. Типичный вклад типа А возникает из повторяемости. Следовательно, если в течение испытания повторяемости некоторую нагрузку прикладывают не меньше чем 10 раз, можно принять допущение о достаточной достоверности.

### **В3 Нормальное распределение, достаточная достоверность отсутствует**

Если погрешности показания можно приписать нормальное распределение, но  $u(E)$  не является достаточно достоверной, тогда фактические степени свободы  $\nu_{\text{eff}}$  следует определять по формуле Уэлча-Саттертуэйта

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u^4(E)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(E)}{\nu_i}} \quad (\text{B3-1})$$

где  $u_i(E)$  есть вклады в стандартную неопределенность согласно (7.1.3-1а),  $\nu_i$  есть степени свободы вклада  $u_i(E)$  в стандартную неопределенность. Исходя из  $\nu_{\text{eff}}$ , применимый коэффициент охвата  $k$  берут из расширенной таблицы G.2 в [1] или же можно использовать лежащее в ее основе t-распределение, описанное в [1], приложение С.3.8, чтобы определить коэффициент охвата  $k$ .

### **В4 Определение k для распределений, не являющимися нормальными**

В любом из следующих случаев расширенная неопределенность равна  $U(y) = k u(y)$ .

В данной ситуации может быть очевидным, что  $u(y)$  содержит одну составляющую неопределенности типа В  $u_1(y)$  из вклада, распределение которого не является нормальным, например равномерным или треугольным, которая значительно больше всех остальных составляющих. В таком случае  $u(y)$  разделяется на часть (возможно, преобладающую)  $u_1$  и  $u_R = \sqrt{\sum_{j=2}^N u_j^2}$  с  $j \geq 2$ , комбинированной стандартной неопределенности, состоящей из остальных вкладов, см. [1].

Если  $u_R \leq 0,3 u_1$ , то  $u_1$  считается «преобладающей» и распределение  $u$  считается по существу одинаковым с таковым у преобладающего вклада.

Коэффициент охвата выбирают в соответствии с характером распределения преобладающей составляющей

для трапецеидального распределения с  $\beta < 0,95$

( $\beta$  = краевой параметр, отношение меньшего ребра трапецоида к большему)

$$k = \{1 - \sqrt{[0,05(1 - \beta)]}\} / \sqrt{[(1 + \beta)/6]} \quad (\text{B4-1})$$

для равномерного распределения ( $\beta = 1$ ),  $k = 1,65$ ;

для треугольного распределения ( $\beta = 0$ ),  $k = 1,90$ ;

для U-образного распределения,  $k = 1,41$ .

Преобладающая составляющая может сама состоять из 2 преобладающих составляющих  $u_1(y)$ ,  $u_2(y)$ , например 2 равномерных, составляющих один трапециод, в таком случае  $u_k$  будет определяться из остающихся  $u_j$  с  $j \geq 3$ .

## ПРИЛОЖЕНИЕ С: ФОРМУЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОКАЗАНИЙ

### С1 Цель

В этом приложении приведены рекомендации по выводу, на основании полученных при калибровке и/или приведенных в сертификате калибровки отдельных значений, погрешностей и соответствующих неопределенностей для любого другого отсчета  $R$  в пределах калиброванного диапазона взвешивания.

Предполагается, что калибровка дает  $n$  наборов данных  $I_{Nj}$ ,  $E_j$ ,  $U_j$ , или альтернативно  $m_{Nj}$ ,  $I_j$ ,  $U_j$ , вместе с коэффициентом охвата  $k$  и указанием распределения лежащего в основе  $k$ .

В любом случае номинальное показание  $I_{Nj}$  считается  $I_{Nj} = m_j$ .

Также принимается, что для каждого  $m_{Nj}$  погрешность  $E_j$  остается одинаковой, если  $I_j$  заменить на  $I_{Nj}$ , поэтому достаточно рассмотреть данные  $I_{Nj}$ ,  $E_j$ ,  $U_j$  и для простоты опустить индекс  $N$ .

### С2 Функциональные зависимости

#### С2.1 Интерполяция

Существует несколько полиномиальных формул для интерполяции<sup>9</sup> между табулированными значениями и эквидистантными (равностоящими) значениями, которые относительно легко использовать. Однако испытательные нагрузки во многих случаях могут быть неэквидистантными, что приводит к достаточно сложной формуле интерполяции, если применять ее одну во всем диапазоне взвешивания.

Линейную интерполяцию между двумя смежными точками можно выполнить по

$$E(R) = E_k + (R - I_k)(E_{k+1} - E_k)/(I_{k+1} - I_k) \quad (C2.1-1)$$

$$U(E(R)) = U_k + (R - I_k)(U_{k+1} - U_k)/(I_{k+1} - I_k) \quad (C2.1-2)$$

для отсчета  $R$  с  $I_k < R < I_{k+1}$ . Для оценивания возможной погрешности интерполяции потребуется многочлен более высокого порядка, что далее не рассматривается.

#### С2.2 Аппроксимация

Аппроксимацию следует выполнять посредством вычислений или алгоритмов с использованием подхода «минимального  $\chi^2$ », т.е. параметры функции  $f$  определяют так, что

$$\chi^2 = \sum p_j v_j^2 = \sum p_j (f(I_j) - E_j)^2 = \text{minimum} \quad (C2.2-1)$$

где

<sup>9</sup> Формула интерполяции предполагается для получения именно данных значений между которыми осуществляется интерполяция. Формула аппроксимации обычно не дает именно данные значения.



$p_j$  = весовой коэффициент (обычно пропорционален  $1/u_j^2$ );

$v_j$  = остаток;

$f$  = функция аппроксимации, содержащая  $n_{\text{par}}$  параметров, которые требуется определить,  $j = 1 \dots n$ ;

$n$  = число испытательных точек.

Из наблюдаемого значения хи-квадрат  $\chi_{\text{obs}}^2$ , если выполняется следующее условие [12]

$$\chi_{\text{obs}}^2 \leq \nu \quad (\text{C2.2-2a})$$

со степенями свободы  $\nu = n - n_{\text{par}}$  закономерно допустить, что моделирующая функция вида  $E(I) = f(I)$  будет математически согласована с лежащими в основе аппроксимации данными.

Альтернативным вариантом для проверки согласия подгонки решения является допущение о том, что максимальное значение взвешенных разностей будет удовлетворять

$$\max \left( \frac{|f(I_j) - E_j|}{U(f(I_j))} \right) < 1 \quad (\text{C2.2-2b})$$

т.е., расширенная неопределенность должна содержать остаток для каждой точки. Это условие накладывает большее ограничение, чем уравнение (C2.2-2a).

### C2.2.1 Аппроксимация посредством многочленов

Аппроксимация посредством многочленов дает общую функцию

$$E(R) = f(R) = a_0 + a_1 R + a_2 R^2 + \dots + a_n R^n \quad (\text{C2.2-3})$$

Степень многочлена  $n_a$  следует выбирать такой, чтобы  $n_{\text{par}} = n_a + 1 \leq n/2$

Этот расчет лучше выполнять в матричном виде.

Пусть  $\mathbf{X}_{(n \times n_{\text{par}})}$  будет матрица, у которой  $n$  строками являются  $(1, I, I^2, \dots, I^{n_a})$ ;  
 $\mathbf{a}_{(n_{\text{par}} \times 1)}$  будет вектором-столбцом, состоящим из коэффициентов  $a_0, a_1, \dots, a_{n_a}$ , определяемых многочленом аппроксимации;  
 $\mathbf{e}_{(n \times 1)}$  будет вектором-столбцом, компонентами которого являются  $E_j$ ;  
 $\mathbf{U}(\mathbf{e})_{(n \times n)}$  будет дисперсионно-ковариационной матрицей  $\mathbf{e}$ .

$\mathbf{U}(\mathbf{e})$  задается с помощью

$$\mathbf{U}(\mathbf{e}) = \mathbf{U}(m_{\text{ref}}) + \mathbf{U}(I_{\text{cal}}) + \mathbf{U}(mod) \quad (\text{C2.2-3a})$$

где  $\mathbf{U}(m_{\text{ref}})$  - ковариационная матрица, связанная с эталонными значениями  $m_{\text{ref}}$

(4.2.4-2). Считаем достаточно высокую корреляцию между эталонными значениями

$$U(m_{ref}) = s_{m_{ref}} s_{m_{ref}}^T \quad (C2.2-3b)$$

где  $s_{m_{ref}}$  есть вектор-столбец неопределенностей  $u(m_{ref})$  (equ. 7.1.2-14),

$U(I_{Ca})$  есть диагональная матрица с элементами  $u_{jj} = u^2(I_j)$ ;

$U(mod)$  есть дополнительная ковариационная матрица, задаваемая выражением

$$U(mod) = s_m^2 I \quad (C2.2-3c)$$

где  $I$  есть единичная матрица и  $s_m$  есть неопределенность, обусловленная моделью. Этот вклад рассматривается для учета неадекватности модели.

Первоначально  $s_m$  устанавливается нулевой, если испытание  $\chi^2$  (C2.2-2a) дает неудовлетворительный результат,  $s_m$  итеративно увеличивают до тех пор, пока испытание  $\chi^2$  не даст удовлетворительный результат.

Если  $U(I_{Ca})$  является преобладающим вкладом, ковариациями можно пренебречь и  $U(e)$  можно аппроксимировать диагональной матрицей с элементами

$$u_{jj} = u^2(E_j) + s_m^2 \quad (C2.2-3d)$$

Матрицей  $P$  весовых коэффициентов является

$$P = U(e)^{-1} \quad (C2.2-4)$$

и коэффициенты  $a_0, a_1, \dots$  находят решением нормальных уравнений

$$X^T P X a - X^T P e = 0 \quad (C2.2-5)$$

решение которых имеет вид

$$\hat{a} = (X^T P X)^{-1} X^T P e \quad (C2.2-6)$$

$n$  остатков  $v_j = f(I_j) - E_j$  составляют вектор

$$v = X a - e \quad (C2.2-7)$$

и  $\chi_{obs}^2$  получают в виде

$$\chi_{obs}^2 = v^T P v \quad (C2.2-8)$$

При условии выполнения (C2.2-2), дисперсии и ковариации для коэффициентов  $a_i$  задаются матрицей

$$U(a) = (X^T P X)^{-1} \quad (C2.2-9)$$

Если условие (C2.2-2) не выполняется, можно применить одну из следующих процедур

- a: повторить аппроксимацию с аппроксимирующим многочленом большего порядка  $n_a$ , пока  $n_a + 1 \leq 2$ ;
- b: повторить аппроксимацию после увеличения  $U(mod)$ .

Результаты аппроксимации  $\hat{\mathbf{a}}$  и  $\mathbf{U}\hat{\mathbf{a}}$  можно использовать для определения погрешностей аппроксимации и соответствующих неопределенностей для  $n$  точек  $I_j$ .

Погрешности  $E_{\text{appr}j}$  составляют вектор

$$\mathbf{e}_{\text{appr}} = \mathbf{X} \mathbf{a} \quad (\text{C2.2-10})$$

с неопределенностями, заданными выражением

$$u^2(E_{\text{appr}j}) = \text{diag}(\mathbf{X}\mathbf{U}\mathbf{X}^T). \quad (\text{C2.2-11})$$

Они также служат для определения погрешности и соответствующей ей неопределенности для любого другого показания – называемого отсчетом  $R$  для отличия от показания  $I_j$  – в пределах калиброванного диапазона взвешивания.

Пусть

$\mathbf{r}$  будет вектором-столбцом, элементами которого являются  $(1, R, 2R, 3R, \dots, nR)^T$ ,

$\mathbf{r}'$  будет вектором-столбцом, элементами которого являются производные  $(0, 1, 2R, 3R, \dots, nR^{n-1})^T$ .

Погрешность равна

$$E_{\text{appr}}(R) = \mathbf{r}^T \mathbf{a} \quad (\text{C2.2-12})$$

и неопределенность задается с помощью

$$u^2(E_{\text{appr}}) = (\mathbf{r}'^T \mathbf{a}) U(R) (\mathbf{r}'^T \mathbf{a})^T + \mathbf{r}^T U(\mathbf{a}) \mathbf{r} \quad (\text{C2.2-13})$$

Первый член справа упрощается, так как все 3 матрицы являются одномерными, принимая вид

$$(\mathbf{r}'^T \mathbf{a}) U(R) (\mathbf{r}'^T \mathbf{a})^T = (a_1 + 2a_2 R + 3a_3 R^2 + \dots + na_{n_a} R^{n_a-1})^2 u^2(R) \quad (\text{C2.2-14})$$

где  $u^2(R) = a_0^2/12 + a_R^2/12 + s^2(R) + u_{\text{rel}}^2(\delta R_{\text{cc}}) R^2$  согласно (7.1.1-12).

### С2.2.2 Аппроксимация прямой линией

Конструкция многих современных электронных весов предусматривает внутреннюю поправку для получения хорошей линейности. Поэтому погрешности большей частью являются результатом неправильной юстировки, и погрешность возрастает пропорционально  $R$ . Для таких приборов может быть целесообразно ограничить многочлен линейной функцией, если она достаточна с учетом условия (С2.2-2).

Обычное решение заключается в применении (С2.2-3) с  $n_a = 1$

$$E(R) = f(R) = a_0 + a_1 R \quad (\text{C2.2-15})$$

Один вариант заключается в принятии  $a_0 = 0$  и определении только  $a_1$ . Его можно обосновать тем, что вследствие установки нуля – по меньшей мере для увеличиваемых нагрузок – погрешность  $E(R=0)$  автоматически является нулевой

$$E(R) = f(R) = a_1 R \quad (C2.2-16)$$

Другим вариантом является определение коэффициента  $a$  ( $=a_1$  в (C2.2-16)) в качестве всех средних относительных погрешностей  $g_j = jE_j / jI$ . Это позволяет включить погрешности показаний нетто после операции уравнивания тары, если они были определены при калибровке

$$a = \sum(E_j / I_j) / n \quad (C2.2-17)$$

Эти вычисления, за исключением варианта (C2.2-17), можно выполнять используя матричную формулу в C2.2.1.

Другие возможности приведены далее.

C2.2.2.1 Линейную регрессию согласно (C2.2-15) можно выполнять с помощью программного обеспечения.

Соответствие между результатами обычно представляет

«пересечение»  $\neq a_0$

«угловой коэффициент»  $\neq a_1$

Однако простых карманных калькуляторов может быть недостаточно для выполнения линейной регрессии на основании данных взвешенной погрешности, или линейной регрессии с  $a_0 = 0$ .

C2.2.2.2 Для упрощения программирования вычислений с помощью компьютера не в матричной записи далее будет представлена соответствующая формула.

Если целью является выполнение условия (C2.2-2a), метод начинают с первой линейной регрессии с использованием

$$p_j = 1/u^2(E_j) \quad (C2.2-18a)$$

Если (C2.2-2a) еще не выполняется, то среднее квадратическое отклонение подгонки можно определить в виде

$$std\ fit = \sqrt{\frac{\sum_j (f(I_j) - E_j)^2}{(n - n_{par})}} \quad (C2.2-18b)$$

На втором шаге следует определить новые весовые коэффициенты в виде

$$p'_j = 1/(u^2(E_j) + std\ fit^2) \quad (C2.2-18c)$$

С этими новыми весовыми коэффициентами следует определить новую линейную регрессию. При этом методе линейная регрессия удовлетворяет условию (C2.2-2a).

Если цель заключается в выполнении более ограничительного условия (C2.2-2b), вероятно необходимость включения в (C2.2-18a) добавочной составляющей неопределенности,  $S_m$ . Первоначально  $S_m$  устанавливают нулевой, затем  $S_m$  итеративно увеличивают до тех пор, пока не будет выполнено условие (C2.2-2b).

Рекомендация по увеличению шага для увеличения  $S_m$  может заключаться в рассмотрении 1/10 разрешения весов.

Для простоты в следующих выражениях опущены индексы  $j$  у  $I, E, p$ .

а) линейная регрессия для (С2.2-15)

$$a_0 = \frac{\sum p E \sum p I^2 - \sum p I \sum p I E}{\sum p \sum p I^2 - (\sum p I)^2} \quad (\text{C2.2-15a})$$

$$a_1 = \frac{\sum p \sum p I E \sum p E \sum p I}{\sum p \sum p I^2 - (\sum p I)^2} \quad (\text{C2.2-15b})$$

$$\chi^2 = \sum p (a_0 + a_1 I - E)^2 \quad (\text{C2.2-15c})$$

$$u^2(a_0) = \frac{\sum p I^2}{\sum p \sum p I^2 - (\sum p I)^2} \quad (\text{C2.2-15d})$$

$$u^2(a_1) = \frac{\sum p}{\sum p \sum p I^2 - (\sum p I)^2} \quad (\text{C2.2-15e})$$

$$\text{cov}(a_0, a_1) = \frac{\sum p I}{\sum p \sum p I^2 - (\sum p I)^2} \quad (\text{C2.2-15f})$$

(С2.2-15) применима для аппроксимированной погрешности показания  $R$ , и неопределенность аппроксимации  $u(E_{\text{appr}})$  задается с помощью

$$u^2(E_{\text{appr}}) = a_1^2 u^2(R) + u^2(a_0) + R^2 u^2(a_1) + 2R \text{cov}(a_0, a_1) \quad (\text{C2.2-15g})$$

б) линейная регрессия с  $a_0 = 0$

$$a_1 = \frac{\sum p I E}{\sum p I^2} \quad (\text{C2.2-16a})$$

$$\chi^2 = \sum p (a_1 I - E)^2 \quad (\text{C2.2-16b})$$

$$u^2(a_1) = 1 / \sum p I^2 \quad (\text{C2.2-16c})$$

(С2.2-16) применима для аппроксимированной погрешности показания  $R$ , и приписываемая неопределенность  $u(E_{\text{appr}})$  задается с помощью

$$u^2(E_{\text{appr}}) = a_1^2 u^2(R) + u^2(a_1) \quad (\text{C2.2-15g})$$

с) средние градиенты

В этом варианте неопределенности равны  $u(E_j / I_j) = u(E_j) / I_j$  и  $p_j = I_j^2 / u^2(E_j)$ .

$$a = (\sum p E) / \sum p \quad (\text{C2.2-17a})$$

$$\chi^2 = \sum p (a - E/p)^2 \quad (\text{C2.2-17b})$$

$$u^2(a) = 1 / \sum p \quad (\text{C2.2-17c})$$

(C2.2-17) применима для аппроксимированной погрешности показания  $R$ , которое может быть также и аппроксимированным показанием, и неопределенность аппроксимации  $u(E_{\text{appr}})$  задается с помощью

$$u^2(E_{\text{appr}}) = a^2 u^2(R) + R^2 u^2(a) \quad (\text{C2.2-17d})$$

### С3 Члены, не зависящие от отсчетов

Если не являющиеся функциями показания члены не дают какое-либо оцениваемое значение для погрешности, которую в употреблении следует ожидать для данного отсчета, они могут быть полезны для получения указанной в 7.5.2 «общей неопределенности».

#### С3.1 Средняя погрешность

Среднее всех погрешностей равно

$$E^0 = \bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n E_j \quad (\text{C3.1-1})$$

со средним квадратическим отклонением

$$s(E) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\bar{E} - E_j)^2} = u_{\text{appr}} \quad (\text{C3.1-2})$$

Примечание. Точку данных  $I = 0E = 0$  следует включать в виде  $I_1, E_1$ .

Когда  $\bar{E}$  близка к нулю, в (7.5.2-2а) может добавляться только  $s^2(E)$ . В других случаях, в частности когда  $|\bar{E}| \geq u(W)$  следует использовать (7.5.2-3а) с  $u(W)$ , увеличенной на  $u_{\text{appr}} = s(E)$ .

#### С3.2 Максимальная погрешность

«Максимальную погрешность» следует понимать как наибольшее абсолютное значение всех погрешностей

$$E_{\text{max}} = |E_j|_{\text{max}} \quad (\text{C3.2-1})$$

С3.2.1 С  $E^0 = E_{\text{max}}$  (7.5.2-3а) будет естественно означать «общую неопределенность», которая охватит любую погрешность в диапазоне взвешивания с вероятностью охвата больше 95 %. Преимущество заключается в простоте и непосредственности формулы.

С3.2.2 Принимая равномерное распределение всех погрешностей в – фиктивном! – диапазоне  $\pm E_{\text{max}}$   $E^0$  можно определить как среднее квадратическое отклонение погрешностей

$$E^0 = E_{\text{max}} / \sqrt{3} \quad (\text{C3.2-2})$$

для подстановки в (7.5.2-2а).

**ПРИЛОЖЕНИЕ D: ОБОЗНАЧЕНИЯ**

Обозначения, используемые в более чем одном разделе основного документа, перечислены и раскрыты далее.

<b>Обозначение</b>	<b>Определение</b>
$D$	Дрейф, изменение величины во времени
$E$	Погрешность (показания)
$I$	Показание весов
$I_{ref}$	Опорное значение показания весов
$K_T$	Чувствительность весов к изменению температуры
$L$	Нагрузка на весы
$Max$	Максимальная нагрузка
$Max_d$	Верхний предел диапазона взвешивания с наименьшей ценой деления шкалы
$Max'$	Верхний предел заданного диапазона взвешивания, $Max' < Max$
$Min$	Значение нагрузки, ниже которого результат взвешивания может характеризоваться избыточной относительной погрешностью (из [2] и [3])
$Min'$	Нижний предел заданного диапазона взвешивания, $Min' > Min$
$R$	Показание (отсчет) весов, не относящееся к испытательной нагрузке
$R_{min}$	Нижний предел диапазона показаний
$R_{min,SF}$	Нижний предел диапазона показаний для коэффициента запаса $>1$
$Req$	Требование пользователя к относительной точности взвешивания
$T$	Температура (в К)
$Tol$	Заданное значение допуска
$U$	Расширенная неопределенность
$U_{gl}$	Общая расширенная неопределенность
$W$	Результат взвешивания в воздухе
$d$	Цена деления шкалы, разница в единицах массы двух соседних показаний показывающего устройства
$d_1$	Наименьшая цена деления шкалы
$d_T$	Фактическая цена деления шкалы $< d$ , использованная при калибровке
$g$	Местное ускорение свободного падения
$k$	Коэффициент охвата
$k_s$	Юстировочный коэффициент
$m$	Масса объекта
$m_c$	Условное значение массы, как правило эталонной гири
$m_N$	Номинальное значение массы эталонной гири
$m_{ref}$	Эталонная масса («истинное значение») испытательной нагрузки
$mpe$	Максимальная допускаемая погрешность (показания, эталонной гири и т.д.) в заданном контексте
$n$	Количество элементов, как указано в каждом случае
$p$	Атмосферное давление
$s$	Среднее квадратическое отклонение
$t$	Температура (°C)
$u$	Стандартная неопределенность
$u_{rel}$	Стандартная неопределенность, относенная к основной величине
$\nu$	Число степеней свободы
$\rho$	Плотность

$\rho_0$	Стандартная плотность воздуха, $\rho_0 = 1,2 \text{ кг/м}^3$
$\rho_a$	Плотность воздуха
$\rho_c$	Стандартная плотность эталонной гири, $\rho_c = 8000 \text{ кг/м}^3$

<b>Индекс</b>	<b>означает</b>
B	выталкивающая сила воздуха (при калибровке)
D	дрейф
L	при нагрузке
N	номинальное значение
St	эталонная (масса)
T	испытательное
adj	юстировочное
appr	аппроксимация
buoy	выталкивающая сила воздуха (результат взвешивания)
cal	калибровочное
conv	конвекционное
corr	поправочное
dig	дискретизация
ecc	внецентренное нагружение
gl	общее, полное
$i, j$	нумерация
instr	прибор для взвешивания, весы
max	максимальное значение из данной совокупности
min	минимальное значение из данной совокупности
proc	процедура взвешивания
ref	эталонное
rel	относительное
rep	повторяемость
s	фактическое во время измерения
sub	замещающая нагрузка
tare	операция уравнивания тары
temp	температурное
time	время
0	нулевое, без нагрузки



**ПРИЛОЖЕНИЕ Е: СВЕДЕНИЯ О ВЫТАЛКИВАЮЩЕЙ СИЛЕ ВОЗДУХА**

В этом приложении приведены дополнительные сведения для поправки на выталкивающую силу воздуха, рассматриваемой в 7.1.2.2.

**Е1 Плотность эталонных гирь**

Если плотность эталонной гири  $\rho$  и ее стандартная неопределенность  $u(\rho)$  неизвестны, для гирь классов с  $E_2$  по  $M_2$  согласно ГОСТ OIML R111-1-2009 можно использовать следующие значения (взято из [4], таблица B7).

Сплав/материал	Принятая плотность $\rho$ в кг/м <sup>3</sup>	Стандартная неопределенность $u(\rho)$ в кг/м <sup>3</sup>
Нейзильбер	8 600	85
Латунь	8 400	85
Нержавеющая сталь	7 950	70
Углеродистая сталь	7 700	100
Железо	7 800	100
Чугун (белый)	7 700	200
Чугун (серый)	7 100	300
Алюминий	2 700	65

Для гирь с подгоночной полостью, заполненной значительным количеством материала отличающейся плотности, в [4] дана формула для расчета общей плотности такой гири.

**Е2 Выталкивающая сила воздуха для гирь, соответствующих ГОСТ OIML R111-1-2009**

Как указано в подстрочном примечании к 7.1.2.2, ГОСТ OIML R111-1-2009 требует, чтобы плотность эталонной гири находилась в определенных пределах, связанных с максимально допускаемой погрешностью  $mpe$  и определенной вариацией плотности воздуха. Значения  $mpe$  пропорциональны номинальному значению гирь  $\geq 100$  г. Это позволяет оценить относительную неопределенность  $u_{rel}(\delta m_V)$ . Соответствующие формулы для случаев с юстировкой весов непосредственно перед калибровкой (7.1.2-5c) и без юстировки весов перед калибровкой (7.1.2-5d) оценены в таблице E2.1 по отношению к классам точности с  $E_2$  по  $M_1$ .

Для гирь с  $m_N \leq 50$  г значения  $mpe$  приведены в ГОСТ OIML R111-1-2009, относительно значения  $mpe$   $m_N$  увеличивается с уменьшением массы. Для этих гирь в таблице E2.1 приведены абсолютные стандартные неопределенности  $u_{rel}(\delta m_V) = u_{rel}(\delta m_V) m_N$ .

Значения в таблице E2.1 можно использовать для оценки вклада в неопределенность, если на выталкивающую силу воздуха поправка не вносится.

**Таблица Е2.1: Стандартная неопределенность поправки на выталкивающую силу воздуха для эталонных гирь, соответствующих R 111**

Рассчитана согласно 7.1.2.2 для случаев с юстировкой весов непосредственно перед калибровкой (7.1.2-5с),  $u_A$ , и без юстировки весов перед калибровкой (7.1.2-5d),  $u_B$ .

$m_N$ в г	Класс E <sub>2</sub>			Класс F <sub>1</sub>			Класс F <sub>2</sub>			Класс M <sub>1</sub>		
	$m_{pe}$ в мг	$u_A$ в мг	$u_B$ в мг	$m_{pe}$ в мг	$u_A$ в мг	$u_B$ в мг	$m_{pe}$ в мг	$u_A$ в мг	$u_B$ в мг	$m_{pe}$ в мг	$u_A$ в мг	$u_B$ в мг
50	0,100	0,014	0,447	0,30	0,043	0,476	1,00	0,14	0,58	3,0	0,43	0,87
20	0,080	0,012	0,185	0,25	0,036	0,209	0,80	0,12	0,29	2,5	0,36	0,53
10	0,060	0,009	0,095	0,20	0,029	0,115	0,60	0,09	0,17	2,0	0,29	0,38
5	0,050	0,007	0,051	0,16	0,023	0,066	0,50	0,07	0,12	1,6	0,23	0,27
2	0,040	0,006	0,023	0,12	0,017	0,035	0,40	0,06	0,08	1,2	0,17	0,19
1	0,030	0,004	0,013	0,10	0,014	0,023	0,30	0,04	0,05	1,0	0,14	0,15
0,5	0,025	0,004	0,008	0,08	0,012	0,016	0,25	0,04	0,04	0,8	0,12	0,12
0,2	0,020	0,003	0,005	0,06	0,009	0,010	0,20	0,03	0,03	0,6	0,09	0,09
0,1	0,016	0,002	0,003	0,05	0,007	0,008	0,16	0,02	0,02	0,5	0,07	0,07
<u>Относительные <math>m_{pe}</math> и относительные стандартные неопределенности <math>u_{rel}</math> (<math>\delta m</math>) в мг/кг для гирь 100 г и больше</u>												
	Класс E <sub>2</sub>			Класс F <sub>1</sub>			Класс F <sub>2</sub>			Класс M <sub>1</sub>		
	$m_{pe}/m_N$ мг/кг	$u_{rel A}$	$u_{rel B}$	$m_{pe}/m_N$ мг/кг	$u_{rel A}$	$u_{rel B}$	$m_{pe}/m_N$ мг/кг	$u_{rel A}$	$u_{rel B}$	$m_{pe}/m_N$ мг/кг	$u_{rel A}$	$u_{rel B}$
≥ 100	1,60	0,23	8,89	5,00	0,72	9,38	16,0	2,31	11,0	50,0	7,22	15,88

**ПРИЛОЖЕНИЕ F: ВЛИЯНИЯ КОНВЕКЦИИ**

В 4.2.3 появление кажущегося изменения массы  $\Delta m_{conv}$  обусловленное разностью температур  $\Delta T$  эталонной гири и окружающего воздуха, объяснено в принципе. Представленные далее более подробные сведения позволяют оценивать ситуации, в которых влияние конвекции следует рассматривать с учетом неопределенности калибровки.

Все приведенные в следующих таблицах значения рассчитаны на основании [7]. Соответствующие формулы и используемые параметры здесь не приводятся. Приведены только основная формула и обязательные условия.

Рассматриваемый вопрос достаточно сложен и физически, и в оценке экспериментальных результатов. Прецизионность представленных здесь значений не следует переоценивать.

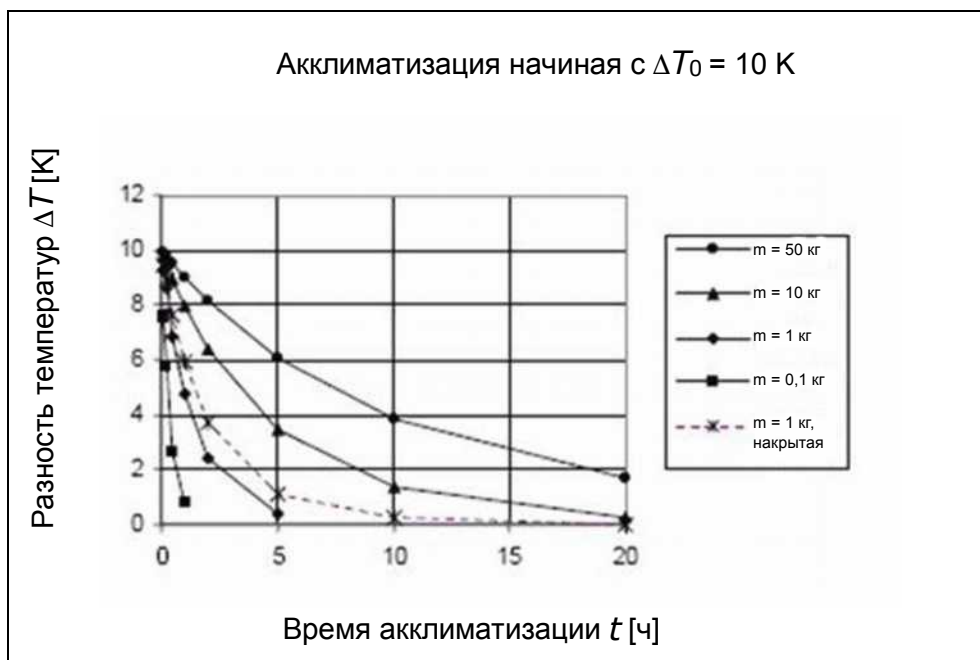
**F1 Зависимость температуры от времени**

Начальная разность температур  $\Delta T_0$  снижается со временем  $\Delta t$  вследствие теплообмена между гирей и окружающим воздухом. Скорость теплообмена в достаточной степени независима от знака  $\Delta T_0$ , поэтому нагрев или охлаждение гири происходит за одинаковые интервалы времени.

На рисунке F1.1 показаны некоторые примеры влияния акклиматизации. Для начальной разности температур 10 К показана фактическая  $\Delta T$  после различных промежутков времени акклиматизации для 4 различных гирь. Гири помещены на трех достаточно тонких колонках из ПВХ на «открытом воздухе». Для сравнения  $\Delta T$  также показана для гири 1 кг, помещенной на такие же стойки, но накрытой стеклянным колоколом, уменьшающим конвекционный поток воздуха, поэтому требуется в 1,5-2 раза больше времени для достижения такого же снижения  $\Delta T$ , как для 1-килограммового образца без стеклянного колокола.

Справки в [7]: формула (21) и параметры для случаев 3b и 3c в таблице 4.

Рисунок F1.1: Акклиматизация эталонных гирь



В таблицах F1.2 и F1.3 приведены значения времени акклиматизации  $\Delta t$  для эталонных гирь, которые следует выдерживать для снижения разности температур с  $\Delta T_1$  до меньшего  $\Delta T_2$ . Условия теплообмена такие же, как на рисунке F1.1: таблица F1.2 как для « $m = 0,1$  кг» до « $m = 50$  кг»; таблица F1.3 как для « $m = 1$ , накрытая».

В фактических условиях значения времени выдержки могут быть меньше при помещении гирь непосредственно на теплопроводную опору; они могут быть больше при частичном укрытии гирь в футляре.

Справки в [7]: формула (26) и параметры для случаев 3b, 3c в таблице 4.

**Таблица F1.2 Интервалы времени для ступенчатого снижения разности температур**

Гири, стоящие на трех достаточно тонких колонках из ПВХ на открытом воздухе.

Время акклиматизации в мин для достижения $\Delta T$ из ближайшего большего $\Delta T$ , случай 3b							
m, кг	$\Delta T$ , К						
	от 20 до 15 К	от 15 до 10 К	от 10 до 7 К	от 7 до 5 К	от 5 до 3 К	от 3 до 2 К	от 2 до 1 К
50	149,9	225,3	212,4	231,1	347,9	298,0	555,8
20	96,2	144,0	135,2	135,0	219,2	186,6	345,5
10	68,3	101,9	95,3	94,8	153,3	129,9	239,1
5	48,1	71,6	66,7	66,1	106,5	89,7	164,2
2	30,0	44,4	41,2	40,6	65,0	54,4	98,8
1	20,8	30,7	28,3	27,8	44,3	37,0	66,7
0,5	14,3	21,0	19,3	18,9	30,0	24,9	44,7
0,2	8,6	12,6	11,6	11,3	17,8	14,6	26,1
0,1	5,8	8,5	7,8	7,5	11,8	9,7	17,2
0,05	3,9	5,7	5,2	5,0	7,8	6,4	11,3
0,02	2,3	3,3	3,0	2,9	4,5	3,7	6,4
0,01	1,5	2,2	2,0	1,9	2,9	2,4	4,2

Примеры для гири 1 кг:

для снижения  $\Delta T$  с 20 до 15 К требуется 20,8 мин,

для снижения  $\Delta T$  от 15 до 10 К требуется 30,7 мин,

для снижения  $\Delta T$  от 10 до 5 К требуется 28,3 мин + 27,8 мин = 56,1 мин.

**Таблица F1.3 Интервалы времени для ступенчатого снижения разности температур**

Гири, стоящие на трех достаточно тонких колонках из ПВХ под стеклянным колпаком.

Время акклиматизации в мин для достижения $\Delta T$ из ближайшего большего $\Delta T$ , случай 3b							
m, кг	$\Delta T$ , К						
	от 20 до 15 К	от 15 до 10 К	от 10 до 7 К	от 7 до 5 К	от 5 до 3 К	от 3 до 2 К	от 2 до 1 К
50	154,2	235,9	226,9	232,1	388,7	342,7	664,1
20	103,8	158,6	152,4	155,6	260,2	228,9	442,2
10	76,8	117,2	112,4	114,7	191,5	168,1	324,0
5	56,7	86,4	82,8	84,3	140,5	123,1	236,5
2	37,8	57,5	54,9	55,8	92,8	81,0	155,0
1	27,7	42,1	40,1	40,7	67,5	58,8	112,0
0,5	20,2	30,7	29,2	29,6	48,9	42,4	80,5
0,2	13,3	20,1	19,1	19,2	31,7	27,3	51,6
0,1	9,6	14,5	13,7	13,8	22,6	19,5	36,6
0,05	6,9	10,4	9,8	9,9	16,1	13,8	25,7
0,02	4,4	6,7	6,3	6,2	10,2	8,6	16,0
0,01	3,2	4,7	4,4	4,4	7,1	6,0	11,1

## F2 Изменение кажущейся массы

Поток воздуха, вызываемый разностью температур  $\Delta T$  направлен вверх, если гиря теплее ( $\Delta T > 0$ ) окружающего воздуха, и вниз, если она холоднее ( $\Delta T < 0$ ). Поток воздуха создает силы трения на вертикальной поверхности гири, и толкающие или тянущие усилия на ее горизонтальных поверхностях, вызывая  $\Delta m_{conv}$  кажущейся массы. Грузоприемное устройство весов также вносит вклад в это изменение, его характер еще не исследован полностью.

Эксперименты показывают, что абсолютные значения изменений обычно меньше для  $\Delta T < 0$  чем для  $\Delta T > 0$ . Следовательно имеет смысл вычислять изменения массы для абсолютных значений  $\Delta T$ , используя параметры для  $\Delta T > 0$ .

В таблице F2.1 даны значения  $\Delta m_{conv}$  для эталонных гирь при разностях температур  $\Delta T$ , фигурирующих в таблицах F1.2 и F1.3. Они получены на основании экспериментов, выполненных на компараторе массы с поворотным столом для смены гирь в стеклянном кожухе. Преобладающие при калибровке «обычных» весов условия различаются, значения в таблице следует принимать в качестве оценок влияний, которые можно ожидать при фактической калибровке.

Справки в [7]: формула (34) и параметры для случая 3d в таблице 4.

**Таблица F2.1 Изменение кажущейся массы  $\Delta m_{\text{conv}}$** 

Изменение $\Delta m_{\text{conv}}$ эталонных гирь в мг, при заданных разностях температур $\Delta T$								
	$\Delta T$ в К							
$m$ в кг	20	15	10	7	5	3	2	1
50	113,23	87,06	60,23	43,65	32,27	20,47	14,30	7,79
20	49,23	38,00	26,43	19,25	14,30	9,14	6,42	3,53
10	26,43	20,47	14,30	10,45	7,79	5,01	3,53	1,96
5	14,30	11,10	7,79	5,72	4,28	2,76	1,96	1,09
2	6,42	5,01	3,53	2,61	1,96	1,27	0,91	0,51
1	3,53	2,76	1,96	1,45	1,09	0,72	0,51	0,29
0,5	1,96	1,54	1,09	0,81	0,61	0,40	0,29	0,17
0,2	0,91	0,72	0,51	0,38	0,29	0,19	0,14	0,08
0,1	0,51	0,40	0,29	0,22	0,17	0,11	0,08	0,05
0,05	0,29	0,23	0,17	0,12	0,09	0,06	0,05	0,03
0,02	0,14	0,11	0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01
0,01	0,08	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01

Значения в этой таблице можно сравнивать с неопределенностью калибровки, или с заданным допуском для эталонных гирь, используемых для калибровки, чтобы оценить возможность заметного изменения кажущейся массы вследствие фактического значения  $\Delta T$ .

В качестве примера в таблице F2.2 даны разности температур, которые вероятно дают для гирь, соответствующих ГОСТ OIML R111-1-2009, значения  $\Delta m_{\text{conv}}$ , не превышающие определенные пределы. Сличение на основании таблицы F2.1.

Рассматриваемыми пределами являются максимальные допускаемые погрешности, отсюда 1/3.

Можно полагать, что с такими пределами влияние конвекции важно только для гирь классов F<sub>1</sub> ГОСТ OIML R111-1-2009 или выше.

**Таблица F2.2 Температурные пределы для значений  $\Delta m_{\text{conv}}$** 

$\Delta T_A$  = разность температур для  $\Delta m_{\text{conv}} \leq m_{\text{пр}}$

$\Delta T_B$  = разность температур для  $\Delta m_{\text{conv}} \leq m_{\text{пр}} / 3$

Разности $\Delta T_A$ для $\Delta m_{\text{conv}} \leq m_{\text{пр}}$ и $\Delta T_B$ для $\Delta m_{\text{conv}} \leq m_{\text{пр}} / 3$						
	Класс E <sub>2</sub>			Класс F <sub>1</sub>		
$m_N$ в кг	$m_{\text{пр}}$ в мг	$\Delta T_A$ в К	$\Delta T_B$ в К	$m_{\text{пр}}$ в мг	$\Delta T_A$ в К	$\Delta T_B$ в К
50	75	12	4	250	>20	12
20	30	11	3	100	>20	11
10	15	10	3	50	>20	10
5	7,5	10	3	25	>20	10
2	3	9	1	10	>20	9
1	1,5	7	1	5	>20	7
0,5	0,75	6	1	2,5	>20	6
0,2	0,30	5	1	1,0	>20	5
0,1	0,15	4	1	0,50	>20	4
0,05	0,10	6	1	0,30	>20	6
0,02	0,08	10	2	0,25	>20	10
0,01	0,06	15	3	0,20	>20	15

**ПРИЛОЖЕНИЕ G: МИНИМАЛЬНАЯ МАССА**

Минимальная масса есть наименьшее количество образца, требуемого для навески только с целью получения определенной относительной погрешности взвешивания [13].

Следовательно, при взвешивании некоторого количества  $R_{\min}$ , представляющего минимальную массу, относительная неопределенность измерений результата взвешивания равна требуемой относительной погрешности взвешивания  $Req$ , поэтому

$$\frac{U(R_{\min})}{R_{\min}} = Req \quad (G-1)$$

Это приводит к следующему соотношению, описывающему минимальную массу

$$R_{\min} = \frac{U(R_{\min})}{Req} \quad (G-2)$$

Общепринятой практикой является задание пользователями определенных требований к метрологическим характеристикам весов (технические требования пользователя). Обычно они задают верхние границы для значений неопределенности измерений, приемлемые для специального применения взвешивания. Иными словами, пользователи ссылаются на требования к точности процесса взвешивания или к допустимым отклонениям при взвешивании. Очень часто пользователи также должны придерживаться нормативных документов, которые ставят условием соблюдение определенного требования к неопределенности измерений. Обычно эти требования указываются в виде относительного значения, например соблюдение неопределенности измерений 0,1 %.

Для средств измерений массы навесок общую неопределенность обычно используют для оценки способности весов соответствовать определенным требованиям пользователя.

Общую неопределенность обычно аппроксимируют линейным уравнением (7.5.2-3е)

$$U_{gl}(W) \approx U(W=0) + \left\{ \frac{U(W=Ma)}{U(W=0)} \right\} Ma + a_1 R = a_{gl} + \beta_{gl} \cdot R \quad (G-3)$$

Относительная общая неопределенность, таким образом, является гиперболической функцией [так в оригинале – прим. перев.] и определяется в виде

$$U_{gl,rel}(W) = \frac{U_{gl}(W)}{R} = \frac{a_{gl}}{R} + \beta_{gl} \quad (G-4)$$

Для заданного требования точности  $Req$  только взвешивания с

$$U_{gl,rel}(W) \leq Req \quad (G-5)$$

отвечают соответствующему требованию пользователя. Следовательно, только взвешивания с отсчетом

$$R \geq \frac{a_{gl}}{Req - \beta_{gl}} \quad (G-6)$$

имеют относительную общую неопределенность измерения меньше установленного пользователем определенного требования, и поэтому приемлемы. Предельное значение, т.е. наименьший результат взвешивания, отвечающий требованиям пользователя, равно

$$R_{\min} = \frac{a_{gl}}{Req - \beta_1} \tag{G-7}$$

и называется «минимальная масса». Исходя из этого значения, пользователь может определить соответствующие стандартные рабочие процедуры, которые обеспечивают ему взвешивание на весах, соответствующие требованиям к минимальной массе, т.е. взвешивание только масс, которые превышают минимальную массу.

Так как неопределенность измерений в эксплуатации может быть трудно оценить по причине таких факторов как уровни вибрации, сквозняки, влияния, обусловленные оператором, и т.д., или вследствие влияний, специального применения, например пробы с электростатическим зарядом, магнитные мешалки и т.д., применяют коэффициент запаса.

Коэффициент запаса  $SF$  представляет число больше единицы, на которое делят требование пользователя  $Req$ . Цель заключается в обеспечении относительной общей неопределенности измерений не больше требования пользователя  $Req$ , деленного на коэффициент запаса. Это гарантирует, что эффекты окружающей среды или специального применения, которые имеют важное влияние на результат измерений и поэтому могут увеличивать неопределенность измерений взвешивания выше некоторого уровня, оцениваемого общей неопределенностью, по-прежнему позволяют – в высокой степени подстраховки – выполнять требование пользователя  $Req$ .

$$U_{gl,rel}(W) \leq Req / SF \tag{G-8}$$

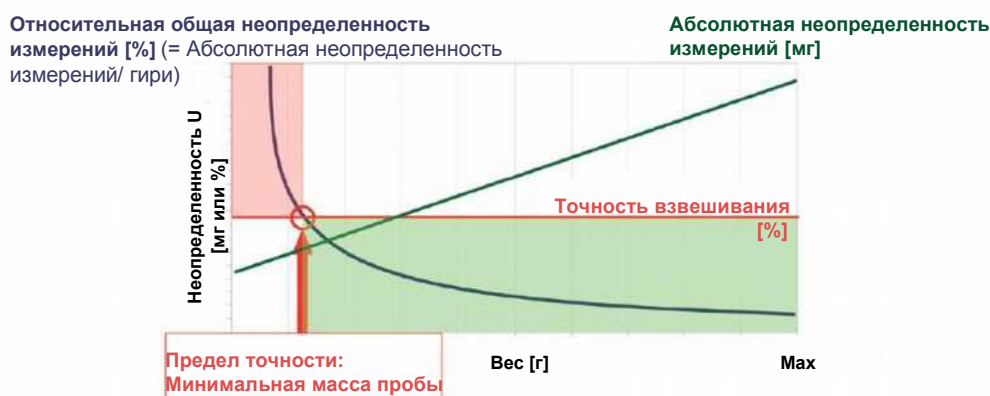
Поэтому минимальную массу с коэффициентом запаса можно рассчитать как

$$R_{\min, SF} = \frac{a_{gl} \cdot SF}{Req - \beta_1 \cdot SF} \tag{G-9}$$

Пользователь отвечает за определение коэффициента запаса в зависимости от степени, до которой эффекты окружающей среды и специального применения могут оказывать влияние на неопределенность измерений.

Отметим, что минимальная масса относится к измеряемой на весах массы нетто (пробы), т.е. для выполнения требования пользователя  $Req$  массу сосуда тары учитывать не следует. Поэтому минимальную массу часто называют «минимальной массой пробы».

**Рисунок G.1: Неопределенность измерений**



Абсолютная (зеленая линия) и относительная (синяя линия) неопределенность



измерений массы. Предел точности весов, так называемый минимальное значение *массы навески*, представляет точку пересечения относительной общей неопределенности измерений и требуемой точности взвешивания.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Н: ПРИМЕРЫ

Примеры, представленные в данном приложении, демонстрируют разные варианты того, как правила, содержащиеся в настоящем руководстве, могут быть корректно применены. Они не указывают на предпочтительность каких-либо отдельных процедур по отношению к тем, для которых примеры не приведены.

Если калибровочная лаборатория предпочитает действовать в полном соответствии с одним из приведённых примеров, она может приводить ссылку на него в своем руководстве по качеству и в любом выдаваемом сертификате.

Примеры Н1, Н2 и Н3 представляют основной подход к определению погрешности и неопределенностей при калибровке. Пример Н4 демонстрирует более сложный подход.

- Примечания:
1. В сертификате должна содержаться вся, насколько известно, информация, приведенная в Нп.1, и, если применимо, по меньшей мере та, что набрана жирным шрифтом в Нп.2 и Нп.3, где Нп = Н1, Н2...
  2. Для наглядности значения в примерах даны с большим числом разрядов, чем может быть в калибровочном сертификате.
  3. Для равномерных распределений принимается бесконечное количество степеней свободы.

### Н1 **Весы на нагрузку 220 г и ценой деления шкалы 0,1 мг**

#### **Предварительное замечание:**

Продемонстрирована калибровка лабораторных весов. Этот пример показывает полную стандартную процедуру для представления результатов измерений и соответствующих неопределенностей, как это делается большинством лабораторий. Альтернативный метод с учётом влияний выталкивающей силы воздуха и конвекции также представлен в виде варианта 2.

**Первая ситуация: Юстировка чувствительности выполняется независимо от калибровки****Н1.1/А Условия, при которых выполняется калибровка**

<b>Прибор</b>	<b>Электронные весы, описание и идентификация</b>
<b>Максимальная нагрузка <i>Max</i>/ Цена деления шкалы <i>d</i></b>	<b>220 г / 0,1 мг</b>
Температурный коэффициент	$K_T = 1,5 \times 10^{-6}/K$ (из руководства изготовителя); необходим единственно для расчета неопределенности результата взвешивания.
Встроенное юстировочное устройство	Работает автоматически после включения весов и при $\Delta T \geq 3$ К. Необходимо единственно для расчета неопределенности результата взвешивания. Состояние: активно
<b>Юстировка исполнителем калибровки</b>	<b>Не юстируются непосредственно перед калибровкой.</b>
<b>Температура во время калибровки</b>	<b>21 °С в начале калибровки.</b>
<i>Атмосферное давление и влажность (необязательные параметры)</i>	<i>990 гПа, 50 % RH</i>
Условия в помещении	Максимальное изменение температуры 5 К (лабораторное помещение без окон). Если используется для вычисления неопределенности выталкивающей силы согласно формуле 7.1.2-5е, его следует представить в сертификате калибровки. Не имеет значения для неопределенности результата взвешивания, если задействовано встроенное юстировочное устройство ( $\Delta T \geq 3$ К). В таком случае максимальное изменение температуры для оценки неопределенности результата взвешивания равно 3 К.
<b>Испытательные нагрузки/ акклиматизация</b>	<b>Эталонные гири, класс точности E<sub>2</sub>, акклиматизированные к температуре помещения (в варианте 2 следует учитывать разность температур 2 К относительно температуры помещения).</b>

**Н1.2/А Испытания и результаты**

<b>Повторяемость</b>	<b>Испытательная нагрузка 100 г (приложена 5 раз)</b>
Требования приведены в главе 5.1. Показания ненагруженных весов при необходимости устанавливаются на нуль; показания при нагрузке записываются.	100,000 6 г
	100,000 3 г
	100,000 5 г
	100,000 4 г
	100,000 5 г
<b>Среднее квадратическое отклонение</b>	<b><math>s = 0,00011</math> г</b>

Нецентральное нагружение	Расположение нагрузки на чашке	Испытательная нагрузка 100 г
Требования приведены в главе 5.3. Перед нагружением показание устанавливается на нуль; нагрузка сначала помещается в центр, затем в указанные позиции	Центр	100,000 6 г
	Спереди слева	100,000 4 г
	Сзади слева	100,000 5 г
	Сзади справа	100,000 7 г
	Спереди справа	100,000 5 г
<b>Максимальное отклонение</b>	$ \Delta_{\text{eccil}} _{\text{max}}$	<b>0,000 2 г</b>

#### Погрешности показаний:

Общие предварительные условия: Требования приведены в главе 5.2, гири распределены в диапазоне взвешивания достаточно равномерно. Каждая из испытательных нагрузок накладывается однократно; отдельные нагружения выполняются только в сторону увеличения нагрузки, показание ненагруженных весов устанавливаются при необходимости на нуль.

Вариант 1: Плотности воздуха неизвестны во время юстировки и калибровки (т.е. без внесения поправки на выталкивающую силу воздуха в значения погрешности показаний)

Нагрузка $m_{\text{ref}}$	Показание $I$	Погрешность показания $E$
0,0000 г	0,000 0 г	0,000 0 г
50,0000 г	50,000 4 г	0,000 4 г
99,9999 г	100,000 6 г	0,000 7 г
149,9999 г	150,000 9 г	0,001 0 г
220,0001 г	220,001 4 г	0,001 3 г

Вариант 2: плотность воздуха  $\rho_{\text{as}}$  неизвестна во время юстировки, и плотность воздуха  $\rho_{\text{cal}}$  во время калибровки рассчитана по упрощенной формуле CIPM (A1.1-1)

Измеренные значения, использованные для расчета:

Атмосферное давление  $p$ : 990 гПа

Относительная влажность  $RH$ : 50 %RH

Температура  $t$ : 21 °C

Плотность воздуха  $\rho_{\text{cal}}$ : 1,173 кг/м<sup>3</sup>

Рассчитанная поправка на выталкивающую силу  $\delta_B$  определяется формулой (4.2.4-4).

Числовое значение, использованное для расчёта:

Плотность эталонной гири  $\rho_{\text{cal}}$ : (7950 ± 70) кг/м<sup>3</sup>

Поправка на выталкивающую силу  $\delta_B$ :  $2,138 \times 10^{-8} m_{\text{ref}}$

Рассчитанная поправка на выталкивающую силу  $\delta_B$  для  $m_{\text{ref}}$  нагрузки  $L$  по формуле (4.2.4-4) пренебрежимо мала, так как относительное разрешение весов имеет порядок  $10^{-6}$ , что намного больше поправки на выталкивающую силу. Поэтому приведённые в таблице выше (вариант 1) значения актуальны и для данного варианта.

**Н1.3/А Погрешности и соответствующие неопределенности (бюджет соответствующих неопределенностей)**

Условия, общие для обоих вариантов:

- Неопределенность для начального (нулевого) показания обусловлена только дискретностью (ценой деления)  $d_0$  и повторяемостью  $s$ .
- Нецентральное нагружение учитывается при калибровке в соответствии с (7.1.1- 10).
- Условное значение массы испытательных гирь (класс точности  $E_2$ ) учитывается в результатах калибровки. Поэтому  $U(\delta m_c) = U/k$  рассчитывается по формуле (7.1.2-2).
- Изменение массы гирь контролируется статистически и коэффициент  $k_D$  в формуле (7.1.2-10) выбран равным 1,25.
- Степени свободы для расчета коэффициента охвата  $k$  получены согласно приложению В3 и таблице G.2 из [1]. В случае этого примера влияние неопределенности результатов испытания на повторяемость с 5 измерениями значительное.
- Сведения об относительной неопределенности  $U(E)_{rel} = u(E)/L$  не обязательны, но помогают продемонстрировать характеристики неопределенностей.

Бюджет неопределенности для варианта 1 (без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показаний)

Дополнительное условие:

Весы не юстируются непосредственно перед калибровкой. Применяется процедура согласно варианту 1, без информации о плотности воздуха. Поэтому для вычисления неопределенности, обусловленной выталкивающей силой воздуха, применяется формула (7.1.2-5d). В качестве альтернативы в этой таблице использовалась формула (7.1.2-5e), таким образом, предполагается, что изменение температуры в процессе работы с весами составляет 5 К.

Величина или влияние	Нагрузка, показание и погрешность, г					Формула
	Неопределенность, г					
Нагрузка $m_{ref}$ , г	0,000 0	50,000 0	99,999 9	149,999 9	220,000 1	
Показание $I$ , г	0,000 0	50,000 4	100,000 6	150,000 9	220,001 4	
Погрешность показания $E$ , г	0,000 0	0,000 4	0,000 7	0,001 0	0,001 3	7.1-1
Повторяемость $u(\delta I_{rep})$ , г	0,000 114					7.1.1-5
Разрешение $u(\delta I_{dig0})$ , г	0,000 029					7.1.1-2а
Разрешение $u(\delta I_{digL})$ , г	0,000 000	0,000 029				7.1.1-3а
Нецентральное нагружение $u(\delta I_{ecc})$ , г	0,000 000	0,000 029	0,000 058	0,000 087	0,000 127	7.1.1-10
Неопределенность показания $u(I)$ , г	0,000 118	0,000 124	0,000 134	0,000 149	0,000 175	7.1.1-12
Испытательные нагрузки $m_c$ , г	0,000 0	50,000 0	99,999 9	99,999 9 50,000 0	200,000 1 20,000 0	
Условная масса $u(\delta m_c)$ , г	0,000 000	0,000 015	0,000 025	0,000 040	0,000 062	7.1.2-2
Дрейф $u(\delta m_D)$ , г	0,000 000	0,000 022	0,000 036	0,000 058	0,000 089	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , г	0,000 000	0,000 447	0,000 889	0,001 330	0,001 960	7.1.2-5d / Таблица E2.1
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , г	Не имеет значения в этом случае (гири акклиматизированы).					7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , г	0,000 000	0,000 448	0,000 890	0,001 332	0,001 963	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , г	0,000 118	0,000 465	0,000 900	0,001 340	0,001 971	7.1.3-1а
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	4	1104	15538	76345	357098	B3-1
$k(95,45\%)$	2,87	2,00	2,00	2,00	2,00	[1]
$U(E) = ku(E)$ , г	0,000 34	0,000 93	0,001 80	0,002 68	0,003 94	7.3-1
$U_{rel}(E)/\%$	----	0,001 86	0,001 80	0,001 79	0,001 79	
<i>Альтернатива: Неопределенность, обусловленная выталкивающей силой, вычисляется по формуле (7.1.2-5e) вместо (7.1.2-5d), т.е. заменяется приближение для наихудшего случая значением, полученным из оценки при изменении температуры в помещении на 5 К во время работы с весами.</i>						
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , г	0,000 000	0,000 103	0,000 201	0,000 304	0,000 446	7.1.2-5e
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , г	0,000 000	0,000 107	0,000 205	0,000 312	0,000 459	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , г	0,000 118	0,000 164	0,000 245	0,000 346	0,000 491	7.1.3-1а
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	4	17	85	338	1377	B3-1
$k(95,45\%)$	2,87	2,16	2,03	2,01	2,00	[1]
$U(E) = ku(E)$ , г	0,000 34	0,000 35	0,000 50	0,000 69	0,000 98	7.3-1
$U_{rel}(E)/\%$	----	0,000 70	0,000 50	0,000 46	0,000 45	

На этом примере видно, что неопределенность опорного значения массы значительно снижается, если вклад в неопределенность от выталкивающей силы учитывается на основании оценки изменений температуры в помещении во

время работы с весами по сравнению с использованием более консервативного подхода (7.1.2-5d).

Допускается указывать в сертификате только наибольшее значение расширенной неопределенности для всех погрешностей, данных в отчете:  $U(E) = 0,003\ 94\ \text{г}$  (или альтернативно **0,000 98 г**) исходя из  $k = 2,00$  вместе с формулировкой о вероятности охвата не меньше 95 %.

В сертификате должно быть приведено уведомление для пользователя о том, что указанная в нем расширенная неопределенность применима только, когда учитывается погрешность (E).

Бюджет неопределенности для варианта 2 (с внесением поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показаний)

*Дополнительное условие:*

Весы не юстируются непосредственно перед калибровкой. Применяется процедура согласно варианту 2, с учетом определения плотности воздуха и поправки на выталкивающую силу воздуха. Поэтому для неопределенности, обусловленной выталкивающей силой воздуха, применяется формула (7.1.2-5а).

Выше было показано для варианта 2, что поправка на выталкивающую силу  $\delta m_B$  пренебрежимо мала, так как меньше относительного разрешения весов, но результат ее расчёта, тем не менее, приведен в следующей таблице. В данном случае неопределенность поправки на выталкивающую силу  $u(\delta m_B)$  рассчитывается по формуле (7.1.2-5а). Следует обратить внимание на то, что плотность воздуха во время юстировки (которая происходит независимо от калибровки) неизвестна, поэтому изменение плотности воздуха во времени принимается в качестве оценки для неопределенности. Следовательно, неопределенность плотности воздуха рассчитывается исходя из возможных изменений давления, температуры и влажности, которые могут наблюдаться в месте установки весов.

В приложении А3 приведены рекомендации по оцениванию неопределенности плотности воздуха. В этом примере используется аппроксимация неопределенности на основе (А3-2) вместо общего уравнения (А3-1), т.е. с температурой, являющейся свободным параметром.

При изменении температуры на 5 К расчёт по формуле аппроксимации (А3-2) дает относительную неопределенность  $u(\rho_a)/\rho_a = 1,18 \times 10^{-2}$ , что для плотности воздуха при калибровке  $\rho_a = 1,173\ \text{кг/м}^3$  дает неопределенность  $u(\rho_a) = 0,014\ \text{кг/м}^3$ . Такой же результат можно получить, используя точную формулу неопределенности плотности воздуха (А3-1).

Для расчета относительной неопределенности поправки на выталкивающую силу по формуле (7.1.2-5а) взяты следующие числовые значения:

Плотность воздуха  $\rho_{aCal}$ :  $(1,173 \pm 0,014)\ \text{кг/м}^3$

Плотность эталонной гири  $\rho_{Cal}$ :  $(7950 \pm 70)\ \text{кг/м}^3$

Формула (7.1.2-5а) дает относительную неопределенность поправки на выталкивающую силу  $u_{rel}(\delta m_B) = 3,203 \times 10^{-8}$ .

Относительная неопределенность поправки на выталкивающую силу пренебрежимо мала по сравнению с другими факторами, влияющими на неопределенность опорного значения массы, но результат ее расчета, тем не менее, приведен в следующей таблице.

Данный пример показывает, что вычисленные значения поправки к погрешности  $\delta m_B$  и относительной неопределенности поправки на выталкивающую силу  $u(\delta m_B)$  пренебрежимо малы. Это позволяет записать бюджет неопределенности по-другому.

Показана неопределенность влияний конвекции вследствие неаκκлиматизированных гирь  $u(\delta m_{conv})$  для разности температур 2 К. Остальные составляющие неопределенности такие же, как в приведенной выше таблице, и поэтому в следующей таблице не приводятся.

Величина или влияние	Нагрузка, показание и погрешность, г					Формула
	Неопределенность, г					
Нагрузка $m_{ref}, г$	0,000 0	50,000 0	99,999 9	149,999 9	220,000 1	
Поправка $\delta m_B, г$	0,000 0	0,000 001	0,000 002	0,000 003	0,000 005	4.2.4.3
Показание $I, г$	0,000 0	50,000 4	100,000 6	150,000 9	220,001 4	
Погрешность показания $E, г$	0,000 0	0,000 4	0,000 7	0,001 0	0,001 3	7.1-1
Выталкивающая сила $u(\delta m_B), г$	0,000 0	0,00000 2	0,000 003	0,000 005	0,000 007	7.1.2-5a
Конвекция $u(\delta m_{conv}), г$	0,000 0	0,000 029	0,000 046	0,000 075	0,000 092	7.1.2-13 / Таблица F2.1
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref}), г$	0,000 0	0,000 039	0,000 064	0,000 103	0,000 143	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E), г$	0,000 118	0,000 130	0,000 149	0,000 181	0,000 226	7.1.3-1a
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	4	6	11	25	62	B3-1
$k(95,45 \%)$	2,87	2,52	2,25	2,11	2,05	[1]
$U(E) = ku(E), г$	0,000 34	0,000 33	0,000 33	0,000 38	0,000 46	7.3-1
$U_{rel}(E)/\%$	-----	0,000 66	0,000 33	0,000 25	0,000 21	

Из этого примера видно, что вклад выталкивающей силы в стандартную неопределенность значителен, если выбран наиболее консервативный подход по формуле (7.1.2-5d).

Если информация об изменениях температуры во время работы с весами доступна и неопределенность поправки выталкивающей силы воздуха рассчитывается по формуле (7.1.2-5e), то разность неопределенностей погрешности менее значительна.

#### **N1.4/A Неопределенность результата взвешивания (для варианта 1)**

Как записано в 7.4, нижеприведенную информацию можно получить силами калибровочной лаборатории или от пользователя весов. Эти результаты не следует представлять в виде части сертификата калибровки, за исключением аппроксимированной погрешности показания и неопределенности аппроксимированной погрешности, которые могут составлять его часть. Обычно информацию о неопределенности результата взвешивания представляют в виде приложения к сертификату калибровки или иначе, если ее содержание ясно отделено от результатов калибровки.

Обычные условия применения весов, как принято, или как указано пользователем, могут включать:

- Встроенное устройство юстировки доступно и работает ( $\Delta T \geq 3$  К). Изменение температуры в помещении  $\Delta T = 5$  К.
- Функция тарирования используется.
- Нагрузки не всегда накладываются точно в центр.

Неопределенность результата взвешивания получают, используя линейную аппроксимацию погрешности показания в соответствии с (С2.2-16).

Неопределенность результата взвешивания представлена только для варианта 1 (без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показания). Аппроксимированная погрешность показания по (С2.2-16) и неопределенность аппроксимированной погрешности показания согласно (С2.2-16d) у двух вариантов незначительно отличаются, так как лежащие в основе весовые коэффициенты  $p_j = 1/\mathcal{U}(E_j)$  отличаются на несколько миллионных долей и погрешности показания одинаковы для обоих вариантов (поправка на выталкивающую силу меньше разрешения весов).

Обозначения  $R$  и  $W$  вводятся для того, чтобы различать показания весов во время взвешиваний и во время калибровки.

$R$ : показание (отсчёт) при взвешивании нагрузки на калиброванных весах, получаемый после калибровки.

$W$ : Результат взвешивания

Следует обратить внимание на то, что в следующей таблице отсчёт  $R$  и все результаты приведены в граммах.



Величина или влияние	Отсчёт, результат взвешивания и погрешность, г Неопределенность в граммах или в виде относительного значения	Формула
Погрешность показания $E_{\text{appr}}(R)$ для показаний брутто и нетто: Аппроксимация прямой линией через нуль	$E_{\text{appr}}(R) = 6,709 \times 10^6 R$	C2.2-16
<b>Неопределенность аппроксимированной погрешности показания</b>		
Стандартная неопределенность погрешности $u(E_{\text{appr}})$	$u^2(E_{\text{appr}}) = 4,501 \times 10^{11} u^2(R) + 1,543 \times 10^{12} R^2$	C2.2-16d
Стандартная неопределенность погрешности, пренебрегая смещением	$u(E_{\text{appr}}) = 1,242 \times 10^6 R$	
<b>Неопределенности, обусловленные влияниями окружающей среды</b>		
Температурный дрейф чувствительности	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{temp}}) = 1,299 \times 10^{-6}$	7.4.3-1
Выталкивающая сила	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{buoy}}) = 1,636 \times 10^{-6}$	7.4.3-4
Изменение характеристик вследствие дрейфа	Не имеет значения в этом случае (встроенная юстировка задействована и дрейф между калибровками пренебрежимо мал).	7.4.3-5
<b>Неопределенности, связанные с функционированием весов</b>		
Работа устройства тарирования	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{tare}}) = 1,072 \times 10^{-6}$	7.4.4 7.4.4-5
Ползучесть и гистерезис (время под нагрузкой)	Не имеет значения в этом случае (непродолжительное время под нагрузкой).	7.4.4-9a/b
Нецентральное нагружение	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{ecc}}) = 1,155 \times 10^{-6}$	7.4.4-10
<b>Неопределенность результата взвешивания</b>		
Стандартная неопределенность, поправки для внесения в показания $u(E_{\text{appr}})$	$u(W) = \sqrt{(1,467 \times 10^8 g^2 + 8,390 \times 10^{12} R^2)}$	7.4.5-1a 7.4.5-1b
Расширенная неопределенность, поправки для внесения в показания $U(E_{\text{appr}})$	$U(W) = 2\sqrt{(1,467 \times 10^8 g^2 + 8,390 \times 10^{12} R^2)}$	7.5.1-2b
Упрощение до первого порядка	$U(\frac{W}{g}) \approx 2,422 \times 10^4 g + 4,796 \times 10^6 R$	7.5.2-3d
<b>Общая неопределенность результата взвешивания без коррекции показаний</b>		
$U_{\text{gl}}(W) = U(W) +  E_{\text{appr}}(R) $	$U_{\text{gl}}(W) \approx 2,422 \times 10^4 g + 1,150 \times 10^6 R$	7.5.2-3a 7.5.2-3e

Проверка условия в отношении наблюдаемого значения кси-квадрат согласно формуле (C2.2-2a) дала положительный результат. Первая линейная регрессия учитывает весовые коэффициенты  $p'_j$ , уравнение (C2.2-18b).

Исходя из общей неопределенности, значение минимальной нагрузки для весов можно определить в соответствии с приложением G.

Пример:

Заданное значение допуска при взвешивании (относительная погрешность): 1 %

Коэффициент запаса: 3

Минимальная нагрузка согласно формуле (G-9) и вышеприведенному уравнению для общей неопределенности составляет 0,0729 г; т.е. пользователю необходимо взвешивать количество материала нетто большее, чем 0,0729 г, для обеспечения относительной общей неопределенности измерений при заданном относительном допуске 1 % и коэффициенте запаса 3 (равноценно допуску 0,33%).

**Вторая ситуация: Юстировка чувствительности выполняется непосредственно перед калибровкой**

**Н1.1/В Условия, при которых выполняется калибровка**

<b>Прибор</b>	<b>Электронные весы, описание и идентификация</b>
<b>Максимальная нагрузка <math>L</math> / цена деления шкалы <math>d</math></b>	<b>220 г / 0,000 1 г</b>
Температурный коэффициент	$K_T = 2 \times 10^{-6}/K$ (из руководства изготовителя); необходим единственно для расчета неопределенности результата взвешивания.
Встроенное юстировочное устройство	Работает автоматически: после включения весов, и при $\Delta T \geq 3$ К. Необходимо единственно для расчета неопределенности результата взвешивания. Состояние: активно.
<b>Юстировка исполнителем калибровки</b>	<b>Юстировка непосредственно перед калибровкой (встроенные юстировочные гири).</b>
<b>Температура во время калибровки</b>	<b>21 °С в начале калибровки.</b>
<i>Атмосферное давление и влажность (необязательные параметры)</i>	<i>990 гПа, RH 50 %.</i>
Условия в помещении	Максимальное изменение температуры 5 К (лабораторное помещение без окон). Не имеет значения, если задействовано встроенное юстировочное устройство ( $\Delta T \geq 3$ К). В этом случае максимальное изменение температуры для оценки неопределенности результата взвешивания равно 3 К.
<b>Испытательные нагрузки/ акклиматизация</b>	<b>Эталонные гири, класс <math>E_2</math>, акклиматизированные к температуре помещения (учтена альтернативная разность температур 2 К относительно температуры помещения).</b>

**Н1.2/В Испытания и результаты**

Вариант 1: Плотности воздуха неизвестны во время юстировки и калибровки (т.е. без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показаний)

Испытание на повторяемость не выполнялось, учитывались результаты первой калибровки. Также не проводилось испытание на нецентральное нагружение, воспользовались результатами первой калибровки. Это можно сделать, так как выполнялась только юстировка весов и можно убедиться в отсутствии её влияния на повторяемость и погрешности при нецентральном нагружении. Плотность воздуха не рассчитывается.

<b>Погрешности показания</b> Требования приведены в главе 5.2, гири распределены достаточно равномерно во всём диапазоне взвешивания	Испытательные нагрузки прикладываются однократно; отдельные нагружения выполняются только в сторону увеличения нагрузки, показание ненагруженных весов устанавливают при необходимости на нуль. Показания записывают:	
<b>Нагрузка <math>m_{ref}</math></b>	<b>Показание <math>I</math></b>	<b>Погрешность показания <math>E</math></b>
0,000 0 г	0,000 0 г	0,000 0 г
50,000 0 г	50,000 0 г	0,000 0 г
99,999 9 г	99,999 8 г	- 0 000 1 г
149,999 9 г	149,999 9 г	0,000 0 г
220,000 1 г	220,000 0 г	- 0 000 1 г

Вариант 2: Плотность воздуха  $\rho_{as}$  во время юстировки и плотность воздуха  $\rho_{aCal}$  во время калибровки одинаковые, так как юстировка выполнена непосредственно перед калибровкой.

Плотность воздуха рассчитывают в соответствии с упрощенной формулой СИРМ (A1.1-1):

*Измеренные значения, использованные для расчета:*

Атмосферное давление $p$ :	990 гПа
Относительная влажность $RH$ :	50 %
Температура $t$ :	21 °C
Плотность $\rho_s$ и $\rho_{Cal}$ :	(7950 ± 70) кг/м <sup>3</sup>
Плотность воздуха $\rho_{aCal}$ :	1,173 кг/м <sup>3</sup>

Вычисляют поправку на выталкивающую силу  $\delta m_B$  по формуле (4.2.4-4).

*Числовое значение, использованное для расчета:*

Плотность эталонной гири $\rho_{cal}$ :	(7950 ± 70) кг/м <sup>3</sup>
Поправка на выталкивающую силу $\delta m_B$ :	2,138 x 10 <sup>-8</sup> $m_{ref}$

Рассчитанная по формуле (4.2.4-4) поправка на выталкивающую силу  $\delta m_B$  для  $m_{ref}$  нагрузки  $L$  пренебрежимо мала, так как относительное разрешение весов имеет порядок 10<sup>-6</sup>, что значительно превышает поправку на выталкивающую силу. Поэтому значения, приведённые в таблице выше, актуальны и для данного варианта.

**Н1.3/В Погрешности и соответствующие неопределенности (бюджет соответствующих неопределенностей)**

Условия:

- Неопределенность для начального (нулевого) показания обусловлена только дискретизацией  $d_0$  и повторяемостью  $s$ .
- Нецентральное нагружение учитывается при калибровке в соответствии с (7.1.1- 10).

- Условная масса испытательных гирь (класс точности  $E_2$ ) учитывается в результатах калибровки. Поэтому  $U(\delta m_c) = U/k$  рассчитывается по формуле 7.1.2-2.
- Изменение массы гирь (дрейф) контролируется статистически и коэффициент  $k_D$  в формуле (7.1.2-10) выбран равным 1,25.
- Степени свободы для расчета коэффициента охвата  $k$  получены согласно приложению В3 и таблице G.2 из [1]. В приведённом примере влияние неопределенности результатов испытания на повторяемость с 5 измерениями значительное.
- Сведения об относительной неопределенности  $U(E)_{rel} = u(E)/m_{ref}$  не обязательны, но помогают продемонстрировать характеристики неопределенностей.

Бюджет неопределенности для варианта 1 (без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показаний)

*Дополнительное условие:*

Весы юстируют непосредственно перед калибровкой и отсутствует информация о плотности воздуха во время калибровки. Поэтому для вычисления неопределённости применяется формула (7.1.2-5с).

Величина или влияние	Нагрузка, показание и погрешность, г					Формула
	Неопределенность, г					
Нагрузка $m_{ref}$ , г	0,000 0	50,000 0	99,999 9	149,999 9	220,000 1	
Показание $I$ , г	0,000 0	50,000 0	99,999 8	149,999 9	220,000 0	
Погрешность показания $E$ , г	0,000 0	0,000 0	-0,000 1	0,000 0	-0,000 1	7.1-1
Повторяемость $u(\delta I_{rep})$ , г	0,000 114					7.1.1-5
Разрешение $u(\delta I_{dig0})$ , г	0,000 029					7.1.1-2а
Разрешение $u(\delta I_{digL})$ , г	0,000 0	0,000 029				7.1.1-3а
Нецентральное нагружение $u(\delta I_{ecc})$ , г	0,000 0	0,000 029	0,000 058	0,000 087	0,000 127	7.1.1-10
Неопределенность показания $u(I)$ , г	0,000 118	0,000 124	0,000 134	0,000 149	0,000 175	7.1.1-12
Испытательные нагрузки $m_c$ , г	0,000 0	50,000 0	99,999 9	99,999 9 50,000 0	200,000 1 20,000 0	
Условная масса $u(\delta m_c)$ , г	0,000 0	0,000 015	0,000 025	0,000 040	0,000 063	7.1.2-2
Дрейф $u(\delta m_D)$ , г	0,000 0	0,000 022	0,000 036	0,000 058	0,000 090	7.1.2-10
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , г	0,000 000	0,000 014	0,000 022	0,000 036	0,000 055	7.1.2-5с / ТаблицаЕ 2.1
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , г	Не имеет значения в этом случае (гири акклиматизированы).					7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , г	0,000 00	0,000 03	0,000 049	0,000 079	0,000 123	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , г	0,000 118	0,000 128	0,000 143	0,000 169	0,000 214	7.1.3-1а
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	4	6	9	19	49	B3-1
$k(95,45\%)$	2,87	2,52	2,32	2,14	2,06	[1]
$U(E) = ku(E)$ , г	0,000 34	0,000 32	0,000 33	0,000 36	0,000 44	7.3-1
$U_{rel}(E)/\%$	----	0,000 64	0,000 33	0,000 24	0,000 20	

Допускается указывать в сертификате только наибольшее значение расширенной неопределенности для всех погрешностей, приведённых в отчете:  $U(E) = 0,000 44$  г, при коэффициенте охвата  $k = 2,06$  и вероятности охвата не меньше 95 %. В сертификате должно быть приведено уведомление для пользователя о том, что расширенная неопределённость, указанная в сертификате, применима только если учтена погрешность ( $E$ ).

Бюджет неопределенности для варианта 2 (с внесением поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показаний)

Дополнительное условие:

Весы юстируют непосредственно перед калибровкой. Применяется процедура согласно варианту 2, с учетом определения плотности воздуха и поправки на выталкивающую силу воздуха. Поэтому для неопределенности, обусловленной выталкивающей силой воздуха, применяется формула (7.1.2-5а).

Так как юстировка выполняется непосредственно перед калибровкой, то возможные в месте установки весов максимальные изменения давления, температуры и влажности не обязательно учитывать, в отличие от случая с выполнением юстировки независимо от калибровки. Единственным составляющим, входящим в стандартную неопределенность плотности воздуха, является неопределенность измерений параметров окружающей среды.

Для расчета относительной неопределенности поправки на выталкивающую силу по формуле (7.1.2-5а) взяты следующие числовые значения:

Плотность воздуха  $\rho_{\text{aCal}}$ : 1,173 кг/м<sup>3</sup>  
 Плотность эталонной гири  $\rho_{\text{Cal}}$ : (7950 ± 70) кг/м<sup>3</sup>

Кроме этого для расчета относительной неопределенности плотности воздуха согласно (A3-1) взяты следующие неопределенности для температуры, давления и влажности:

$u(T) = 0,2 \text{ K}$   
 $u(p) = 50 \text{ Па}$   
 $u(RH) = 1 \%$

Это приводит к  $\frac{u(\rho_a)}{\rho_a} = 9,77 \times 10^{-4}$ , и  $u(\rho_a) = 0,00115 \text{ кг/м}^3$

Формула (7.1.2-5а) дает относительную неопределенность поправки на выталкивающую силу  $u(\delta m_B) = 3,014 \times 10^{-8}$ .

Как альтернатива, показана дополнительная неопределенность  $u(\delta m_{\text{conv}})$ , обусловленная конвекцией из-за отличия температуры гирь от температуры помещения на величину 2 К.

Величина или влияние	Нагрузка, показание и погрешность, г					Формула
	Неопределённость, г					
Нагрузка $m_{ref}, г$	0,000 0	50,000 0	99,999 9	149,999 9	220,000 1	
Поправка $\delta m_B, г$	0,000 0	0,000 001	0,000 002	0,000 003	0,000 005	4.2.4-4
Показание $I, г$	0,000 0	50,000 0	99,999 8	149,999 9	220,000 0	
Погрешность показания $E, г$	0,000 0	0,000 0	-0,000 1	0,000 0	-0,000 1	
Выталкивающая сила $u(\delta m_B), г$	0,000 0	0,000 001 5	0,000 003 0	0,000 004 5	0,000 006 6	7.1.2-5а
Конвекция $u(\delta m_{conv}), г$	Не имеет значения в этом случае (гири акклиматизированы).					
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref}), г$	0,000 000	0,000 026	0,000 044	0,000 066	0,000 110	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E), г$	0,000 118	0,000 127	0,000 141	0,000 163	0,000 207	7.1.3-1а
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	4	6	9	16	43	B3-1
$k(95,45 \%)$	2,87	2,52	2,32	2,17	2,06	[1]
$U(E) = ku(E), г$	0,000 34	0,000 32	0,000 33	0,000 35	0,000 43	7.3-1
$U_{rel}(E)/\%$	----	0,000 64	0,000 33	0,000 23	0,000 20	
Как альтернатива показана дополнительная неопределенность из-за влияния конвекции вследствие неакклиматизированных гирь $u(\delta m_{conv})$ для разности температур 2 К.						
Конвекция $u(\delta m_{conv}), г$	0,000 000	0,000 029	0,000 046	0,000 075	0,000 092	7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref}), г$	0,000 000	0,000 031	0,000 051	0,000 079	0,000 122	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E), г$	0,000 118	0,000 128	0,000 144	0,000 168	0,000 214	7.1.3-1а
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	4	6	10	19	49	B3-1
$k(95,45 \%)$	2,87	2,52	2,28	2,14	2,06	[1]
$U(E) = ku(E), г$	0,000 34	0,000 32	0,000 33	0,000 36	0,000 44	7.3-1
$U_{rel}(E)/\%$	----	0,000 64	0,000 33	0,000 24	0,000 20	

Расширенные неопределенности погрешности для вариантов 1 и 2 почти одинаковы, так как неопределенность опорного значения массы  $u(m_{ref})$  очень мала по сравнению с неопределенностью показания  $u(I)$ . В данном примере определение давления и влажности на месте калибровки весов с целью расчёта поправки на выталкивающую силу воздуха и минимизации составляющей неопределённости, обусловленной выталкивающей силой, не даёт значительного улучшения результатов калибровки.

#### Н1.4/В Неопределенность результата взвешивания (для варианта 1)

Как указано в 7.4, следующую информацию можно получить силами калибровочной лаборатории или от пользователя весов. Результаты не следует представлять в виде части сертификата калибровки, за исключением аппроксимированной погрешности показания и неопределенности аппроксимированной погрешности, которые могут составлять его часть. Обычно информацию о неопределенности результата взвешивания представляют в виде приложения к сертификату калибровки или иначе, если ее содержание чётко отделено от результатов калибровки.

Обычные условия применения весов, как принято, или как указано пользователем, могут включать:

- Встроенное устройство юстировки доступно и работает ( $\Delta T \geq 3$  К).
- Изменение температуры в помещении  $\Delta T = 5$  К.
- Функция тарирования используется.
- Нагрузки не всегда накладываются точно в центр.

Неопределенность результата взвешивания получают, используя линейную аппроксимацию погрешности показания в соответствии с (С2.2-16).

Неопределенность результата взвешивания представлена только для варианта 1 (без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показания). Аппроксимированная погрешность показания по (С2.2-16) и неопределенность аппроксимированной погрешности показания согласно (С2.2-16d) у двух вариантов незначительно отличаются, так как лежащие в основе весовые коэффициенты  $p_j = 1/\sqrt{E_j}$  отличаются на несколько миллионных долей и погрешности показания одинаковы для обоих вариантов (поправка на выталкивающую силу меньше разрешения весов).

Обозначения  $R$  и  $W$  вводятся для того, чтобы различать показания весов во время взвешиваний и во время калибровки.

$R$ : показание (отсчёт) при взвешивании нагрузки на калиброванных весах, получаемый после калибровки.

$W$ : Результат взвешивания

Следует обратить внимание на то, что в следующей таблице отсчёт  $R$  и все результаты приведены в граммах.



Величина или влияние	Показание, результат взвешивания и погрешность, г Неопределенность в граммах или в виде относительного значения	Формула
Погрешность показания $E_{\text{appr}}(R)$ для показаний брутто и нетто: Аппроксимация прямой линией через нуль	$E_{\text{appr}}(R) = -3,895 \times 10^7 R$	C2.2-16
<b>Неопределенность аппроксимированной погрешности показания</b>		
Стандартная неопределенность погрешности $u(E_{\text{appr}})$	$u^2(E_{\text{appr}}) = 1,517 \times 10^{13} u^2(R) + 4,015 \times 10^{13} R^2$ <sup>10</sup>	C2.2-16d
Стандартная неопределенность погрешности, пренебрегая смещением	$u(E_{\text{appr}}) = 6,337 \times 10^7 R$	
<b>Неопределенности, обусловленные влиянием окружающей среды</b>		
Температурный дрейф чувствительности	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{temp}}) = 1,299 \times 10^{-6}$	7.4.3-1
Выталкивающая сила	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{buoy}}) = 1,636 \times 10^{-6}$	7.4.3-4
Изменение характеристик вследствие дрейфа	Не имеет значения в этом случае (работает встроенное устройство юстировки и дрейф между калибровками пренебрежимо мал).	7.4.3-5
<b>Неопределенности, обусловленные эксплуатацией весов</b>		
Работа устройства тарирования	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{tare}}) = 5,774 \times 10^{-7}$	7.4.4-5
Ползучесть и гистерезис (время под нагрузкой)	Не имеет значения в этом случае (непродолжительное время под нагрузкой)	7.4.4-9a/b
Нецентральное нагружение	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{ecc}}) = 1,154 \times 10^{-6}$	7.4.4-10
<b>Неопределенность результата взвешивания</b>		
Стандартная неопределенность, поправки в показания $u(E_{\text{appr}})$ должны учитываться	$u(W) = \sqrt{(1,466 \times 10^8 g^2 + 6,433 \times 10^{12} R^2)}$	7.4.5-1a 7.4.5-1b
Расширенная неопределенность, поправки в показания $u(E_{\text{appr}})$ должны учитываться	$U(W) = 2\sqrt{(1,466 \times 10^8 g^2 + 6,433 \times 10^{12} R^2)}$	7.5.1-2b
Упрощение до первого порядка	$U(W) \approx 2,422 \times 10^4 g + 4,090 \times 10^7 R$	7.5.2-3d
<b>Общая неопределенность результата взвешивания без коррекции показаний</b>		
$U_{\text{gl}}(W) = U(W) +  E_{\text{appr}}(R) $	$U_{\text{gl}}(W) \approx 2,422 \times 10^4 g + 4,479 \times 10^7 R$	7.5.2-3a

Проверка условия в отношении наблюдаемого значения кси-квадрат согласно формуле (C2.2-2a) дала положительный результат. Первая линейная регрессия учитывает весовые коэффициенты  $p_j^i$ , уравнение (C2.2-18b).

<sup>10</sup> Первый член пренебрежимо мал, так как неопределенность отсчета  $u(R)$  имеет порядок нескольких миллиграмм. Так, первый член имеет порядок  $10^{-11}$  мг<sup>2</sup>, а второй член представляет значения до  $10^7$  мг<sup>2</sup>.

РМГ \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г

Исходя из общей неопределенности, значение минимальной нагрузки для весов можно определить в соответствии с приложением G.

Пример:

Заданное значение допуска при взвешивании (относительная погрешность): 1 %

Коэффициент запаса: 3

Минимальная нагрузка согласно формуле (G-9) и вышеприведенному уравнению для общей неопределенности составляет 0,0727 г; т.е. пользователю необходимо взвешивать количество материала нетто большее, чем 0,0727 г, для обеспечения относительной общей неопределенности измерений при заданном относительном допуске 1 % и коэффициенте запаса 3 (равноценно допуску 0,33%).

## **H2    Весы на 60 кг, многоинтервальные**

**Предварительное замечание:**

Будет рассмотрена калибровка многоинтервальных весов с ценой деления шкалы 2 г / 5 г / 10 г. Данный пример показывает полную стандартную процедуру представления результатов измерений и соответствующих неопределенностей, выполняемую большинством лабораторий. Альтернативный метод с учётом влияния выталкивающей силы воздуха представлен в виде варианта 2 (набран курсивом).

**Первая ситуация: юстировка чувствительности выполняется независимо от калибровки**

**H2.1/A Условия, при которых выполняется калибровка**

<b>Прибор</b>	<b>Электронные весы неавтоматического действия, описание и идентификация</b>
<b>Максимальные нагрузки интервалов взвешивания <math>Max_i</math> / цена деления шкалы <math>d_i</math></b>	<b>12 000 г / 2 г 30 000 г / 5 г 60 000 г / 10 г</b>
Чувствительность весов к изменению температуры	$K_T = 2 \times 10^{-6}/K$ (из руководства изготовителя); необходим единственно для расчета неопределенности результата взвешивания.
Встроенное юстировочное устройство	Работает автоматически после включения весов и при $\Delta T \geq 3$ К; необходимо единственно для расчета неопределенности результата взвешивания. Состояние: активно.
<b>Юстировка исполнителем калибровки</b>	<b>Без юстировки непосредственно перед калибровкой.</b>
<b>Температура во время калибровки</b>	<b>21 °С в начале калибровки. 23 °С в конце калибровки.</b>
<i>Атмосферное давление и влажность (необязательные параметры)</i>	990 гПа, RH 50 %.
Условия в помещении	Максимальное изменение температуры при работе на весах 10 К (лабораторное помещение с окнами). Если используется для расчёта неопределенности выталкивающей силы согласно формуле 7.1.2-5е, ее следует представить в сертификате калибровки. Не имеет значения для неопределенности результата взвешивания, если работает встроенное устройство юстировки ( $\Delta T \geq 3$ К). В этом случае максимальное изменение температуры для оценки неопределенности результата взвешивания равно 3 К.
<b>Испытательные нагрузки/ акклиматизация</b>	<b>Эталонные гири, класс точности F<sub>2</sub>, акклиматизированные к температуре помещения.</b>

**H2.2/A Испытания и результаты**

<b>Повторяемость</b>	<b>Испытательная нагрузка 10 000 г</b>	<b>Испытательная нагрузка 25 000 г</b>
Требования приведены в главе 5.1	приложена 5 раз (Среднее квадратическое отклонение в интервале 1 принято постоянным)	приложена 5 раз (Среднее квадратическое отклонение в интервалах 2 и 3 принято постоянным)
Показания ненагруженных весов при необходимости устанавливаются на нуль	9 998 г	24 995 г
	10 000 г	25 000 г
	9 998 г	24 995 г
	10 000 г	24 995 г
Испытание на повторяемость выполнено в интервалах 1 и 2	10 000 г	25 000 г
<b>Среднее квадратическое отклонение</b>	<b>s = 1,095 г</b>	<b>s = 2,739 г</b>

Нецентральное нагружение	Расположение нагрузки	Испытательная нагрузка 20 000 г
Требования приведены в главе 5.3  Перед нагружением показание устанавливается на нуль; сначала нагрузка помещается в центр грузоприёмного устройства, а затем в другие положения	Центр	19 995 г
	Спереди слева	19 995 г
	Сзади слева	19 995 г
	Сзади справа	19 990 г
	Спереди справа	19 990 г
<b>Максимальное отклонение</b>	$ \Delta I_{\text{eccil}} _{\text{max}}$	<b>5 г</b>

**Погрешности показаний**

Общие предварительные условия:

Требования приведены в главе 5.2, гири распределены в диапазоне взвешивания достаточно равномерно.

Испытательные нагрузки прикладываются однократно; отдельные нагружения выполняются только в сторону увеличения нагрузки, показание ненагруженных весов устанавливают при необходимости на нуль.

Вариант 1: Плотность воздуха неизвестна во время юстировки и калибровки (т.е. без внесения поправки на выталкивающую силу воздуха в значения погрешности показаний)

Требования приведены в главе 5.2, гири распределены равномерно по всему диапазону взвешивания	Нагрузка $m_{\text{ref}}$ ( $m_N$ )	Показание $I$	Погрешность показания $E$
Испытательные нагрузки прикладываются однократно; отдельные нагружения выполняются только в сторону увеличения нагрузки, показание ненагруженных весов устанавливают при необходимости на нуль.	0 г	0 г	0 г
	10 000 г	10 000 г	0 г
	20 000 г	19 995 г	-5 г
	40 000 г	39 990 г	-10 г
	60 000 г	59 990 г	-10 г

Вариант 2: Плотность воздуха  $\rho_{\text{as}}$  во время юстировки неизвестна, и плотность воздуха  $\rho_{\text{cal}}$  во время калибровки рассчитывается по упрощенной формуле СИМ (A1.1-1)

*Измеренные значения, использованные для расчета:*

Атмосферное давление  $p$ : 990 гПа

Относительная влажность  $RH$ : 50 %

Температура  $t$ : 21 °C

Плотность воздуха  $\rho_{\text{cal}}$ : 1,173 кг/м<sup>3</sup>

Вычисляется поправка на выталкивающую силу  $\delta m_B$  по формуле (4.2.4-4).

*Числовое значение, использованное для расчета:*

Плотность эталонной гири  $\rho_{\text{cal}}$ : (7950 ± 70) кг/м<sup>3</sup>

Поправка на выталкивающую силу  $\delta m_B$ : 2,138 × 10<sup>-8</sup>  $m_N$

Рассчитанная по формуле (4.2.4-4) поправка  $\delta m_B$  для нагрузок массой  $m_N$  пренебрежимо мала, так как относительное разрешение весов имеет порядок 10

<sup>4</sup> что намного больше поправки на выталкивающую силу. Поэтому приведённые в таблице выше значения актуальны.

### **Н2.3/А Погрешности и соответствующие неопределенности (бюджет соответствующих неопределенностей)**

Условия, общие для обоих вариантов:

- Неопределенность погрешности при нуле включает только неопределенность показания ненагруженных весов (цена деления шкалы  $d_0 = d_1 = 2$  г) и повторяемость  $s$ . Неопределенность показания нагруженных весов при нулевой нагрузке не учитывается.
- Нецентральное нагружение учитывается при калибровке в соответствии с (7.1.1- 10).
- Погрешность показания получают, используя номинальное значение массы гири в качестве опорного значения, поэтому максимальные допускаемые погрешности испытательных гирь учитываются при определении вклада в неопределенность, обусловленного эталонными гирями:  $u(\delta m_c)$  вычисляют как  $u(\delta m_c) = T_{011}/\sqrt{3}$ , следуя формуле (7.1.2-3).
- Средний дрейф массы гирь, по результатам двух калибровок с двухгодичными интервалами, составил  $|D| \leq m_{pe}/2$ . Поэтому вклад в неопределенность, обусловленный дрейфом массы гирь, был установлен  $u(\delta m_D) = m_{pe}/2/\sqrt{3}$ . Это соответствует коэффициенту  $k_b$ , равному 1,5 (для наихудшего сценария  $U = m_{pe} / 3$ ).
- Гирь проходят акклиматизацию до температуры окружающей среды с остаточной разностью температур 2 К.
- Степени свободы для расчета коэффициента охвата  $k$  получены согласно приложению В3 и таблице G.2 из [1]. В данном примере влияние неопределенности результатов испытания на повторяемость  $s$  5 измерениями значительно.
- Сведения об относительной неопределенности  $U(E)_{rel} = u(E)/m_{ref}$  не обязательны, но помогают продемонстрировать характеристики неопределенностей.

*Бюджет неопределенности для варианта 1 (без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показаний)*

Дополнительное условие:

Весы не юстируются непосредственно перед калибровкой. Применяется процедура по варианту 1, без информации о плотности воздуха. Поэтому для неопределенности, обусловленной выталкивающей силой воздуха, применяется формула (7.1.2-5d). В качестве альтернативы в таблице использована формула (7.1.2-5e), предполагается что изменение температуры во время работы составляет 10 К.

Величина или влияние	Нагрузка, показание и погрешность, г					Формула
	Неопределенность, г					
Нагрузка $m_{ref} (m_N)$ , г	0	10 000	20 000	40 000	60 000	
Показание $I$ , г	0	10 000	19 995	39 990	59 990	
Погрешность показания $E$ , г	0	0	- 5	- 10	- 10	7.1-1
Повторяемость $u(\delta I_{rep})$ , г	1,095		2,739			7.1.1-5
Разрешение $u(\delta I_{dig0})$ , г	0,577					7.1.1-2а
Разрешение $u(\delta I_{digL})$ , г	0,000	0,577	1,443	2,887	2,887	7.1.1-3а
Нецентральное нагружение $u(\delta I_{ecc})$ , г	0,000	0,722	1,443	2,887	4,330	7.1.1-10
Неопределенность показания $u(I)$ , г	1,238	1,545	3,464	4,950	5,909	7.1.1-12
Испытательные нагрузки $m_N$ , г	0	10 000	20 000	20 000 20 000	20 000 20 000 20 000	
Гири $u(\delta m_c)$ , г	0,000	0,092	0,173	0,346	0,554	7.1.2-3
Дрейф $u(\delta m_D)$ , г	0,000	0,046	0,087	0,173	0,277	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , г	0,000	0,110	0,217	0,433	0,658	7.1.2-5d / Таблица E2.1
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , г	Не имеет значения в этом случае (существенно только для гирь класса точности F <sub>1</sub> и более точных).					7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , г	0,000	0,151	0,290	0,581	0,904	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , г	1,238	1,552	3,476	4,984	5,978	7.1.3-1а
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	6	16	10	43	90	B3-1
$k(95,45 \%)$	2,52	2,17	2,28	2,06	2,05	[1]
$U(E) = ku(E)$ , г	3,120	3,369	7,926	10,266	12,254	7.3-1
$U_{rel}(E)/\%$	----	0,0337 %	0,0396 %	0,0257 %	0,0204 %	
<i>Альтернатива: Неопределенность, обусловленная выталкивающей силой, вычисляется по формуле (7.1.2-5e) вместо (7.1.2-5d), т.е. приближение для наихудшего случая заменяется приближением, полученным на основе оценки изменения температуры в помещении во время работы на величину 10 К.</i>						
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , г	0,000	0,046	0,089	0,178	0,276	7.1.2-5e
Неопределенность опорного значения массы $u(\delta m_{ref})$ , г	0,000	0,113	0,213	0,462	0,678	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , г	1,238	1,549	3,471	4,968	5,948	7.1.3-1а
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	6	16	10	43	88	B3-1
$k(95,45 \%)$	2,52	2,17	2,28	2,06	2,05	[1]
$U(E) = ku(E)$ , г	3,120	3,362	7,913	10,234	12,193	7.3-1
$U_{rel}(E)/\%$	----	0,0336	0,0396	0,0256	0,0203	

Из примера видно, что неопределенность опорного значения массы значительно снижается, если в расчёте неопределенности от выталкивающей силы учтены изменения температуры в помещении во время работы по сравнению с более консервативным подходом, описываемым формулой (7.1.2-5d). Однако поскольку неопределенность опорного значения массы очень мала в сравнении с неопределенностью показания, стандартная неопределенность погрешности почти не меняется.

Будет приемлемо указать в сертификате только наибольшее значение расширенной неопределенности для всех погрешностей, приведённых в отчете:  $U(E) = 12,254$  г, исходя из  $k = 2,05$  для принятой и вероятности охвата не менее 95 %.

В сертификате должно быть приведено уведомление для пользователя о том, что указанная в нем расширенная неопределенность применима только, если учтена погрешность (E).

Бюджет неопределенности для варианта 2 (с внесением поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показаний)

*Дополнительное условие:*

Весы не юстируются непосредственно перед калибровкой. Применяется процедура согласно варианту 2, с учетом определения плотности воздуха и поправки на выталкивающую силу воздуха. Поэтому для неопределенности,

Следует обратить внимание на то, что плотность воздуха во время юстировки (которая происходит независимо от калибровки) неизвестна, поэтому изменение плотности воздуха с течением времени принимается в качестве оценки для неопределенности. Следовательно, неопределенность плотности воздуха рассчитывается исходя из возможных изменений давления, температуры и влажности, которые могут наблюдаться в месте установки весов.

В приложении А3 приведены рекомендации по оценке неопределенности плотности воздуха. В данном примере используется аппроксимация неопределенности на основе уравнения (А3-2) вместо общего уравнения (А3-1), т.е. с температурой, являющейся переменным параметром.

Для изменения температуры на величину 10 К вычисления по формуле аппроксимации (А3-2) дают относительную неопределенность  $u(\rho_a)/\rho_a = 1,55 \times 10^{-2}$ , что при плотности воздуха при калибровке  $\rho_a = 1,173 \text{ кг/м}^3$  дают неопределенность  $u(\rho_a) = 0,018 \text{ кг/м}^3$

Для расчета относительной неопределенности поправки на выталкивающую силу по формуле (7.1.2-5а) взяты следующие числовые значения:

$$\begin{aligned} \text{Плотность воздуха } \rho_{a\text{Cal}}: & \quad (1,173 \pm 0,018) \text{ кг/м}^3 \\ \text{Плотность эталонной гири } \rho_{\text{Cal}}: & \quad (7950 \pm 70) \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

Формула (7.1.2-5а) дает относительную неопределенность поправки на выталкивающую силу  $u_{\text{rel}}(\delta m_B) = 3,334 \times 10^{-8}$

Относительная неопределенность поправки на выталкивающую силу воздуха пренебрежимо мала по сравнению с другими составляющими неопределенности опорного значения массы.

Этот пример показывает, что вычисленные поправка для погрешности  $\delta m_B$  и относительная неопределенность поправки на выталкивающую силу  $u_{\text{rel}}(\delta m_B)$  пренебрежимо малы. Это приводит к обновленному бюджету неопределенности измерений:

Величина или влияние	Нагрузка, показание и погрешность, г					Формула
	Неопределенность, г					
Нагрузка $m_{ref}(m_N)$ , г	0	10 000	20 000	40 000	60 000	
Поправка $\delta m_B$ , г	0	0	0	0	0	4.2.4-4
Показание $l$ , г	0	10000	19 995	39 990	59 990	
Погрешность показания $E$ , г	0	0	- 5	- 10	- 10	7.1-1
Повторяемость $u(\delta_{rep})$ , г	1,095		2,739			7.1.1-5
Разрешение $u(\delta l_{dig0})$ , г	0,577					7.1.1-2a
Разрешение $u(\delta l_{digL})$ , г	0,000	0,577	1,443	2,887	2,887	7.1.1-3a
Нецентральное нагружение $u(\delta l_{ecc})$ , г	0,000	0,722	1,443	2,887	4,330	7.1.1-10
Неопределенность показания $u(l)$ , г	1,238	1,545	3,464	4,950	5,909	7.1.1-12
Испытательные нагрузки $m_N$ , г	0	10 000	20 000	20 000 20 000 20 000	20 000 20 000 20 000	
Гири $u(\delta m_c)$ , г	0,000	0,092	0,173	0,346	0,554	7.1.2-3
Дрейфы $(\delta m_D)$ , г	0,000	0,046	0,087	0,173	0,277	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , г	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	7.1.2-5a
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , Г	Не имеет значения в этом случае (существенно только для гирь класса точности $F_1$ и более точных).					7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , г	0,000	0,103	0,194	0,387	0,620	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , г	1,238	1,549	3,470	4,965	5,941	7.1.3-1a
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	6	15	10	43	88	B3-1
$k(95,45 \%)$	2,52	2,17	2,28	2,06	2,05	[1]
$U(E) = ku(E)$ , г	3,120	3,360	7,910	10,228	12,180	7.3-1
$U_{rel}(E)\%$	----	0,0360	0,0396	0,0256	0,0203	

Из этого примера видно, что вклад выталкивающей силы в стандартную неопределенность незначителен. Более того, стандартные неопределенности погрешности вариантов 1 и 2 почти одинаковы, так как неопределенность опорного значения массы  $u(m_{ref})$  очень мала по сравнению с неопределенностью показания  $u(l)$ . Определение давления и влажности на месте нахождения весов в дополнение к измерениям температуры для поправки на выталкивающую силу и минимизации соответствующего вклада в неопределенность не дает значительного улучшения результатов калибровки.

#### Н2.4/А Неопределенность результата взвешивания (для варианта 1)

Как сказано в 7.4, следующую информацию можно получить силами калибровочной лаборатории или пользователя весов. Эти результаты не следует представлять в виде части сертификата калибровки, за исключением аппроксимированной погрешности показания и неопределенности аппроксимированной погрешности, которые могут составлять его часть. Обычно информацию о неопределенности результата взвешивания представляют в виде приложения к сертификату калибровки или иначе, если ее содержание ясно отделено от результатов калибровки.



Нормальные условия применения весов, принимаемые, или же определяемые пользователем, могут включать:

- Встроенное устройство юстировки доступно и работает ( $\Delta T \geq 3 \text{ K}$ );
- Изменение температуры в помещении  $\Delta T = 10 \text{ K}$ ;
- Функция тарирования используется.
- Нагрузки не всегда накладываются точно в центр.

Неопределенность результата взвешивания получают, используя линейную аппроксимацию погрешности показания в соответствии с (C2.2-16).

Неопределенность результата взвешивания представлена только для варианта 1 (без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показания). Аппроксимированная погрешность показания по (C2.2-16) и неопределенность аппроксимированной погрешности показания согласно (C2.2-16d) у двух вариантов незначительно отличаются, так как исходные весовые коэффициенты  $p_j = 1/u^2(E_j)$  отличаются на несколько миллионных долей и погрешности показания одинаковы для обоих вариантов (поправка на выталкивающую силу меньше, чем разрешение весов).

Выталкивающая сила согласно пункту 7.4.3.2 не учитывается, так как оценка неопределенности при калибровке показала, что это влияние пренебрежимо мало.

Обозначения  $R$  и  $W$  вводятся для того, чтобы различать показания весов во время взвешиваний и во время калибровки.

$R$ : показание (отсчёт) при взвешивании нагрузки на калиброванных весах, получаемый после калибровки.

$W$ : Результат взвешивания

Следует обратить внимание на то, что в следующей таблице отсчёт  $R$  и все результаты приведены в граммах.

Величина или влияние	Показание, результат взвешивания и погрешность, г Неопределенность в граммах или в виде относительного значения		Формула
Погрешность показания $E_{\text{appr}}(R)$ для показаний брутто и нетто: аппроксимация прямой линией через нуль	$E_{\text{appr}}(R) = -1,717 \times 10^4 R$		C2.2-16
<b>Неопределенность аппроксимированной погрешности показания</b>			
Стандартная неопределенность погрешности $u(E_{\text{appr}})$	$u^2(E_{\text{appr}}) = 2,950 \times 10^8 u^2(R) + 4,172 \times 10^8 R^2$		C2.2-16d
Стандартная неопределенность погрешности, пренебрегая пересечением	$u(E_{\text{appr}}) = 6,459 \times 10^4 R$		
<b>Неопределенности, обусловленные влиянием окружающей среды</b>			
Температурный дрейф чувствительности	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{temp}}) = 1,732 \times 10^{-6}$		7.4.3-1
Выталкивающая сила	Не имеет значения в этом случае.		7.4.3-2
Изменение характеристик вследствие дрейфа	Не имеет значения в этом случае (работает встроенное устройство юстировки и дрейф между калибровками пренебрежимо мал).		7.4.3-5
<b>Неопределенности, обусловленные эксплуатацией весов</b>			
Работа устройства тарирования	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{tare}}) = 1,444 \times 10^{-4}$		7.4.4-5
Ползучесть и гистерезис (время под нагрузкой)	Не имеет значения в этом случае (непродолжительное время под нагрузкой)		7.4.4-9a/b
Нецентральное нагружение	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{ecc}}) = 1,443 \times 10^{-4}$		7.4.4-10
<b>Неопределенность результата взвешивания для каждого интервала взвешивания (PWI)</b>			
Стандартная неопределенность, поправки для внесения в показания $u(E_{\text{appr}})$	<b>PWI 1</b>	$u(W) = \sqrt{(1,867g)^2 + 4,589 \times 10^8 R^2}$	7.4.5-1b
	<b>PWI 2</b>	$u(W) = \sqrt{(9,917g)^2 + 4,589 \times 10^8 R^2}$	
	<b>PWI 3</b>	$u(W) = \sqrt{(16,167g)^2 + 4,589 \times 10^8 R^2}$	
Расширенная неопределенность, поправки для внесения в показания $E_{\text{appr}}$	<b>PWI 1</b>	$U(W) = 2\sqrt{(1,867g)^2 + 4,589 \times 10^8 R^2}$	7.5.1-2b
	<b>PWI 2</b>	$U(W) = 2\sqrt{(9,917g)^2 + 4,589 \times 10^8 R^2}$	
	<b>PWI 3</b>	$U(W) = 2\sqrt{(16,167g)^2 + 4,589 \times 10^8 R^2}$	
Упрощение до первого порядка	<b>PWI 1</b>	$U(W) \approx 2,733g + 2,574 \times 10^4 R$	7.5.2-3f
	<b>PWI 2</b>	$U(W) \approx 10,190g + 3,434 \times 10^4 (R - 12000g)$	
	<b>PWI 3</b>	$U(W) \approx 20,311g + 3,923 \times 10^4 (R - 30000g)$	
<b>Общая неопределенность результата взвешивания без коррекции показаний</b>			
$U_{\text{gl}}(W) = U(W) +  E_{\text{appr}}(R) $	<b>PWI 1</b>	$U_{\text{gl}}(W) \approx 2,733g + 4,291 \times 10^4 R$	7.5.2-3a
	<b>PWI 2</b>	$U_{\text{gl}}(W) \approx 10,190g + 5,151 \times 10^4 (R - 12000g)$	
	<b>PWI 3</b>	$U_{\text{gl}}(W) \approx 20,311g + 5,641 \times 10^4 (R - 30000g)$	

Проверка условия в отношении наблюдаемого значения кси-квадрат согласно формуле (C2.2-2a) дала положительный результат. Линейная регрессия выполнена с учетом весовых коэффициентов  $p_j$  уравнения (C2.2-18b).

Исходя из общей неопределенности, значение минимальной нагрузки для весов можно определить в соответствии с приложением G.

Пример:

Заданное значение допуска при взвешивании (относительная погрешность): 1 %

Требование допуска для взвешивания: 1 %

Коэффициент запаса: 2

Минимальная нагрузка согласно формуле (G-9) и вышеприведенному уравнению для общей неопределенности  $PWI$  1 составляет 598 г; т.е. пользователю необходимо взвешивать количество материала нетто большее, чем 598 г, для обеспечения относительной общей неопределенности измерений при заданном относительном допуске 1 % и коэффициенте запаса 2 (равноценно допуску 0,5%).

**Вторая ситуация: юстировка чувствительности, выполняемая непосредственно перед калибровкой**

**H2.1/B Условия, специфичные для калибровки**

Прибор	Электронные весы неавтоматического действия, описание и идентификация
Максимальные нагрузки $Max_i$ интервалов взвешивания / цены деления шкалы $d_i$	12 000 г / 2 г 30 000 г / 5 г 60 000 г / 10 г
Чувствительность весов к изменениям температуры	$K_T = 2 \times 10^{-6}/K$ (из руководства изготовителя); необходим единственно для расчета неопределенности результата взвешивания.
Встроенное устройство юстировки	Работает автоматически после включения весов и при $\Delta T \geq 3 K$ ; необходимо единственно для расчета неопределенности результата взвешивания. Состояние: активно.
Юстировка исполнителем калибровки	Юстировка выполняется непосредственно перед калибровкой (встроенные юстировочные гири).
Температура во время калибровки	23 °C в начале калибровки 24 °C в конце калибровки
Атмосферное давление и влажность (необязательные параметры)	990 гПа, RH 50 %.
Условия в помещении	Максимальное изменение температуры при использовании 10 K (лабораторное помещение без окон). Не имеет значения, если работает встроенное устройство юстировки ( $\Delta T \geq 3 K$ ). В этом случае максимальное изменение температуры для оценки неопределенности результата взвешивания равно 3 K.
Испытательные нагрузки/ акклиматизация	Эталонные гири, класс точности $F_2$ , акклиматизированные к температуре помещения.

**Н2.2/В Испытания и результаты**

<b>Повторяемость</b> Требования приведены в главе 5.1  Показания ненагруженных весов при необходимости устанавливаются на нуль.  Испытание на повторяемость выполнено в интервалах 1 и 2	<b>Испытательная нагрузка 10 000 г</b> приложена 5 раз (среднее квадратическое отклонение предполагается постоянным в 1-ом интервале взвешивания)	<b>Испытательная нагрузка 25 000 г</b> приложена 5 раз (среднее квадратическое отклонение предполагается постоянным во 2-ом и 3-ем интервалах взвешивания)
	10 000 г	25 000 г
	10 000 г	25 000 г
	9 998 г	25000 г
	10 000 г	24995 г
	10 000 г	25 000 г
<b>Среднее квадратическое отклонение</b>	<b>s = 0,894 г</b>	<b>s = 2,236 г</b>

<b>Нецентральное нагружение</b> Требования приведены в главе 5.3  Перед нагружением показание устанавливается на нуль; нагрузка сначала помещается в центр, затем в другие указанные позиции	<b>Положение нагрузки</b>	<b>Испытательная нагрузка 20 000 г</b>
	Центр	20 000 г
	Спереди слева	20 000 г
	Сзади слева	20 000 г
	Сзади справа	20 000 г
	Спереди справа	19 995 г
<b>Максимальное отклонение</b>	$ \Delta I_{ecc} _{max}$	<b>5 г</b>

**Погрешности показаний**

Общие предварительные условия:

Требования приведены в главе 5.2, гири распределены в диапазоне взвешивания достаточно равномерно.

Испытательные нагрузки прикладываются однократно; отдельные нагружения выполняются только в сторону увеличения нагрузки, показание ненагруженных весов устанавливают при необходимости на нуль.

Вариант 1: Плотность воздуха неизвестна во время юстировки / калибровки (т.е. без внесения поправки на выталкивающую силу воздуха в значения погрешности показаний)

Требования приведены в главе 5.2, гири распределенные достаточно равномерно.  Каждая из испытательных нагрузок	<b>Нагрузка <math>m_{ref}</math> (<math>m_N</math>)</b>	<b>Показание <math>I</math></b>	<b>Погрешность показания <math>E</math></b>
	0 г	0 г	0 г
	10 000 г	10 000 г	0 г
	20 000 г	20 000 г	0 г
	40 000 г	40 000 г	0 г

РМГ \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г

прикладывается однократно; отдельные нагрузки выполняются только в сторону увеличения нагрузки, показание ненагруженных весов устанавливают при необходимости на нуль.	60 000 г	60 000 г	0 г
--	----------	----------	-----

Вариант 2: Плотность воздуха  $\rho_{as}$  во время юстировки и плотность воздуха  $\rho_{aCal}$  во время калибровки одинаковы, так как юстировка выполнена непосредственно перед калибровкой.

Плотность воздуха рассчитывается по упрощенной формуле CIPM (A1.1-1):

Измеренные значения, используемые для расчета:

Атмосферное давление $p$ :	990 гПа
Относительная влажность $RH$ :	50 %
Температура $t$ :	23 °C
Плотность воздуха $\rho_{aCal}$ :	1,165 кг/м <sup>3</sup>

Вычисляется поправка на выталкивающую силу  $\delta m_B$  по формуле (4.2.4-4):

Числовое значение, использованное для расчета:

Плотность эталонной гири $\rho_{cal}$ :	(7950 ± 70) кг/м <sup>3</sup>
Поправка на выталкивающую силу $\delta m_B$ :	2,762 × 10 <sup>-8</sup> m <sub>N</sub>

Рассчитанная по формуле (4.2.4-4) поправка  $\delta m_B$  для  $m_N$  нагрузок пренебрежимо мала, так как относительное разрешение весов имеет порядок 10<sup>-4</sup>, что намного больше поправки на выталкивающую силу. Поэтому приведённые в таблице выше значения актуальны и для данного варианта.

### **Н2.3/В Погрешности и соответствующие неопределенности (бюджет соответствующих неопределенностей)**

Условия, общие для обоих вариантов:

- Неопределенность погрешности при нуле включает только неопределенность показания ненагруженных весов (цена деления шкалы  $d_0 = d_1 = 2$  г) и повторяемость  $s$ . Неопределенность показания нагруженных весов при нулевой нагрузке не учитывается.
- Нецентральное нагружение учитывается при калибровке в соответствии с (7.1.1- 10).
- Погрешность показания получают, используя номинальное значение массы гири в качестве опорного значения, поэтому максимальные допускаемые погрешности испытательных гирь учитываются при определении вклада в неопределенность, обусловленного эталонными гирями:  $u(\delta m_c)$  вычисляют как  $u(\delta m_c) = T_{011}/\sqrt{3}$ , следуя формуле (7.1.2-3).
- Средний дрейф массы гирь, по результатам двух калибровок с двухгодовичным интервалом, составил  $|D| \leq mpe/2$ . Поэтому вклад в неопределенность, обусловленный дрейфом массы гирь, был установлен  $u(\delta m_D) = mpe/2/\sqrt{3}$ . Это соответствует коэффициенту  $k_B$ , равному 1,5 (для наихудшего сценария  $U = mpe / 3$ ).
- Гири проходят акклиматизацию до разности температур в 2 К с температурой окружающей среды.
- Степени свободы для расчета коэффициента охвата  $k$  получены согласно приложению В3 и таблице G.2 из [1]. В данном примере влияние неопределенности результатов испытания на повторяемость  $s$  5 измерениями значительно.
- Сведения об относительной неопределенности  $U(E)_{rel} = u(E)/m_{ref}$  не обязательны, но помогают продемонстрировать характеристики неопределенностей.

Бюджет неопределенности для варианта 1 (без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показаний)

Дополнительное условие:

Весы юстируют непосредственно перед калибровкой. Процедура, описанная для варианта 1, выполняется, без информации о плотности воздуха. Поэтому для вычисления неопределенности, обусловленной выталкивающей силой воздуха, применяется формула (7.1.2-5с).

Величина или влияние	Нагрузка, показание и погрешность, г					Формула
	Неопределенность, г					
Нагрузка $m_{\text{ref}}(m_N)$ , г	0	10 000	20 000	40 000	60 000	
Показание $I$ , г	0	10 000	20 000	40 000	60 000	
Погрешность показания $E$ , г	0	0	0	0	0	7.1-1
Повторяемость $u(\delta I_{\text{rep}})$ , г	0,894		2,236			7.1.1-5
Разрешение $u(\delta I_{\text{dig0}})$ , г	0,577					7.1.1-2а
Разрешение $u(\delta I_{\text{digL}})$ , г	0,000	0,577	1,443	2,887	2,887	7.1.1-3а
Нецентральное нагружение $u(\delta I_{\text{ecc}})$ , г	0,000	0,722	1,443	2,887	4,330	7.1.1-10
Неопределенность показания $u(I)$ , г	1,065	1,410	3,082	4,690	5,694	7.1.1-12
Испытательные нагрузки $m_N$ , г	0	10 000	20 000	20 000 20 000	20 000 20 000 20 000	
Гири $u(\delta m_c)$ , г	0,000	0,092	0,173	0,346	0,554	7.1.2-3
Дрейф $u(\delta m_D)$ , г	0,000	0,046	0,087	0,173	0,277	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , г	0,000	0,023	0,043	0,087	0,139	7.1.2-5с
Конвекция $u(\delta m_{\text{conv}})$ , г	Не имеет значения в этом случае (существенно для гирь класса точности F <sub>1</sub> и более точных).					7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{\text{ref}})$ , г	0,000	0,106	0,198	0,397	0,635	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , г	1,065	1,414	3,089	4,707	5,739	7.1.3-1а
$\nu_{\text{eff}}$ (степени свободы)	8	25	14	78	172	B3-1
$k(95,45 \%)$	2,37	2,11	2,20	2,05	2,025	[1],
$U(E) = ku(E)$ , г	2,523	2,983	6,795	9,650	11,601	7.3-1
$U_{\text{rel}}(E)/\%$	----	0,0298	0,0340	0,0241	0,0193	

Допускается указывать в сертификате только наибольшее значение расширенной неопределенности для всех погрешностей, содержащихся в отчете:  $U(E) = 11,601$  г, исходя из  $k = 2,025$  и вероятности охвата не меньше 95 %.

В сертификате должно быть приведено уведомление для пользователя о том, что указанная в нем расширенная неопределенность применима только, когда учитывается погрешность ( $E$ ).

Бюджет неопределенности для варианта 2 (с внесением поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показания)

*Дополнительное условие:*

*Весы юстируют непосредственно перед калибровкой. Применяется процедура согласно варианту 2, с учетом определения плотности воздуха и поправки на выталкивающую силу. Поэтому для вычисления неопределенности, обусловленной выталкивающей силой воздуха, применяется формула (7.1.2-5а).*

*Так как юстировка выполняется непосредственно перед калибровкой, то максимальные значения изменений давления, температуры и влажности, которые можно ожидать в месте установки весов, не обязательно учитывать, в отличие от ситуации, когда юстировка выполняется независимо от калибровки. Единственный фактор вклада в стандартную неопределенность плотности воздуха происходит из неопределенности измерений параметров окружающей среды.*

*Для расчета относительной неопределенности поправки на выталкивающую силу по формуле (7.1.2-5а) взяты следующие числовые значения:*

$$\begin{array}{ll} \text{Плотность воздуха } \rho_{\text{Cal}}: & 1,165 \text{ кг/м}^3 \\ \text{Плотность эталонной гири } \rho_{\text{Cal}}: & (7950 \pm 70) \text{ кг/м}^3 \end{array}$$

*Кроме этого для расчета относительной неопределенности плотности воздуха согласно (A3-1) взяты следующие неопределенности для температуры, давления и влажности:*

$$\begin{array}{l} u(T) = 0,2 \text{ К} \\ u(p) = 50 \text{ Па} \\ u(RH) = 1 \% \end{array}$$

$$\text{Это приводит к } \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} = 9,77 \times 10^{-4}, \text{ и } u(\rho_a) = 0,00114 \text{ кг/м}^3$$

*Формула (7.1.2-5а) дает относительную неопределенность поправки на выталкивающую силу  $u_{\text{rel}}(\delta m_B) = 3,892 \times 10^{-8}$*

*Относительная неопределенность поправки на выталкивающую силу воздуха пренебрежимо мала по сравнению с другими вкладами в неопределенность опорного значения массы.*

*Этот пример показывает, что вычисленные значения поправки для погрешности  $\delta m_B$  и относительной неопределенности поправки на выталкивающую силу  $u(\delta m_B)$  пренебрежимо малы. Это приводит к обновленному бюджету неопределенности измерений:*



Величина или влияние	Нагрузка, показание и погрешность, г					Формула
	Неопределенность, г					
Нагрузка $m_{ref}(m_N)$ , г	0	10 000	20 000	40 000	60 000	
Поправка $\delta m_B$ , г	0	0	0	0	0	4.2.4-4
Показание $I$ , г	0	10 000	20 000	40 000	60 000	
Погрешность показания $E$ , г	0	0	0	0	0	7.1-1
Повторяемость $u(\delta_{rep})$ , г	0,894		2,236			7.1.1-5
Разрешение $u(\delta I_{dig0})$ , г	0,577					7.1.1-2а
Разрешение $u(\delta I_{digL})$ , г	0,000	0,577	1,443	2,887	2,887	7.1.1-3а
Нецентральное нагружение $u(\delta I_{ecc})$ , г	0,000	0,722	1,443	2,887	4,330	7.1.1-10
Неопределенность показания $u(I)$ , г	1,065	1,410	3,082	4,690	5,694	7.1.1-12
Испытательные нагрузки $m_N$ , г	0	10 000	20 000	20 000 20 000 20 000	20 000 20 000 20 000	
Гири $u(\delta m_c)$ , г	0,000	0,092	0,173	0,346	0,554	7.1.2-3
Дрейф $u(\delta m_D)$ , г	0,000	0,046	0,087	0,173	0,277	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , г	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	7.1.2-5с
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , г	Не имеет значения в этом случае (существенно для гирь класса точности $F_1$ и более точных).					7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , г	0,000	0,103	0,194	0,387	0,620	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , г	1,065	1,414	3,089	4,706	5,727	7.1.3-1а
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	8	25	14	78	172	B3-1
$k(95,45\%)$	2,37	2,11	2,20	2,05	2,025	[1]
$U(E) = ku(E)$ , г	2,523	2,983	6,794	9,648	11,598	7.3-1
$U_{rel}(E)/\%$	----	0,0301	0,0340	0,0241	0,0193	

Расширенные неопределенности погрешности для стандартной процедуры и для данного варианта почти одинаковы, так как неопределенность опорного значения массы  $u(m_{ref})$  очень мала по сравнению с неопределенностью показания  $u(I)$ . Из данного примера видно, что измерение давления и влажности на месте нахождения весов с целью определения поправки на выталкивающую силу и минимизации вклада в неопределенность, обусловленного выталкивающей силой, не дает значительного улучшения результатов калибровки.

#### Н2.4/В Неопределенность результата взвешивания (для варианта 1)

Как сказано в 7.4, следующую информацию можно получить силами калибровочной лаборатории или пользователя весов. Эти результаты не следует представлять в виде части сертификата калибровки, за исключением аппроксимированной погрешности показания и неопределенности аппроксимированной погрешности, которые могут составлять его часть. Обычно информацию о неопределенности результата взвешивания представляют в виде приложения к сертификату калибровки или иначе, если ее содержание четко отделено от результатов калибровки.

Обычные условия использования весов, как принято, или как указано пользователем, могут включать:

- Встроенное устройство юстировки доступно и работает ( $\Delta T \geq 3 \text{ K}$ )
- Изменение температуры в помещении  $\Delta T = 10 \text{ K}$
- Функция тарирования используется.
- Нагрузки не всегда накладываются точно в центр.

Неопределенность результата взвешивания получают, используя линейную аппроксимацию погрешности показания в соответствии с (C2.2-16).

Неопределенность результата взвешивания представлена только для варианта 1 (без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показания). Аппроксимированная погрешность показания по (C2.2-16) и неопределенность аппроксимированной погрешности показания согласно (C2.2-16d) у двух вариантов незначительно отличаются, так как исходные весовые коэффициенты  $p_j = 1/\vartheta(E_j)$  отличаются на несколько миллионных долей и погрешности показания одинаковы для обоих вариантов (поправка на выталкивающую силу меньше, чем разрешение весов).

Обозначения  $R$  и  $W$  вводятся для того, чтобы различать показания весов во время взвешиваний и во время калибровки.

$R$ : показание (отсчёт) при взвешивании нагрузки на калиброванных весах, получаемый после калибровки.

$W$ : Результат взвешивания

Следует обратить внимание на то, что в следующей таблице отсчёт  $R$  и все результаты приведены в граммах.

Величина или влияние	Отсчёт, результат взвешивания и погрешность, кг Неопределенность в граммах (г) или в виде относительного значения	Формула	
Погрешность показания $E_{\text{appr}}(R)$ для показаний брутто и нетто: Аппроксимация прямой линией через нуль	$E_{\text{appr}}(R) = 0$	C2.2-16	
<b>Неопределенность аппроксимированной погрешности показания</b>			
Стандартная неопределенность погрешности $u(E_{\text{appr}})$	$u^2(E_{\text{appr}}) = 0 \times u^2(R) + 3,651 \times 10^6 R^2$	C2.2-16d	
Стандартная неопределенность погрешности, пренебрегая смещением	$u(E_{\text{appr}}) = 6,043 \times 10^3 R$		
<b>Неопределенности, обусловленные влиянием окружающей среды</b>			
Температурный дрейф чувствительности	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{temp}}) = 1,732 \times 10^{-6}$	7.4.3-1	
Выталкивающая сила	Не имеет значения в этом случае.	7.4.3-2	
Изменение характеристик (юстировки) вследствие дрейфа	Не имеет значения в этом случае (работает встроенное устройство юстировки и дрейф между калибровками пренебрежимо мал).	7.4.3-5	
<b>Неопределенности, обусловленные функционирование весов</b>			
Работа устройства тарирования	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{tare}}) = 0$	7.4.4-5	
Ползучесть и гистерезис (время под нагрузкой)	Не имеет значения в этом случае (непродолжительное время под нагрузкой).	7.4.4-9a/b	
Нецентральное нагружение	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{ecc}}) = 1,443 \times 10^{-4}$	7.4.4-10	
<b>Неопределенность результата взвешивания для каждого интервала взвешивания (PWI)</b>			
Стандартная неопределенность, поправки для внесения в показания $E_{\text{appr}}$	<b>PWI 1</b>	$u(W) = \sqrt{(1,467g + 2,449 \times 10^6 R^2)}$	7.4.5-1b
	<b>PWI 2</b>	$u(W) = \sqrt{(7,417g + 2,449 \times 10^6 R^2)}$	
	<b>PWI 3</b>	$u(W) = \sqrt{(13,667g + 2,449 \times 10^6 R^2)}$	
Расширенная неопределенность, поправки для внесения в показания $E_{\text{appr}}$	<b>PWI 1</b>	$U(W) = 2\sqrt{(1,467g + 2,449 \times 10^6 R^2)}$	7.5.1-2b
	<b>PWI 2</b>	$U(W) = 2\sqrt{(7,417g + 2,449 \times 10^6 R^2)}$	
	<b>PWI 3</b>	$U(W) = 2\sqrt{(13,667g + 2,449 \times 10^6 R^2)}$	
Упрощение до первого порядка	<b>PWI 1</b>	$U(W) \approx 2,422g + 1,706 \times 10^3 R$	7.5.2-3f
	<b>PWI 2</b>	$U(W) \approx 6,616g + 2,355 \times 10^3 R - 12000g$	
	<b>PWI 3</b>	$U(W) \approx 11,951g + 2,744 \times 10^3 R - 30000g$	
<b>Общая неопределенность результата взвешивания без коррекции показаний</b>			
$U_{\text{gl}}(W) = U(W) +  E_{\text{appr}}(R) $	<b>PWI 1</b>	$U_{\text{gl}}(W) \approx 2,422g + 1,706 \times 10^3 R$	7.5.2-3a
	<b>PWI 2</b>	$U_{\text{gl}}(W) \approx 6,616g + 2,355 \times 10^3 R - 12000g$	
	<b>PWI 3</b>	$U_{\text{gl}}(W) \approx 11,951g + 2,744 \times 10^3 R - 30000g$	

Проверка условия в отношении наблюдаемого значения кси-квадрат следуя (C2.2-2a) дала положительный результат. Линейная регрессия выполнена с учетом весовых коэффициентов  $p_j$  уравнения (C2.2-18b).

РМГ \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г

Исходя из общей неопределенности, значение минимальной нагрузки для весов можно получить согласно приложению G.

Пример:

Заданное значение допуска при взвешивании (относительная погрешность): 1%

Коэффициент запаса: 2

Минимальная нагрузка согласно формуле G-9 с использованием вышеприведенного уравнения для общей неопределенности в интервале взвешивания **PWI 1** составляет 502 г; т.е. пользователю необходимо взвешивать количество материала нетто большее, чем 502 г, чтобы получать относительную (общую) неопределенность измерений исходя из относительной погрешности 1 % и коэффициента запаса 2 (равноценно относительной погрешности взвешивания 0,5%).

**НЗ    Весы на нагрузку 30 000 кг, цена деления шкалы 10 кг**

**Предварительное замечание:**

Приведена калибровка платформенных весов для взвешивания дорожных транспортных средств. Данный пример показывает завершённую стандартную процедуру для представления результатов измерений и соответствующих неопределенностей, выполняемую большинством лабораторий.

Испытательные нагрузки предпочтительно должны состоять только из эталонных гирь, прослеживаемых до единицы массы СИ.

В данном примере показано использование эталонных гирь и замещающих грузов. Калибруемые весы используются в качестве компаратора для подбора замещающих грузов таким образом, чтобы они давали приблизительно такое же показание, как соответствующая нагрузка, составленная из эталонных гирь.

РМГ \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г

**Первая ситуация: юстировка чувствительности выполняется независимо от калибровки**

(статус весов: на месте эксплуатации весов)

**НЗ.1/А Условия, при которых выполняется калибровка**

Прибор	<b>Электронные весы неавтоматического действия, описание и идентификация</b> , с сертификатом соответствия OIML R76 или утверждения типа по EN 45501, но не поверенные
<b>Максимальная нагрузка <math>M_{ax}</math> / цена деления шкалы <math>d</math></b>	<b>30 000 кг / 10 кг</b>
Грузоприёмное устройство	Ширина 3 м, длина 10 м, 4 точки опоры
Установка	Вне помещения, на открытом воздухе, под укрытием (в тени)
Температурный коэффициент	$K_T = 2 \times 10^{-6}/K$ (из руководства изготовителя); необходимо единственно для расчета неопределенности результата взвешивания.
Встроенное устройство юстировки	Не предусмотрено.
Юстировка исполнителем калибровки	Без юстировки непосредственно перед калибровкой.
<b>Цена деления шкалы при калибровке (фактическая цена деления)</b>	<b>Повышенное разрешение (сервисный режим), <math>d_T = 1</math> кг</b>
Продолжительность испытаний	От 9 до 13 ч (эта информация может быть полезной в связи с возможными эффектами ползучести и гистерезиса)
<b>Температура во время калибровки</b>	<b>17 °С в начале калибровки 20 °С в конце калибровки</b>
<i>Атмосферное давление и условия окружающей среды во время калибровки (необязательные параметры)</i>	<i>1 010 гПа <math>\pm</math> 5 гПа; без дождя, без ветра</i>
Испытательные нагрузки	<p>Эталонные гири:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>10 параллелепипедных эталонных гирь, чугунных, массой 1000 кг каждая, класса точности <math>M_1</math>, с пределами допускаемой погрешности <math>m_{pe} = 50</math> г (ГОСТ OIML R111-1-2009 [4])</li> </ul> <p>Замещающие грузы из чугуна:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2 стальных контейнера, заполненных стальными и чугунными обрезками россыпью, каждый массой примерно 2 000 кг;</li> <li>2 стальных контейнера, заполненных стальными и чугунными обрезками россыпью, каждый массой примерно 3 000 кг;</li> <li>Трейлер (автомобиль) для того чтобы разместить на нём эталонные гири или стальные контейнеры, масса которого подогнана примерно к 10 000 кг;</li> <li>небольшие металлические детали, используемые для подгонки массы замещающих грузов.</li> </ul> <p>Средства подъёма и перемещения эталонных гирь и замещающих грузов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>вилочный погрузчик массой примерно 4500 кг, грузоподъёмностью 6000 кг – для перемещения эталонных и замещающих грузов;</li> <li>автомобиль с прицепом и краном, грузоподъёмностью 10 000 кг, для перевозки и перемещения эталонных гирь и замещающих грузов.</li> </ul>

### НЗ.2/А Испытания и результаты

<b>Повторяемость</b> Требования приведены в главе 5.1  Показание ненагруженных весов при необходимости обнуляют  После разгрузки показания ненагруженных весов были между 0 и 2 кг	<b>Испытательная нагрузка ≈ 10 420 кг:</b> Вилочный погрузчик с 2 стальными контейнерами заезжает поочередно с каждого длинного конца грузоприёмного устройства, нагрузку центрируют на глаз	<b>Испытательная нагрузка ≈ 24 160 кг:</b> Нагруженный автомобиль заезжает поочередно с каждого длинного конца грузоприёмного устройства, нагрузку центрируют на глаз (выполняется альтернативно или дополнительно)
	10 405 кг	24 145 кг
	10 414 кг	24 160 кг
	10 418 кг	24 172 кг
	10 412 кг	24 152 кг
	10 418 кг	24 156 кг
	10 425 кг	24 159 кг
<b>Среднее квадратическое отклонение</b>	<b>s = 6,74 кг</b>	<b>s = 9,03 кг</b>

<b>Нецентральное нагружение</b> Требования приведены в главе 5.3 Показание обнуляют перед испытанием; нагрузку сначала устанавливают в центр грузоприёмного устройства, затем перемещают в другие положения	<b>Положение нагрузки на грузоприёмном устройстве</b>	<b>Испытательная нагрузка ≈ 10 420 кг:</b> Вилочный погрузчик с 2 стальными контейнерами
	Центр	10 420 кг
	Спереди слева	10 407 кг
	Сзади слева	10 435 кг
	Сзади справа	10 433 кг
	Спереди справа	10 413 кг
<b>Максимальная разность между показанием при центральном нагружении и показаниями при нецентральных нагружениях (по четырём углам грузоприёмного устройства)</b>	$ \Delta I_{ecc} _{max}$	<b>15 кг</b>

<b>Нецентральное нагружение</b> (с прокатывающимися по грузоприёмному устройству нагрузками выполняется альтернативно или дополнительно)	<b>Положение нагрузки на грузоприёмном устройстве</b>	<b>Испытательная нагрузка ≈ 24 160 кг:</b> самое тяжелое и концентрированное доступное транспортное средство
<p>Требования приведены в главе 5.3 Показание обнуляют перед испытанием и перед изменением направления движения нагрузки через грузоприёмное устройство;</p>	Слева	24 160 кг
	Центр	24 157 кг
	Справа	24 181 кг
	(изменение направления) Справа	24 177 кг
	Центр	24 157 кг
	Слева	24 162 кг
<p><b>Максимальная разность между показанием при центральном нагружении и двумя показаниями при нецентральных нагружениях</b> (по продольной оси)</p>	$ \Delta I_{ecc} _{max}$	<p><b>24 кг</b></p>



**Погрешности показания**

Стандартная процедура: Требования приведены в главе 5.2, гири распределены достаточно равномерно по всему диапазону взвешивания.

Испытательные нагрузки воспроизводят методом замещения (с помощью замещающих грузов) с применением эталонных гирь массой 10 000 кг (10 гирь, каждая массой 1000 кг) и двух замещающих грузов  $L_{sub1}$  и  $L_{sub2}$  примерно по 10 000 кг каждый (автомобиль и суммарная масса четырёх контейнеров). Испытательные нагрузки прикладываются однократно и только в сторону увеличения. Такой способ нагружения может привести к тому, что на результат окажут влияние эффекты ползучести и гистерезиса, но при этом уменьшается количество нагружений и разгрузений.

Показания после снятия эталонных гирь регистрируют, коррекцию показаний не производят; все грузы устанавливают ближе к центру грузоприёмного устройства, соблюдая принцип симметрии.

Зарегистрированные показания:

НАГРУЗКА				
Эталонные гири $m_N$	Замещающие грузы $L_{sub}$	Суммарная испытательная нагрузка $L_T = m_N + L_{sub}$	Показание $I$	Погрешность показания $E$
0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг
5 000 кг $\frac{1}{2} m_{ref}$	0 кг	5 000 кг	5 002 кг $I(\frac{1}{2} m_{ref})$	2 кг
10 000 кг $m_{ref}$	0 кг	10 000 кг	10 010 кг $I(m_{ref})$	10 кг
0 кг	10 000 кг $L_{sub1}$	10 000 кг	10 010 кг $I(L_{sub1})$	10 кг
5 000 кг $\frac{1}{2} m_{ref}$	10 000 кг $L_{sub1}$	15 000 кг	15 015 кг $I(\frac{1}{2} m_{ref} + L_{sub1})$	15 кг
10 000 кг $m_{ref}$	10 000 кг $L_{sub1}$	20 000 кг	20 018 кг $I(m_{ref} + L_{sub1})$	18 кг
0 кг	20 010 кг $L_{sub1} + L_{sub2}$	20 010 кг	20 028 кг $I(L_{sub1} + L_{sub2})$	18 кг
5 000 кг $\frac{1}{2} m_{ref}$	20 010 кг $L_{sub1} + L_{sub2}$	25 010 кг	25 035 кг $I(\frac{1}{2} m_{ref} + L_{sub1} + L_{sub2})$	25 кг
10 000 кг $m_{ref}$	20 010 кг $L_{sub1} + L_{sub2}$	30 010 кг	30 040 кг $I(m_{ref} + L_{sub1} + L_{sub2})$	30 кг
0 кг	0 кг	0 кг	4 кг	4 кг $E_0$

Плотность воздуха  $\rho_{as}$  во время юстировки и плотность воздуха  $\rho_{aCal}$  во время калибровки неизвестны.

Значения погрешностей показаний не корректируют на выталкивающую силу воздуха. При использовании эталонных гирь класса М<sub>1</sub> относительная неопределенность эффекта выталкивающей силы, вычисленная согласно (7.1.2-5d), равна  $1,6 \times 10^{-5}$  (так как весы не юстировались непосредственно перед калибровкой). Неопределенность достаточно мала, поэтому более тщательный расчет этой составляющей неопределенности исходя из фактически данных для плотности воздуха является излишним (неопределенность выталкивающей силы меньше цены деления шкалы в режиме высокого разрешения  $d_T$  и пренебрежимо мала).

Предел плотности материала гирь класса точности  $M$  устанавливается равным  $\rho \geq 4\,400 \text{ кг м}^3$  [4]. Этот же предел плотности материала может также рассматриваться для замещающих грузов. В таком случае относительная неопределенность, оцененная для влияния выталкивающей силы на замещающие грузы одинакова с указанной выше (для эталонных гирь) и достаточно мала; более тщательный расчет этой составляющей неопределенности исходя из фактически данных является излишним.

Примечание - При оценке плотности замещающих грузов необходимо учитывать любые внутренние полости, не открытые для атмосферы (например, как в баках, резервуарах). Необходимо оценивать плотность такого груза как единого целого, понимая, что эта плотность не может быть такой же, как плотность материала, из которого изготовлен груз.

### НЗ.3/А Погрешности и соответствующие неопределенности (бюджет соответствующих неопределенностей)

Условия:

- Неопределенность погрешности при нуле включает только неопределенность показания ненагруженных весов (цена деления шкалы  $d = 1 \text{ кг}$ ) и повторяемость  $s$ . Неопределенность показания нагруженных весов при нулевой нагрузке не учитывается.
- Нецентральное нагружение учитывается при калибровке в соответствии с (7.1.1-10), потому что его нельзя исключить во время испытания по определению погрешности показания. Если оба испытания на нецентральное нагружение были проведены, следует использовать результат с большим относительным значением.
- Погрешность показания получают, используя номинальное значение массы гири в качестве опорного значения, поэтому максимальные допускаемые погрешности испытательных гирь учитываются при определении вклада в неопределенность, обусловленного эталонными гирями:  $u(\delta m_c)$  вычисляются как  $u(\delta m_c) = T_{011} / \sqrt{3}$ , следуя формуле (7.1.2-3). Для каждой эталонной гири 1000 кг  $u(\delta m_c) = 50 / \sqrt{3} \approx 29 \text{ г}$ .
- При отсутствии информации об изменении массы гирь (дрейфе) значение  $D$  выбирают равным  $m_{pe}$ . Для каждой эталонной гири 1000 кг  $m_{pe} = \pm 50 \text{ г}$  и  $u(m_c) = 50 / \sqrt{3} \approx 29 \text{ г}$ , следуя формуле (7.1.2-11).
- Весы не юстируются непосредственно перед калибровкой. Применяется стандартная процедура согласно варианту 1, без информации о плотности воздуха. Поэтому для вычисления неопределенности, обусловленной выталкивающей силой воздуха, применяется формула (7.1.2-5d).
- Во время калибровки нагрузка остается на грузоприёмной площадке в течение значительного периода времени. На основании утверждения в главе 7.1.1 о возможной необходимости учитывать добавочные вклады в неопределенность, влияния ползучести и гистерезиса на результаты рассчитываются по формуле (7.4.4-7) и включаются в неопределенность показания.
- Гирь акклиматизируются до температуры окружающей среды с остаточной разностью температур 5 К. Эффекты конвекции не оказывают влияния (обычно их учитывают для гирь класса точности  $F_1$  и более точных).
- Степени свободы для расчета коэффициента охвата  $k$  получены согласно приложению В3 и таблице G.2 из [1]. В рассматриваемом примере влияние неопределенности результатов испытания на повторяемость  $s$  6 измерениями значительное.
- Сведения об относительной неопределенности  $U(E)_{rel} = u(E)/m_{ref}$  не обязательны, но помогают продемонстрировать характеристики неопределенностей.

*Бюджет неопределенности для варианта 1 (без внесения поправки на выталкивающую силу в значения погрешности показаний)*

Величина или влияние	Нагрузка, показание, погрешность и неопределенность, кг					Формула
Суммарная испытательная нагрузка $L_T = m_N + L_{subj}$ , кг	0	5 000	10 000 $m_{ref}$	10 000* $L_{sub1}$	15 000	
Показание $I$ , кг	0	5 002	10 010 $I(m_{ref})$	10 010 $I(L_{sub1})$	15 015	
Погрешность показания $E$ , кг	0	2	10	10 $\Delta I_1 = 0$	15	7.1-1
Повторяемость $u(\delta I_{rep})$ , кг	6,74					7.1.1-5
Разрешение $u(\delta I_{dig0})$ , кг	0,29					7.1.1-2а
Разрешение $u(\delta I_{digL})$ , кг	0,00	0,29				7.1.1-3а
Нецентральное нагружение $u(\delta I_{ecc})$ , кг	0,00	2,08	4,16	4,16	6,24	7.1.1-10
Ползучесть / гистерезис $u_{rel}(\delta I_{time})$ , кг	0,00	0,38	0,77	0,77	1,16	7.4.4-7
Неопределенность показания $u(I)$ , кг	6,75	7,08	7,97	7,97	9,27	7.1.1-12
<b>Эталонные гири <math>m_N</math>, кг</b>	<b>0</b>	<b>5 000</b>	<b>10 000</b>	<b>0</b>	<b>5 000</b>	
Неопределенность $u(\delta m_c)$ , кг	0,00	0,14	0,29	0,00	0,14	7.1.2-3
Дрейф $u(\delta m_D)$ , кг	0,00	0,14	0,29	0,00	0,14	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , кг	0,00	0,08	0,16	0,00	0,08	7.1.2-5d
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , кг	Не имеет значения в этом случае					7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , кг	0,00	0,22	0,44	0,00	0,22	7.1.2-14
<b>Замещающие нагрузки <math>L_{subj}</math>, кг</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	10 000 $L_{sub1} = m_{ref} + \Delta I_1$	<b>10 000</b> $L_{sub1}$	
Неопределенность $u(L_{subj})$ , кг	0,00	0,00	0,00	11,28	11,28	7.1.2-15b
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , кг	0,00	0,00	0,00	0,16	0,16	7.1.2-5d
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , кг	Не имеет значения в этом случае					
Неопределенность замещающих нагрузок $u(L_{subj})$ , кг	0,00	0,00	0,00	11,28	11,28	7.1.2-15b 7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , кг	6,75	7,08	7,98	-----	14,60	7.1.3-1с
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	5	6	9	-----	109	B3-1
<b><math>k(95,45\%)</math></b>	<b>2,65</b>	<b>2,52</b>	<b>2,32</b>	-----	<b>2,02</b>	[1]
<b><math>U(E) = ku(E)</math>, кг</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	-----	<b>29</b>	7.3-1
$U_{rel}(E) / \%$	----	0,36	0,19	-----	0,20	

(продолжение)

Величина или влияние	Нагрузка, показание, погрешность и неопределенность, кг				Формула
<b>Суммарная испытательная нагрузка</b> $L_T = m_N + L_{subj}$ , кг	<b>20 000</b> $m_{ref2} + L_{sub2}$	20 010*)	<b>25 010</b>	<b>30 010</b>	
<b>Показание <math>I</math>, кг</b>	<b>20 018</b> $I(m_{ref2} + L_{sub2})$	20 028 $I(L_{sub1} + L_{sub2})$	<b>25 035</b>	<b>30 040</b>	
<b>Погрешность показания <math>E</math>, кг</b>	<b>18</b>	18 $\Delta/2=10$	<b>25</b>	<b>30</b>	7.1-1
Повторяемость $u(\delta I_{rep})$ , кг	6,74				7.1.1-5
Разрешение $u(\delta I_{dig0})$ , кг	0,29				7.1.1-2a
Разрешение $u(\delta I_{digL})$ , кг	0,29				7.1.1-3a
Нецентральное нагружение $u(\delta I_{ecc})$ , кг	8,32	8,32	10,40	12,48	7.1.1-10
Ползучесть/ гистерезис $u_{rel}(\delta I_{time})$ , /кг	1,54	1,54	1,93	2,31	7.4.4-7
Неопределенность показания $u(I)$ , кг	10,82	10,82	12,54	14,38	7.1.1-12
<b>Эталонные гири <math>m_N</math>, кг</b>	<b>10 000</b>	0	<b>5 000</b>	<b>10 000</b>	
Неопределенность $u(\delta m_c)$ , кг	0,29	0,00	0,14	0,29	7.1.2-3
Дрейф $u(\delta m_D)$ , кг	0,29	0,00	0,14	0,29	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , кг	0,16	0,00	0,08	0,16	7.1.2-5d
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , кг	Не имеет значения в этом случае				7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , кг	0,44	0,00	0,22	0,44	7.1.2-14
<b>Замещающие нагрузки</b> $L_{subj}$ , кг	<b>10 000</b> $L_{sub1}$	20 010 $L_{sub1} + L_{sub2} =$ $2m_{ref1} + \Delta/2$	<b>20 010</b> $L_{sub1} + L_{sub2}$	<b>20 010</b> $L_{sub1} + L_{sub2}$	
Неопределенность $u(L_{subj})$ , кг	11,28	19,02	19,02	19,02	7.1.2-15b
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , кг	0,16	0,32	0,32	0,32	7.1.2-5d
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , кг	Не имеет значения в этом случае				
Неопределенность замещающих нагрузок $u(L_{subj})$ , кг	11,28	19,02	19,02	19,02	7.1.2-15b 7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , кг	15,64	-----	22,79	23,85	7.1.3-1c
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	144	-----	653	783	B3-1
<b><math>k(95,45\%)</math></b>	<b>2,02</b>	-----	<b>2,00</b>	<b>2,00</b>	[1]
<b><math>U(E) = ku(E)</math>, кг</b>	<b>32</b>	-----	<b>46</b>	<b>48</b>	7.3-1
$U_{rel}(E) /\%$	0,16	-----	0,18	0,16	

\*) Значения, записанные в этой колонке (для того же значения суммарной испытательной нагрузки, как в предыдущей колонке, но после замены эталонных гирь замещающими грузами) не приводятся в калибровочном сертификате, но используются в следующих

колонках. Как напоминание об этом, в этой колонке не используется жирный шрифт и последние 5 ячеек пустые.

Допускается указывать в сертификате только наибольшее значение расширенной неопределенности для всех погрешностей, содержащихся в отчете:  $U(E) = 48$  кг, исходя из  $k = 2$  и вероятности охвата не меньше 95 %.

В сертификате должно быть приведено уведомление для пользователя о том, что указанная в нем расширенная неопределенность применима только когда учитывается погрешность ( $E$ ).

#### **Н3.4/А Неопределенность результата взвешивания**

Как сказано в 7.4, следующую информацию можно получить силами калибровочной лаборатории или пользователем весов. Эти результаты не следует представлять в виде части сертификата калибровки, за исключением аппроксимированной погрешности показания и неопределенности аппроксимированной погрешности, которые могут составлять его часть. Обычно информацию о неопределенности результата взвешивания представляют в виде приложения к сертификату калибровки или иначе, если ее содержание ясно отделено от результатов калибровки.

Обычные условия использования весов, как принято, или как указано пользователем, могут включать:

Изменение температуры  $\Delta T = 40$  К.

Нагрузки не всегда накладываются точно в центр.

Функция тарирования используется.

Время нагружения: нормальное, т.е. меньше, чем при калибровке.

Отсчёты снимаются при нормальном разрешении,  $d = 10$  кг.

Погрешность показания при нагрузке 30 000 кг равна 30 кг, и это значение принимается за изменение юстировки вследствие дрейфа.

Обозначения  $R$  и  $W$  вводятся для того, чтобы различать показания весов во время взвешиваний и во время калибровки.

$R$ : показание (отсчёт) при взвешивании нагрузки на калиброванных весах, получаемый после калибровки.

$W$ : Результат взвешивания

Следует обратить внимание на то, что в следующей таблице отсчёт  $R$  и все результаты приведены в килограммах.

Величина или влияние	Отсчет, результат взвешивания и погрешность, кг Неопределенность в граммах или в виде относительного значения	Формула
Погрешность показания $E_{\text{appr}}(R)$ для отсчетов брутто и нетто: Аппроксимация прямой линией через нуль	$E_{\text{appr}}(R) = 9,379 \times 10^4 R$	C2.2-16
<b>Неопределенность аппроксимированной погрешности показания</b>		
Стандартная неопределенность погрешности $u(E_{\text{appr}})$	$u(E_{\text{appr}}) = \sqrt{8,797 \times 10^7 u^2(R) + 1,316 \times 10^8 R^2}$	C2.2-16d
Стандартная неопределенность погрешности, пренебрегая смещением	$u(E_{\text{appr}}) = 3,627 \times 10^4 R$	
<b>Неопределенности, обусловленные воздействием окружающей среды</b>		
Температурный дрейф чувствительности	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{temp}}) = \frac{2 \times 10^{-6} \times 40}{\sqrt{12}} = 2,309 \times 10^6$	7.4.3-1
Выталкивающая сила	Не имеет значения в этом случае.	7.4.3-3
Изменение юстировки вследствие дрейфа (изменение $E(\text{Max})$ за 1 год равно 30 кг)	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{adj}}) = 30 / (30000\sqrt{3}) = 5,774 \times 10^4$	7.4.3-6
<b>Неопределенности, обусловленные функционированием весов</b>		
Работа устройства тарирования	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{tare}}) = 3,457 \times 10^{-4}$	7.4.4-5
Ползучесть и гистерезис (время под нагрузкой)	Не имеет значения в этом случае (непродолжительное время нагружения).	7.4.4-7
Нецентральное нагружение	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{ecc}}) = 8,311 \times 10^{-4}$	7.4.4-10
<b>Неопределенность результата взвешивания</b>		
Стандартная неопределенность, поправки для внесения в показания $E_{\text{appr}}$	$u(W) = \sqrt{(62,133 \text{ кг}^2 + 1,276 \times 10^6 R^2)}$	7.4.5-1a 7.4.5-1b
Расширенная неопределенность, поправки для внесения в показания $E_{\text{appr}}$	$U(W) = 2\sqrt{(62,133 \text{ кг}^2 + 1,276 \times 10^6 R^2)}$	7.5.1-2b
Упрощение до первого порядка	$U(W) \approx 16 \text{ кг} + 1,79 \times 10^3 R$	7.5.2-3d
<b>Общая неопределенность результата взвешивания без коррекции показаний</b>		
$U_{\text{gl}}(W) = U(W) +  E_{\text{appr}}(R) $	$U_{\text{gl}}(W) \approx 16 \text{ кг} + 2,73 \times 10^3 R$	7.5.2-3a

Проверка условия в отношении наблюдаемого значения кси-квадрат следуя (C2.2-2a) дала положительный результат. Первая линейная регрессия с учетом весовых коэффициентов  $p_j$ , уравнение (C2.2-18b).

Исходя из общей неопределенности минимальное значение нагрузки для весов можно получить согласно приложению G.

Пример:

Заданное значение допуска при взвешивании (относительная погрешность): 1 %

Коэффициент запаса: 1

Минимальная нагрузка согласно формуле G-9 с использованием вышеприведенного уравнения для общей неопределённости составляет 2169 кг; т.е. пользователю необходимо взвешивать количество материала нетто большее, чем 2169 кг, чтобы получить относительную (общую) неопределённость измерений исходя из относительной погрешности 1 % и коэффициента запаса 1 (равноценно относительной погрешности взвешивания 1 %).

Если учитывается коэффициент запаса, его можно выбрать равным 2. Из-за большого значения общей неопределённости более высокий коэффициент запаса не может быть реализован.

Минимальная нагрузка согласно формуле (G-9) с использованием вышеприведённого уравнения для общей неопределённости составляет 6950 кг; т.е. пользователю необходимо взвешивать количество материала нетто, которое превышает 6950 кг, для достижения относительной (общей) неопределённости измерений при относительной погрешности взвешивания 1 % и коэффициенте запаса 2 ( равноценно относительной погрешности взвешивания 0,50 %).

**Вторая ситуация: юстировка чувствительности выполняется непосредственно перед калибровкой**

(Предварительно на весах были выполнены операции ремонта и технического обслуживания)

**НЗ.1/В Условия, при которых выполняется калибровка**

Прибор	Электронные весы неавтоматического действия, описание и идентификация, с сертификатом соответствия OIML R76 или утверждения типа по EN 45501, но не поверенные
Максимальная нагрузка Max / цена деления шкалы d	30 000 кг / 10 кг
Грузоприёмное устройство	Ширина 3 м, длина 10 м, 4 точки опоры
Установка	Вне помещения, на открытом воздухе, под укрытием
Температурный коэффициент	$K_T = 2 \times 10^6 / K$ (из руководства изготовителя); необходим единственно для расчета неопределенности результата взвешивания.
Встроенное устройство юстировки	Не предусмотрено.
Юстировка исполнителем калибровки	Юстировка выполняется непосредственно перед калибровкой.
Цена деления шкалы при калибровке	Повышенное разрешение (сервисный режим), $d_T = 1$ кг
Продолжительность испытаний	От 14 до 18 ч
Температура во время калибровки	22 °С в начале калибровки 18 °С в конце калибровки
Атмосферное давление во время калибровки	1 010 гПа ± 5 гПа; без дождя, без ветра
Испытательные нагрузки	<p>Эталонные гири:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>10 параллелепипедных эталонных гирь, чугунных, массой 1000 кг каждая, класса точности M<sub>1</sub>, с пределами допускаемой погрешности <math>m_{pe} = 50</math> г (OIML R111 [4])</li> </ul> <p>Замещающие грузы из чугуна:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2 стальных контейнера, заполненных стальными и чугунными обрезками россыпью, каждый массой примерно 2 000 кг;</li> <li>2 стальных контейнера, заполненных стальными и чугунными обрезками россыпью, каждый массой примерно 3 000 кг;</li> <li>Трейлер (автомобиль) для того чтобы разместить на нём эталонные гири или стальные контейнеры, масса которого подогнана примерно к 10 000 кг;</li> <li>небольшие металлические детали, используемые для подгонки массы замещающих грузов.</li> </ul> <p>Средства подъёма и перемещения эталонных гирь и замещающих грузов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>вилочный погрузчик массой примерно 4500 кг, грузоподъёмностью 6000 кг – для перемещения эталонных и замещающих грузов;</li> <li>автомобиль с прицепом и краном, грузоподъёмностью 10 000 кг, для перевозки и перемещения эталонных гирь и замещающих грузов.</li> </ul>



## НЗ.2/В Испытания и результаты

<b>Повторяемость</b>	<b>Испытательная нагрузка ≈ 10 420 кг:</b>	<b>Испытательная нагрузка ≈ 24 160 кг:</b>		
Требования приведены в главе 5.1	Вилочный погрузчик с 2 стальными контейнерами заезжает поочередно с каждого длинного конца грузоприёмного устройства, нагрузку центрируют на глаз	<i>Нагруженный автомобиль заезжает поочередно с каждого длинного конца грузоприёмного устройства, нагрузку центрируют на глаз (выполняется альтернативно или дополнительно)</i>		
Показание ненагруженных весов при необходимости обнуляют				
После разгрузки показания ненагруженных весов были между 0 и 2 кг			10 415 кг	24 155 кг
			10 418 кг	24 160 кг
			10 422 кг	24 162 кг
			10 416 кг	24 152 кг
			10 422 кг	24 156 кг
10 419 кг	24 159 кг			
<b>Среднее квадратическое отклонение</b>	<b>s = 2,94 кг</b>	<b>s = 3,67 кг</b>		

<b>Нецентральное нагружение</b>	<b>Положение нагрузки на грузоприёмном устройстве</b>	<b>Испытательная нагрузка ≈ 10 420 кг:</b>		
Требования приведены в главе 5.3		Вилочный погрузчик с 2 стальными контейнерами		
Показание обнуляют перед испытанием; нагрузку сначала устанавливают в центр грузоприёмного устройства, затем перемещают в другие положения				
<b>Максимальная разность между показанием при центральном нагружении и показаниями при нецентральных нагружениях</b> (по четырём углам грузоприёмного устройства)			Центр	10 420 кг
			Спереди слева	10 417 кг
			Сзади слева	10 423 кг
	Сзади справа	10 425 кг		
Спереди справа	10 425 кг			
	$ \Delta I_{ecc} _{\max}$	<b>5 кг</b>		

<b>Нецентральное нагружение</b> (с прокатывающимися по грузоприёмному устройству нагрузками выполняется альтернативно или дополнительно)	<b>Положение нагрузки на грузоприёмном устройстве</b>	<b>Испытательная нагрузка ≈ 24 160 кг:</b>
Требования приведены в главе 5.3 Показание обнуляют перед испытанием и перед изменением направления движения нагрузки через грузоприёмное устройство;		самое тяжелое и концентрированное доступное транспортное средство
	Слева	24 151 кг
	Центр	24 160 кг
	Справа	24 169 кг
	(изменение направления) Справа	24 167 кг
	Центр	24 160 кг
	Слева	24 150 кг

РМГ \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г

<i>Максимальная разность между показанием при центральном нагружении и двумя показаниями при нецентральных нагружениях (по продольной оси)</i>	$ \Delta I_{\text{сци}} _{\text{max}}$	<b>10 кг</b>
--	--	--------------

**Погрешности показания**

Стандартная процедура: Требования приведены в главе 5.2, гири распределены достаточно равномерно по диапазону взвешивания.

Испытательные нагрузки воспроизводят методом замещения (с помощью замещающих грузов) с применением эталонных гирь массой 10 000 кг (10 гирь, каждая массой 1000 кг) и двух замещающих грузов  $L_{sub1}$  и  $L_{sub2}$  примерно по 10 000 кг каждый (автомобиль и суммарная масса четырёх контейнеров). Испытательные нагрузки прикладываются однократно и только в сторону увеличения. Такой способ нагружения может привести к тому, что на результат окажут влияние эффекты ползучести и гистерезиса, но при этом уменьшается количество нагружений и разгрузений.

Показания после снятия эталонных гирь регистрируют, коррекцию показаний не производят; все грузы устанавливают ближе к центру грузоприёмного устройства, соблюдая принцип симметрии.

Зарегистрированные показания:

<b>НАГРУЗКА</b>				
<b>Эталонные гири <math>m_N</math></b>	<b>Замещающие грузы <math>L_{sub}</math></b>	<b>Суммарная испытательная нагрузка <math>L_T = m_N + L_{sub}</math></b>	<b>Показание <math>I</math></b>	<b>Погрешность показания <math>E</math></b>
0 кг	0 кг	0 кг	0 кг	0 кг
5 000 кг $\frac{1}{2} m_{ref}$	0 кг	5 000 кг	5 002 кг $I(\frac{1}{2} m_{ref})$	2 кг
10 000 кг $m_{ref}$	0 кг	10 000 кг	10 005 кг $I(m_{ref})$	5 кг
0 кг	10 000 кг $L_{sub1}$	10 000 кг	10 005 кг $I(L_{sub1})$	5 кг
5 000 кг $\frac{1}{2} m_{ref}$	10 000 кг $L_{sub1}$	15 000 кг	15 007 кг $I(\frac{1}{2} m_{ref} + L_{sub1})$	7 кг
10 000 кг $m_{ref}$	10 000 кг $L_{sub1}$	20 000 кг	20 008 кг $I(m_{ref} + L_{sub1})$	8 кг
0 кг	20 010 кг $L_{sub1} + L_{sub2}$	20 010 кг	20 018 кг $I(L_{sub1} + L_{sub2})$	8 кг
5 000 кг $\frac{1}{2} m_{ref}$	20 010 кг $L_{sub1} + L_{sub2}$	25 010 кг	25 020 кг $I(\frac{1}{2} m_{ref} + L_{sub1} + L_{sub2})$	10 кг
10 000 кг $m_{ref}$	20 010 кг $L_{sub1} + L_{sub2}$	30 010 кг	30 022 кг $I(m_{ref} + L_{sub1} + L_{sub2})$	12 кг
0 кг	0 кг	0 кг	4 кг	4 кг $E_0$

Плотность воздуха  $\rho_{as}$  во время юстировки и плотность воздуха  $\rho_{aCal}$  во время калибровки неизвестны.

Значения погрешности показаний не корректируются на выталкивающую силу воздуха. Используя эталонные гири класса точности М, относительную неопределенность выталкивающей силы вычисляют согласно (7.1.2-5с), и она равна  $7,2 \times 10^{-6}$  (так как весы юстируют непосредственно перед калибровкой). Неопределенность достаточно мала; более тщательный расчет этой составляющей неопределенности, исходя из фактических данных для плотности воздуха, является излишним (неопределенность выталкивающей силы меньше цены деления шкалы в режиме высокого разрешения  $\tau$  и пренебрежимо мала).

Предел плотности материала гирь класса точности  $M_1$  устанавливается равным  $\rho \geq 4\,400 \text{ кг м}^{-3}$  [4]. Этот предел можно рассматривать также для замещающих грузов. В этом случае относительная неопределенность выталкивающей силы, действующей на замещающие грузы, одинакова с указанной выше (для эталонных гирь) и достаточно мала; более тщательный расчет этой составляющей неопределенности исходя из фактических данных является излишним.

Примечание - При оценке плотности замещающих грузов необходимо учитывать любые внутренние полости, не открытые для атмосферы (например, как в баках, резервуарах). Необходимо оценивать плотность такого груза как единого целого, понимая, что эта плотность не может быть такой же, как плотность материала, из которого изготовлен груз.

### **Н3.3/В Погрешности и соответствующие неопределенности (бюджет соответствующих неопределенностей)**

Условия:

- Неопределенность погрешности при нуле включает только неопределенность показания ненагруженных весов (цена деления шкалы  $d = 1 \text{ кг}$ ) и повторяемость  $s$ . Неопределенность показания нагруженных весов при нулевой нагрузке не учитывается.
- Нецентральное нагружение учитывается при калибровке в соответствии с (7.1.1-10), потому что его нельзя исключить во время испытания по определению погрешности показания. Если оба испытания на нецентральное нагружение были проведены, следует использовать результат с большим относительным значением.
- Погрешность показания получают, используя номинальное значение массы гири в качестве опорного значения, поэтому максимальные допускаемые погрешности испытательных гирь учитываются при определении вклада в неопределенность, обусловленного эталонными гирями:  $u(\delta m_c)$  вычисляются как  $u(\delta m_c) = T_{ol} / \sqrt{3}$ , следуя формуле (7.1.2-3). Для каждой эталонной гири 1000 кг  $u(\delta m_c) = 50 / \sqrt{3} \approx 29 \text{ г}$ .
- При отсутствии информации об изменении массы гирь (дрейфе) значение  $D$  выбирают равным  $m_{re}$ . Для каждой эталонной гири 1000 кг  $m_{re} = \pm 50 \text{ г}$  и  $u(m_c) = 50 / \sqrt{3} \approx 29 \text{ г}$ , следуя формуле (7.1.2-11).
- Весы юстируются непосредственно перед калибровкой. Применяется стандартная процедура, информация о плотности воздуха отсутствует. Поэтому для вычисления неопределенности, обусловленной выталкивающей силой воздуха, применяется формула (7.1.2-5с).
- Во время калибровки нагрузка остается на грузоприёмной площадке в течение значительного периода времени. На основании утверждения в главе 7.1.1 о возможной необходимости учитывать добавочные вклады в неопределенность, влияния ползучести и гистерезиса на результаты рассчитываются по формуле (7.4.4-7) и включаются в неопределенность показания.
- Гири акклиматизируются до температуры окружающей среды с остаточной разностью температур 5 К. Эффекты конвекции не оказывают влияния (обычно их учитывают для гирь класса точности  $F_1$  и более точных).
- Степени свободы для расчета коэффициента охвата  $k$  получены согласно приложению В3 и таблице G.2 из [1]. В рассматриваемом примере влияние неопределенности результатов испытания на повторяемость  $s$  6 измерениями значительное.
- Сведения об относительной неопределенности  $U(E)_{rel} = u(E)/m_{ref}$  не обязательны, но помогают продемонстрировать характеристики неопределенностей.

Величина или влияние	Нагрузка, показание, погрешность и неопределенность, кг					Формула
Суммарная испытательная нагрузка $L_T = m_N + L_{subj}$ , кг	0	5 000	10 000 $m_{ref}$	10 000 <sup>*)</sup> $L_{sub1}$	15 000	
Показание $I$ , кг	0	5 002	10 005 $I(m_{ref})$	10 005 $I(L_{sub1})$	15 007	
Погрешность показания $E$ , кг	0	2	5	5 $\Delta I_1 = 0$	7	7.1-1
Повторяемость $u(\delta I_{rep})$ , кг	2,94					7.1.1-5
Разрешение $u(\delta I_{dig0})$ , кг	0,29					7.1.1-2a
Разрешение $u(\delta I_{digL})$ , кг	0,00	0,29				7.1.1-3a
Нецентральное нагружение $u(\delta I_{ecc})$ , кг	0,00	0,69	1,39	1,39	2,08	7.1.1-10
Ползучесть / гистерезис $u_{rel}(\delta I_{time})$ , кг	0,00	0,39	0,77	0,77	1,16	7.4.4-7
Неопределенность показания $u(I)$ , кг	2,96	3,08	3,37	3,37	3,81	7.1.1-12
<b>Эталонные гири <math>m_N</math>, кг</b>	<b>0</b>	<b>5 000</b>	<b>10 000</b>	<b>0</b>	<b>5 000</b>	
Неопределенность $u(\delta m_c)$ , кг	0,00	0,14	0,29	0,00	0,14	7.1.2-3
Дрейф $u(\delta m_D)$ , кг	0,00	0,14	0,29	0,00	0,14	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , кг	0,00	0,04	0,07	0,00	0,04	7.1.2-5c
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , кг	Не имеет значения в этом случае					7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , кг	0,00	0,21	0,42	0,00	0,21	7.1.2-14
<b>Замещающие нагрузки <math>L_{subj}</math>, кг</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	10 000 $L_{sub1} =$ $m_{ref} + \Delta I_1$	<b>10 000</b> $L_{sub1}$	
Неопределенность $u(L_{subj})$ , кг	0,00	0,00	0,00	4,78	4,78	7.1.2-15b
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , кг	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07	7.1.2-4
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , кг	Не имеет значения в этом случае					
Неопределенность замещающих нагрузок $u(L_{subj})$ , кг	0,00	0,00	0,00	4,78	4,78	7.1.2-15b 7.1.2-4
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , кг	2,96	3,08	3,39	-----	6,12	7.1.3-1c
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	5	6	8	-----	93	B3-1
<b><math>k(95,45 \%)</math></b>	<b>2,65</b>	<b>2,52</b>	<b>2,32</b>	-----	<b>2,03</b>	[1]
<b><math>U(E) = ku(E)</math>, кг</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	-----	<b>12</b>	7.3-1
$U_{rel}(E) \%$	----	0,16	0,08	-----	0,08	

(продолжение)

Величина или влияние	Нагрузка, показание, погрешность и неопределенность, кг				Формула
<b>Суммарная испытательная нагрузка</b> $L_T = m_N + L_{subj}$ , кг	<b>20 000</b> $m_{ref2} + L_{sub2}$	20 010 <sup>*</sup>	<b>25 010</b>	<b>30 010</b>	
<b>Показание <math>I</math>, кг</b>	<b>20 008</b> $I(m_{ref2} + L_{sub2})$	20 018 $I(L_{sub1} + L_{sub2})$	<b>25 020</b>	<b>30 022</b>	
<b>Погрешность показания <math>E</math>, кг</b>	<b>8</b>	8 $\Delta/2=10$	<b>10</b>	<b>12</b>	7.1-1
Повторяемость $u(\delta I_{rep})$ , кг	2,94				7.1.1-5
Разрешение $u(\delta I_{dig0})$ , кг	0,29				7.1.1-2a
Разрешение $u(\delta I_{digL})$ , кг	0,29				7.1.1-3a
Нецентральное нагружение $u(\delta I_{ecc})$ , кг	2,77	2,77	3,47	4,16	7.1.1-10
Ползучесть/ гистерезис $u_{rel}(\delta I_{time})$ , кг	1,54	1,54	1,93	2,31	7.4.4-7
Неопределенность показания $u(I)$ , кг	4,34	4,34	4,95	5,61	7.1.1-12
<b>Эталонные гири <math>m_N</math>, кг</b>	<b>10 000</b>	0	<b>5 000</b>	<b>10 000</b>	
Неопределенность $u(\delta m_c)$ , кг	0,29	0,00	0,14	0,29	7.1.2-3
Дрейф $u(\delta m_D)$ , кг	0,29	0,00	0,14	0,29	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , кг	0,07	0,00	0,04	0,07	7.1.2-5c
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , кг	Не имеет значения в этом случае				7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , кг	0,42	0,00	0,21	0,42	7.1.2-14
<b>Замещающие нагрузки</b> $L_{subj}$ , кг	<b>10 000</b> $L_{sub1}$	20 010 $L_{sub1} + L_{sub2} = 2$ $m_{ref1} + \Delta/2$	<b>20 010</b> $L_{sub1} + L_{sub2}$	<b>20 010</b> $L_{sub1} + L_{sub2}$	
Неопределенность $u(L_{subj})$ , кг	4,78	7,80	7,80	7,80	7.1.2-15a
Выталкивающая сила $u(\delta m_B)$ , кг	0,07	0,14	0,14	0,14	7.1.2-5c
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , кг	Не имеет значения в этом случае				7.1.2-13
Неопределенность замещающих нагрузок $u(L_{subj})$ , кг	4,78	7,80	7,80	7,80	7.1.2-15a 7.1.2-4
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , кг	6,47	-----	9,24	9,62	7.1.3-1a
$\nu_{eff}$ (степени свободы)	117	-----	486	569	B3-1
<b><math>k(95,45\%)</math></b>	<b>2,02</b>	-----	<b>2,01</b>	<b>2,00</b>	[1]
<b><math>U(E) = ku(E)</math>, кг</b>	<b>13</b>	-----	<b>19</b>	<b>19</b>	7.3-1
$U_{rel}(E) \%$	0,06	-----	0,07	0,06	

\* ) Значения, записанные в этой колонке (для того же значения суммарной испытательной нагрузки, как в предыдущей колонке, но после замены эталонных гирь замещающими грузами) не приводятся в калибровочном сертификате, но используются в следующих

колонках. Как напоминание об этом, в этой колонке не используется жирный шрифт и последние 5 ячеек пустые.

Допускается указывать в сертификате только наибольшее значение расширенной неопределенности для всех погрешностей, содержащихся в отчете:  $U(E) = 19$  кг, исходя из  $k = 2$  и вероятности охвата не меньше 95 %.

В сертификате должно быть приведено уведомление для пользователя о том, что указанная в нем расширенная неопределенность применима только когда учитывается погрешность ( $E$ ).

#### **Н3.4/В Неопределенность результата взвешивания**

Как сказано в 7.4, следующую информацию можно получить силами калибровочной лаборатории или пользователю весов. Эти результаты не следует представлять в виде части сертификата калибровки, за исключением аппроксимированной погрешности показания и неопределенности аппроксимированной погрешности, которые могут составлять его часть. Обычно информацию о неопределенности результата взвешивания представляют в виде приложения к сертификату калибровки или иначе, если ее содержание ясно отделено от результатов калибровки.

Обычные условия использования весов, как принято, или как указано пользователем, могут включать:

- Изменение температуры  $\Delta T = 40$  К.
- Нагрузки не всегда накладываются точно в центр.
- Функция тарирования используется.
- Время нагружения: нормальное, т.е. меньше, чем при калибровке.
- Отсчёты снимаются при нормальном разрешении,  $d = 10$  кг.

За изменение юстировки вследствие дрейфа принимается погрешность показания 15 кг на нагрузке 30 000 кг. Это предел допускаемой погрешности *тре* при первичной поверке, что подтверждает, что весы находятся в удовлетворительном состоянии после ремонта и технического обслуживания.

Обозначения  $R$  и  $W$  вводятся для того, чтобы различать показания весов во время взвешиваний и во время калибровки.

- $R$ : показание (отсчёт) при взвешивании нагрузки на калиброванных весах, получаемый после калибровки.
- $W$ : Результат взвешивания

Следует обратить внимание на то, что в следующей таблице отсчёт  $R$  и все результаты приведены в килограммах.

Величина или влияние	Отсчет, результат взвешивания и погрешность, кг Неопределенность в граммах или в виде относительного значения	Формула
Погрешность показания $E_{\text{appr}}(R)$ для показаний брутто и нетто: Аппроксимация прямой линией через нуль	$E_{\text{appr}}(R) = 4,280 \times 10^4 R$	C2.2-16
<b>Неопределенность аппроксимированной погрешности показания</b>		
Стандартная неопределенность погрешности $u(E_{\text{appr}})$	$u^2(E_{\text{appr}}) = 1,832 \times 10^7 u^2(R) + 2,204 \times 10^8 R^2$	C2.2-16d
Стандартная неопределенность погрешности, пренебрегая смещением	$u(E_{\text{appr}}) = 1,485 \times 10^4 R$	
<b>Неопределенности, обусловленные воздействием окружающей среды</b>		
Температурный дрейф чувствительности	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{temp}}) = \frac{2 \times 10^{-6} \times 40}{\sqrt{12}} = 2,309 \times 10^6$	7.4.3-1
Выталкивающая сила	Не имеет значения в этом случае.	7.4.3-2
Изменение юстировки вследствие дрейфа (изменение $E(\text{Max})$ через 1 год равно 15 кг)	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{adj}}) = 15 / (30000\sqrt{3}) = 2,887 \times 10^4$	7.4.3-6
<b>Неопределенности, обусловленные функционированием весов</b>		
Работа устройства тарирования	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{tare}}) = 1,154 \times 10^{-4}$	7.4.4-5
Ползучесть и гистерезис (время под нагрузкой)	Не имеет значения в этом случае (непродолжительное время под нагрузкой).	7.4.4-7
Нецентральное нагружение	$u_{\text{rel}}(\delta R_{\text{ecc}}) = 2,770 \times 10^{-4}$	7.4.4-10
<b>Неопределенность результата взвешивания</b>		
Стандартная неопределенность, поправки для внесения в показания $E_{\text{appr}}$	$u(W) = \sqrt{(25,333\text{kg}^2 + 1,960 \times 10^7 R^2)}$	7.4.5-1a 7.4.5-1b
Расширенная неопределенность, поправки для внесения в показания $E_{\text{appr}}$	$U(W) = 2\sqrt{(25,333\text{kg}^2 + 1,960 \times 10^7 R^2)}$	7.5.1-2b
Упрощение до первого порядка	$U(W) \approx 10,067 \text{ kg} + 6,113 \times 10^4 R$	7.5.2-3d
<b>Общая неопределенность результата взвешивания без коррекции показаний</b>		
$U_{\text{gl}}(W) = U(W) +  E_{\text{appr}}(R) $	$U_{\text{gl}}(W) \approx 10 \text{ kg} + 1,04 \times 10^5 R$	7.5.2-3a

Проверка условия в отношении наблюдаемого значения кси-квадрат, следуя (C2.2-2a), дала положительный результат. Первая линейная регрессия с учетом весовых коэффициентов  $p_j$ , уравнение (C2.2-18b).

Исходя из общей неопределенности минимальное значение нагрузки для весов можно получить согласно приложению G.



Пример:

Заданное значение допуска при взвешивании (относительная погрешность): 1 %

Коэффициент запаса: 1

Минимальная нагрузка согласно формуле G-9 с использованием вышеприведенного уравнения для общей неопределённости составляет 1123 кг; т.е. пользователю необходимо взвешивать количество материала нетто большее, чем 1123 кг, чтобы получить относительную (общую) неопределённость измерений исходя из относительной погрешности 1 % и коэффициента запаса 1 (равноценно относительной погрешности взвешивания 1 %).

Если учитывается коэффициент запаса, его можно выбрать равным 2. Из-за большого значения общей неопределённости более высокий коэффициент запаса не может быть реализован.

Минимальная нагрузка согласно формуле (G-9) с использованием вышеприведённого уравнения для общей неопределённости составляет 2542 кг; т.е. пользователю необходимо взвешивать количество материала нетто, которое превышает 2542 кг, для достижения относительной (общей) неопределённости измерений при относительной погрешности взвешивания 1 % и коэффициенте запаса 2 (равноценно относительной погрешности взвешивания 0,50 %).

### **Н3.5 Дополнительные сведения к примеру: Подробные сведения о процедуре замещения (4.3.3)**

Настоятельно рекомендуется, чтобы показание при замещающей нагрузке – насколько это возможно – совпадало с показанием весов при нагружении эталонными гирями (как демонстрировалось для показания 10 005 кг для второй ситуации).

Для получения такого же показания (10 005 кг) масса замещающих грузов может быть изменена добавлением или снятием с грузоприёмного устройства мелких металлических деталей. Значение массы для первого замещающего груза равно  $L_{\text{sub1}} = m_N = 10\,000$  кг.

Примечание: Можно использовать оба обозначения: как  $m_N$  так и  $m_{\text{ref}}$  ( $m_{\text{ref}} = m_N$ ).

В той же таблице представлена ситуация, когда не удалось подогнать массу замещающего груза для получения показания 20 008 кг. Значение массы замещающих грузов при втором замещении равно:  $L_{\text{sub2}} = m_N + I(L_{\text{sub2}}) - I(m_N) =$

10 000 кг + 20 018 кг – 20 008 кг = 10 010 кг, а суммарная масса замещающих грузов  $L_{\text{sub}}$  равна:  $L_{\text{sub}} = L_{\text{sub1}} + L_{\text{sub2}} = 20\,010$  кг.

## **Н4 Определение функции аппроксимации погрешности**

### **Предварительное замечание:**

В этом примере показана основная процедура определения коэффициентов калибровочной функции и оценки соответствующих неопределённостей согласно описанию в приложении С.

**Н4.1 Условия, при которых выполняется калибровка**

Прибор	Электронные весы
Максимальная нагрузка $M_{\max}$ / Цена деления шкалы $d$	400 г / 0,000 1 г
Юстировка исполнителем калибровки	Юстировка непосредственно перед калибровкой (встроенные юстировочные гири).
Условия в помещении	Температура 23 °С Плотность воздуха $\rho_{\text{aCal}}=1,090 \text{ кг/м}^3$ , $u(\rho_{\text{aCal}})=0,004 \text{ кг/м}^3$
Испытательные нагрузки/ акклиматизация	Эталонные гири, класс точности $E_2$ , акклиматизированы к температуре помещения: $\delta m_{\text{conv}}=0$ ; $u(\delta m_{\text{conv}})=0$ .

**Н4.2 Результаты испытаний и калибровки**

Испытание на повторяемость выполнено с нагрузкой 200 г	$s(l) = 0,052 \text{ мг}$	7.1.1-5
Испытание на нецентральное нагружение выполнено с нагрузкой 200 г	$ \Delta I_{\text{eccil}} _{\max} = 0,10 \text{ мг}$ $u_{\text{rel}}(I_{\text{ecc}}) = 0,000 144$	7.1.1-11
Методика калибровки	Испытательные нагрузки прикладывались пошагово с увеличением нагрузки и разгрузением перед каждым шагом. Число точек нагружения $n = 9$ . Число циклов $N = 3$ .	
Неопределенность, обусловленная повторяемостью	$u(\delta I_{\text{rep}}) = s(f) / \sqrt{N} = 0,030 \text{ мг}$	7.1.1-6

**Н4.3 Погрешности и соответствующие неопределенности (бюджет соответствующих неопределенностей)**

Условия:

- Неопределенность погрешности при нуле включает только неопределенность показания ненагруженных весов и повторяемость  $s$ .
- Нецентральное нагружение учитывается при калибровке в соответствии с (7.1.1- 10).
- Погрешность показания получают, используя калибровочное значение в качестве опорного значения, вклад в неопределенность, обусловленный опорным значением массы, приводят в сертификате калибровки  $u(\delta m_c) = U/2$ .
- Кроме того, также известна плотность воздуха во время калибровки  $\rho_{\text{a1}}$ .
- Дрейф массы гирь оценивают по результатам проведенных калибровок гирь.

Результаты:

$m_N$	$m_c, \text{ г}$	$U(\delta m_c), \text{ мг}$	$u(\delta m_D), \text{ мг}$
50 г	50,000 006	0,030	0,005
100 г	99,999 987	0,050	0,010

200 г	200,000 013	0,090	0,015
200 г*	199,999 997	0,090	0,015

$$\rho_{\text{cal}}=8000 \text{ кг/м}^3, u(\rho_{\text{cal}})=60 \text{ кг/м}^3$$

Калибровку выполняют при плотности воздуха  $\rho_{\text{a1}}=1,045 \text{ кг/м}^3$ .

Из уравнения (4.2.4-4):  $\delta m_{\text{B}} = 0$ , поэтому  $m_{\text{ref}} = m_{\text{c}}$ .

- Гири акклиматизированы до температуры окружающей среды, изменение температуры во время калибровки весов незначительно.
- Весы юстируют непосредственно перед калибровкой, и во время калибровки определяют плотность воздуха.
- Неопределенность выталкивающей силы воздуха определяют как:

$$u^2(\delta m_{\text{B}}) = m_{\text{N}}^2 u_{\text{rel}}^2(\delta m_{\text{B}})$$

по (7.1.2-5b).

Следует обратить внимание на то, что в данном примере такой вклад отрицателен, по этой причине приведен вклад дисперсии вместо неопределенности.

### Нагрузки от 0 до 200 г

Величина или влияние	Нагрузка и показание, г					Формула
	Погрешность и неопределенность, мг					
Нагрузка $m_{\text{ref}}$ , г	0	50,000 006	99,999 987	149,999 993	200,000 013	
Показание $I$ , г (среднее значение)	0,000 000	50,000 067	100,000 100	150,000 233	200,000 267	
Погрешность показания $E$ , мг	0,000	0,061	0,113	0,240	0,254	7.1-1
Повторяемость $s$ , мг	0,030					7.1.1-6
Разрешение $u(\delta_{\text{dig0}})$ , мг	0,029					7.1.1-2a
Разрешение $u(\delta_{\text{digL}})$ , мг	0,000	0,029				7.1.1-3a
Нецентральное нагружение $u(\delta_{\text{ecc}})$ , мг	0,000	0,007	0,014	0,022	0,029	7.1.1-10
Неопределенность показания $u(I)$ , мг	0,042	0,051	0,053	0,055	0,058	7.1.1-12
Испытательные нагрузки $m_{\text{N}}$ , г	0	50	100	100 50	200	
Гири $u(\delta m_{\text{c}})$ , мг	0,000	0,015	0,025	0,040	0,045	7.1.2-3
Дрейф $u(\delta m_{\text{D}})$ /мг	0,000	0,005	0,010	0,015	0,015	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u^2(\delta m_{\text{B}})$ , мг <sup>2</sup>	0,000	$-4,83 \times 10^{-5}$	$-1,93 \times 10^{-4}$	$-4,35 \times 10^{-4}$	$-7,73 \times 10^{-4}$	7.1.2-5b
Конвекция $u(\delta m_{\text{conv}})$ , мг	Не имеет значения в этом случае.					7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{\text{ref}})$ , мг	0,000	0,014	0,023	0,037	0,038	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , мг	0,042	0,053	0,058	0,067	0,070	7.1.3-1a

## Нагрузки от 250 до 400 г

Величина или влияние	Нагрузка и показание, г				Формула
	Погрешность и неопределенность, мг				
Нагрузка $m_{ref}$ , г	250,000 019	300,000 000	350,000 006	400,000 010	
Показание $I$ , г (среднее значение)	250,000 100	300,000 200	350,000 267	400,000 400	
Погрешность показания $E$ , мг	0,081	0,200	0,261	0,390	7.1-1
Повторяемость $s$ , мг	0,030				7.1.1-6
Разрешение $u(\delta_{dig0})$ , мг	0,029				7.1.1-2а
Разрешение $u(\delta_{digL})$ , мг	0,000	0,029			7.1.1-3а
Нецентральное нагружение $u(\delta_{ecc})$ , мг	0,036	0,043	0,051	0,058	7.1.1-10
Неопределенность показания $u(I)$ , мг	0,062	0,067	0,072	0,077	7.1.1-12
Испытательные нагрузки $m_n$ , г	50 200	100 200	50 100 200	200 200 *	
Гири $u(\delta m_c)$ , мг	0,060	0,070	0,085	0,090	7.1.2-3
Дрейф $u(\delta m_D)$ , мг	0,020	0,025	0,030	0,030	7.1.2-11
Выталкивающая сила $u^2(\delta m_B)$ , мг <sup>2</sup>	$-1,21 \times 10^{-3}$	$-1,74 \times 10^{-3}$	$-2,37 \times 10^{-3}$	$-3,09 \times 10^{-3}$	7.1.2-5b
Конвекция $u(\delta m_{conv})$ , мг	Не имеет значения в этом случае.				7.1.2-13
Неопределенность опорного значения массы $u(m_{ref})$ , мг	0,053	0,062	0,076	0,077	7.1.2-14
Стандартная неопределенность погрешности $u(E)$ , мг	0,082	0,091	0,104	0,109	7.1.3-1а

По результатам калибровки определяется калибровочная функция  $E = f(I)$ .

В качестве примера рассматривается модель линейной регрессии  $E = a_1 I$ .

Коэффициенты  $a_1$  определяются уравнением С2.2-6.

В таблице Н4.1 показаны матрица  $X$  и вектор  $e$ . Соответствующая ковариационная матрица  $U(e)$  представлена в таблице Н4.4, которая получена с использованием (С2.2-3а).

В таблице Н4.2 показаны ковариационные матрицы  $U(m_{ref})$ , которые определяются выражением (С2.2-3b),

где вектор-столбец  $s_{m_{ref}}$  задается неопределенностями опорного значения массы  $u(m_{ref})$ .

В таблице Н4.3 показана ковариационная диагональная матрица  $U(I_{cal})$ , значения в ее диагонали представляют квадраты  $U(I_{cal})$ .

На первом шаге вклад в  $U(mod)$  не учитывается ( $s_m = 0$ ).

Поскольку число точек нагружения  $n = 9$  и число параметров  $n_{par} = 1$ , степени свободы равны  $v = n - n_{par} = 8$ .

**Таблица Н4.1: Матрица X и вектор e**

X, г	e/mg
0	0,000
50,000 067	0,061
100,000 100	0,213
150,000 233	0,274
200,000 267	0,254
250,000 100	0,181
300,000 200	0,200
350,000 267	0,261
400,000 400	0,390

**Таблица Н4.2: Ковариационная матрица  $U(m_{ref})$**

0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	$2,017 \times 10^{-4}$	$3,274 \times 10^{-4}$	$5,294 \times 10^{-4}$	$5,457 \times 10^{-4}$	$7,503 \times 10^{-4}$	$8,736 \times 10^{-4}$	$1,077 \times 10^{-3}$	$1,091 \times 10^{-3}$
0,000	$3,274 \times 10^{-4}$	$5,316 \times 10^{-4}$	$8,596 \times 10^{-4}$	$8,860 \times 10^{-4}$	$1,218 \times 10^{-3}$	$1,418 \times 10^{-3}$	$1,749 \times 10^{-3}$	$1,772 \times 10^{-3}$
0,000	$5,294 \times 10^{-44}$	$8,596 \times 10^{-4}$	$1,390 \times 10^{-3}$	$1,433 \times 10^{-3}$	$1,970 \times 10^{-3}$	$2,294 \times 10^{-3}$	$2,829 \times 10^{-3}$	$2,865 \times 10^{-3}$
0,000	$5,457 \times 10^{-4}$	$8,860 \times 10^{-4}$	$1,433 \times 10^{-3}$	$1,477 \times 10^{-3}$	$2,030 \times 10^{-3}$	$2,364 \times 10^{-3}$	$2,915 \times 10^{-3}$	$2,953 \times 10^{-3}$
0,000	$7,503 \times 10^{-4}$	$1,218 \times 10^{-3}$	$1,970 \times 10^{-3}$	$2,030 \times 10^{-3}$	$2,792 \times 10^{-3}$	$3,250 \times 10^{-3}$	$4,009 \times 10^{-3}$	$4,060 \times 10^{-3}$
0,000	$8,736 \times 10^{-4}$	$1,418 \times 10^{-3}$	$2,294 \times 10^{-3}$	$2,364 \times 10^{-3}$	$3,250 \times 10^{-3}$	$3,785 \times 10^{-3}$	$4,668 \times 10^{-3}$	$4,728 \times 10^{-3}$
0,000	$1,077 \times 10^{-4}$	$1,749 \times 10^{-3}$	$2,829 \times 10^{-3}$	$2,915 \times 10^{-3}$	$4,009 \times 10^{-3}$	$4,668 \times 10^{-3}$	$5,756 \times 10^{-3}$	$5,831 \times 10^{-3}$
0,000	$1,091 \times 10^{-4}$	$1,772 \times 10^{-3}$	$2,865 \times 10^{-3}$	$2,953 \times 10^{-3}$	$4,060 \times 10^{-3}$	$4,728 \times 10^{-3}$	$5,831 \times 10^{-3}$	$5,906 \times 10^{-3}$

**Таблица Н4.3: Ковариационная матрица  $U(k_{cal})$**

$1,735 \times 10^{-3}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	$2,620 \times 10^{-3}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	$2,776 \times 10^{-3}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	$3,037 \times 10^{-3}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	$3,401 \times 10^{-3}$	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	$3,870 \times 10^{-3}$	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	$4,443 \times 10^{-3}$	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	$5,120 \times 10^{-3}$	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	$5,901 \times 10^{-3}$

**Таблица Н4.4: Ковариационная матрица  $U(e)$  с  $s_m = 0$**

$1,735 \times 10^{-3}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	$2,822 \times 10^{-3}$	$3,274 \times 10^{-4}$	$5,294 \times 10^{-4}$	$5,457 \times 10^{-4}$	$7,503 \times 10^{-4}$	$8,736 \times 10^{-4}$	$1,077 \times 10^{-3}$	$1,091 \times 10^{-3}$
0,000	$3,274 \times 10^{-4}$	$3,308 \times 10^{-3}$	$8,596 \times 10^{-4}$	$8,860 \times 10^{-4}$	$1,218 \times 10^{-3}$	$1,418 \times 10^{-3}$	$1,749 \times 10^{-3}$	$1,772 \times 10^{-3}$
0,000	$5,294 \times 10^{-4}$	$8,596 \times 10^{-4}$	$4,427 \times 10^{-3}$	$1,433 \times 10^{-3}$	$1,970 \times 10^{-3}$	$2,294 \times 10^{-3}$	$2,829 \times 10^{-3}$	$2,865 \times 10^{-3}$
0,000	$5,457 \times 10^{-4}$	$8,860 \times 10^{-4}$	$1,433 \times 10^{-3}$	$4,878 \times 10^{-3}$	$2,030 \times 10^{-3}$	$2,364 \times 10^{-3}$	$2,915 \times 10^{-3}$	$2,953 \times 10^{-3}$
0,000	$7,503 \times 10^{-4}$	$1,218 \times 10^{-3}$	$1,970 \times 10^{-3}$	$2,030 \times 10^{-3}$	$6,662 \times 10^{-3}$	$3,250 \times 10^{-3}$	$4,009 \times 10^{-3}$	$4,060 \times 10^{-3}$
0,000	$8,736 \times 10^{-4}$	$1,418 \times 10^{-3}$	$2,294 \times 10^{-3}$	$2,364 \times 10^{-3}$	$3,250 \times 10^{-3}$	$8,228 \times 10^{-3}$	$4,668 \times 10^{-3}$	$4,728 \times 10^{-3}$
0,000	$1,077 \times 10^{-3}$	$1,749 \times 10^{-3}$	$2,829 \times 10^{-3}$	$2,915 \times 10^{-3}$	$4,009 \times 10^{-3}$	$4,668 \times 10^{-3}$	$1,088 \times 10^{-2}$	$5,831 \times 10^{-3}$
0,000	$1,091 \times 10^{-3}$	$1,772 \times 10^{-3}$	$2,865 \times 10^{-3}$	$2,953 \times 10^{-3}$	$4,060 \times 10^{-3}$	$4,728 \times 10^{-3}$	$5,831 \times 10^{-3}$	$1,181 \times 10^{-2}$

#### Н4.4 Результаты

Применяя (С2.2-6) и (С2.2-9), получаем

$$a_1 = 0,00083 \text{ мг/г}$$

Ковариационная матрица  $U(\hat{a})$  равна

$$\boxed{5,109 \times 10^{-8} \text{ (мг/г)}^2}$$

откуда

$$u(a_1) = 0,00023 \text{ мг/г}$$

Из (С2.2-8)

$$\chi_{obs}^2 = 12,5$$

Поскольку в этом случае испытание  $\chi^2$  (С2.2-2а) дает отрицательный результат, в неопределенность добавляется вклад  $s_m$ .

Учитывая  $s_m = 0,05$  мг, соответствующая ковариационная матрица  $U(mod)$  задается диагональной матрицей  $9 \times 9$  с  $s_m^2 = 0,0025$  в ее диагонали. В таблице Н4.5 показана соответствующая ковариационная матрица  $U(e)$ .

**Таблица Н4.5: Ковариационная матрица  $U(e)$ , оцененная с  $s_m = 0,05$  мг**

$4,235 \times 10^{-3}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	$5,322 \times 10^{-3}$	$3,274 \times 10^{-4}$	$5,294 \times 10^{-4}$	$5,457 \times 10^{-4}$	$7,503 \times 10^{-4}$	$8,736 \times 10^{-4}$	$1,077 \times 10^{-3}$	$1,091 \times 10^{-3}$
0,000	$3,274 \times 10^{-4}$	5,808E-03	$8,596 \times 10^{-4}$	$8,860 \times 10^{-4}$	$1,218 \times 10^{-3}$	$1,418 \times 10^{-3}$	$1,749 \times 10^{-3}$	$1,772 \times 10^{-3}$
0,000	$5,294 \times 10^{-4}$	$8,596 \times 10^{-4}$	$6,927 \times 10^{-3}$	$1,433 \times 10^{-3}$	$1,970 \times 10^{-3}$	$2,294 \times 10^{-3}$	$2,829 \times 10^{-3}$	$2,865 \times 10^{-3}$
0,000	$5,457 \times 10^{-4}$	$8,860 \times 10^{-4}$	$1,433 \times 10^{-3}$	$7,378 \times 10^{-3}$	$2,030 \times 10^{-3}$	$2,364 \times 10^{-3}$	$2,915 \times 10^{-3}$	$2,953 \times 10^{-3}$
0,000	$7,503 \times 10^{-4}$	$1,218 \times 10^{-3}$	$1,970 \times 10^{-3}$	$2,030 \times 10^{-3}$	$9,162 \times 10^{-3}$	$3,250 \times 10^{-3}$	$4,009 \times 10^{-3}$	$4,060 \times 10^{-3}$
0,000	$8,736 \times 10^{-4}$	$1,418 \times 10^{-3}$	$2,294 \times 10^{-3}$	$2,364 \times 10^{-3}$	$3,250 \times 10^{-3}$	$1,073 \times 10^{-2}$	$4,668 \times 10^{-3}$	$4,728 \times 10^{-3}$
0,000	$1,077 \times 10^{-3}$	$1,749 \times 10^{-3}$	$2,829 \times 10^{-3}$	$2,915 \times 10^{-3}$	$4,009 \times 10^{-3}$	$4,668 \times 10^{-3}$	$1,338 \times 10^{-2}$	$5,831 \times 10^{-3}$
0,000	$1,091 \times 10^{-3}$	$1,772 \times 10^{-3}$	$2,865 \times 10^{-3}$	$2,953 \times 10^{-3}$	$4,060 \times 10^{-3}$	$4,728 \times 10^{-3}$	$5,831 \times 10^{-3}$	$1,431 \times 10^{-2}$

РМГ \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г

Новые результаты

$$a_1 = 0,00084 \text{ мг/г}$$

Ковариационная матрица равна

$$5,637 \times 10^{-8} \text{ (мг/г)}^2$$

откуда

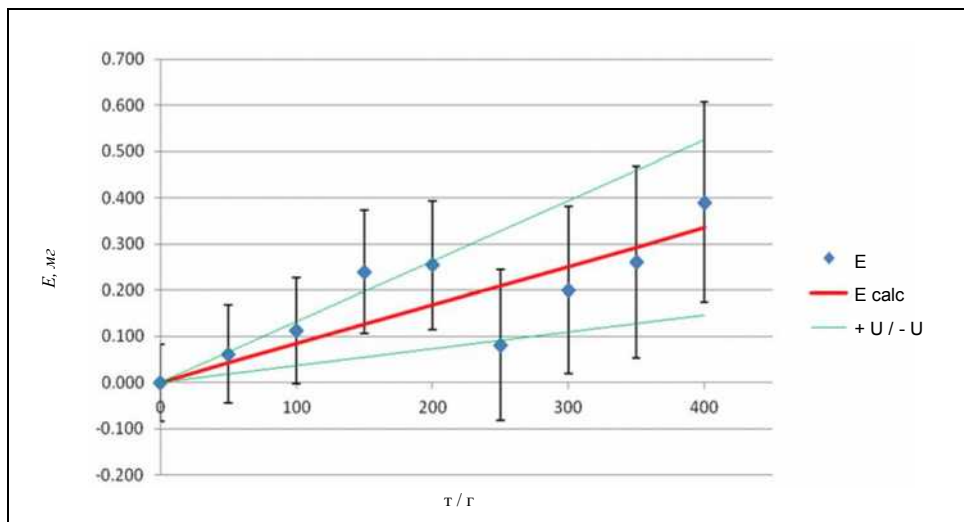
$$u(a_1) = 0,00024 \text{ мг/г}$$

и

$$\chi_{\text{obs}}^2 = 7,3$$

В таком случае  $\chi^2$  испытание (С2.2-2а) дает положительный результат. График результатов показан на рисунке Н4-1.

**Рисунок Н4-1: Измеренные погрешности показания E и функции линейной подгонки с соответствующими полосами неопределенности**



Соответствующие точкам калибровки остатки и неопределенности рассчитаны по (С2.2-7) и (С2.2-11) и показаны в таблице Н4.6.

**Таблица Н4.6: Рассчитанные погрешность, остатки и неопределенности, соответствующие точкам калибровки**

$l, \varepsilon$	$E, \text{ мг}$	$E_{\text{appr}}, \text{ мг}$	Остаток $v, \text{ мг}$	$u(E_{\text{appr}}), \text{ мг}$	$U(E_{\text{appr}}), \text{ мг}$	Проверка остатка (С2.2-2b)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	ДА
50,000 067	0,061	0,042	-0,019	0,012	0,024	ДА
100,000 200	0,113	0,084	-0,029	0,024	0,047	ДА
150,000 267	0,240	0,126	-0,114	0,036	0,071	НЕТ
200,000 267	0,254	0,168	-0,086	0,047	0,095	ДА
250,000 200	0,081	0,210	0,129	0,059	0,119	НЕТ
300,000 200	0,200	0,252	0,052	0,071	0,142	ДА
350,000 267	0,261	0,293	0,032	0,083	0,166	ДА
400,000 400	0,390	0,335	-0,055	0,095	0,190	ДА

Если используется приведенный в (С2.2-2b) альтернативный метод, который имеет больше ограничений, проверка остатка дает неудовлетворительные результаты в двух точках, как показано в таблице Н4.6.

Для того, чтобы получить лучшее соответствие условию (С2.2-2b), необходимо учесть вклад  $s_n = 0,25 \text{ мг}$ , и поэтому вычисляется новая матрица  $U(e)$ , приведенная в таблице Н4.7.

**Таблица Н4.7: Ковариационная матрица  $U(e)$  оцененная с  $s_n = 0,25 \text{ мг}$**

$6,423 \times 10^{-2}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	$6,532 \times 10^{-2}$	$3,274 \times 10^{-4}$	$5,294 \times 10^{-4}$	$5,457 \times 10^{-4}$	$7,503 \times 10^{-4}$	$8,736 \times 10^{-4}$	$1,077 \times 10^{-3}$	$1,091 \times 10^{-3}$
0,000	$3,274 \times 10^{-4}$	$6,581 \times 10^{-2}$	$8,596 \times 10^{-4}$	$8,860 \times 10^{-4}$	$1,218 \times 10^{-3}$	$1,418 \times 10^{-3}$	$1,749 \times 10^{-3}$	$1,772 \times 10^{-3}$
0,000	$5,294 \times 10^{-4}$	$8,596 \times 10^{-4}$	$6,693 \times 10^{-2}$	$1,433 \times 10^{-3}$	$1,970 \times 10^{-3}$	$2,294 \times 10^{-3}$	$2,829 \times 10^{-3}$	$2,865 \times 10^{-3}$
0,000	$5,457 \times 10^{-4}$	$8,860 \times 10^{-4}$	$1,433 \times 10^{-3}$	$6,738 \times 10^{-2}$	$2,030 \times 10^{-3}$	$2,364 \times 10^{-3}$	$2,915 \times 10^{-3}$	$2,953 \times 10^{-3}$
0,000	$7,503 \times 10^{-4}$	$1,218 \times 10^{-3}$	$1,970 \times 10^{-3}$	$2,030 \times 10^{-3}$	$6,916 \times 10^{-2}$	$3,250 \times 10^{-3}$	$4,009 \times 10^{-3}$	$4,060 \times 10^{-3}$
0,000	$8,736 \times 10^{-4}$	$1,418 \times 10^{-3}$	$2,294 \times 10^{-3}$	$2,364 \times 10^{-3}$	$3,250 \times 10^{-3}$	$7,073 \times 10^{-2}$	$4,668 \times 10^{-3}$	$4,728 \times 10^{-3}$
0,000	$1,077 \times 10^{-3}$	$1,749 \times 10^{-3}$	$2,829 \times 10^{-3}$	$2,915 \times 10^{-3}$	$4,009 \times 10^{-3}$	$4,668 \times 10^{-3}$	$7,338 \times 10^{-2}$	$5,831 \times 10^{-3}$
0,000	$1,091 \times 10^{-3}$	$1,772 \times 10^{-3}$	$2,865 \times 10^{-3}$	$2,953 \times 10^{-3}$	$4,060 \times 10^{-3}$	$4,728 \times 10^{-3}$	$5,831 \times 10^{-3}$	$7,431 \times 10^{-2}$

С таким приближением результатом является

$$a_1 = 0,00084 \text{ мг/г}$$

Ковариационная матрица

$$1,745 \times 10^{-7} \text{ (мг/г)}^2$$

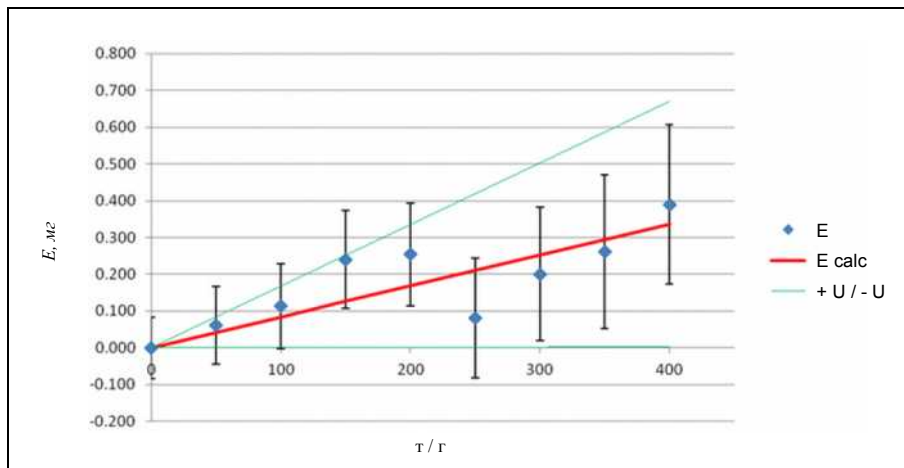
Следовательно

$$u(a_1) = 0,00042 \text{ мг/г}$$

График результатов показан на рисунке Н4-2. Рассчитанные остатки и неопределенности, соответствующие точкам калибровки, показаны в таблице Н4.8.



**Рисунок Н4-2: Измеренные погрешности показания E и функции линейной подгонки с соответствующими полосами неопределенности**



**Таблица Н4.8: Рассчитанные погрешность, остатки и неопределенности, соответствующие точкам калибровки**

$l, \text{г}$	$E, \text{мг}$	$E_{appr}, \text{мг}$	Остаток $v, \text{мг}$	$u(E_{appr}), \text{мг}$	$U(E_{appr}), \text{мг}$	Проверка остатка (С2.2-2b)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	ДА
50,000 067	0,061	0,042	-0,019	0,021	0,042	ДА
100,000 200	0,213	0,084	-0,029	0,042	0,084	ДА
150,000 267	0,274	0,126	-0,114	0,063	0,125	ДА
200,000 267	0,254	0,168	-0,086	0,084	0,167	ДА
250,000 200	0,181	0,210	0,129	0,104	0,209	ДА
300,000 200	0,200	0,252	0,052	0,125	0,251	ДА
350,000 267	0,261	0,294	0,033	0,146	0,292	ДА
400,000 400	0,390	0,336	-0,054	0,167	0,334	ДА

PMГ \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г