

БЮЛЕТИН

В ПОМОЩ НА СПЕЦИАЛИСТА

**Ръководство за калибриране
EURAMET/cg-18/Версия 3.0 (03/2011)**

Уважаеми специалисти в областта на измерванията,

Настоящото ръководство е едно от 20-те ръководства за калибриране, публикувани от EURAMET, Европейската организация на метрологичните институти в Европа. То е предназначено за хармонизиране на изискванията и за подпомагане прилагането на единен подход при акредитация на лаборатории и при изпълнение на процедурите за калибриране.

Ръководствата за калибриране на EURAMET представят добрата метрологична практика, но нямат задължителен характер.

Авторските права на ръководствата за калибриране са собственост на © EURAMET e.V. 2007.

Оригиналните документи на английски език са публикувани на Интернет страницата на EURAMET – www.euramet.org.

Преводите на български език са извършени от експерти на Българския институт по метрология в съответствие с *Общите условия за превод* на публикациите на EURAMET от 2 юни 2008 г.

Преведените публикации не са предназначени за търговски цели. Те могат да се разпространяват *само от БИМ и Съюза на метролозите в България* *безплатно* в печатна или електронна форма.

Преводът и издаването на ръководствата е осъществено със съдействието на Съюза на метролозите в България в помощ на специалистите от лаборатории, фирми и други организации, извършващи калибрирания и измервания.

август 2011 г.

Ръководство на БИМ
Ръководство на СМБ

Ръководство за
калибриране
EURAMET/cg-18
Версия 3.0 (03/2011)

Ръководство за калибриране на везни с неавтоматично действие

Цел

Този документ е създаден да повиши еквивалентността и взаимното признаване на резултатите от калибриране на лаборатории, които калибрират везни с неавтоматично действие.

Авторство и издаване

Този документ е разработен чрез EURAMET e.V., Техническият комитет „Маса и свързани величини“.

3-то издание, март 2011

2-ро издание септември 2010

1-во издание януари 2009

EURAMET e.V.

Bundesallee 100

D-38116 Braunschweig

Germany

e-mail: secretariat@euramet.org

phone: +49 531 592 1960

Официален език

Версията на английски език на тази публикация е окончателен вариант. Секретариатът на EURAMET може да даде разрешение за превод на този текст на други езици, при определени условия, които са на разположение при заявяване. При случай на несъответствие в терминологията на превода и терминологията на тази публикация, тя е водеща.

Авторски права

Авторските права на тази публикация (EURAMETcg-18, версия 3.0 – версия на английски език) се държи от © EURAMET e.V. 2010. Текстът не може да бъде копиран с цел продажба и не може да бъде копиран по друг начин освен в неговата цялост. Извлечения могат да се правят само с разрешение на Секретариата на EURAMET.

ISBN 978-3-942992-15-2

Препоръки за публикацията

Този документ дава насоки за измервателните практики в определени области на измерванията. Чрез прилагането на препоръките, представени в този документ лабораториите могат да представят резултати от калибриране, които са признати и приети в цяла Европа. Предприетите подходи не са задължителни и са ръководство за лабораториите за калибриране. Документът е създаден като средство за насърчаване на последователен подход за прилагане на добрата измервателна практика, водещ до и подкрепящ акредитацията на лабораториите.

Ръководството може да се използва от трети страни, например Националните органи по акредитация, оценителите наблюдаващи измерванията при партньорски проверки и т.н., само като препоръка. Ако ръководството трябва да се приеме като част от изискването на такава трета страна, то това трябва да бъде само за тази цел и Секретариатът на EURAMET трябва да бъде информирана за всяко такова приемане.

Няма направено изявление нито е дадена гаранция, че този документ или информацията съдържаща се в него е подходяща за всеки отделен случай. В никакъв случай EURAMET, авторите или някой друг, от участващите в разработването на документа носи отговорност за щети възникнали в резултат на използване на информацията съдържаща се в него. Страните, използващи ръководството трябва да освободят от отговорност EURAMET съответно.

Допълнителна информация

За допълнителна информация за тази публикация, контактувайте с контактното лице за Техническият комитет „Маса и свързани величини“ на EURAMET във вашата страна (виж www.euramet.org).

СЪДЪРЖАНИЕ

1. ВЪВЕДЕНИЕ	9
2. ОБХВАТ	9
3. ТЕРМИНИ И ОЗНАЧЕНИЯ	10
4. ОСНОВНИ АСПЕКТИ НА КАЛИБРИРАНЕТО	10
4.1. Елементи на калибрирането	10
4.1.1. Обхват на калибриране	10
4.1.2. Място на калибриране	10
4.1.3. Предварителни изисквания и подготовка	11
4.2. Изпитвателен товар и показание	11
4.2.1. Основна зависимост между товара и показанието	11
4.2.2. Ефект от изтласкващата сила на въздуха	12
4.2.3. Ефект от конвекцията	13
4.2.4. Изходна стойност на масата	14
4.3. Изпитвателни товари	15
4.3.1. Еталонни теглилки	15
4.3.2. Други изпитвателни товари	16
4.3.3. Използване на заместващи товари	16
4.4. Показания	17
4.4.1. Основни положения	17
4.4.2. Разделителна способност	17
5. ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕТОДИ	18
5.1. Изпитване за повторяемост	18
5.2. Изпитване за грешка на показанието	19
5.3. Изпитване на ексцентрично натоварване	20
5.4. Спомагателни измервания	21
6. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗМЕРВАНИЯТА	21
6.1. Повторяемост	21
6.2. Грешки на показанието	22
6.2.1. Дискретни стойности	22
6.2.2. Математическо изразяване на измервателния обхват	22
6.3. Ефект от ексцентрично натоварване	23

7. НЕОПРЕДЕЛЕНОСТ НА ИЗМЕРВАНИЯТА	23
7.1. Стандартна неопределеност на дискретни стойности	23
7.1.1. Стандартна неопределеност на показанието	24
7.1.2. Стандартна неопределеност на изходната (реферетната) маса	26
7.1.3. Стандартна неопределеност на грешката	30
7.2. Стандартна неопределеност на характеристика	30
7.3. Разширена неопределеност при калибриране	31
7.4. Стандартна неопределеност на резултата от измерване	31
7.4.1. Стандартна неопределеност на резултата от отчитане при използване	32
7.4.2. Неопределеност на грешката от отчитане	33
7.4.3. Неопределеност от влиянието на заобикалящата среда	34
7.4.4. Неопределеност от работата на везната	35
7.4.5. Стандартна неопределеност на резултата от измерване	37
7.5. Разширена неопределеност на резултата от измерване	37
7.5.1. Грешки, отчетени чрез корекция	37
7.5.2. Грешки, включени в неопределеността	38
7.5.3. Други начини за окачествяване на везната	39
8. СВИДЕТЕЛСТВО ЗА КАЛИБРИРАНЕ	39
8.1. Основна информация	39
8.2. Информация за процедурата за калибриране	39
8.3. Резултатите от измерване	40
8.4. Допълнителна информация	40
9. СТОЙНОСТ НА МАСАТА ИЛИ КОНВЕНЦИОНАЛНА СТОЙНОСТ НА МАСАТА	41
9.1. Стойност на масата	41
9.2. Конвенционална стойност на масата	41
10. БИБЛИОГРАФИЯ	41

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А: ПРЕПОРЪКА ЗА ОЦЕНКА НА ПЛЪТНОСТТА НА ВЪЗДУХА

A1	Формули за плътност на въздуха	43
A1.1	Опростена версия на формулата на СИРМ, експоненциална версия	43
A1.2	Опростена версия на формулата на СИРМ, стандартна версия	43
A1.3	Формула на Бойл-Мариот	44
A1.4	Формула на грешките	44
A1.5	Средна плътност на въздуха	44
A2	Изменения на параметрите съставлящи на плътността на въздуха	45
A2.1	Атмосферно налягане:	45
A2.2	Температура	45
A2.3	Относителна влажност	45
A3	Неопределеност на плътността на въздуха	46

ПРИЛОЖЕНИЕ В: КОЕФИЦИЕНТ НА ПОКРИТИЕ К ЗА РАЗШИРЕНАТА НЕОПРЕДЕЛЕНОСТ НА ИЗМЕРВАНИЯТА

B1	Цел	48
B2.	Основни изисквания за прилагане на $k = 2$	48
B3	Определяне на k в други случаи	48
B3.1	Разпределение прието за нормално	48
B3.2	Разпределение, което не е нормално	48

ПРИЛОЖЕНИЕ С: ФОРМУЛИ ЗА ОПИСВАНЕ НА ГРЕШКИТЕ, СВЪРЗАНИ С ПОКАЗАНИЯТА

C1	Цел	50
C2	Функционални зависимости	50
C2.1	Интерполация	50
C2.2	Апроксимация	50
C3	Членове, които не са свързани с резултатите от отчитане	54
C3.1	Средна грешка	54
C3.2	Максимална грешка	54

ПРИЛОЖЕНИЕ D: СИМВОЛИ И ТЕРМИНИ

D1	Символи с общо приложение	55
D2	Важни термини и изрази	57
D2.1	Изпитване при калибриране и резултати от измерване	57
D2.2	Резултати от измерване получени от потребителя на везната	58

ПРИЛОЖЕНИЕ Е: ИНФОРМАЦИЯ ЗА ИЗТЛАСКВАЩАТА СИЛА	
E1 Плътност на еталонните теглилки	59
E2 Общи примери за изтласкващата сила на въздуха	59
E3 Изтласкваща сила на въздуха за теглилки съответстващи на R111	60
ПРИЛОЖЕНИЕ F: ВЛИЯНИЕ НА КОНВЕКЦИЯТА	
F1 Връзка между температура и време	62
F2 Отклонения на привидната маса	63
ПРИЛОЖЕНИЕ G: ПРИМЕРИ	
G1 Везна с обхват 200 g, скално деление 0,1 mg	66
G1.1 Специфични условия при калибриране	66
G1.2 Изпитване и резултати	66
G1.3 Грешки и присъединени неопределености	67
G1.4 Неопределеност на показанието при използване	68
G2 Везна с максимален товар 60 kg, многоинтервална	69
G2.1 Специфични условия при калибриране	69
G2.2 Изпитване и резултати	70
G2.3 Грешки и присъединени неопределености	70
G2.4 Неопределеност на показанието при използване	72
G2.5 Допълнителна информация към примера	74
G3 Везна с максимален товар 30 t, скално деление 10 kg	75
G3.1 Специфични условия при калибриране	75
G3.2 Изпитване и резултати	76
G3.3 Грешки и свързаните с тях неопределености	76
G3.4 Неопределеност на показанието при използване	78
G3.5 Допълнителна информация към примера	80

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Везните с неавтоматично действие имат голямо приложение при определяне на големината на товара в единици за маса. Докато за някои области на използване определени в законодателството те са обект на метрологичен контрол – т.е. одобряване на тип, проверка и т.н., то за други, нараства необходимостта от потвърждаване на метрологичното им качество чрез калибриране, когато това се изисква от стандартите ISO 9001 или EN ISO/IEC 17025.

2. ОБХВАТ

Този документ съдържа препоръки за статичното калибриране на везни с неавтоматично действие с показващо устройство, (наричани по-нататък “везни”) по отношение на:

1. измерванията, които трябва да бъдат направени;
2. пресмятане на резултатите от измерване;
3. определяне на неопределеността на измерването;
4. съдържание на свидетелствата за калибриране.

Обектът на калибриране е показанието, получено в резултат на натоварване на везната. Резултатите се изразяват в единици за маса. Локалното земно ускорение, температурата и плътността на товара и температурата и плътността на въздуха въздействат върху стойността на показанието за даден товар.

Неопределеността на измерването зависи значително не само от оборудването на лабораторията за калибриране, но и от свойствата на везната, която се калибрира и може да бъде намалена до известна степен чрез увеличаване на броя на измерванията при калибриране. Това ръководство не определя долна и горна граници на неопределеността на измерването.

Лабораторията за калибриране и клиентът трябва да постигнат споразумение относно очакваната стойност на неопределеността на измерването, така че тя да е подходяща по отношение на използването на везната и приемлива по-отношение на цената за калибриране.

Макар че няма за цел да представи една или повече унифицирани процедури, използването на които да бъде задължително, този документ дава основни насоки за създаване на процедури за калибриране, резултатите от които могат да бъдат приети за еквивалентни от организациите членки на EA. SIM.

Всяка такава процедура трябва да включва определяне на грешката на показанието и присъединената ѝ неопределеност за определен брой изпитвателни товари. Процедурата на изпитване трябва да се доближава колкото е възможно по-близко до измервателните операции, извършвани от потребителя при рутинната му работа – например измерване на дискретни товари, непрекъснато измерване при натоварване и/или разтоварване, използване на функцията за уравнивяване на тарата.

Процедурата може също така да включва правила, въз основа на получените резултати, за препоръките, които да се дадат на ползвателя на везната по отношение на грешките от измерване и присъединената им неопределеност, показанията, които могат да се получат при нормални условия на използване на везната и/или правила по отношение на преобразуване на показанието, получено за измерения обект в стойности на маса или конвенционални стойности на маса за този обект.

Информацията, представена в това ръководство, е предназначена да обслужва и трябва да бъде съблюдавана от:

1. органи за акредитиране на лаборатории за калибриране на везни;
2. лаборатории, акредитирани за калибриране на везни с неавтоматично действие;
3. центрове за изпитване, лаборатории или производители, които използват калибрирани везни с неавтоматично действие за измервания, свързани с качество на продукти, обект на изисквания на системи за управление (от серията ISO 9000, ISO 10012, ISO/IEC 17025).

Общ списък на основните термини и уравненията в този документ е даден в Приложение D2.

3. ТЕРМИНИ И ОЗНАЧЕНИЯ

Терминологията, използвана в този документ, се основава предимно на съществуващите документи:

- JCGM 100 [1] за термините, свързани с определяне на резултатите и неопределеността на измерване;
- OIML R111 [3] за термините, свързани с еталонните теглилки;
- OIML R76 [2] (или EN 45501 [3]) за термините, свързани с функционирането, конструкцията и метрологичните характеристики на везните с неавтоматично действие;
- VIM [8] за термините, свързани с калибрирането.

За термини, които не са обяснени в този документ, когато се появят за първи път в него ще бъдат посочени съответните източници.

Означенията, чието значение не е очевидно, ще бъдат обяснени, където се появят за първи път. Тези, които се използват в повече от един раздел, са събрани в Приложение D1.

4. ОСНОВНИ АСПЕКТИ НА КАЛИБРИРАНЕТО

4.1. Елементи на калибрирането

Калибрирането се състои в:

1. натоварване на везната с изпитвателни товари при определени условия;
2. определяне на грешката или промяната на показанието, и
3. оценяване на неопределеността на измерване, която да бъде присъединена към резултатите.

4.1.1. Обхват на калибриране

Освен когато клиентът не заяви друго, калибрирането се извършва в целия измервателен обхват [2] (или [3]) от нула до максимален товар Max . Клиентът може да определи част от измервателния обхват, между един минимален товар Min и един максимален товар Max , или отделни номинални стойности на товара, за които да заяви да бъде извършено калибриране.

При многообхватните везни [2] (или [3]) клиентът трябва да посочи, кой или кои обхвати трябва да бъдат калибрирани. Предшестващият параграф се прилага за всеки обхват поотделно.

4.1.2. Място на калибриране

Калибрирането обикновено се извършва на мястото на използване на везната. Когато везната се премести на друго място, след калибриране е възможно да се появят въздействия от:

1. разлика в локално земно ускорение;
2. промяна на условията на заобикалящата среда;
3. механични и топлинни условия по време на транспортирането.

Те е възможно да променят характеристиките на везната и да направят резултатите от калибриране невалидни. Преместването на везната след калибриране трябва да се избягва винаги, освен ако отделната везна не е чувствителна на такива въздействия или типа на везната е потвърден недвусмислено. Когато той не е потвърден недвусмислено, свидетелството за калибриране не трябва да се приема като доказателство за проследимост.

4.1.3. Предварителни изисквания и подготовка

Калибрирането трябва да се извърши когато:

1. везната може да се идентифицира лесно;
2. всички функции на везната не са застрашени от замърсяване и повреди и функциите, които са съществени за калибрирането, работят както е предвидено;
3. представянето на измерените стойности на масата е еднозначно и показанията се отчитат лесно;
4. нормалните условия на използване (въздушни течения, вибрации, стабилни основи на мястото на измерване и т. н.) са подходящи за калибрираната везна;
5. преди калибриране везната е включена към захранването за подходящ период от време, не по-малък от определения период за подгряване на везната или както се използва от потребителя;
6. везната се нивелира, ако е приложимо;
7. везната е раздвижена чрез натоварване приблизително до най-големия изпитвателен товар най-малко веднъж, повторното натоварване е препоръчително.

Везните, за които са предназначени да бъдат настройвани редовно преди използване, трябва да се настроят преди калибрирането, освен ако не е договорено друго с клиента. Настройването трябва да се извърши по начина, който клиентът използва рутинно и съгласно инструкцията на производителя, когато тя е налична.

Доколкото е приложимо към резултатите от калибриране, статусът на софтуерните характеристики, които могат да се променят от клиента, трябва да се опише.

Везните, които имат устройства за автоматично настройване на нулата и за автоматично следене на нулата [2] (или [3]) трябва да се калибрират с работещи или неработещи такива устройства или както се използва от потребителя.

При калибриране на място при потребителя на везната, трябва да се изисква да се осигури нормални условия на използване да преобладават по време на калибрирането. По този начин смущаващите въздействия, такива като въздушни течения, вибрации или денивелации на измервателната платформа на везната ще са, доколкото е възможно присъщи на измерените стойности и следователно ще бъдат включени при определяне на неопределеността на измерване.

4.2. Изпитвателен товар и показание

4.2.1. Основна зависимост между товара и показанието

Най-общо, показанието на везната е пропорционално на силата, с която един обект с маса m въздейства върху устройството за приемане на товара:

$$I \sim m \times g \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho} \right) \quad (4.2.1-1)$$

където

- | | |
|----------|-----------------------------|
| g | локалното земно ускорение ; |
| ρ_a | плътността на въздуха; |
| ρ | плътността на обекта. |

Членът в скобите води до намаляване на силата, поради действието на изтласкващата сила на въздуха от обекта.

4.2.2. Ефект от изтласкващата сила на въздуха

Развитието на техниката води до използване на еталонни теглилки, калибрирани по конвенционална стойност m_c^1 , за настройване и/или калибриране на везни. Настройването се извършва по такъв начин, че ефекта от земното ускорение g и от действителната изтласкваща сила на въздуха за еталонна теглилка с m_{cs} , са включени в коефициента на настройване. В момента на настройване показанието I_s е:

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

Това настройване, разбира се е извършено при условия определени чрез действителните стойности на g_s , $\rho_s \neq \rho_c$, и $\rho_{as} \neq \rho_0$, идентифицирани с индекс „s“, и се отнася само за тези условия. За друго тяло с $\rho \neq \rho_s$, измерено на същата везна, но при други условия: $g \neq g_s$ и $\rho_a \neq \rho_{as}$ показанието (пренебрегвайки членовете от втори и по-висок порядък) най-общо е:

$$I = m_c * g/g_s \{1 - (\rho_a - \rho_0) (1/\rho - 1/\rho_s) - (\rho_a - \rho_{as})/\rho_s\} \quad (4.2.2-3)$$

Когато везната не е премествана, тогава няма да има промяна на g , и $g/g_s = 1$. Това е взето под внимание по-нататък. Формулата се опростява още, когато някои от стойностите на плътностите са равни на:

a) измерване масата на тяло при изходна плътност на въздуха $\rho_a = \rho_0$, тогава,

$$I = m_c * \{1 - (\rho_0 - \rho_{as})/\rho_s\} \quad (4.2.2-4)$$

b) измерване масата на тяло с плътност равна на плътността на теглилката за настройване $\rho = \rho_s$, тогава отново (както в случай a)

$$I = m_c * \{1 - (\rho_a - \rho_{as})/\rho_s\} \quad (4.2.2-5)$$

c) измерване на масата при плътност на въздуха същата както по време на настройването $\rho_a = \rho_{as}$, тогава

$$I = m_c * \{1 - (\rho_a - \rho_0) (1/\rho - 1/\rho_s)\} \quad (4.2.2-6)$$

Фиг. 4.2-1 показва примери за големината на относителните изменения $\Delta I/I = (I - I_s)/I_s$ за везна, настроена с еталонна теглилка с $\rho_s = \rho_c$, при калибриране с еталонна теглилка с различна, но типична плътност.

Линия ▲ се отнася за тяло с плътност $\rho = 7810 \text{ kg/m}^3$ измерено във въздух с $\rho_a = \rho_{as}$.

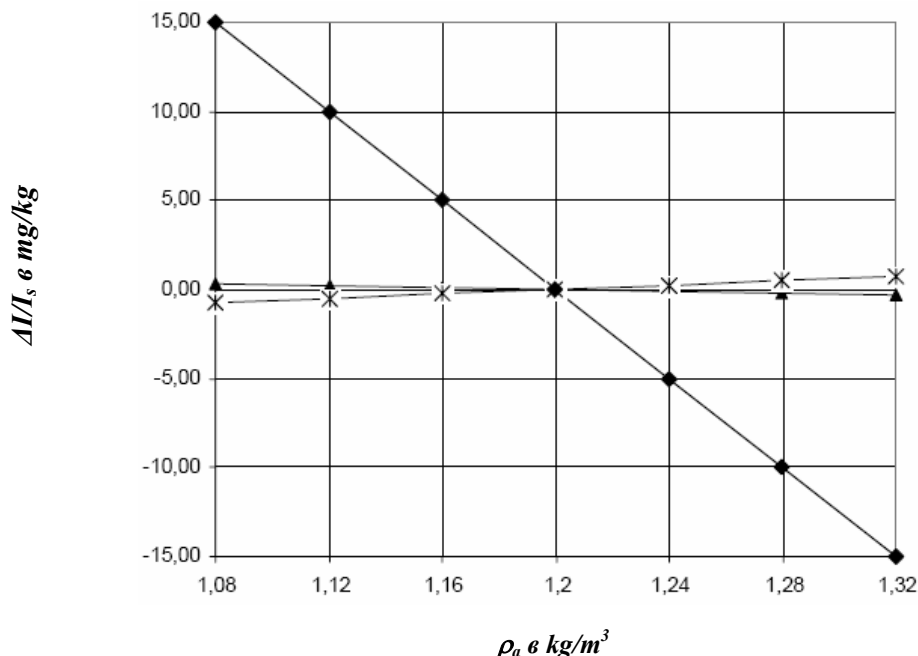
Линия ✕ се отнася до тяло с плътност $\rho = 8400 \text{ kg/m}^3$ измерено във въздух с $\rho_a = \rho_{as}$.

Линия ■ се отнася до тяло с плътност $\rho = \rho_s = \rho_c$ след настройване във въздух с $\rho_{as} = \rho_0$.

¹ Конвенционалната стойност на масата m_c както е определена в [4], като числовата стойност на масата m на теглилката с изходна плътност $\rho_c = 8000 \text{ kg/m}^3$, която уравнива тялото при 20 °C във въздух с плътност ρ_0 :

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

с $\rho_0 = 1.2 \text{ kg/m}^3$ – референтна/изходна стойност на плътността на въздуха.



Фиг. 4.2-1. Изменения на показанието вследствие изтласкващата сила на въздуха

Очевидно е, че промяната на плътността на въздуха има много по-голям ефект от промяната на плътността на тялото.

Допълнителната информация за плътността на въздуха е дадена в приложение А, а за изтласкващата сила на въздуха свързана с еталонните теглилки в приложение Е.

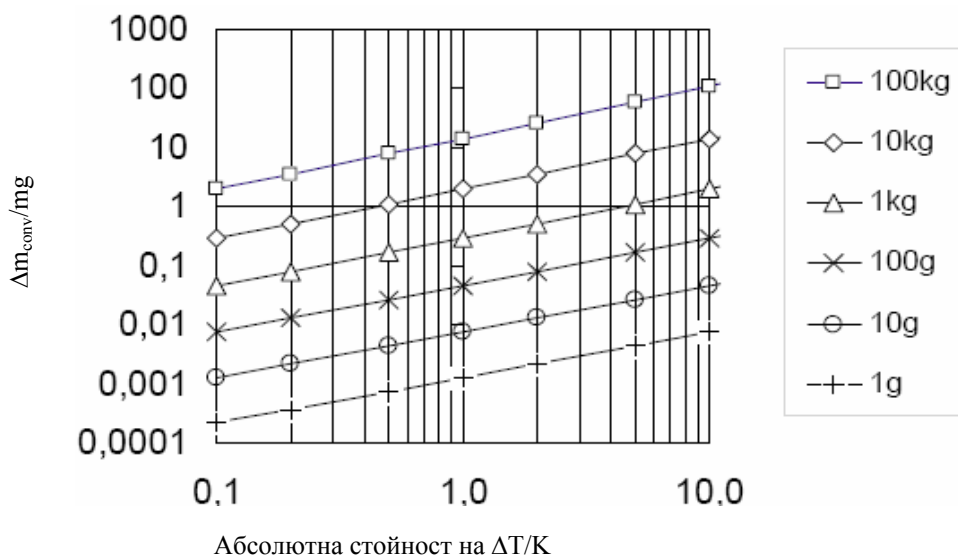
4.2.3. Ефект от конвекцията

Когато теглилките са транспортирани до мястото на калибриране, тяхната температура не е еднаква с температурата на везната и на нейната заобикалящата среда. Трябва да се отбележат две явления в този случай:

- ✓ Първоначалната температурна разлика ΔT_0 може да се намали до по-малка стойност ΔT чрез темпериране за някакво време Δt ; което е по-малко за по-малките теглилки, отколкото за големите.
- ✓ Когато се постави теглилка на устройството за приемане на товара, действителната разлика в температурите ΔT води до конвекция на въздуха около теглилката, която създава паразитни сили, резултатът от които е относителна промяна на нейната маса Δm_{conv} . Знакът на Δm_{conv} е противоположен на знака на температурната разлика ΔT и стойността му е по-голяма за по-големите теглилки, от колкото за по-малките.

Зависимостта между всяка от посочените величини ΔT_0 , Δt , ΔT , m , и Δm_{conv} е нелинейна, и зависи от условията на топлинния обмен между теглилките и заобикалящата ги среда – виж[6].

Фиг. 4.2-2 дава представа за големината на относителното изменение на масата свързано с температурната разлика, за избрани стойности на масата на теглилките.



Фиг. 4.2-2. Ефект от конвекция

Този ефект трябва да бъде взет под внимание или като теглилките се оставят да се аклиматизират до такава степен, че полученото отклонение Δm_{conv} да е пренебрежимо спрямо изискваната от клиента неопределеност на калибриране или като се оценят в бюджета за неопределеност възможните изменения на показанието. Ефектът може да бъде значителен за теглилките от висок клас на точност, например теглилки клас E2 или F1 съгласно R 111 [4]. Повече информация е дадена в приложение F.

4.2.4. Изходна стойност на масата

Основните равенства от (4.2.2-3) до (4.2.2-6) се прилагат също ако „измереното тяло” е еталонна теглилка, използвана за калибриране.

За определяне на грешките на показанието на везната се използват еталонни теглилки с известна стойност на конвенционална маса m_{cCal} . Тяхната плътност обикновено е различна от изходната плътност ρ_c и плътността на въздуха по време на калибрирането ρ_{aCal} е различна от ρ_0 .

Грешката на показанието е

$$E = I - m_{ref} \quad (4.2.4-1)$$

където m_{ref} е истинската конвенционална стойност на масата, наричана по-нататък изходна стойност на масата.

Под въздействието на изтласкващата сила на въздуха, конвекцията, дрейфа или други влияещи фактори, които водят до незначителни корекции δm_x , m_{ref} не е равна точно на m_{cCal} :

$$m_{ref} = m_{cCal} + \delta m_B + \delta m_{conv} + \delta m_D + \delta m \quad (4.2.4-2)$$

Корекцията за изтласкващата сила на въздуха δm_B зависи от стойностите на ρ_s и ρ_{as} , които са валидни за настройването на везната, но обикновено не са известни. Ако се приеме, че са използвани теглилки с изходна плътност $\rho_s = \rho_c$ тогава равенство (4.2.2-3) дава основна представа за корекцията:

$$\delta m_B = -m_{cCal} [(\rho_{aCal} - \rho_0)(1/\rho_{cCal} - 1/\rho_c) + (\rho_{aCal} - \rho_{as})/\rho_c] \quad (4.2.4-3)$$

При плътност на въздуха ρ_{as} , има две възможности:

- А – везната е настроена непосредствено преди калибрирането, така $\rho_{as} = \rho_{aCal}$. Това опростява (4.2.4-3) до:

$$\delta m_B = -m_{cCal} (\rho_{aCal} - \rho_0)(1/\rho_{cCal} - 1/\rho_c) \quad (4.2.4-4)$$

- В – везната е настроена независимо от калибрирането, при неизвестна плътност на въздуха ρ_{as} , за чиято стойност трябва да се направи разумно предположение.

V1 – при калибриране на място, може да се очаква, че ρ_{as} е същата като ρ_{aCal} , с възможна разлика $\delta\rho_{as} = \rho_{aCal} - \rho_{as}$. Тогава (4.2.4-3) се модифицира в:

$$\delta m_B = -m_{cCal} [(\rho_{aCal} - \rho_0)(1/\rho_{cCal} - 1/\rho_c) + \delta\rho_{as}/\rho_c] \quad (4.2.4-5)$$

V2 – едно просто и ясно разбираемо предположение е $\rho_{as} = \rho_0$, тогава:

$$\delta m_B = -m_{cCal} (\rho_{aCal} - \rho_0)/\rho_{cCal} \quad (4.2.4-6)$$

За допълнителна информация виж също приложения А и Е.

Другите корекционни членове са определени глава 7.

Индексът „Cal“ се премахва, за да се избегне объркване освен в случаите, когато е необходим.

4.3. Изпитвателни товари

Изпитвателните товари трябва преди всичко да се състоят от еталонни теглилки, които са проследими до SI единицата за маса. Могат да бъдат използвани и други изпитвателни товари, обаче за изпитвания със сравнителен характер, например изпитване за ексцентрично натоварване, изпитване за повторяемост – или просто за натоварване на везната – например за предварително натоварване, за тара, която се уравнива, за заместващ товар.

4.3.1. Еталонни теглилки

Проследимостта на теглилките, които се използват като еталони трябва да бъде осъществена чрез калибриране² състоящо се в:

1. определяне на действителната конвенционална стойност на масата m_c и/или на корекцията δm_c на номиналната ѝ стойност m_N с присъединената разширена неопределеност на калибриране U_{95} ($\delta m_c = m_c - m_N$), или
2. потвърждаване, че m_c е в границите на определените максимални допустими грешки m_{pe} :

$$m_N + (m_{pe} - U_{95}) \leq m_c \leq m_N - (m_{pe} - U_{95}),$$

² ИЛАС-Р 10-2002, № 2(b): Проследимостта се получава, ако е възможно „...от лаборатория за калибриране, която може да демонстрира своята компетентност, възможности за измерване и проследимост с подходяща неопределеност на измерване, например акредитирана лаборатория...“ и Забележка 3 „Признато е от ИЛАС, че в някои държави калибриранята се извършват от органите за проверка, определени като позволени съгласно тяхното законодателство в рамките на законовата метрология“.

Еталоните трябва също така да отговарят на следните изисквания до степен, подходяща на техния клас на точност:

3. плътност ρ_S достатъчно близка до $\rho_c = 8000 \text{ kg/m}^3$;
4. обработка на повърхността подходяща за предотвратяване на изменения на масата вследствие на замърсявания от прах или други наслоявания;
5. такива магнитни свойства, че взаимодействията с везната, която ще бъде калибрирана да бъдат минимални.

Теглилките, които изпълняват изискванията на Международната препоръка на OIML R 111 [4] трябва да отговарят на всички тези изисквания.

Максималните допустими грешки или неопределености от калибриране на еталонните теглилки трябва да съответстват на скалното деление d на везната [2] (или [3]) и/или с нуждите на клиента по отношение на неопределеността от калибриране на неговата везна.

4.3.2. Други изпитвателни товари

За някои приложения посочени в 4.3, второто изречение, не е от съществено значение да е известна стойността на конвенционалната маса на изпитвателния товар. В тези случаи могат да бъдат използвани изпитвателни товари, които не са еталонни теглилки, като се вземе под внимание следното:

1. формата, материала, сплавта трябва да позволяват лесно манипулиране;
2. формата, материала, сплавта трябва да позволяват лесно определяне на центъра на тежестта;
3. тяхната маса трябва да остава постоянна през цялото време на тяхното използване при калибриране;
4. плътността им трябва да е лесна за оценка,
5. товарите с ниска плътност (например контейнери напълнени с пясък или чакъл) могат да изискват специално внимание по отношение на изтласкващата сила на въздуха.

Може да се наложи температурата и атмосферното налягане да се наблюдават през целия период на използването на товарите за калибриране.

4.3.3. Използване на заместващи товари

Изпитвателния товар за който е от съществено значение стойността на конвенционалната маса трябва да се състои изцяло от еталонни теглилки. Но когато това не е възможно, всеки товар, който отговаря на т. 4.3.2 може да бъде използван за заместване. Везната, която се калибрира се използва като компаратор, за настройване на заместващия товар L_{sub} , така че по този начин да се получи показание I , което да е приблизително равно на показанието на съответстващ товар L_{St} от еталонни теглилки.

Първия изпитвателен товар L_{T1} , който се състои се от еталонни теглилки с маса m_{c1} има показание:

$$I(L_{St}) = I(m_{c1}) \quad (4.3.3-1)$$

След сваляне на еталоните теглилки L_{St} , поставяне на заместващ товар L_{sub1} и настройване се получава приблизително същото показание:

$$I(L_{sub1}) \approx I(m_{c1}) \quad (4.3.3-2)$$

така че

$$L_{sub1} = m_{c1} + I(L_{sub1}) - I(m_{c1}) = m_{c1} + \Delta I_1 \quad (4.3.3-3)$$

Следващият изпитвателен товар L_{T2} се получава след добавяне на еталонни теглилки с маса m_{c1}

$$L_{T2} = L_{sub1} + m_{c1} = 2 m_{c1} + \Delta I_1 \quad (4.3.3-4)$$

m_{c1} се замества отново със заместващ товар $\approx L_{sub1}$ с настройване до $\approx I(L_{T2})$.

Процедурата може да се повтори и за изпитвателни товари L_{T3}, \dots, L_{Tn} :

$$L_{Tn} = nm_{c1} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1} \quad (4.3.3-5)$$

Стойността на L_{Tn} се взема като конвенционална стойност на масата m_c на изпитвателния товар.

При всяка стъпка на заместване обаче неопределеността на общия изпитвателен товар нараства постоянно много повече отколкото ако той е получен само с еталонни теглилки поради ефекта от повторемост и разделителна способност на везната – виж също 7.1.2.6.³

4.4. Показания

4.4.1. Основни положения

Всяко показание I свързано с изпитвателен товар в основата си е разликата между показанието на натоварената везна I_L и показанието на ненатоварената везна I_0 :

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

Препоръчително е да се записват показанията на ненатоварената везна заедно с показанията на натоварената везна за всеки изпитвателен товар. Обаче записването на показанията на ненатоварената везна, може да е излишно, когато изпитвателната процедура изисква да се нулира всяко показание, което не се връща самостоятелно в нулата преди поставяне на изпитвателния товар.

За всеки изпитвателен товар, включително при нулев товар, показанието I на везната се отчита и записва само когато е стабилно. Когато високата разделителна способност на везната, или условията на заобикалящата среда на мястото на калибрирането не дават възможност за стабилизиране на показанията, може да се запише една средна стойност едновременно с информация за наблюдаваните изменения (например размахът на стойностите, дрейф в една посока).

По време на измерванията за калибриране, трябва да се записват първичните показания, а не грешките или измененията им.

4.4.2. Разделителна способност

Показанията се получават обикновено като цяло число умножено по скалното деление d . По преценка на лабораторията за калибриране и със съгласието на клиента се прилагат начини за получаване на показания с по-висока разделителна способност от d , например когато съответствието със спецификацията е проверено и е заявена по-малка неопределеност.

³ Пример: за везна с $M_{\max} = 5000$ kg, $d = 1$ kg, стандартната неопределеност за 5 t еталонни теглилки може да достигне 200 g, докато стандартната неопределеност за един изпитвателен товар, направен с 1 t еталонни теглилки и 4 t заместващ товар ще бъде около 2 kg.

Такива начини са:

1. превключване на показващото устройство на по-малко скално деление $d_T < d$ (“сервизен режим”). В този случай показанието I_x е цяло число умножено по d_T .
2. използване на малки допълнителни теглилки със стойности $d_T = d/5$ или $d/10$ за точното определяне на товара, при който показанието се променя между I' и $I' + d$. (“метод на тока на превключване”). В този случай показанието I' се записва заедно с количеството ΔL от n допълнителни теглилки, които са необходими показанието I' да нарастне с едно скално деление.

Показанието I_L е

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

Когато се прилага методът на точката на прескачане, има смисъл той да се прилага и за нулевите показания, когато и те се записват.

5. ИЗМЕРВАТЕЛНИ МЕТОДИ

Изпитванията обикновено се извършват, за да се определи:

- повторемостта на показанията;
- грешките на показанията;
- ефектът от ексцентричното натоварване върху показанията.

Лабораторията за калибриране, взема решение за броя на измерванията при рутинно калибриране, като трябва да прецени, че по принцип по-големият брой измервания намалява на неопределеността на измерване, но води до нарастване на цената.

Подробностите за изпитванията извършвани при отделното калибриране могат да се определят в договора между клиента и лабораторията за калибриране от гледна точка на нормалното използване на везната. Страните могат да се споразумеят също за допълнителни изпитвания или проверки, които да помогнат при оценката на работата на везната при специфични условия на използване. Всякакви такива споразумения трябва да съвместими с минималния брой изпитвания, определени в следващите глави.

5.1. Изпитване за повторемост

Изпитването се състои в многократно и по един и същ начин поставяне на един товар върху устройството за приемане на товара и при постоянни условия на изпитване, доколкото е възможно.

Изпитвателния/ните товар/и не е необходимо да бъдат калибрирани или проверени, освен когато резултите служат за определяне на грешките на показанието като в т. 5.2. Изпитвателният товар трябва да е единичен обект, доколкото е възможно.

Изпитването се извършва в най-малко една точка с един изпитвателен товар L_T , който е избран в приемлива зависимост от Max товар, разделителната способност на везната и позволяващ да се оцени работата на везната. За везни с постоянно скално деление d , товар равен на $0,5 \times Max$ $L_T \leq Max$ е достатъчно подходящ. Той често се намалява до няколко теглилки от 1000 kg за везни, при които товарът е $L_T > 0,5 \times Max$. За много интервални везни [2] (или [3]) може да се предпочете товар близък до Max_1 .

Може да се съгласува между договарящите се страни една специфична стойност на товара L_T , когато това е оправдано от гледна точка на специфичното приложение на везната.

Изпитването може да се извърши в повече от една точка с изпитвателни товари L_{Tj} , $1 \leq j \leq k_L$, където k_L = броя на точките за изпитване.

Преди изпитването показанието на везната се нулира. Товара се поставя най-малко 5 пъти или най-малко 3 пъти, когато $L_T \geq 100 \text{ kg}$.

Показанията I_{Li} се записват при всяко поставяне на товара. След всяко разтоварване трябва да се провери дали показанието е нула и когато не е то може да се нулира. Когато това не се прави нулевото показание I_{0i} се записва както се препоръчва в т. 4.4.1. В допълнение, статуса на устройството за нулиране се записва, ако е подходящо.

5.2. Изпитване за грешка на показанието

Това изпитване се извършва с $k_L \geq 5$ различни изпитвателни товари L_{Tj} , $1 \leq j \leq k_L$, разпределени сравнително равномерно по нормалния измервателен обхват⁴, или в отделни изпитвателни точки избрани съгласно т. 4.1.2.

Целта на това изпитване е оценка на характеристиките на везната в целия измервателен обхват.

Когато е съгласуван значително по-малък обхват за калибриране, броят на изпитвателните товари съответно може да се намали, при условие че разликата обхваща най-малко три изпитвателни точки включително *Min'* и *Max'*, и разликата между два последователни изпитвателни товара не е по-голяма от $0,15 \times \text{Max}$.

Необходимо е изпитвателните товари да се състоят от подходящи еталонни теглилки или от заместващи товари като в т. 4.3.2. Преди изпитването показанието се нулира. Изпитвателните товари L_{Tj} обикновено се поставят по веднъж по един от следващите начина:

1. на стъпки в посока на нарастване на товара, с разтоварване между отделните стъпки – съответства на използването на везната при измерване на единични товари в повечето случаи;
2. непрекъснато, на стъпки в посока на нарастване на товара – подобно на т. 1, може да включва ефекта пълзене в резултатите. В сравнение с т.1 се намалява количеството на товарите, които се поставят и свалят от товароприемното устройство;
3. непрекъснато, на стъпки в посока на нарастване и в посока на намаляване на товара – процедура предназначена за изпитване при проверка в [2] (или [3]), същите коментари като в т. 2.
4. непрекъснато, на стъпки в посока на намаляване на товара, започвайки от *Max* – симулира използването на една везна като бункерна везна за изваждащо измерване, същите коментари като в т. 2.

⁴ Примери за контролни стойности:

При $k_L = 5$: нула или *Min*; 0.25Max ; 0.5Max ; 0.75Max ; *Max*. Действителните изпитвателни товари могат да се отклоняват от контролните стойности до 0.1 Max , при условие че разликата между последователните изпитвателни товари е най-малко 0.2 Max .

При $k_L = 11$: нула или *Min*, 10 стъпки от 0.1Max до *Max*. Действителните изпитвателни товари могат да се отклоняват от контролните стойности до 0.05Max , при условие че разликата между последователните изпитвателни товари е най-малко 0.08Max .

При много интервални везни – виж [2] (или [3]), методите посочени по-горе могат да се мултиплицират за стъпки с товари по-малки от Max , чрез поставяне в посока на натоварване или разтоварване на товари за тара, чрез действието на функцията за уравнивяване на тарата и поставяне на изпитвателни товари близки, но не големи от Max_I за получаване на показания с d_I .

За оценяване на характеристиките на везна могат да се извършат допълнителни изпитвания при специфицирани условия на използване, например показанието на везната след уравнивяване на тарата, изменението на показанието при натоварване с постоянен товар за определено време и т.н.

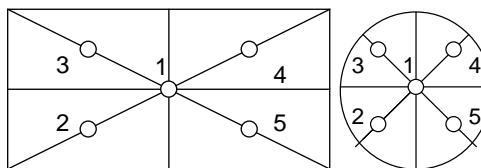
Изпитването или отделните натоварвания могат да се повторят, за да се комбинира това изпитване с изпитването за повторемост съгласно т. 5.1.

Показанията I_{Lj} се записват за всеки товар. След всяко свалянето на товара показанието най-малко трябва да се провери дали показва нула и може да се нулира, когато това не се прави се записва показанието на ненатоварената везна I_{0j} както в т. 4.4.1.

5.3. Изпитване на ексцентрично натоварване

Изпитването се състои в поставяне на изпитвателен товар L_{ecc} в различни участъци на устройството за приемане на товара, по такъв начин, че центъра на тежестта на товара се в позициите посочени на Фиг. 4.4.3-1, или еквивалентни позиции, толкова близо колкото е възможно.

1. Център
2. Горѐ ляво
3. До̀лу ляво
4. До̀лу дясно
5. Горѐ дясно



Фиг. 4.4.3-1. Положения на изпитателния товар при изпитване на ексцентрично натоварване

Изпитвателния товар L_{ecc} трябва да бъде най-малко равен на $Max/3$, или на $Min' + (Max' - Min')/3$ за редуцирания измервателен обхват.

Препоръката на производителя, ако е налична и ограниченията от конструкцията на везната, които са очевидни трябва да се вземат предвид – например виж OIML R76 [2] (или EN 45501 [3]) по отношение на платформените везни.

Изпитвателния товар не е необходимо да се калибрира или проверява, освен когато резултатите от измерване служат за определяне на грешките на показанието както в т. 5.2.

Преди изпитването показанието се нулира. Изпитвателният товар първо се поставя в позиция 1 и след това се премества в другите четири позиции по определен ред и може най-накрая отново да се постави в позиция 1.

Показанията I_{Li} се записват за всяка позиция на товара. След всяко преместване на товара, нулевото показание трябва да се провери и може, ако е подходящо, да се нулира Нулевото показание I_{0j} се записва съгласно т. 4.4.1.

5.4. Спомагателни измервания

Следните спомагателни измервания или записи се препоръчват, в частност, когато калибрирането трябва да се направи с възможно най-малката неопределеност.

От гледна точка на ефекта на изтласкващата сила – т. 4.2.2:

Температурата на въздуха в приемлива близост до везната трябва да се измери най-малко веднъж по време на калибриране. Когато везната е използвана в контролирана заобикаляща среда трябва да се запише обхвата на изменение на температурата, например от температурната графика, от устройствата за контрол и т.н. Атмосферното налягане или, по подразбиране, надморската височина на мястото могат да се използват.

От гледна точка на ефекта на конвекцията – 4.2.3:

Специално внимание трябва да се отдели на предпазването от големи конфекционни ефекти, чрез наблюдаване на една лимитирана стойност на температурната разлика между еталонните теглилки и везната и/или запис осигурения интервала от време за темпериране. Може да се използва термометър, поставен в кутията на еталонните теглилки, за проверка на температурната разлика.

От гледна точка на ефекта на магнитните взаимодействия:

За везни с висока разделителна способност се препоръчва проверка, за да се види дали има видим ефект от магнитните взаимодействия. Еталонната теглилка се измерва заедно с обект направен от немагнитен материал (дърво, пластмаса). Обектът се поставя отгоре или отдолу на теглилката, за да се получат две различни показания. Когато разликата между двете показания е различна от нула, резултата трябва да се посочи като предупреждение в свидетелството за калибриране.

6. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗМЕРВАНИЯТА

Формулите от гл. 6 и гл. 7 са предназначени да служат като елементи на стандартна схема за еквивалентна оценка на резултатите от изпитване при калибриране. Когато те са приложени без изменение, доколкото е приложимо, никакви допълнителни описания на оценката не са необходими. Не е предвидено всички формули, символи и/или индекси да се използват за представяне на резултатите в свидетелството за калибриране.

В този раздел се използва определението за показанието I както е дадено в т. 4.4.

6.1. Повторяемост

За n показания I_{ji} за даден изпитвателен товар L_{Tj} , стандартното отклонение s_j се пресмята от формулата:

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

където

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

Когато се използва само един изпитвателен товар индексът j може да се премахне.

6.2. Грешки на показанието

6.2.1. Дискретни стойности

За всеки изпитвателен товар L_{Tj} , грешката на показанието се пресмята както следва:

$$E_j = I_j - m_{refj} \quad (6.2-1a)$$

Когато показанието I_j е средно на повече от едно отчитания, I_j се подразбира като средна аритметичната стойност както в (6.1-2).

m_{ref} е изходната стойност на масата или „истинската стойност“ на товара – т.т. 4.3.1, 4.3.3

Изходната стойност на масата е:

или номиналната стойност m_N на товара,

$$m_{refj} = m_{Nj} \quad (6.2.-2)$$

или неговата действителна стойност m_c

$$m_{refj} = m_{cj} = (m_{Nj} + \delta m_{cj}) \quad (6.2-3)$$

Когато един изпитвателен товар се състои от повече от една теглилки, m_{Nj} се заменя от $(\Sigma m_N)_j$, и δm_{cj} се заменя от $(\Sigma \delta m_c)_j$ във формулите по горе.

Когато грешката и/или показанието са регистрирани или използвани допълнително във връзка с изпитвателния товар, те трябва винаги да се представят в зависимост от номиналната стойност на товара m_N дори когато се използва неговата действителна стойност на масата. В такъв случай грешката не се променя, докато показанието се модифицира по следния начин:

$$I(m_N) = I'(m_c) - \delta m_c \quad (6.2-4)$$

с I' се отбелязва показанието(междинно), когато се използва m_c . Тогава (6.2-1a) се приема вида:

$$E_j = I_j - m_{Nj} = (I_j' - \delta m_{cj}) - m_{Nj} \quad (6.2-1b)$$

6.2.2. Математическо изразяване на измервателния обхват

В допълнение или като алтернатива на дискретните стойности I_j , E_j , може да се определи функция или калибровъчна крива, чрез която да се оцени грешката на показанието за всяко показание I в измервателния обхват.

Функцията

$$E_{appr} = f(I) \quad (6.2-5)$$

може да се определи чрез подходяща апроксимация, която трябва по принцип да се основава на метода на „най-малките квадрати“:

$$\Sigma v_j^2 = \Sigma (f(I_j) - E_j)^2 = \text{минимум} \quad (6.2-6)$$

с

v_j = математичен остатък

f = апроксимираща функция

При апроксимацията трябва още да се:

- вземат под внимание неопределеностите $u(E_j)$ на грешките,
- използва моделна функция, която отразява физичните свойства на везната, например вида на зависимостта между товара и съответстващото му показание $I = g(L)$,
- включва проверка дали параметрите съставляващи моделната функция са математически съвместими с действителните данни.

Приема се, че за всяка стойност m_{Nj} грешката E_j остава същата, когато действителното показание I_j е заместено от неговата номинална стойност I_{Nj} . Пресмятането за оценяване на (6.2-6) може следователно да се извърши с данните за m_{Nj} , и E_j , или I_{Nj} , и E_j .

Приложение С дава съвети за избор на подходяща апроксимираща формула и за необходимите пресмятания.

6.3. Ефект от ексцентрично натоварване

От показанията I_i получени при различните положения на товара съгласно 5.3, се пресмятат разликите ΔI_{ecc} като:

$$\Delta I_{ecc} = I_i - I_l \quad (6.3-1)$$

Когато изпитвателният товар се състои от еталонни теглилки, вместо горното уравнение грешките на показанието се пресмятат от:

$$E_{ecc} = I_i - m_N \quad (6.3-2)$$

7. НЕОПРЕДЕЛЕНОСТ НА ИЗМЕРВАНИЯТА

В тази глава и следващата, която следва има членове на неопределеността отнасящи се за малки корекции, които за пропорционални на специфична стойност на масата или на специфично показание.

За отношението на такава неопределеност разделена на съответната стойност на масата или показанието се използва следното съкратено означение \hat{w} .

Например: нека

$$u(\delta m_{corr}) = tu(corr) \quad (7-1)$$

с безразмерен член $u(corr)$, тогава

$$\hat{w}(m) = u(corr) \quad (7-2)$$

Съответно свързаното математическо очакване се записва с $\hat{w}^2(corr)$, а съответната разширена неопределеност с $\hat{W}(corr)$.

7.1. Стандартна неопределеност на дискретни стойности

Основната формула на калибрирането е:

$$E = I - m_{ref} \quad (7.1-1)$$

с математическо очакване:

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

Когато се използва заместващ товар – виж т. 4.3.3 m_{ref} се замества от L_{Tn} в горните равенства. Членовете се увеличават допълнително по-нататък.

7.1.1. Стандартна неопределеност на показанието

За отчитане на източниците за промяна на показанието, равенството (4.4.1-1) се изменя чрез корекционни членове δI_{xx} както следва:

$$I = I_L + \delta I_{digL} + \delta I_{rep} + \delta I_{ecc} - I_0 - \delta I_{dig0} \quad (7.1.1-1)$$

Всички тези корекции имат математическото очакване 0. Техните стандартни неопределености са:

7.1.1.1. δI_{dig0} отчита грешката от закръгляне на показанието без товар. Границите на този корекционен член са $\pm d_0/2$ или $\pm d_T/2$ ако е приложимо. Приема се, че разпределението е правоъгълно, следователно:

$$u(\delta I_{dig0}) = d_0/(2\sqrt{3}) \quad (7.1.1-2a)$$

или респективно:

$$u(\delta I_{dig0}) = d_T/(2\sqrt{3}) \quad (7.1.1-2b)$$

Забележка 1: Виж т. 4.4.2 за значението на d_T .

Забележка 2: За везна от одобрен тип съгласно OIML R76 [2] (or EN 45501 [3]), грешката от закръгляне при нулево показание след нулиране или уравновесяване на тарата е ограничена до $d_0/4$, следователно $u(\delta I_{dig0}) = d_0/(4\sqrt{3})$.

7.1.1.2. δI_{digL} отчита грешката от закръгляне на показанието при натоварване. Границите на този корекционен член са $\pm d_l/2$ или $\pm d_T/2$ ако е приложимо. Приема се, че разпределението е правоъгълно, следователно

$$u(\delta I_{digL}) = d_l/(2\sqrt{3}) \quad (7.1.1-3a)$$

или

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

Забележка: При многоинтервална везна, d_l се изменя в зависимост от I !

7.1.1.3. δI_{rep} отчита грешката от непълната повторяемост. Приема се нормално разпределение със стандартна неопределеност:

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

с $s(I_j)$ както в т. 6.1.

Когато показанието I_j е средно от n отчитания, съответстващата стандартна неопределеност е:

$$u(\delta I_{rep}) = s(I_j)/\sqrt{n} \quad (7.1.1-6)$$

Когато е направено само едно изпитване за повтораемост, това стандартно отклонение може да се приеме като представително за всички показания на везната в разглеждания обхват на измерване.

Когато са определени няколко s_j ($s_j = s(I_j)$ в съкратено означение) при различни изпитвателни товари, трябва да се използва по-голямата стойност s_j получена за две точки на изпитване от двете страни на показанието, за което е била определена грешката.

Когато може да се установи, че стойностите на s_j определени при различни изпитвателни товари L_{Tj} са във функционална зависимост от товара, тази функция може да се използва, за да се обединят стойностите на s_j в “обединено” стандартно отклонение s_{pool} .

Примери за такива функции са:

$$s_j = const \quad (7.1.1-7)$$

$$s_j^2 = s_0^2 + s_r^2 (L_{Tj}/Max)^2 \quad (7.1.1-8)$$

Компонентите s_0^2 и s_r^2 са определени графично или чрез пресмятане.

Забележка: За стандартно отклонение посочено в свидетелството за калибриране, трябва да бъде посочено дали то се отнася за единично показание или до средната стойност от n показания.

7.1.1.4. δI_{ecc} отчита грешката на отместване на центъра на тежестта на товара от централното положение. Този ефект може да прояви, когато изпитвателния товар се състои от повече от една теглилки. Когато той не може да бъде пренебрегнат оценката за големината му се основава на следните предположения:

- разликите определени чрез равенство (6.3-1) са пропорционални на разстоянието на товара от центъра на устройството за приемане на товара и на стойността на товара;
- ексцентричността на резултантния център на тежестта на изпитвателния товар е не по-голяма от $1/2$ от стойността при изпитване на ексцентрично натоварване.

Може да има везни, при които ефектът от ексцентрично натоварване е дори по-голям при ъгли различни от тези, при които е приложен изпитвателния товар, въз основа на по-голямите разлики определени като в 6.3, ефектът се оценява на:

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

Приема се, че разпределението е правоъгълно със стандартна неопределеност:

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

или в относителен запис:

$$\hat{w}^2(I_{ecc}) = |\Delta I_{ecc, i}|_{max}/(2L_{ecc}\sqrt{3}) \quad (7.1.1-11)$$

Стандартната неопределеност на показанието обикновено се получава от:

$$u^2(I) = d_0^2/12 + d_I^2/12 + s^2(I) + \hat{w}^2(I_{ecc}) \times I^2 \quad (7.1.1-12)$$

Забележка 1: Неопределеността $u(I)$ is = constant само когато $s = constant$ и се приема, че няма грешки от ексцентричност.

Забележка 2: В някои специфични случаи първите два члена от дясно могат да се модифицират както е посочено в 7.1.1.1 и 7.1.1.2.

7.1.2. Стандартна неопределеност на изходната (референтната) маса

От 4.2.4 и 4.3.1 изходната (референтната) стойност на масата е:

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

Членът най в дясно се запазва за допълнителни корекции, които може да е необходимо да се прилагат при специфични условия. Това не се разглежда допълнително по нататък.

Корекциите и техните стандартни неопределености са:

7.1.2.1. δm_c е корекцията на m_N за да се получи действителната конвенционална стойност на масата m_c , посочена в свидетелството за калибриране на еталонните теглилки, заедно с неопределеността от калибриране U и коефициента на покритие k . Стандартната неопределеност е:

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

Когато еталонната теглилка е калибрирана за специфициран допуск Tol , например mpe дадена в R 111 [4] и е използвана нейната номинална стойност m_N , тогава $\delta m_c = 0$, и се приема, че разпределението е правоъгълно, следователно:

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

Когато изпитвателния товар се състои от повече от една еталонна теглилка, стандартната неопределеност се събира аритметично, а не като корен квадратен от сумата на квадратите на неопределеностите за отделните теглилки, за да се отчете приетата корелация.

За изпитвателни товари, които частично се състоят от заместващ товар виж 7.1.2.6.

Забележка 1: За m_c или m_N се използва т. 6.2.1.

Забележка 2:

Когато е установено съответствие на еталонната теглилка/ки с R 111 [4], (7.1.2-3) може да се модифицира като Tol се замени с mpe . За теглилки с $m_N \geq 0.1 \text{ kg}$ отношението mpe/m_N е константа за всички теглилки от същия клас на точност, $mpe = c_{class}m_N$ със c_{class} съгласно Таблица 7.1-1.

(7.1.2-3) тогава може да се използва във вида:

$$u(\delta m_c) = m_N c_{class} / \sqrt{3} \quad (7.1.2-3a)$$

или като относителна стандартна неопределеност:

$$\hat{w}(m_c) = c_{class} / \sqrt{3} \quad (7.1.2-3b)$$

Class	$c_{class} \times 10^6$
E1	0,5
E2	1,5
F1	5
F2	15
M1	50
M2	150
M3	500

Таблица 7.1.1 Отношението $c_{class} = mpe/m_N$ за еталонни теглилки $m_N \geq 100$ g съгласно R 111 [4]

За теглилки с номинална стойност 2×10^n от следните класове на точност E2, F2 и M2 стойността на отношението $c_{class} \times 10^6$ трябва да се замести с 1, 5, 15 и 150 респективно.

7.1.2.2. δm_B е корекцията за изтласкващата сила на въздуха както е въведена в т. 4.2.4. Стойността ѝ зависи от плътността ρ на теглилката за калибриране за приетия обхват от плътност на въздуха ρ_a , и настройването на везната – виж случай А и В в т. 4.2.4.

Случай А:

$$\delta m_B = -m_N (\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_c) \quad (7.1.2-4)$$

с относителна стандартна неопределеност:

$$\hat{w}^2(m_B) = u^2(\rho_a)(1/\rho - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho)/\rho^4 + u^2(\rho_a)u^2(\rho)/\rho^4 \quad (7.1.2-5)$$

Случай В1:

$$\delta m_B = -m_N (\rho_a - \rho_0)(1/\rho - 1/\rho_c) \quad (7.1.2-6)$$

с относителна стандартна неопределеност:

$$\hat{w}^2(m_B) = u^2(\rho_a)(1/\rho - 1/\rho_c)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho)/\rho^4 + u^2(\rho_{as})u^2(\rho)/\rho_c^2 \quad (7.1.2-7)$$

Случай В2:

$$\delta m_B = -m_N (\rho_a - \rho_0)/\rho \quad (7.1.2-8)$$

с относителна стандартна неопределеност:

$$\hat{w}^2(m_B) = u^2(\rho_a)\rho^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 u^2(\rho)/\rho^4 \quad (7.1.2-9)$$

Доколкото стойностите на ρ , $u(\rho)$, ρ_a и $u(\rho_a)$ са известни тези стойности се използват, за да се определи $\hat{w}(m_B)$. Плътността ρ и нейната стандартна неопределеност могат да се оценят въз основа на технологичния напредък при отсъствие на такава информация.

Приложение Е1 предлага международно признати стойности за широко разпространени материали използвани за еталонни теглилки.

Плътноста на въздуха ρ_a и нейната стандартна неопределеност могат да се пресметнат от температурата и атмосферното налягане, когато има информация за тях (относителната влажност има минимално значение) или могат да се оценят от надморската височина.

Може да се приеме, че разликата $\delta\rho_{as}$ (Случай В1) е нула с подходяща неопределеност $u(\delta\rho_{as})$, за която се оценява една граница $\Delta\rho_{as}$ като се взема предвид изменението на атмосферното налягане и температурата на мястото за дълъг период от време.

Може да се използва прост подход за подобни оценки на ρ_a и ρ_{as} и неопределености на тези две стойности.

Приложение А предлага няколко формули и информация за математическото очакване.

Приложение Е предлага стойности за $\hat{w}(m_B)$ за някои избрани комбинации от стойности за ρ и ρ_a .

При калибриране от вида А, стойностите в по-голямата си част са пренебрежими.

При калибриране от вида В, в повечето случаи е препоръчително да не се прави корекция δm_B , а да се пресметне неопределеността въз основа на $\rho_a = \rho_0 \pm \Delta\rho_a$.

Когато е установено съответствие на еталонните теглилки с R 111 [4] и няма налична информация за ρ и ρ_a , може да се прибегне до т. 10 на R 1115. Не се правят корекции и относителните неопределености са:

За случай А:

$$\hat{w}(m_B) \approx m\rho_e / (4 m_N \sqrt{3}) \quad (7.1.2-5a)$$

За случаи В1 и В2:

$$\hat{w}(m_B) \approx (0,1 \rho_o / \rho_c + m\rho_e / (4 m_N)) / \sqrt{3} \quad (7.1.2-9a)$$

За изискванията в бележка под черта 5, тези граници могат да се получат от ρ :

За клас на точност E2: $|\rho - \rho_c| \leq 200 \text{ kg/m}^3$, и за клас на точност F1: $|\rho - \rho_c| \leq 600 \text{ kg/m}^3$.

Забележка: Поради факта, че плътността на материалите, използвани за еталонни теглилки, е близка до ρ_c , границите, посочени в R111 позволяват последните две формули да се приемат като горни граници на $\hat{w}(m_B)$. Когато сравнението на тези стойности с разделителна способност на везната ($1/n_M = d/Max$) показва, че те са достатъчно малки, повече от извършените пресмятания на този компонент на неопределеността въз основа на действителни данни могат да се окажат излишни.

7.1.2.3. δm_D е корекция от възможния дрейф на m_c след последното калибриране. Граничната стойност D се оценява най-добре от промяната на стойността на m_c проявила се в последователни свидетелства за калибриране на еталонните теглилки.

При отсъствие на такава информация, D може да се оцени от качеството, честотата и начина на използване на теглилките като числократно на разширената им неопределеност $U(m_c)$:

⁵ Плътността на материала използван за еталонните теглилки трябва да бъде такава, че отклонение от 10% от специфицираната плътност на въздуха (1.2 kg/m^3) да не води до грешка надхвърляща една четвърт от максималната допустима грешка.

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

където k_D може да се избере от 1 до 3.

Не е препоръчително да се правят корекции, но се приема, че разпределението е в границите $\pm D$ (правоъгълно разпределение). Стандартната неопределеност тогава е:

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

Когато комплект теглилки е калибриран със стандартна разширена относителна неопределеност, $\hat{W}(m_c)$ е подходящо да се въведе относителна гранична стойност на дрейфа $D_{rel} = D/m_N$ с относителна стандартна неопределеност на дрейфа:

$$\hat{w}(m_D) = D_{rel}/\sqrt{3} = k_D \hat{W}(m_c)/\sqrt{3} \quad (7.1.2-12)$$

За теглилки съответстващи на R111 [4], оценката може да бъде $D \leq m_{pe}$, или $D_{rel} \leq c_{class}$ – виж Таблица 7.1-1.

7.1.2.4. δm_{conv} е корекцията за ефекта на конвекцията както в 4.2.3. Граничната стойност Δm_{conv} може да се вземе от Приложение F, в зависимост от известната температурна разлика ΔT и масата на еталонната теглилка.

Не е препоръчително да се прави корекция, но се оценява, че разпределението е в границите $\pm \Delta m_{conv}$. Стандартната неопределеност тогава е:

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

7.1.2.5. Стандартната неопределеност на референтната маса се получава от – т. 7.1.2

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

с приноси съгласно от т. 7.1.2.1 до т. 7.1.2.4.

Като един пример членовете са определени за случаи на A калибриране, с еталонни теглилки с $m_N \geq 0.1$ kg съответстващи на R111 [4], използвани с техните номинални стойности:

$$\hat{w}^2(m_{ref}) = c^2_{class}/3 + c^2_{class}/48 + c^2_{class}/3 + (\Delta m_{conv}/m_N)^2/3 \quad (7.1.2-14a)$$

7.1.2.6. Когато изпитвателния товар се състои частично от заместващи товари, както в т. 4.3.3, стандартната неопределеност на сумата $L_{Tn} = nm_{c1} + \Delta I_1 + \Delta I_2 + \dots + \Delta I_{n-1}$ се дава със следното равенство:

$$u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2[u^2(I_1) + u^2(I_2) + \dots + u^2(I_{n-1})] \quad (7.1.2-15)$$

с $u(m_{c1}) = u(m_{ref})$ от т. 7.1.2.5, и $u(I_j)$ от т. 7.1.1.5 за $I = I(L_{Tj})$.

Забележка: Неопределеностите $u(I_j)$ трябва да се приложат също и за показания, при които заместващия товар е настроен така, че ΔI да бъде 0!

В зависимост от вида и материала на заместващия товар може да е необходимо да се прибавят допълнителни приноси в неопределеността:

- от ексцентрично натоварване като в т. 7.1.1.4 за някои или всички от действителните показания $I(L_{Tj})$;
- от изгласкващата сила на заместващия товар, когато той се състои от материал с ниска плътност (например пясък, чакъл) и плътността на въздуха се променя значително по време на използването му.

Когато $u(I_j) = const$, уравнението се опростява до

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

7.1.3. Стандартна неопределеност на грешката

Стандартната неопределеност на грешката, с членове от т. 7.1.1 и т. 7.1.2 ако са приложими, се пресмята чрез:

$$u^2(E) = d_0^2/12 + d_I^2/12 + s^2(I) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv}) \quad (7.1.3-1a)$$

или чрез относителна неопределеност от:

$$u^2(E) = d_0^2/12 + d_I^2/12 + s^2(I) + \hat{w}^2(I_{ecc})I^2 + [\hat{w}^2(m_c) + \hat{w}^2(m_B) + \hat{w}^2(m_D)] \times m_{ref}^2 + u^2(m_{conv}) \quad (7.1.3-1b)$$

Всички входни данни се приема, че не са некорелирани, поради което ковариантите не се вземат под внимание.

Премахва се индексът "j". Когато последните членове в уравнението (7.1.3-1a, b) са малки в сравнение с първите три члена, е възможно неопределеността на всички грешки определени по обхвата на измерване да е напълно еднаква. Когато случая не е такъв, неопределеността се пресмята за всяко показание поотделно.

Общоприетата практика показва, че грешките обикновено са много малки в сравнение с показаниято или дори са нула, тогава в (уравнението 7.1.3-1a, b) стойностите на m_{ref} и I могат да се заменят от I_N .

Членовете в уравнението (7.1.3-1a, b) в този случай могат да се групират в проста формула, която по-добре отразява факта, че някои от членовете са независими по своя характер, докато други са пропорционални на показаниято:

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

Когато за определяне на стандартното отклонение на калибрираната везна се прилага уравнение (7.1.1-7) или (7.1.1-8), съответните членове се включват в уравнението (7.1.3-2).

7.2. Стандартна неопределеност на характеристика

Когато е направена апроксимация за да се получи формулата $E = f(I)$ по целия измервателен обхват както в т. 6.2.2, стандартната неопределеност на грешката от т. 7.1.3 се модифицира, за да е съвместима с метода на апроксимация. В зависимост от моделната функция това може да бъде:

- единична вариация u^2_{appr} , която се добавя към уравнение (7.1.3-1), или
- множество вариации и ковариации, които включват вариациите в уравнението (7.1.3-1).

Пресмятанятия трябва да включват и проверка дали моделната функция е съвместима математически с данните за E_j , I_j , и $u(E_j)$.

За апроксимациите се предлага метода за намиране на минимума на χ^2 , подобен на метода на най-малките квадрати. Подробностите са описани в Приложение С.

7.3. Разширена неопределеност при калибриране

Разширената неопределеност на грешките е:

$$U(E) = ku(E) \quad (7.3-1)$$

Коефициентът на покритие k трябва да бъде избран по такъв начин, че разширената неопределеност да съответства на доверителна вероятност приблизително 95%. Стойността $k = 2$, която съответства на вероятност 95.5%, се прилага когато:

- a) разпределение на грешките на показанието е нормално (Гаусово), и
- b) стандартната неопределеност $u(E)$ има достатъчна сигурност (т.е. има достатъчен брой степени на свобода).

Приложение В2 предлага допълнителна информация за тези изисквания, а Приложение В3 съдържа предложения относно определяне на коефициента на покритие k , когато едното или и двете изисквания не са изпълнени.

Допустимо е определянето само една стойност за k , за “най-неблагоприятната” ситуация въз основа на опита, която може бъде приложена към стандартните неопределености на всички грешки за един и същ измервателен обхват.

7.4. Стандартна неопределеност на резултата от измерване

Ползвателят на везната трябва да е наясно с факта, че ситуацията при нормална употреба на везна, която е калибрирана, е различна от тази при калибрирането в някои, ако не в всички от следните аспекти:

1. показанията получени са измерените обекти не са същите, като тези по време на калибрирането;
2. измервателния процес може да бъде различен от този при процедурата за калибриране:
 - безпорно само едно отчитане за всеки товар, а не няколко за да се получи средна стойност;
 - отчитане със скалното деление d на везната, а не с по-висока разделителна способност;
 - натоварване в посока нагоре и надолу, а не само в посока нагоре – или обратното,
 - натоварване на устройството за приемане на товара за по голям интервал от време, а не разтоварване на товара след всяко натоварване – или обратното,
 - ексцентрично натоварване,
 - използване на устройството за уравнивяване на тарата, и т.н. .
3. условията на заобикалящата среда (температура, атмосферно налягане и т.н.) могат да бъдат различни;
4. при везни, които не се настройват периодично, например чрез използване на вградени устройства, настройването може да бъде различно поради стареене, износване и умора на материала. За разлика от точки от 1 до 3 този ефект обикновено е в зависимост от времето изтекло след калибриране и трябва да се разглежда във връзка с определен период от време, например за една година или за нормалния интервал между калибриранятията.

За да бъде ясно разграничени показанията по време на калибриране от резултатите, получени при измерване на товар L на калибрираната везна, се въвеждат следните символи:

R = резултат от отчитане, само за показание получено след калибриране;

W = резултат от измерване, резултат от отчитане, коригиран с грешка E .

R означава резултат от единично отчитане с нормална разделителна способност (кратен на d), който е коригиран, когато е приложимо.

Резултати от отчитане при условия еднакви на условията, които преобладават при калибриране, за правилно центриран товар върху устройството за приемане на товара, са прилагат само корекциите посочени в т. 2a и 2b по-горе. Резултатът може да се нарече резултат от измерване при условията на калибрирането W^* :

$$W^* = R + \delta R_{digL} + \delta R_{rep} - (R_0 + \delta R_{dig0}) - E \quad (7.4-1a)$$

с присъединена неопределеност:

$$u(W^*) = \sqrt{\{u^2(E) + u^2(\delta R_{dig0})\} + u^2(\delta R_{digL}) + u^2(\delta R_{rep})} \quad (7.4-2a)$$

W^* и $u(W^*)$ се определят пряко от информацията и резултатите от калибрирането както са посочени в свидетелството за калибриране:

- данните за I_{cal} , E_{cal} , $U(E_{cal})$, и/или
- функционалната зависимост $E(R) = f(I)$ и $U(E(R)) = g(I)$.

Това е посочено в т. 7.4.1, и в т. 7.4.2.

За да се вземат под внимание останалите възможни въздействия върху резултата от измерване, формално към резултата от отчитане са добавени най-общо допълнителни корекции, които се отразяват на от резултата от измерване:

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

с присъединена неопределеност

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

Добавените членове и съответстващите им стандартни неопределености са разгледани в т. 7.4.3 и т. 7.4.4. Стандартните неопределености $u(W^*)$ и $u(W)$ са представени окончателно в т. 7.4.5.

Точките 7.4.3 и 7.4.4, и информацията за $u(W)$ и $U(W)$ в т. 7.4.5 и т. 7.5, се използват като препоръки към потребителя на везната, как да оцени неопределеността на резултата от измерване получен при неговите нормални условия на използване. Те не са нито напълно изчерпателни нито задължителни.

Когато лабораторията за калибриране предлага на своите клиенти такива оценки, които са на основата на информация, която не е измерена от лабораторията, оценките не могат да се представят като част от свидетелството за калибриране.

7.4.1. Стандартна неопределеност на резултата от отчитане при използване

За да се отчете въздействието на източниците за промяна на резултата от отчитане се прилага уравнение (7.1.1-1), като I се заменя с R :

$$R = R_L + \delta R_{digL} + \delta R_{rep} - (R_0 + \delta R_{dig0}) \{+ \delta R_{ecc}\} \quad (7.4.1-1)$$

Членът в скобите $\{ \}$ се прилага, ако е приложим.

Корекциите и техните стандартни неопределености са:

7.4.1.1. δR_{dig0} взима под внимание грешката от закръгляне на нулевото показание. Точка 7.1.1.1 се прилага, при условие, че променливата $dT < d$ е изключена така, че

$$u(\delta R_{dig0}) = d_0/\sqrt{12} \quad (7.4.1-2)$$

Забележка: Прилага се 2а от т. 7.1.1.1

7.4.1.2. δR_{digL} взима под внимание грешката от закръгляне на показанияето под товар. Точка 7.1.1.2 се прилага, при условие че променливата $dT < dL$ е изключена така, че

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

7.4.1.3. δR_{rep} взима под внимание грешката от повторяемост. Точка 7.1.3.1 се прилага, при условие че съответното стандартно отклонение s или $s(I)$ за единичния резултат от отчитане е взето от свидетелството за калибриране така, че

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

Забележка: В свидетелството за калибриране стандартното отклонение може да бъде посочено за единично показание или за средноаритметичното от n показания. Във втория случай стойността на s трябва да се умножи по \sqrt{n} , за да се получи стандартното отклонение за единичния резултат от отчитане.

7.4.1.4. δR_{ecc} взима под внимание грешката от отместване на центъра на тежестта на товара от центъра на устройството за приемане на товара (ексцентрично натоварване). То се поставя в скоби, като се прилага обикновено съответно за W , а не за W^* , и по тази причина се взима под внимание в т. 7.4.4.3.

7.4.1.5. Стандартната неопределеност на резултата от отчитане тогава е:

$$u^2(R) = d_0^2/12 + d_R^2/12 + s^2(R) \{+ \hat{w}^2(R_{ecc}) R^2\} \quad (7.4.1-5)$$

Членът в скобите $\{ \}$ се добавя, когато е приложимо.

Забележка: Неопределеността $u(R)$ е = *constant* при $s = \text{constant}$; когато в изключителни случаи грешката от ексцентричност се отчита, членът се взема от т. 7.4.4.4.

7.4.2. Неопределеност на грешката от отчитане

Където резултата от отчитане R съответства на показанияето I_{calj} посочено в свидетелството за калибриране, $u(E_{calj})$ може да се вземе от него. За други резултати от отчитане, $u(E(R))$ може да се пресметне от уравнение (7.1.3- 2) когато α и β са известни, или чрез интерполация, или чрез апроксимационна формула както в т. 7.2.

Неопределеността $u(E(R))$ обикновено не е по-малка от $u(E_{cal,j})$ за показание I_j , което е близко до действителния резултат от отчитане R , освен когато е определена чрез апроксимационна формула.

Забележка: Свидетелството за калибриран представя обикновено $U_{95}(E_{cal})$, получена от $u(E_{cal})$ разделена на коефициента на покритие k посочен в свидетелството за калибриране.

7.4.3. Неопределеност от влиянието на заобикалящата среда

Корекционният член δR_{instr} отчита най-малко три ефекта, които се разглеждат по долу. Те по принцип не се прилагат за везни, които са настроени точно преди действително да се използват – виж т. 4.2.4, за всеки отделен случай А. По отношение на други везни те се прилагат, когато са приложими. Когато не са правени корекции в действителност, съответните неопределености се оценяват въз основа на познанието на потребителя за свойствата на везната.

7.4.3.1. Членът δR_{temp} отчита изменението на характеристиката (или настройването) на везната въз основа на изменение на температурата на заобикалящата среда. Може да се оцени една гранична стойност за $\delta R_{temp} = TK\Delta T$ със следните членове.

Обикновено даните предписани в спецификацията на производителя като $TK = \partial I(Max)/\partial T$, в много случаи са посочени като $|TK| \leq |TC|$ в $10^{-6}/K$.

По подразбиране за везни с одобрен тип съгласно по OIML 76 [2] (или EN 45501 [3]), може да се приеме, че $|TC| \leq tpe(Max)/(Max\Delta T_{Appr})$ когато ΔT_{Appr} е температурния обхват маркиран при одобряването върху везната; за други везни, трябва да се направи консервативно предположение, което да доведе до неколkokратно (от 3 до 10 пъти) увеличаване на стойността в сравнение с тази на везна от одобрен тип, или при липса на информация може да се приложи най-общо по отношение на използването на везната при температури различни от тези при калибрирането.

Обхвата на изменение на температурата ΔT (пълния обхват) трябва да се оцени от гледна точка на мястото на използване на везната както е разгледано в Приложение А.2.2.

Приема се, че разпределението е правоъгълно, следователно относителната неопределеност е:

$$\hat{w}(R_{temp}) = TC\Delta T/\sqrt{I2} \quad (7.4.3-1)$$

7.4.3.2. Членът δR_{buoy} отчита изменението на настройването на везната дължащо се на изменение на плътността на въздуха. Не се правят корекции, а приносът в неопределеността се отчита както в т. 7.1.2.2, когато се очаква изменението на плътността на въздуха да е по-голямо отколкото по време на калибриране.

Забележка: Плътността ρ на измерения обект не се разглежда в този принос на неопределеността тъй като е част от стойността на резултата от измерване W !

7.4.3.3. Членът δR_{adj} отчита изменението в настройването на везната в резултат от стареене, износване и умора и това извършено по време на калибрирането.

От предишните калибрирания, когато са налични, може да се вземе една гранична стойност като най-голямата разлика $|\Delta E(Max)|$ на грешките между две последователни калибрирания в или близко до Max .

Когато няма данни, $\Delta E(Max)$ се взема от спецификацията на производителя на везната или се оценява от $\Delta E(Max) = tpe(Max)$ за везни от одобрен тип съгласно OIML R76 [2] (или EN 45501 [3]). Всяка от тези стойности може да се вземе предвид за определен интервал от време между калибриранията, при условие, че нарастването с времето е сравнително линейно.

Приема се, че разпределението е правоъгълно, следователно относителната неопределеност е:

$$\hat{w}(R_{adj}) = |\Delta E(Max)| / (Max \times \sqrt{3}) \quad (7.4.3-2)$$

7.4.3.4. Относителната неопределеност, свързана с грешката в резултат на въздействието на заобикалящата среда се пресмята от

$$\hat{w}^2(R_{instr}) = \hat{w}^2(R_{temp}) + \hat{w}^2(R_{adj}) \quad (7.4.3-3)$$

7.4.4. Неопределеност от работата на везната

Корекционният член δR_{proc} отчита допълнителните грешки, които се появяват когато измервателната процедура е различна от тази по-време на калибрирането. На практика не се извършват корекции, но се оценяват съответните неопределености въз основа на познаването от страна на потребителя на свойствата на везната.

7.4.4.1. Членът δR_{Tare} отчита резултата от измерване след уравнивяване на тарата [4]. [2] (или [3]) Възможната грешка и присъединената ѝ неопределеност се оценяват, като се вземе предвид основната зависимост между резултатите от отчитане:

$$R_{Net} = R'_{Gross} - R'_{Tare} \quad (7.4.4-1)$$

където R' са привидните резултати от отчитане, които са извършени вътре в везната докато отчетените показания R_{Net} са получени пряко, след нулиране на показанието при поставяне на тарата върху устройството за приемане на товара. Резултата от измерване в този случай на теория е:

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

В съответствие с (7.3-1). Грешките за бруто и тара товара, ще бъдат взети като грешки еквивалентни на стойностите на R както по-горе. Обаче, стойностите на тарата и съответно стойностите на брутото – обикновено не се записват.

Тези грешки в този случай могат да се оценят от:

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

където $E(Net)$ е грешка на резултата от отчитане $R = Net$ с допълнителна корекция за ефекта от нелинейност на кривата на грешките $E_{cal}(I)$. За количествено определяне на нелинейността може се вземат първите производни на функцията $E_{appr} = f(R)$ когато тя е известна, или да се пресметне наклона q_E между последователните точки на калибриране чрез:

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

Най-големите и най-малките стойности на производните или на отношенията се вземат за граници на корекцията $\delta R_{Tare} = q_E R_{Net}$. Приема се, че разпределението е правоъгълно, следователно относителна стандартна неопределеност е:

$$w(R_{Tare}) = (q_{Emax} - q_{Emin}) / \sqrt{12} \quad (7.4.4-5)$$

За оценяване на неопределеността $u(W)$, в (7.1-2) се прилага $R = R_{Net}$. За $u(E)$ е обосновано да се предположи, че $u(E(Net)) = u(E_{cal}(R=Net))$ защото пълната корелация между величините допринася за неопределеността на грешките на фиктивните резултати от отчитане на брутото и тарата.

7.4.4.2. Членът δR_{time} отчита възможните ефекти от пълзенето и хистерезиса, в следните случаи:

- а. натоварването при калибриране е извършвано непрекъснато в посока на нарастване на товара, или непрекъснато в посока на нарастване и намаляване на товара (метод 2 или 3 в т. 5.2), така че товара остава върху устройството за приемане на товара за определен период от време, който е достатъчно голям когато се прилага метод на заместване, обикновено при везни с голям максимален обхват. Когато при нормално използване, се измерва дискретен товар, той се поставя върху устройството за приемане на товара и се оставя върху него толкова дълго, колкото е необходимо да се направи отчитане или отпечатване на резултатите. Грешката на показанието може да бъде различна от стойността получена за същия товар при калибриране.

Когато измерването е извършено при непрекъснато натоварване или разтоварване, най-голямата разлика между грешките ΔE_j за всеки изпитвателен товар m_j може да се приеме за гранична стойност на ефекта, чиято относителна стандартна неопределеност е:

$$\hat{w}(R_{time}) = \Delta E_{jmax} / (m_j * \sqrt{12}) \quad (7.4.4-6)$$

Когато измерването е извършено само в посока на натоварване, грешката на връщане на нулата E_0 , когато е определена, се използва за оценка на относителната стандартна неопределеност:

$$\hat{w}(R_{time}) = E_0 / (Max * \sqrt{3}) \quad (7.4.4-7)$$

При отсъствие на такава информация, граничната стойност може да се оцени за везни от одобрен тип съгласно OIML R76 [2] (or EN 45501 [3]) като:

$$\Delta E(R) = R * mpe(Max) / Max \quad (7.4.4-8)$$

За везни, които нямат такъв одобрен тип се прави консервативна оценка която е многократно ($n = 3$ до 10 пъти) по-горяма от тази стойност.

Относителната стандартна неопределеност е:

$$\hat{w}(R_{time}) = mpe(Max) / (Max * \sqrt{3}), \text{ or } = n * mpe(Max) / (Max * \sqrt{3}) \quad (7.4.4-9)$$

- б. натоварването при калибриране е извършено с разтоварване между стъпките на натоварване, товарите, които се измерват остават върху устройството за приемане на товара за по-дълъг период. При отсъствие на всяка друга информация – например наблюдението на изменението на показанието за обичаен период от време – може да се използва като помощно средство към уравнение (7.4.4-9), когато е приложимо.
- с. натоварването при калибриране е било само в посока на нарастване, а при използване се използва в посока на разтоварване. Тази ситуация може да се разглежда като обратна на операцията по уравнивяване на тарата – виж т. 7.4.4.1 – комбинирана с подточка б) по-горе. Прилагат се т. (7.4.4-5) и т. (7.4.4-9).

Забележка: В случай на измерване в посока на разтоварване, резултата от отчитане R трябва да се вземе като положителна стойност независимо, че той може да бъде отрицателен по отношение на везната.

7.4.4.3. δR_{ecc} отчита грешката, дължаща се на ексцентричното натоварване на товара. Прилага се т. 7.1.1.4 с модификация, която да отчита напълно ефекта създаден по време на калибриране, така че:

$$\hat{w}(Recc) = (\Delta I_{ecc}, i)_{max} / (Lecc \sqrt{3}) \quad (7.4.4-10)$$

7.4.4.4. Когато динамични обекти, например животни, се измерват се приема, че $u(\delta I_{rep})$ ще нарасне. Обаче, в този случай винаги се използва един обичаен обект, за да се определи стандартното отклонение s_{dyn} за най-малко 5 измервания и $s(R)$ в т. (7.4.1-5) се заменя с s_{dyn} .

7.4.5. Стандартна неопределеност на резултата от измерване

Стандартната неопределеност на резултата от измерване се пресмята от членовете определени в т. 7.4.1 до т. 7.4.4, когато са приложими.

За резултата от измерване при условията на калибриране:

$$u^2(W^*) = d_0^2/12 + d_L^2/12 + s^2(R) + u^2(E) \quad (7.4.5-1a)$$

За резултата от измерване в общия случай:

$$u^2(W) = u^2(W^*) + [\hat{w}^2(R_{temp}) + \hat{w}^2(R_{adj}) + \hat{w}^2(R_{Tare}) + \hat{w}^2(R_{time}) + \hat{w}^2(R_{ecc})]R^2 + [s_{dyn}^2 - s^2(R)] \quad (7.4.5-1b)$$

Членът $u^2(W^*)$ е даден в плътно черно, за да покаже, че той се прилага във всички случаи, докато останалите членове се включват, когато са приложими.

Повечето от приносите в $u(W)$ могат да се групират в два члена $\alpha^2 W$ и $\beta^2 W$

$$u^2(W) = \alpha^2 W + \beta^2 W R^2 \quad (7.4.5-2)$$

където $\alpha^2 W$ е сумата от квадратите на всички абсолютни стандартни неопределености и $\beta^2 W$ е сумата от квадратите на всички относителни стандартни неопределености.

7.5. Разширена неопределеност на резултата от измерване

7.5.1. Грешки, отчетени чрез корекция

Пълната формула на резултата от измерване равна на резултата от отчитане коригиран с грешките определени при калибрирането е:

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

или

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

когато е приложимо.

Разширената неопределеност $U(W)$ се определя като:

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

или

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

с $u(W^*)$ или $u(W)$ от т. 7.4.5, когато е приложимо.

За $U(W^*)$ коефициента на покритие k трябва да се определи съгласно т. 7.3.

За $U(W)$ коефициента на покритие k , поради по големия брой членове в $u(W)$, ще бъде в повече от случаите $k = 2$, дори когато стандартното отклонение s е получено само от няколко измервания и/или когато в свидетелството за калибриране е посочен $k_{cal} > 2$.

В случай на съмнение, k трябва да се определи съгласно т. 7.3 за:

$$u(W(R=0)) = \alpha_W,$$

и за

$$u(W(R=Max)) = \sqrt{\alpha_W^2 + \beta_W^2 \times Max^2}$$

7.5.2. Грешки, включени в неопределеността

Може чрез договаряне между лабораторията за калибриране и клиента да се получи „обща неопределеност“ $U_{gl}(W)$, която да включва грешки на показанието, такива които не са корекции и не са приложени към резултатите от отчитане при употреба:

$$W = R \pm U_{gl}(W) \quad (7.5.2-1)$$

Освен случаите когато грешките са повече или по-малко разположени около нулата, те определят едностранен принос към неопределеността, който може да се обработва само чрез апроксимация. За улеснение и удобство „общата неопределеност“ е най-добре да се декларира за целия обхват на измерване, вместо да се декларира за отделни стойности определени за фиксирани стойности на резултата от измерване.

Нека $E(R)$ да бъде функция или E^0 да бъде една стойност, представителна за всички грешки декларирани по обхвата за измерване, в свидетелството за калибриране, тогава комбинацията с неопределеностите при използване може по принцип да приеме вида:

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

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

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

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

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

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

Взимайки под внимание вида на $u(W)$ от уравнение (7.4.5-2b), формулите (7.5.2-2b) и (7.5.2-3b) може да бъдат по-подходящи от съответстващите им версии с буква “а”.

За генерирането на формулите за $E(R)$ или за характеристичната стойност E^0 виж Приложение С.

Важно е да се гарантира, че $U_{gl}(W)$ запазва доверителна вероятност не по-малка от 95% за целият обхват на измерване.

7.5.3. Други начини за окачествяване на везната

Клиентът може да очаква или да поиска от лабораторията за калибриране официално да потвърди съответствието с дадена спецификация като $|W - R| \leq Tol$, където Tol е приложимия толеранс (допуск). Толерансът може да се специфицира като „ $Tol = x\%$ за R “, или като „ $Tol = n \times d$ “, или по подобен начин.

Съответствието може да се декларира в съответствие с ISO/IEC 17025 при условие, че

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

и/или за отделните стойности на R , или за коя и да е от стойностите в целия или част от обхвата на измерване.

В един и същ обхват на измерване съответствието може да се декларира за различни негови части или за различни стойности на Tol .

8. СВИДЕТЕЛСТВО ЗА КАЛИБРИРАНЕ

Тази глава съдържа препоръки каква информация е полезно да бъде дадена в свидетелството за калибриране. Тя трябва да бъде в съответствие с изискванията на стандарт ISO/IEC 17025, който има предимство.

8.1. Основна информация

Идентификация на лабораторията за калибриране.

Позоваване на акредитация (орган по акредитация, номер на акредитацията), Идентификация на свидетелството за калибриране (номер на свидетелството за калибриране, дата на издаване, брой на страниците), подпис на упълномощените лица.

Идентификация на клиента.

Идентификация на везната, която се калибрира,

Информация за везната (производител, тип, Max, d, място на използване).

Предупреждение, че свидетелството за калибриране може да бъде копирано само в неговата цялост, освен когато лабораторията за калибриране не е позволила друго с писмено разрешение.

8.2. Информация за процедурата за калибриране

Дата на измерване, място на калибриране и място на използване, когато е различно, условията на заобикалящата среда и/или на използване, които могат да повлияят на резултатите от калибриране.

Информация за везната (извършеното настройване, всякакви аномалии на функциите, възможностите на софтуера, доколкото са приложими за калибрирането и т.н.)

Позоваване към или описание на приложената процедура, доколкото това не е очевидно от свидетелството за калибриране, например постоянния времеви интервал между натоварванията и/или отчитанията.

Споразуменията с клиента например калибриране над лимитирания обхват за калибриране, метрологични спецификации, за които да се издаде декларация за съответствие. Информация за проследимост на резултатите от измерване.

8.3. Резултатите от измерване

Показанията и/или грешките за приложените изпитвателни товари, или грешките свързани с показанията – като дискретни стойности и/или чрез едно уравнение представляващо апроксимацията, детайли за процедурата на натоварване, когато е уместно за разбиране посоченото по-горе, стандартното/ните отклонение/ния идентифицирани като свързани с единичното показание или със средната стойност на показанията, разширената неопределеност на отчетените резултати от измерване.

Посочване на коефициента на покритие k , с коментар за доверителната вероятност и основанието за $k \neq 2$, когато е приложимо.

Когато показанията/грешките не са определени от нормални резултати от отчитане – единични резултати от отчитане при нормална разделителна способност на везната – трябва да се направи едно предупреждение, че неопределеността от калибриране е по-малка от тази, която ще се получи при нормално отчитане.

За клиентите, които са по-информирани, когато е приложимо препоръките биха могли да бъдат полезни за:

- Определяне на грешката на показанието,
- Как да се коригират резултатите от отчитане при използване, чрез изваждане на съответните грешки,
- Как да тълкуват показанията и/или грешките, представени с по-малко знаци след десетичната запетая от скалното деление d .

Може да е полезно да се цитират стойностите за $U(W^*)$ както за всички отделни грешки така и към функцията $E(R)$ в резултат от апроксимация.

8.4. Допълнителна информация

Допълнителна информация за неопределеността на измерване, която може да се очаква при употреба, включително за условията, при които е приложима може да се прикрепи към свидетелството за калибриране, без да бъде част от него.

Когато грешките са пресметнати след коригиране трябва да се използва следната формула:

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

Придружена от равенството за $E(R)$.

Когато грешките са включени в „общата неопределеност“ трябва да се използва следната формула:

$$W = R \pm U_{gl}(W) \quad (8.4-2)$$

Една декларация, че разширената неопределеност на стойностите за формулата съответстват на доверителна вероятност най-малко от 95%, трябва да бъде добавена.

Не е задължително:

Декларация за съответствие с дадена спецификация и обхват на валидност, когато е приложимо.

Тази декларация може да бъде във вида

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

и може да бъде дадена в допълнение към резултатите от измерване, или като самостоятелна декларация позовавайки се на резултатите от измерване, деклариращи, че са поддържани от лабораторията за калибриране.

Декларацията може да се придружава от коментар, че всички резултати от измерване заедно с разширената неопределеност на измерването са в специфицираните граници.

9. СТОЙНОСТ НА МАСАТА ИЛИ КОНВЕНЦИОНАЛНА СТОЙНОСТ НА МАСАТА

Величината W е оценка на конвенционалната стойност на масата m_c на измервания обект⁶. За някои случаи на използване е необходимо от W да се получи за стойността на масата m или една по-точна стойност за m_c .

Плътността ρ или обема V на обекта, заедно с една оценка на тяхната стандартна неопределеност трябва да бъдат известни от други източници.

9.1. Стойност на масата

Масата на един обект е:

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

Пренебрегвайки членовете от втори и по-висок порядък, относителната стандартна неопределеност $\hat{w}^2(m)$ се получава от:

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

За ρ_a и $u(\rho_a)$ (плътност на въздуха) виж Приложение А.

Когато V и $u(V)$ са известни вместо ρ и $u(\rho)$, ρ може да се апроксимира от W/V и $\hat{w}(\rho)$ може да се замени от $\hat{w}(V)$.

9.2. Конвенционална стойност на масата

Конвенционалната стойност на масата на обекта е:

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

Пренебрегвайки членовете от втори и по-висок порядък, относителната стандартна неопределеност $\hat{w}^2(m_c)$ се получава от:

$$\hat{w}^2(m_c) = \frac{u^2(W)}{W^2} + u^2(\rho_a) \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_c} \right)^2 + (\rho_a - \rho_0)^2 \frac{u^2(\rho)}{\rho^4} \quad (9.2-2)$$

Прилагат се същите коментари както дадените към (9.1-2).

⁶ В повечето от случаите, особено когато резултатите са използвани за търговия стойността W се използва като резултат от измерване на масата.

10. БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] JCGM 100:2008 (GUM 1995 with minor corrections) Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement, September 2008
- [2] OIML R 76: Non-automatic Weighing Instruments Part 1: Metrological Requirements – Tests, edition 2006 (E)
- [3] EN 45501: Metrological Aspects of Non-automatic Weighing Instruments, edition 1992 with supplement 1994
- [4] OIML R111, Weights of Classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3, M3, Edition 2004 (E)
- [5] A Picard, R S Davis, M Gläser, K Fujii: Revised formula for the density of moist air (CIPM-2007). *Metrologia* 45 (2008), p. 149-155.
- [6] M. Gläser: Change of the apparent mass of weights arising from temperature differences *Metrologia* 36 (1999), p. 183-197
- [7] ISO 31 Quantities and Units (1993) Part 11: Mathematical Signs and Symbols for use in physical sciences and technology
- [8] VIM, International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, 2nd edition 1994
- [9] Determination of Mass – Part 1: Dissemination of the unit of mass”, by R. Balhorn, D. Buer, M. Gläser and M. Kochsiek PTB-Bericht MA-24, 2nd revised edition, Braunschweig, April 1992

ПРИЛОЖЕНИЕ А: ПРЕПОРЪКА ЗА ОЦЕНКА НА ПЛЪТНОСТТА НА ВЪЗДУХА

Забележка: В приложение А, символите са T за температура в K и t за температура $^{\circ}C$.

A1 Формули за плътност на въздуха

Най-точната формула за определяне на плътността на влажен въздух е тази, която се препоръчва от СИРМ [5]⁷. За целите на това Ръководство за достатъчни по-малко сложни формули, които дават малко по-точни резултати.

A1.1 Опростена версия на формулата на СИРМ, експоненциална версия

от [4], раздел Е3

$$\rho_a = \frac{0.34848p - 0.009h \exp(0.061t)}{273.15 + t} \quad (\text{A1.1-1})$$

където

- ρ_a е плътността на въздуха в kg/m^3
- p е атмосферното налягане в hPa
- h_r е относителната влажност на въздуха в %
- t е температурата в $^{\circ}C$

Формулата дава резултати с $u_{form}/\rho_a \leq 2,4 \times 10^{-4}$ при следните условия на заобикалящата среда (неопределеността на измерването на p , h_r , t не е включена).

- p $600 \text{ hPa} \leq p \leq 1100 \text{ hPa}$
- h_r $20 \% \leq h \leq 80 \%$
- t $15 \text{ }^{\circ}C \leq t \leq 27 \text{ }^{\circ}C$

A1.2 Опростена версия на формулата на СИРМ, стандартна версия

От [9] това може да се изрази като:

$$\rho_a = \frac{0.348444p - h(0.00252t - 0.020582)}{273.15 + t} \quad (\text{A1.2-1})$$

с означения както по-горе.

Формулата дава резултати с $\Delta\rho_{a,form} \leq 0,001 \text{ 41 kg/m}^3$ при следните условия на заобикалящата среда (неопределеността на измерването на p , h_r , t не е включена):

- p $600 \text{ hPa} \leq p \leq 1100 \text{ hPa}$
- h_r $20 \% \leq h \leq 80 \%$
- t $15 \text{ }^{\circ}C \leq t \leq 27 \text{ }^{\circ}C$

$\Delta\rho_{a,form}$ е разликата между стойностите на тази формула и съответстващите им стойности от формулата на СИРМ. Следователно комбинираната относителна неопределеност $\hat{w}(\rho_{a,form})$ на формулата се дава от:

$$\hat{w}^2(\rho_{a,form}) = (2,2 \times 10^{-5})^2 + ((0,001 \text{ 41 kg/m}^3)/(1,2 \text{ kg/m}^3))^2 / 3 = 4,61 \times 10^{-7} \quad (\text{A1.2-2})$$

⁷ Препоръчаните обхвати на температурата и налягането за които формулата на СИРМ-2007 може да се използва са:
 $600 \text{ hPa} \leq p \leq 1100 \text{ hPa}$
 $15 \text{ }^{\circ}C \leq t \leq 27 \text{ }^{\circ}C$.

$$\hat{w}(\rho_{a,form}) = 6,79 \times 10^{-4} \quad (A1.2-3)$$

A1.3 Формула на Бойл-Мариот

От основната формула $p/\rho = RT$ следва:

$$\rho_a = \frac{\rho_{a,ref} T_{ref} p}{T p_{ref}} \quad (A1.3-1)$$

Изходните стойности могат да се изберат подходящо. Те могат да бъдат действителните стойности определени по време на калибриране или друг подходящ набор от стойности.

Една много подходяща модификация на тази формула може да се предложи както следва:

$$\rho_a = 0.99265 \frac{(1.20139 \text{ kg/m}^3)(293.15 \text{ K})p}{(273.15 + t)(1015 \text{ hPa})} \quad (A1.3-2)$$

чиито стойности са в границите на $\pm 1.1\%$ от стойностите на СИМ формулата – виж А1.4 за обосновка и обхват на валидност.

A1.4 Формула на грешките

Извършени са прости пресмятания с възможностите на EXCEL за да се сравнят резултатите за плътността на въздуха получени с формулите по-горе и стойностите получени от формулата на СИМ, въз основа, че $x_{CO_2} = 0.0004$.

Сравнението е направено за следните обхвати и стойности на параметрите:

Температура	$t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ to $27 \text{ }^\circ\text{C}$
Атмосферно налягане	$p = 600 \text{ hPa}$ to $1\ 100 \text{ hPa}$
Относителна влажност	$h = 20 \%$ to 80%

Най-голямата разлика между всяка стойност от опростената формула и съответстващата ѝ стойност на формулата на СИМ, изразена в % от стойностите на СИМ е:

Формула	Максимална разлика (абсолютна)
(A.1.1-1)	0,024 %
(A.1.2-1)	0,20 %
(A.1.3-1) Изходна стойност $\rho_a = 1,20021 \text{ kg/m}^3$	1,4 %
(A.1.3-2) Изходна стойност $\rho_a = 1,200139 \text{ kg/m}^3$	0,9 %

Забележка:

За $\rho_a = 1.20021 \text{ kg/m}^3$, изходните стойности са
 $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1014 \text{ hPa}$ и $h_r = 50\%$.

За последния ред изходните стойности са $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $p = 1015 \text{ hPa}$, $h_r = 50\%$ докато референтната стойност на плътността на въздуха произволно е избрана да бъде

$\rho_{a,ref} = (1,201\ 39 \text{ kg/m}^3 \times 0,994\ 62)$ за да се получи по добра крива съответна на стойностите на СИМ 2007.

A1.5 Средна плътност на въздуха

Когато не е възможно температурата и атмосферното налягане да бъдат измерени средната плътност на въздуха на мястото може да се пресметне от неговата надморска височина, както се препоръчва в [4]:

$$\rho_a = \rho_o \exp\left(-\frac{\rho_o}{p_o} g h_{SL}\right) \quad (\text{A1.5-1})$$

с $p_o = 101325 \text{ Pa}$
 $\rho_o = 1.200 \text{ kg/m}^3$
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 $h = \text{надморска височина в m}$

A2 Изменения на параметрите съставлящи на плътността на въздуха

A2.1 Атмосферно налягане:

Средното атмосферно налягане $p(h_{SL})$ може да се оцени от височината h_{SL} в метри m над морското ниво на мястото чрез равенството:

$$p(h_{SL}) = p(h_0) - h_{SL} \times (0,12 \text{ hPa/m}) \quad (\text{A2.1-1})$$

с $p(h_0) = 1013,12 \text{ hPa}$

За всяко местоположение изменението е най-много $\Delta p = \pm 40 \text{ hPa}$ около средната стойност⁸. В тези граници разпределението не е правоъгълно като екстремните стойности се достигат само веднъж за няколко години. По-реалистично е да се приеме нормално разпределение с Δp “2σ” или дори “3σ”. Следователно:

$$u(\Delta p) = 20 \text{ hPa (за } k = 2) \text{ или } u(\Delta p) = 13.3 \text{ hPa (за } k = 3) \quad (\text{A2.1-2})$$

A2.2 Температура

Възможното изменение $\Delta t = t_{max} - t_{min}$ на температурата на мястото на използване на везната може да се оцени от леснодостъпна информация за:

границите посочени от клиента въз основа на неговия опит,
показанията на подходящи записващи средства,
настройките на контролните уреди, когато помещението е климатизирано или температурата е стабилизирана;

в случай че посоченото по горе е невъзможно за изпълнение трябва да се приложи приемливо решение, което да води – например до:

$17^\circ\text{C} \leq t \leq 27^\circ\text{C}$ за затворени офиси или лабораторни помещения с прозорци,

$\Delta t \leq 5 \text{ K}$ за закрити помещения без прозорци в средата на сградата,

$-10^\circ\text{C} \leq t \leq +30^\circ\text{C}$ or $\leq +40^\circ\text{C}$ за открити работни помещения или заводски халета.

Както вече беше посочено за атмосферното налягане, правоъгълното разпределение е малко вероятно за открити работни помещения или заводски халета, където климатичната температура преобладава. Въпреки това, за да се избегнат различни предположения за разположения на помещенията се препоръчва да се приеме правоъгълното разпределение, което води до:

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

⁸ Пример: за Хановер, Германия разликата между най-високото и най-ниското атмосферно налягане откакто се наблюдава през последните 20 години е 77.1 hPa (Информация от DWD, Германската метеорологична служба)

A2.3 Относителна влажност

Възможното изменение $\Delta h_r = h_{r,max} - h_{r,min}$ на относителната влажност на мястото на използване на везната може да се оцени от леснодостъпна информация за:

границите посочени от клиента въз основа на неговия опит,
показанията на подходящи записващи средства,
настройките на контролните уреди, когато помещението е климатизирано;

В случай че посоченото по горе е невъзможно за изпълнение трябва да се приложи приемливо решение, което да води – например до:

$30\% \leq h_r \leq 80\%$ за закрити офиси или лабораторни помещения с прозорци,
 $\Delta h_r \leq 30\%$ за затворени помещения без прозорци в средата на сградата,
 $20\% \leq h_r \leq 80\%$ за открити работни помещения или заводски халета.

Следва да се има предвид, че

при $h_r < 40\%$ електростатичните ефекти вече могат да въздействат на резултата от измерване за електронни везни с висока разделителна способност,
при $h_r > 60\%$ може да се появи корозия.

Както вече беше казано за атмосферното налягане, правоъгълното разпределение е малко вероятно да настъпи за открити работни помещения или заводски халета, когато относителната влажност на атмосферата надделява.

Обаче за да се избегнат различните приемания за различни помещения се препоръчва приемане на правоъгълното разпределение, водещо до

Както вече беше посочено за атмосферното налягане, правоъгълното разпределение е малко вероятно за открити работни помещения или заводски халета, където климатичната относителна влажност преобладава. Въпреки това, за да се избегнат различни предположения за разположения на помещенията се препоръчва да се приеме правоъгълното разпределение, което води до:

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

A3 Неопределеност на плътността на въздуха

Относителната стандартната неопределеност на плътността на въздуха $u(\rho_a)/\rho_a$ може да бъде пресметната от:

$$u(\rho_a)/\rho_a = \sqrt{(u_f(\rho_a)/\rho_a \cdot u(p))^2 + (u_t(\rho_a)/\rho_a \cdot u(t))^2 + (u_h(\rho_a)/\rho_a \cdot u(h))^2 + (u_{form}(\rho_a)/\rho_a)^2} \quad (\text{A3-1})$$

с коефициенти на чувствителност (произтичащи от формулата за плътност на въздуха на СИРМ)

$u_p(\rho_a)/\rho_a = 1 \times 10^{-3} \text{ hPa}^{-1}$ за атмосферното налягане

$u_t(\rho_a)/\rho_a = 4 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ за температурата на въздуха

$u_h(\rho_a)/\rho_a = -9 \times 10^{-3}$ за относителната влажност

Пример за стандартна неопределеност на плътността на въздуха, пресметната за различни параметри чрез използване на формулата на CIPM 2007

$\Delta p/\text{hPa}$	$\Delta t/^\circ\text{C}$	Δh_r	$\frac{u_p(\rho_a)}{\rho_a} u(p)$	$\frac{u_t(\rho_a)}{\rho_a} u(t)$	$\frac{u_h(\rho_a)}{\rho_a} u(h)$	$\frac{u_{form}(\rho_a)}{\rho_a}$	$\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}$
40	2	0,2	$1,15 \times 10^{-2}$	$-2,31 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-2}$
40	2	1	$1,15 \times 10^{-2}$	$-2,31 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$1,21 \times 10^{-2}$
40	5	0,2	$1,15 \times 10^{-2}$	$-5,77 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$1,29 \times 10^{-2}$
40	5	1	$1,15 \times 10^{-2}$	$-5,77 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$1,32 \times 10^{-2}$
40	10	0,2	$1,15 \times 10^{-2}$	$-1,15 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$1,63 \times 10^{-2}$
40	10	1	$1,15 \times 10^{-2}$	$-1,15 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$1,65 \times 10^{-2}$
40	20	0,2	$1,15 \times 10^{-2}$	$-2,31 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$2,58 \times 10^{-2}$
40	20	1	$1,15 \times 10^{-2}$	$-2,31 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$2,60 \times 10^{-2}$
40	30	0,2	$1,15 \times 10^{-2}$	$-3,46 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$3,65 \times 10^{-2}$
40	30	1	$1,15 \times 10^{-2}$	$-3,46 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$3,66 \times 10^{-2}$
40	40	0,2	$1,15 \times 10^{-2}$	$-4,62 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$4,76 \times 10^{-2}$
40	40	1	$1,15 \times 10^{-2}$	$-4,62 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$4,77 \times 10^{-2}$
40	50	0,2	$1,15 \times 10^{-2}$	$-5,77 \times 10^{-3}$	$-5,20 \times 10^{-4}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$5,89 \times 10^{-2}$
40	50	1	$1,15 \times 10^{-2}$	$-5,77 \times 10^{-3}$	$-2,60 \times 10^{-3}$	$2,20 \times 10^{-5}$	$5,89 \times 10^{-2}$

Относителната стандартна неопределеност на формулата на CIPM е $2,2 \times 10^{-5}$ [5].

За апроксимациите A.1.1-1, A.1.2-1 и A.1.3-1 относителната стандартна неопределеност, дължаща се на съответната апроксимираща формула трябва да бъде правилно заместена от

$$\frac{u_{form}(\rho_a)}{\rho_a}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В: КОЕФИЦИЕНТ НА ПОКРИТИЕ k ЗА РАЗШИРЕНАТА НЕОПРЕДЕЛЕНОСТ НА ИЗМЕРВАНИЯТА

Забележка: В това приложение основния символ y е използван за резултата от измерване, а не за специфична величина като показание, грешка, маса на измервания обект и т. н.

В1. Цел

Коефициента на покритие k трябва във всички случаи да бъде избран така, че разширената неопределеност на измерванията да има доверителна вероятност около 95%.

В2. Основни изисквания за прилагане на $k = 2$

Коефициентът $k = 2$ се прилага когато са изпълнени следните условия:

нормално разпределение може да се припише на изходната оценка y , и $u(y)$ има достатъчна степен на сигурност, виж [1]

Може да се приеме, че разпределението е нормално, когато няколко компонента на неопределеността (например $N \geq 3$), всеки получен от едно „напълно определено” разпределение (нормално, правоъгълно или подобно), носи принос в $u(y)$ чрез сравними количества – виж [1].

Забележка: Това означава, че нито един от приносите, които не са с нормално разпределение няма доминираща стойност, както е определено В.3.2.

Степента на сигурност зависи от ефективните степени на свобода. Този критерий се изпълнява когато приносите, които не са от тип А в $u(y)$ се получени за най-малко 10 наблюдения, виж [1].

В3. Определяне на k в други случаи

Във всеки от следващите случаи разширената неопределеност е $U(y) = ku(y)$.

В3.1. Разпределение прието за нормално

Когато разпределението на изходната оценка y може да бъде прието за нормално, но $u(y)$ не е с достатъчна степен на сигурност – виж В.2 – тогава ефективните степени на свобода ν_{eff} могат да бъдат определени от формулата на Уелч-Сатъруайт и $k > 2$ е отчетено от подходящата Таблица като в [1], Приложение Е.

В3.2. Разпределение, което не е нормално

Може да е очевидно в дадена ситуация, че $u(y)$ съдържа един компонент на неопределеността само от тип В $u_I(y)$, чието разпределение не е нормално, а например правоъгълно или триъгълно разпределение, който е значително по-голям от всички останали компоненти. В този случай, $u(y)$ се разделя на частта u_I (вероятно доминираща) и $u_R = \sqrt{\sum_{j \geq 2} u_j^2}$, е комбинираната стандартна неопределеност, включваща останалите приноси, виж [1].

Ако $u_R \leq 0,3$, тогава u_I се приема, че е доминираща тогава за разпределението на y се приема, че е по същество идентично на доминиращият принос.

Коефициентът на покритие се избира в съответствие с вида на разпределението на доминиращия компонент:

За трапецивидно разпределение с $\beta < 0.95$:

(β = параметър на страните, отношението на най-малката, към най-голямата стана на трапеца)

$$k = \left\{ 1 - \sqrt{[0,05(1 - \beta^2)]} \right\} / \sqrt{(1 + \beta^2)/6} - \text{виж [1]}$$

за правоъгълно разпределение ($\beta = 1$): $k = 1.65$ – виж [1]

за триъгълно разпределение ($\beta = 0$): $k = 1.90$

за U-тип разпределение: $k = 1.41$

Доминиращата компонента може сама по себе си да се състои от 2 доминиращи компоненти $u_1(y)$, $u_2(y)$, например 2 правоъгълни, които правят едно трапецовидно разпределение, в този случай u_R се определя от останалите u_j с $j \geq 3$.

ПРИЛОЖЕНИЕ С: ФОРМУЛИ ЗА ОПИСВАНЕ НА ГРЕШКИТЕ, СВЪРЗАНИ С ПОКАЗАНИЯТА

C1 Цел

Това приложение ни предлага упътване как да получим, от дискретните стойности по време на калибрирането или представени в свидетелството за калибриране, грешките и присъединените им неопределености за всеки резултат от отчитане в калибрирания обхват на измерване.

Приема се че при калибриране получаваме n данни за I_{Nj} , E_j , U_j , или алтернативно за m_{Nj} , I_j , U_j , заедно с коефициента на покритие k и означаване на разпределението на E , определено от k .

Във всички случаи се приема, че номиналното показание I_{Nj} е $I_{Nj} = m_{Nj}$.

Приема се в допълнение, че за всяко m_{Nj} грешката E_j остава същата, когато I_j е заменено от I_{Nj} , поради което е достатъчно да разгледаме данните за I_{Nj} , E_j , u_j , като пропуснем наставката N за простота.

C2 Функционални зависимости

C2.1 Интерполация

Има няколко полиномни формули за интерполация⁹ между стойностите посочени в таблици с равноотстоящи аргументи, които са лесни за използване. Изпитвателните товари обаче могат в много от случаите да не са равноотстоящи, което изисква прилагане на доста сложни интерполационни формули, когато се търси обща формула, която да се отнася за целия обхват на измерване.

Линейната интерполация между две съседни точки може да се осъществи чрез:

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

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

за резултат от отчитане R при $I_k < R < I_{k+1}$.

За полином от висок ред е необходимо да се оцени възможната грешка от интерполацията – това не е разработено допълнително.

C2.2 Апроксимация

Апроксимацията трябва да се осъществи чрез пресмятане или алгоритъм въз основа на метода за "minimum χ^2 ":

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

p_j = фактор на измерване на масата (основно пропорционален на $1/u_j^2$)

v_j = математичен остатък (резидиум)

f = апроксимационна функция съдържаща n_{par} параметъра.

Заедно с коефициентите на апроксимационната функция, трябва да се определи сумата на квадратите на отклоненията както в (C.2.2-1), която е изразена чрез члена $\min \chi^2$. Това служи за проверка на валидността на апроксимацията.

Когато са изпълнени следните условия:

$$|\min \chi^2 - u| \leq \beta \sqrt{2u} \quad (C2.2-2)$$

⁹ За получаване на интерполациите между точно посочени стойности се подразбира, че е дадена една интерполационна формула. Една апроксимационна формула няма да доведе обикновено до точно посочените стойности.

с $u = n - n_{par} =$ степени на свобода, и $\beta =$ коефициент избран да бъде 1, 2 (най-прилаганата стойност), или 3, е оправдано да се приеме, че вида на моделната функция $E(I)$ ще бъде математически съвместим с данните, върху които се основава интерполацията.

C2.2.1 Полиномна апроксимация

Полиномната апроксимация се получава от основната функция като:

$$E(R) = f(R) = a_0 + a_1R + a_2R^2 + \dots + a_{na}R^{na} \quad (C2.2-3)$$

Степенния показател na на коефициентите се избира така, че $n_{par} = na + 1 \leq n/2$.

Пресмятането е най-добре да се извърши чрез матрици.

Нека:

$X_{(n \times n_{par})}$	е матрица с n реда, които са $(1, I_j, I_j^2, \dots, I_j^{na})$
$a_{(n_{par} \times 1)}$	е вектор стълб, чиито компоненти са коефициентите a_0, a_1, \dots, a_{na} на апроксимационния полином
$e_{(n \times 1)}$	е вектор стълб, чиито n компоненти са E_j
$U(e)_{(n \times n)}$	е матрицата на неопределеностите на E_j .

$U(e)$ е или диагонална матрица, чиито елементи са $u_{jj} = u^2(E_j)$, или е получена като комплексна матрица var/cov .

Матрицата на измерването P е:

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

и коефициентите a_0, a_1, \dots са получени от решението на нормалното уравнение:

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

с решение:

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

n отклонения $v_j = f(I_j) - E_j$ се съдържат във вектора

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

и $\min \chi^2$ се получава от

$$\min \chi^2 = v^T P v \quad (C2.2-8)$$

При условие, че условието (C.2.2-2) е изпълнено, вариациите и ковариациите на коефициентите a_i се получават от матрицата:

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

Когато условието (C.2.2-2) не е изпълнено може да се приложи една от следните процедури:

- повтаряне на апроксимацията с по-голям брой na на коефициентите, толкова че $na + 1 \leq n/2$;
- повтаряне на апроксимацията след увеличаване на всички стойности u_j например с умножаване с подходящ коефициент $c > 1$. ($\min \chi^2$ е пропорционален на $1/c^2$)

Резултатите от апроксимацията на a и $U(a)$ могат да се използват за определяне на грешките от апроксимация и присъединените им неопределености за n точки на калибриране I_j .

Грешките $E_{appr,j}$ са включени във вектора:

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

с неопределености дадени от

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

Горните равенства служат също за определяне на грешката и присъединената неопределеност за всяко друго показание – наречено резултат от отчитане R за разлика от показанията I_j – които се намират в калибрирания обхват на измерване.

Нека

\mathbf{r} е вектор стълб, с елементи $(1, R, R^2, R^3, \dots, R^{na})^T$,
 \mathbf{r}' е вектор стълб, с елементи производните $(0, 1, 2R, 3R^2, \dots, naR^{na-1})^T$.

Тогава грешката е:

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

и неопределеност:

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

Опростяваме първия член в дясно, тъй като всички три матрици са с размерност единица до:

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

с $u^2(R) = d_0^2/12 + d_R^2/12 + s^2(I)$ както в (7.1.1.-11).

C2.2.2 Линейна апроксимация

Много съвременни електронни везни са добре проектирани и регулирани вътрешно, за да се постигне добра линейност на функцията $I = f(m)$. Следователно грешките в по-голямата си част са в резултат на неправилно настройване и бързо нарастват пропорционално на R . За такива везни е достатъчно да се ограничи полинома да линейна функция при условие, при условие, че това е достатъчно от гледна точка на изискванията в (C.2.2-2).

Стандартното решение е да се приложи (C.2.2-3) с $n_a = 1$:

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

Един вариант на горното е да се приеме $a_0 = 0$ и да се определи само a_1 . Това може да се обясни на факта, че се дължи на устройството за нулиране – най-малко при нарастващи товари – грешката $E(R=0)$ става автоматично $= 0$:

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

Друг вариант е да се определи коефициента a ($= a_1$ в (C2.2-16)) като средна стойност на всички градиенти $q_j = E_j / I_j$. Това дава възможност за включване на грешките на нетните показания след уравнивяване на тарата, когато те не са определени при калибриране:

$$a = \Sigma(E_j / I_j) / n \quad (\text{C2.2-17})$$

Пресмятанията с изключение на варианта (C2.2-17), могат да се направят чрез матричните формули в C.2.2.1.

Други възможности са дадени по долу.

C2.2.2.1 Линейна регресия както в (C2.2-12) може да се извърши с много от стандартните джобни калкулатори.

Съответствието между резултатите е обикновено,

$$\text{„отсечка“} \Leftrightarrow a_0$$

$$\text{„наклон“} \Leftrightarrow a_1$$

Въпреки това калкулаторите може да не са в състояние да извършат линейна регресия въз основа на данните от грешката на измерване на масата или линейна регресия с $a_0 = 0$.

C2.2.2.2 За да се улесни програмиране на пресмятанията с компютър в нематричен запис по-долу са дадени съответните формули. Всяка формула включва коефициентите от измерване на масата $p_j = 1/u^2(E_j)$.

За простота, се премахват всички индекси „j“ от I , E , p .

а) линейна регресия за (C2.2-15)

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

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

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

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

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

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

(C2.2-15) се прилага за грешките от апроксимиране на R и неопределеността на апроксимация $u(E_{appr})$ се дава от:

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

б) линейна регресия с $a_0 = 0$

$$a_1 = \sum pIE / \sum pI^2 \quad (\text{C2.2-16a})$$

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

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

(C2.2-16) се прилага за грешките от апроксимиране на R и присъединената неопределеност $u(E_{appr})$ се дава

$$u^2(E_{appr}) = a_1^2 u^2(R) + R^2 u^2(a_1) \quad (\text{C2.2-16d})$$

с) средна стойност на градиентите

В този вариант неопределеностите са $u(E_j/I_j) = u(E_j)/I_j$, и $p_j = I_j^2/u^2(E_j)$.

$$a = (\Sigma p E/I)/\Sigma p \quad (C2.2-17a)$$

$$\min \chi^2 = \Sigma p (a - E/I)^2 \quad (C2.2-17b)$$

$$u^2(a) = 1/\Sigma p \quad (C2.2-17c)$$

(C.2.2-16) се прилага за грешките от апроксимиране на R което може да бъде и показание за нетото и неопределеността на апроксимация $u(E_{appr})$ се дава от:

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

С3 Членове, които не са свързани с резултатите от отчитане

Когато членовете, които не са функция на показанието не предлагат никаква стойност за оценка на грешката, която се очаква за даден резултат от отчитане при употреба те могат да бъдат полезни за получаване на ”общата неопределеност” посочена в 7.5.2.

С3.1 Средна грешка

Средната стойност на всички грешки е:

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

със стандартно отклонение:

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

Забележка: данните за точки $I = 0$, $E = 0$ трябва да се включат като I_1 , E_1 .

Когато \bar{E} е близка до нула, само $s^2(E)$ може да се добави в уравнението (7.5.2-2a). В други случаи, в частност, когато $|\bar{E}| \geq u(W)$, трябва да се използва уравнението (7.5.2-3a) като $u(W)$ се увеличи с $u_{appr} = s(E)$.

С3.2 Максимална грешка

“Максималната грешка” трябва да се възприема като най-голямата абсолютна стойност на всички грешки:

$$E_{max} = |E_j|_{max} \quad (3.2-1)$$

С3.2.1 При $E^0 = E_{max}$, уравнението (7.5.2-3a) трябва да описва ”общата неопределеност”, която покрива всяка грешка в обхвата на измерване с най-висока доверителна вероятност 95%. Предимството е, че формулата е проста и разбираема.

С3.2.2 Когато се приеме, че всички грешки в един „фиктивен” обхват имат правоъгълно разпределение $\pm E_{max}$, трябва да се определи E^0 като стандартно отклонение на грешките:

$$E^0 = E_{max}/\sqrt{3} \quad (3.2-2)$$

и да се включи в уравнението (7.5.2-2a).

ПРИЛОЖЕНИЕ D:СИМВОЛИ И ТЕРМИНИ

D1 Символи с общо приложение

Символите, които са използвани в повече от един раздел на основния документ са изброени и обяснени по-долу.

Символ	Определение	Единица
<i>C</i>	корекция	
<i>D</i>	дрейф, изменение на стойността с времето	
<i>E</i>	грешка (на показание)	g, kg, t
<i>I</i>	показание на везна	g, kg, t
<i>L</i>	товар върху везна	g, kg, t
<i>Max</i>	максимален товар, максимален капацитет на измерване на теглото	g, kg, t
<i>Max'</i>	горна граница за специфициран обхват на измерване, $Max' < Max$	g, kg, t
<i>Min</i>	Стойност, под която резултата от измерване може да има твърде голяма относителна грешка	g, kg, t
<i>Min'</i>	долна граница на специфициран обхват на измерване, $Min' > Min$	g, kg, t
<i>R</i>	показание (резултат от отчитане) на везна, който не е свързан с изпитвателен товар	g, kg, t
<i>T</i>	температура	°C, K
<i>Tol</i>	специфициран допуск	
<i>U</i>	разширена неопределеност	g, kg, t
<i>W</i>	резултат от измерване, измерване във въздух	g, kg, t

<i>d</i>	скално деление, разликата в масите между две последователни показания на показващото устройство	g, kg, t
<i>d_T</i>	ефективно скално деление $< d$, използвано при изпитвания по време на калибриране	g, kg, t
<i>k_x</i>	брой на точките <i>x</i> , както е посочен във всеки случай	
<i>k</i>	коэффициент на покриване	
<i>m</i>	масата на един обект	g, kg, t
<i>m_c</i>	конвенционалната стойност на масата, предимно на еталонната теглилка	g, kg, t
<i>m_N</i>	номинална конвенционална стойност на еталонната теглилка	g, kg, t
<i>m_{ref}</i>	реферетна (изходна) („истинска стойност“) измерване на масата на изпитвателния товар	g, kg, t
<i>m_{pe}</i>	максимална допустима грешка (на показание, еталонна теглилка и т.н.) в дадения контекст	g, kg
<i>n</i>	брой на точките, както е посочен във всеки случай	
<i>s</i>	стандартно отклонение	
<i>t</i>	време	h, min
<i>u</i>	стандартна неопределеност	
<i>ŵ</i>	стандартна неопределеност свързана с основна величина	

<i>ν</i>	брой на степените на свобода	
<i>ρ</i>	плътност	kg/m ³
<i>ρ₀</i>	реферетна (изходна) плътност на въздуха, $ρ_0 = 1,2 \text{ kg/m}^3$	kg/m ³
<i>ρ_a</i>	плътност на въздуха	kg/m ³
<i>ρ_c</i>	реферетна (изходна плътност) на еталонната теглилка, $ρ_c = 8000 \text{ kg/m}^3$	kg/m ³

Наставка	свързана с
<i>B</i>	изтласкваща сила на въздуха
<i>D</i>	дрейф
<i>N</i>	номинална стойност
<i>T</i>	изпитване
<i>adj</i>	настройване
<i>appr</i>	апроксимация
<i>cal</i>	калибриране
<i>conv</i>	конвекция
<i>dig</i>	цифровизация
<i>ecc</i>	екцентрично натоварване
<i>gl</i>	общ, пълен
<i>i, j</i>	номерация
<i>instr</i>	везна
<i>max</i>	максималната стойност за дадено множество
<i>min</i>	минималната стойност за дадено множество
<i>proc</i>	процедура за измерване
<i>ref</i>	референтен/изходен
<i>rep</i>	повтаряемост
<i>s</i>	еталон (маса); действителен по време на настройване
<i>sub</i>	заместващ товар
<i>tare</i>	уравновесяване на тарата
<i>temp</i>	температура
<i>time</i>	време
0	нула, липса на товар

D2 Важни термини и изрази

D2.1 Изпитване при калибриране и резултати от измерване

Величина	Компонент на стандартна неопределеност	Раздели, подраздели
Показание I_j за дискретен измервателен товар m_j		4.4.1; 6.2.1
Показание I $I = I_L + \delta I_{digL} + \delta I_{rep} + \delta I_{ecc} - I_0 - \delta I_{dig0}$ $u^2(I) = u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(\delta I_{dig0})$	$u(I)$ съдържа: $d_0/\sqrt{12} + d_L/\sqrt{12}$ от закръгляне, s или s_{pool} от повторяемост, $\hat{w}(I_{ecc})I$ от ексцентричното натоварване	4.4; 6; 7.1 7.1.1; 7.1.1.5 7.1.1.1+2 7.1.1.3 7.1.1.4
Повторяемост Средна от n показания: $\bar{I}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ji}$	Стандартно отклонение: $s(I_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{ji} - \bar{I}_j)^2}$	4.4; 6.1
Ексцентричност $\Delta I_{ecc i} = I_i - I_1$	$\hat{w}(I_{ecc}) = \Delta I_{ecc, i} / \max(2L_{ecc} \sqrt{3})$	6.3; 7.1.1.4
Референтна/изходна маса m_{ref} $m_{ref} = m_N + \Delta m_c + \delta m_B + \delta m_D + \delta m_{conv}$ $u^2(m_{ref}) = u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_{conv})$ За изпитвателни товари L_{Tn} от заместващ товар: $u^2(L_{Tn}) = n^2 u^2(m_{c1}) + 2 \sum u^2(I_{j-1}) \int_{j=1}^n$	$u(m_{ref})$ съдържа: $u(\delta m_c)$ или $\hat{w}(m_c)$ от калибриране, $\hat{w}(m_B)$ от изтласкващата сила на въздуха, $u(m_D)$ от дрейфа, $u(m_{conv})$ от конвекцията $u(m_{c1}) = u(m_{ref})$ като по-горе $u(I_{j-1}) = u(I(L_{Tj-1}))$	4.3; 7.1 7.1.2, 7.1.2.5 + 6 7.1.2.1; 7.1.2.2, Пр. А + Е 7.1.2.3 7.1.2.4, Пр. F 7.1.1.5
Грешка E $E = I - m_{ref}$ $u^2(E) = u^2(I) + u^2(m_{ref})$	без принос от въздействие на конвекция: $u^2(E) = \alpha^2 + \beta^2 I^2$	6.2.1 7.1; 7.1.3
Характеристика $E_{appr} = f(I)$, основана на данните за I_j , $E_j, u(E_j)$ $u(E_{appr}) = g(I)$	$u(E_{appr})$ в резултат на апроксимиращи пресмятания	6.2; 7.2; Пр. С
Разширена неопределеност: $U(E) = ku(E)$ с $k = 2$ (нормално разпределение) или $k \neq 2$		7.3; Пр. В

D2.2 Резултати от измерване получени от потребителя на везната

Величина	Компонент на стандартна неопределеност	Раздели, подраздели
<p>Отчитане от потребителя: $R = R_L + \delta R_{digL} + \delta R_{rep} - R_0 - \delta R_{dig0}$ $(+\delta R_{ecc})$ $u^2(R) = u^2(\delta R_{digL}) + s^2 + u^2(\delta R_{dig0})$</p>	като $u(I)$ по-горе въз основа на d , а не на d_T	7.4 7.4.1
<p>Грешка на резултата от отчитане: $E(R) = E(I_j)$, и $u(E_{cal})$ е от свидетелството за калибриране, или от интерполацията на известни стойности, или от $E_{appr} = f(I)$, апроксимационна формула с $u[E_{appr}]$ стойностите за E са закръглени до d</p>	$u(E_{cal}) = U(E_{cal})/k_{cal}$ $u[E_{appr}(R)] = f(R) = g(I)$ както по-горе $u[E_{appr}(R)] = U[E_{appr}(R)]/k_{cal}$	7.4 7.4.2
<p>Резултат от измерване на масата W^* въз основа на данните от калибриране: $W^* = R - E$ $u^2(W^*) = u^2(R) + u^2(E)^2$ W при всекидневното използване: $W = W^* + \delta R_{instr} + \delta R_{proc}$ $u^2(W) = u^2(W^*) + u^2(\delta R_{instr}) + u^2(\delta R_{proc})$ δR_{instr} и δR_{proc} за въздействието на заобикалящата среда и работата на везната, които са различни от ситуацията по време на калибриране.</p>	$u(W^*)$, което съдържа: $u(R)$ от горното $u(E(R))$ от горното $u(\delta R_{instr})$ съдържа: $\hat{w}(R_{temp})$ от температура, $\hat{w}(R_{buoy})$ от промяна на плътността на въздуха, $\hat{w}(R_{adj})$ от дълговременния дрейф $u(\delta R_{proc})$ съдържа: $\hat{w}(R_{tare})$ $\hat{w}(R_{time})$ $\hat{w}(R_{ecc})$ S_{dyn} .	7.4 (7.4-1a) (7.4-2a) 7.4.1 7.4.2 (7.4.-1b); 7.4.5 (7.4-2b) 7.4.3.1 7.4.3.2 7.4.3.3, 7.4.4 7.4.4.1, 7.4.4.2 7.4.4.3, 7.4.4.4
<p>Разширена неопределеност: $U(W^*) = ku(W^*)$ с $k = 2$ (нормално разпределение) или $k \neq 2$ $U(W) = ku(W)$ с $k = 2$</p>		7.5, Пр. В
<p>Резултат от измерване с корекция: $W = R - E \pm U(W)$</p>	$U(W)$ от по-горе	7.5.1
<p>Резултат от измерване без корекция: $W = R \pm U_{gl}(W)$ с $U_{gl}(W) = f\{U(W) + E(R)\}$</p>	$U(W)$ от по-горе, разширено с член представляващ $E(R)$	7.5.2
<p>Резултат от измерване в специфицирани граници: $W = R \pm Tol(R)$ с Tol специфициран от клиента, при условие, че $E(R) + U(W(R)) \leq Tol(R)$</p>		7.5.3
<p>Конвертиране на W в маса m, или m_c</p>	Да се пресметне въз основа на W от притежателя на везната	9.1 9.2

ПРИЛОЖЕНИЕ Е: ИНФОРМАЦИЯ ЗА ИЗТЛАСКВАЩАТА СИЛА

Това приложение дава допълнителна информация за корекциите от изтласкващата сила на въздуха, описани в 7.1.2.2. Насочено е към стандартната неопределеност на корекцията, като в 7.1.2.2 предлага да се приложи корекция $\delta m_B = 0$ с подходящо стандартно отклонение.

Е1 Плътност на еталонните теглилки

Когато плътността на еталонната теглилка ρ и нейната стандартна неопределеност $u(\rho)$ не са известни могат да се използват следните стойности за теглилки класове от Е2 до М2 съгласно R111 (взети от [4], Таблица В7).

Сплав/материал	Приета плътност ρ в kg/m^3	Стандартна неопределеност $u(\rho)$ в kg/m^3
Никел-сребро	8600	85
месинг	8400	85
неръждаема стомана	7950	70
въглеродна стомана	7700	100
желязо	7800	100
чугун (бял)	7700	200
чугун (сив)	7100	300
алуминий	2700	65

За теглилки с юстировъчна камера, запълнена със значително количество материал с различна плътност, [4] дава формула за пресмятане на общата плътност на теглилката.

Е2 Общи примери за изтласкващата сила на въздуха

Таблица Е2.1 дава относителните стандартни неопределености на корекции от изтласкващата сила приети, че са равни на нула за:

- Еталонни теглилки, направени от сплав/материал като посочените в т. Е1
- Определени стойности на плътността на въздуха – виж таблицата в т. А3.1
- Случаи А, В1, и В2, свързани с настройването на калибрираната везна.

Уравненията: (7.1.2-5) е за случай А, (7.1.2-7) е за случай В1, и (7.1.2-9) е за случай В2.

В случай В1, се приема, че $u(\delta\rho_{as}) = 0,5 u(\rho_a)$.

Очевидно е, че в случай А относителната неопределеност $\hat{w}(m_B)$ винаги е под 0,4 mg/kg за материали използвани обичайно за еталонни теглилки от висок клас на точност (неръждаема стомана в днешно време, а в миналото месинг), и следователно е необходимо да се обърне само при калибриране с много ниска неопределеност.

За калибриране в случай В1 относителната стандартна неопределеност $\hat{w}(m_B)$ е под 5 mg/kg за всички материали без алуминий, а за калибриране в случай В2 под 10 mg.

Таблица Е2.1 Относителна стандартна неопределеност на корекциите от изтласкващата сила

$\hat{w}(m_B)$ в mg/kg в случай А			$\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$ с $u(\rho_a)$ по-долу			
Материал	ρ	$u(\rho)$	0,016	0,025	0,04	0,064
Никел-сребро	8600	85	0,14	0,22	0,35	0,56
месинг	8400	85	0,10	0,15	0,24	0,39
неръждаема стомана	7950	70	0,02	0,03	0,05	0,09
чугун (бял)	7700	200	0,09	0,15	0,24	0,38
чугун (сив)	7100	300	0,27	0,42	0,68	1,08
алуминий	2700	65	3,93	6,14	9,82	15,71

$\hat{w}(m_B)$ в mg/kg в случай В1			$\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$ с $u(\rho_a)$ по-долу			
Материал	ρ	$u(\rho)$	0,016	0,025	0,04	0,064
Никел-сребро	8600	85	1,01	1,58	2,52	4,04
месинг	8400	85	1,01	1,57	2,51	4,02
неръждаема стомана	7950	70	1,00	1,56	2,50	4,00
чугун (бял)	7700	200	1,00	1,57	2,51	4,01
чугун (сив)	7100	300	1,03	1,61	2,58	4,13
алуминий	2700	65	4,05	6,33	10,13	16,21

$\hat{w}(m_B)$ в mg/kg в случай В2			$\rho_a = 1,2 \text{ kg/m}^3$ с $u(\rho_a)$ по-долу			
Материал	ρ	$u(\rho)$	0,016	0,025	0,04	0,064
Никел-сребро	8600	85	1,86	2,91	4,65	7,44
месинг	8400	85	1,90	2,98	4,76	7,62
неръждаема стомана	7950	70	2,01	3,14	5,03	8,05
чугун (бял)	7700	200	2,08	3,25	5,20	8,31
чугун (сив)	7100	300	2,26	3,52	5,64	9,02
алуминий	2700	65	5,93	9,26	14,82	23,71

Е3 Изтласкваща сила на въздуха за теглилки съответстващи на R111

Както е отбелязано в бележката под черта в 7.1.2.2, R 111 изисква плътността на еталонната теглилка да бъде в определени граници, които са свързани с максималната допустима грешка m_{re} и определена промяна на плътността на въздуха. Максималните допустими грешки m_{re} са пропорционални на номиналната стойност за теглилки ≥ 100 g. Това позволява да се оцени относителната неопределеност $\hat{w}(m_B)$. Съответстващите уравнения (7.1.2-5а) в случай А и (7.1.2-9а) в случай В1 и В2, са оценени в таблица Таблица Е2.2, в съответствие с класовете на точност от Е2 до М1.

За теглилки с $m_N \leq 50$ g максималните допустими грешки m_{re} са дадени в таблица в R111, отношението m_{re}/m_N нараства с намаляване на масата. За тези теглилки Таблица Е2.2 съдържа абсолютните стандартни неопределености $u(m_B) = \hat{w}(m_B) \cdot m_N$.

Сравнението на относителните неопределености показва, че стойностите в Таблица Е2.2 винаги са по-големи от съответстващите им стойности в Таблица Е2.1. Това се дължи на факта, че приетите неопределености $u(\rho)$ и $u(\rho_a)$ са по-големи в Таблица Е2.2.

Стойностите в Таблица E2.2 могат да се използват в “най-лошия случай” за оценка на приноса в неопределеността от изтласкващата сила в дадена ситуация.

Таблица E2.2: Стандартна неопределеност на корекцията от изтласкващата сила на въздуха за еталонни теглилки, съответстващи на R 111

Пресмятания съгласно 7.1.2.2 в случаи А (7.1.2-5а) и в В (7.1.2-9а)

m_N в g	Клас E2			Клас F1			Клас F2			Клас M1		
	m_{pe} в mg	u_A в mg	u_B в mg	m_{pe} в mg	u_A в mg	u_B в mg	m_{pe} в mg	u_A в mg	u_B в mg	m_{pe} в mg	u_A в mg	u_B в mg
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	0,015	0,002	0,003	0,05	0,007	0,008	0,15	0,02	0,02	0,5	0,07	0,07
Относителна m_{pe} и относителни стандартни неопределености $\hat{w}(m_B)$ в mg/kg за теглилки от 100g и по големи												
≥ 100	Клас E2			Клас F1			Клас F2			Клас M1		
	m_{pe}/m_N	\hat{w}_A	\hat{w}_B	m_{pe}/m_N	\hat{w}_A	\hat{w}_B	m_{pe}/m_N	\hat{w}_A	\hat{w}_B	m_{pe}/m_N	\hat{w}_A	\hat{w}_B
	1,500	0,22	8,88	5,00	0,72	9,38	15,00	2,17	10,83	50,0	7,22	15,88

ПРИЛОЖЕНИЕ F: ВЛИЯНИЕ НА КОНВЕКЦИЯТА

В 4.2.3 генерирането на очевидно отклонение на масата Δm_{conv} от разликата в температурата ΔT на еталонната теглилка и на заобикалящия я въздух е обяснено по принцип. По-подробна информация се представена по-долу за да се даде възможност за оценка на ситуация, при която ефекта на конвекцията се разглежда от гледна точка на неопределеността от калибриране.

Всички пресмятания на стойностите в следващите таблици се основават на [6]. Съответните формули и параметрите, които трябва да се включат не се възпроизвеждат тук. Посочени са само общите формули и съществените условия.

Разглежданият проблем е доста сложен и обхваща както физическата същност така и оценката на получените резултати. Точността на стойности посочени по-долу не трябва да се надценява.

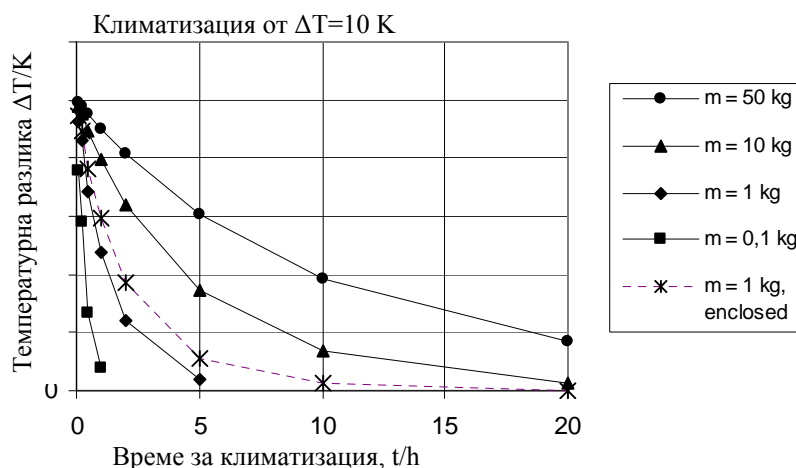
F1 Връзка между температура и време

Първоначалната температурна разлика ΔT_0 намалява с времето Δt чрез температурния обмен между теглилката и заобикалящия я въздух. Скоростта на температурния обмен е сравнително независима от знака на ΔT_0 , поради това загряването или охлаждането на теглилката се извършва за еднакви интервали от време.

Фигура F.1.1 дава няколко примери за ефекта на климатизацията. Показана е действителната разлика ΔT , започвайки от начална температурна разлика 10 K, след различни времена на климатизация за 4 различни теглилки. Предполага се, че теглилките са поставени върху три сравнително тънки PVC подложки в "свободен въздух". При сравнението също е показана ΔT за теглилка 1 kg, поставена на същата подложка и покрита със стъклен звънец, който редуцира въздушната конвекция от 1,5 до 2 пъти, като времето за постигане на същото намаление на ΔT е много по-голямо, отколкото за теглилка 1 kg, която не е покрита със звънец.

Позовавания на [6], формула (21) и параметрите в случай 3b и 3c са дадени в Таблица 4.

Фиг. F1.1: Климатизация на еталонни теглилки



Таблицы F1.2 и F1.3 съдържат времето Δt необходимо за климатизация на еталонни теглилки, когато температурната разлика трябва да се намали от ΔT_1 до ΔT_2 . Условията за температурен обмен са същите като на Фиг. F1.1: Таблица F1.2 включва от „ $m = 0,1$ kg“ до „ $m = 50$ kg“; Таблица F1.3 включва и „ $m = 1$ kg изолиран“.

При действителни условия времето на климатизация може се съкрати когато теглилката е поставена директно върху повърхността на провеждаща топлината подложка, или да се увеличи когато теглилката е частично зизиолирана в кутията си.

Позовавания на [6], формула (26), и параметрите в случаите 3b, 3c са дадени в Таблица 4

Таблица F1.2 Интервали от време за намаляване на стъпки на температурната разлика
Теглилки, поставени на 3 тънки PVC подложки в свободен въздух

Времето за климатизация в min за ΔT ще бъде достигнато да следващата по-голяма ΔT , случай 3b								
	$\Delta T / K$							
m/kg	20	15	10	7	5	3	2	1
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

Примери за теглилка 1 kg:

За намаляване на ΔT от 20 K до 15 K са необходими 20,8 min;

За намаляване на ΔT от 15 K до 10 K са необходими 30,7 min;

За намаляване на ΔT от 10 K до 5 K са необходими 28,3 min + 27,8 min = 56,1 min

Таблица F1.3 Интервали от време за намаляване на стъпки на температурната разлика
Теглилки, поставени на 3 тънки PVC подложки, покрити със стъклен звънец

Времето за климатизация в min за ΔT ще бъде достигнато да следващата по-голяма ΔT , случай 3c								
	$\Delta T / K$							
m/kg	20	15	10	7	5	3	2	1
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 Отклонения на привидната маса

Въздушния поток генериран от температурна разлика ΔT се насочва нагоре когато теглилната е по-топла от заобикалящия я въздух – $\Delta T > 0$ и надолу когато е теглилната е по-студена – $\Delta T < 0$. Въздушния поток създава сили на триене по вертикалната повърхност на теглилната и сили на опън по нейната хоризонтална повърхност, които водят до отклонение на привидната маса Δm_{conv} . Устройството за приемане на товара на везната също допринася за отклонението по начин, който още не е напълно изследван.

Има експериментални данни, че абсолютните стойности на това отклонение са по-малки за $\Delta T < 0$, отколкото за $\Delta T > 0$. Затова има смисъл отклонението на масата да се пресмята за абсолютните стойности на ΔT като се използват параметрите за $\Delta T > 0$.

Таблица F2.1 дава стойностите за Δm_{conv} за еталонни теглилки при температурните разлики ΔT , посочени в Таблицы F1.2 и F1.3. Те се основават на експерименти проведени с компаратори за маса с въртящо устройство за смяна на местата на теглилките в стъклената камера на компаратора. Условията, които преобладават при калибриране на “нормална” везна, са различни като стойностите в таблицата могат се приемат като оценка на ефектите, които биха възникнали по време на реално калибриране.

Позовавания на [6], формула (34) и параметрите в случай 3d са дадени в Таблица 4.

Таблица F2.1 Изменение на привидната маса Δm_{conv}

Отклонението Δm_{conv} в mg на еталонната теглилка за избрани температурни разлики ΔT								
	ΔT в К							
m в kg	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

Стойностите в тази таблица могат да бъдат сравнени с неопределеността от калибриране или с определените допуски за еталонните теглилки, които са използвани при калибриране, за да се оцени дали действителната стойност ΔT може да доведе до значително отклонение на привидната маса.

Като един пример Таблица F2.2 дава температурните разлики, които е възможно да се появят при теглилки съответстващи на R 111, за стойности на Δm_{conv} , които не надвишават определените граници. Сравнението се основава на Таблица F2.1.

Приетите граници са максималните допустими грешки или 1/3 от тях.

Оказва се, че в тези граници ефектът на конвекцията е от значение само за теглилки класове на точност E2 и F1 от R111.

Таблица F2.2 Температурни граници за специфицирани стойности на Δm_{conv}

$$\Delta T_A = \text{температурна разлика за } \Delta m_{conv} \leq mpe$$

$$\Delta T_B = \text{температурна разлика за } \Delta m_{conv} \leq mpe/3$$

Разликите ΔT_A за $\Delta m_{conv} < mpe$ и ΔT_B за $\Delta m_{conv} < mpe/3$						
m_N в kg	Клас E2			Клас F1		
	mpe в mg	ΔT_A в К	ΔT_B в К	mpe в mg	ΔT_A в К	ΔT_B в К
50	75	12	4	250	>20	12
20	30	7	3	100	>20	7
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: ПРИМЕРИ

Примерите представени в това приложение демонстрират по различни начини как могат да се прилагат правилно правилата на това ръководство. Те не са предназначени да покажат предимството на определени процедури пред други, за които няма представени примери.

Когато лабораторията за калибриране желае да работи в пълно съответствие на една от тях, може да направи позоваване за това в своя наръчник по качество и във всяко издадено свидетелство за калибриране.

Забележка 1: Свидетелството за калибриране трябва да съдържа пълната информация представена в Gn.1, доколкото е известна, когато е приложима, или най-малко информацията дадена с болд в Gn.2 и Gn.3, където Gn = G1, G2...

Забележка 2: За позоваване към съответните раздели на ръководството виж Приложение D2.

G1 Везна с обхват 200 g, скално деление 0,1 mg

G1.1 Специфични условия при калибриране

Везна:	Електронна везна, описание и идентификация
<i>Max/d</i>	200 g/0,1 mg
Температурен коефициент	$TC \leq 1,5 \times 10^{-6}/K$ (Ръководство за работа на производителя)
Вградено устройство за настройване	С автоматично действие при включване и когато $\Delta T \geq 3 K$
Настройване от извършващия калибрирането	Извършва се преди калибрирането
Температура по време на калибриране	20,2 °C to 20,6 °C
Условия в помещението	Стабилизиране на температурата $21 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$; $h \approx 300 \text{ m}$
Устройство за приемане на товара	Диаметър 80 mm
Изпитвателни товари	Еталонни теглилки, клас E2

G1.2 Изпитване и резултати

Повторяемост (приема се за постоянна по целия обхват на измерване)	Изпитвателен товар 100 g, приложен 6 пъти, показанието на ненатоварената везна се нулира, когато е необходимо, запис на показанията: 100,0002 g; 99,9999 g; 100,0001 g; 100,0000 g; 100,0002 g; 100,0002 g	
Грешка на показанието	Всеки изпитвателен товар са прилага еднократно; непрекъснато натоварване в посока нагоре, показанието на ненатоварената везна се нулира, когато е необходимо; всички товари се поставят в центъра на устройството за приемане на товара. Запис на показанията:	
	товар/g	показание/g
	30	30,000 1
	60	60,000 3
	100	100,000 4
	150	150,000 6
	200	200,000 9

Изпитване на ексцентрично натоварване	Изпитвателен товар 100 g; показанието на ненатоварената везна се нулира при необходимост, позиция/отчитане в g:				
	1/100,0005;	2/100,0003;	3/100,0004;	4/100,0006; 5/100,0004 $\Delta I_{ecc} _{max} = 0,2 \text{ mg}$	

G1.3 Грешки и присъединени неопределености

Пресмятанятията следват т. 7.1 до т. 7.3

Величина или въздействие	Товар, показание в g Стандартна неопределеност, грешка в mg			Разпределение/степени на свобода		
Показание $I \approx m_N/g$	30	60	100	150	200	
Грешка E_{cal}/mg	0,1	0,3	0,4	0,6	0,9	
Повторяемост s	0,13 mg			нормално/5		
Цифровизация $d_0/\sqrt{12}$	0,03 mg			правоъгълно/ 100 ¹⁰		
Цифровизация $d_I/\sqrt{12}$	0,03 mg			правоъгълно/ 100		
Ексцентричност $\hat{w}_{ecc}(I)$	не е приложима в този случай			правоъгълно/ 100		
$u(I)$	0,14 mg					
Изпитвателни товари m_N/g^{11}	10 + 20	10 + 50	100	50 + 100	200	
$u(\delta m_c) = mpe/\sqrt{3}$	0,08 mg	0,09 mg	0,09 mg	0,15 mg	0,17 mg	правоъгълно/ 100
$u(\delta m_D) = mpe/(3\sqrt{3})$	0,03 mg	0,03 mg	0,03 mg	0,05 mg	0,06 mg	правоъгълно/ 100
$\hat{w}(m_B) m_N = mpe/(4\sqrt{3})$	0,02 mg	0,02 mg	0,02 mg	0,04 mg	0,04 mg	правоъгълно/ 100
$u(\delta m_{conv})$	не е приложима в този случай					
Неопределеност на грешките $u(E)$	0,165	0,170	0,170	0,215	0,232	
ν_{eff}	12	14	14	34	44	
$k(95\%)$	2,23	2,20	2,20	2,08	2,06	
$U(E) = ku(E)$	0,37	0,37	0,37	0,45	0,48	
Допълнение, не е задължително						
Апроксимация на правата през нулата	$E_{appr}(R) = 4,27 \times 10^{-6} R$					
Неопределеност на грешките при апроксимация, $u(E_{appr})$	$u(E_{appr}) = \sqrt{(3,25 \times 10^{-15} \text{ mg}^2 + 5,8 \times 10^{-13} R^2)^{12}}$					
Разширена неопределеност при апроксимация $U(E_{appr})$	$U(E_{appr}) = 2\sqrt{(3,25 \times 10^{-15} \text{ mg}^2 + 5,8 \times 10^{-13} R^2)} = 1,5 \times 10^{-6} R$					

Приемливо е в свидетелството за калибриране да се обявява само най-голямата стойност на разширената неопределеност за всички посочени грешки: $U(E) = 0,48 \text{ mg}$, при $k = 2,06$ за $\nu_{eff} = 44$, придружена от декларация, че доверителната вероятност е най-малко 95 %.

¹⁰ За всички неопределености от тип В се приема, че степените на свобода са 100; $\frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \approx 0,707$ [1].

¹¹ клас E2, калибрирани три месеца преди това, среден дрейф наблюдаван от две рекалибрирания $|D_{m_c}| \leq mpe/3$;

за дванадесет месеца, използвана при номинална стойност; климатизирано помещение $\Delta T < 1 \text{ K}$.

¹² Първият член е пренебрежим!

Свидетелството за калибриране може да препоръча на потребителя стандартната неопределеност на грешката, за всеки резултат от отчитане R получен след калибриране да се увеличи с неопределеността на резултата от отчитане $u(R) = 0,14 \text{ mg}$.

G1.4 Неопределеност на показанието при използване

Както е посочено в 7.4 последващата информация може да бъде доразвита от лабораторията за калибриране или от потребителя на везната. Във всички случаи тя не може да се представи нито да бъде част от свидетелството за калибриране.

G1.4.1 Нормалните условия на използване на везната като са приети или като са специфицирани от потребителя могат да включват:

- Изменение на температурата $\pm 1\text{K}$
- Товари, които не винаги са центрирани внимателно
- Работещо устройство за уравнивяване на тарата
- Време за натоварване: нормално както при калибриране

G1.4.2 Таблица за пресмятане както в т. 7.4 и т. 7.5

Величина или въздействие	Товар, показание в g					Разпределение/степени на свобода
	Грешка, неопределеност: относителна или в mg					
Показания $I \approx m_N/g$	30	60	100	150	200	
Грешка E_{cal}/mg	0,1	0,3	0,4	0,6	0,9	
Неопределеност $u(E)$	0,23 mg					нормално/55
Алтернативна възможност: позоваване на резултатите от апроксимация						
Грешка E_{appr}	$4,27 \times 10^{-6} R$					
$u(E_{appr})$	$0,76 \times 10^{-6} R$					
Повторяемост s_R	0,13 mg					нормално /5
Цифровизация $d_0/\sqrt{12}$	0,03 mg					правоъгълно/100
Цифровизация $d_R/\sqrt{12}$	0,03 mg					правоъгълно/100
Дрейф на настройването $\hat{w}(R_{adj})$	не е приложим в този случай, тъй като везната се настройва периодично					
Температура $\hat{w}(R_{temp})$	$0,87 \times 10^{-6}$					правоъгълно
Измервателна процедура: $\hat{w}(R_{ecc})$	$1,15 \times 10^{-6}$					правоъгълно/100
$\hat{w}(R_{tare})$	$1,23 \times 10^{-6}$					правоъгълно/100
$\hat{w}(R_{time})$	не е приложима в този случай					
Неопределеност на резултата от измерване $u(W)$	$u(W) = \sqrt{(0,0178 \text{ mg}^2 + 4,0 \times 10^{-12} R^2)}$					
U_{eff}	> 30					
$k(95\%)$	2					
Неопределеност на резултата от измерване с корекция чрез $-E_{appr}$						
$U(W) = ku(W)$	$U(W) = 2\sqrt{(0,0178 \text{ mg}^2 + 4,0 \times 10^{-12} R^2)}$					
Опростяване до членове от първи порядък	$U(W) \approx U(W=0) + \{[U(W=Max) - U(W=0)]/Max\}R$ $U(W) \approx 0,27 \text{ mg} + 2,88 \times 10^{-6} R$					
Обща неопределеност на резултата от измерване без корекция на резултата на отчитане						
$U_{gt}(W) = U(W) + E_{appr}(R) $	$U_{gt}(W) = 0,27 \text{ mg} + 7,15 \times 10^{-6} R$					

G1.4.3 Едно допълнение към свидетелството за калибриране може да съдържа следната декларация:

„При нормални условия на използване включващи
 Температура на помещението в граници ± 1 К,
 натоварване без специално внимание центъра на товара да бъде в центъра на
 устройството за приемане на товара,
 получаване на отчитания със или без тарирание (нетни или брутни стойности),
 възможност за автоматично настройване,
 не се правят никакви корекции на резултата от отчитане R ,

Резултатът от измерване W е:

$$W = R \pm (0,27 \text{ mg} + 7,1 \times 10^{-6} R),$$

с ниво на доверителна вероятност по-добро от 95%.”

При алтернативната възможност трябва да се чете:

(Условията както по-горе).....,резултатът от измерване W е:

с толеранс 1 % за $R \geq 30$ mg,

с толеранс 0,1 % за $R \geq 280$ mg,

с ниво на доверителна вероятност по-добро от 95%.”

G2 Везна с максимален товар 60 kg, многоинтервална

G2.1 Специфични условия при калибриране

Средство за измерване:	Електронна везна, описание и идентификация, с OIML R76 (или EN 45501) одобряване на типа, но без проверка
Max/d	Многоинтервална везна, 3 частични измервателни обхвата: $Max_i/kg = 12/30/60$; $d_i/g = 2/5/10$
Устройство за приемане на товара	Платформа 60 cm \times 40 cm
Инсталиране	В помещение за пакетиране; $17 \text{ }^\circ\text{C} \leq T \leq 27 \text{ }^\circ\text{C}$ докладвани от клиента
Температурен коефициент	$TC \leq 2 \times 10^{-6}/\text{K}$ (Ръководство за работа на производителя)
Вградено устройство за настройване	Няма такова; $ E(Max) \leq 10$ g (Ръководство за работа на производителя)
Последно калибриране	преди 1 година; $E(Max)$ при калибрирането 7 g
Температура по време на калибрирането	От 22,3 $^\circ\text{C}$ до 23,1 $^\circ\text{C}$
Атмосферно налягане по време на калибрирането:	1002 hPa \pm 5 hPa
Изпитвателни товари	Еталонни теглилки, неръждаема стомана сертифицирани като клас M1 с отклонение 50 mg/kg (OIML R111)

G2.2 Изпитване и резултати

Повторяемост (приема се за постоянна по целия обхват на измерване ¹)	Изпитвателен товар 10 kg, приложен 5 пъти , показаниято на ненатоварената везна се нулира, когато е необходимо, запис на показанията: 9,998 kg; 10,000 kg; 9,998 kg; 10,000 kg; 10,000 kg	
Повторяемост (приема се за постоянна по целите обхвати на измерване 2 и 3)	Изпитвателен товар 30 kg, приложен 5 пъти , показаниято на ненатоварената везна се нулира, когато е необходимо, запис на показанията: 29,995 kg; 30,000 kg; 29,995 kg; 29,995 kg; 30,000 kg	
Грешка на показаниято	Всеки изпитвателен товар е приложен еднократно; непрекъснато натоварване в посока нагоре, показаниято на ненатоварената везна се нулира, когато е необходимо; всички товари са центрирани на устройството за приемане на товара. Запис на показанията:	
	товар/kg	показание/kg
	Без тара	
	10	10,000
	25	24,995
	40	39,990
	60	59,990
	Поставят се 25 kg на устройството за приемане на товара, и показаниято се нулира чрез тариране	
	10	9,998
	20	19,995
Изпитване за ексцентричност	Изпитвателен товар 20 kg ; показаниято на ненатоварената везна се нулира при необходимост позиция/отчитане:	
	1: 19,995 kg; 4: 19,990 kg;	2: 19,995 kg; 5: 19,990 kg;

G2.3 Грешки и присъединени неопределености

Пресмятания съгласно т. 7.1 до т. 7.3

Величина или въздействие	Товар, показание в kg Стандартна неопределеност в g или като относителна стойност						Разпределение/ степени на свобода
Показание $I \approx m_N/kg$	10	25	40	60			
Грешка E_{cal}/kg	0	-0,005	-0,010	-0,010			
Показание I_{Net}/kg	След уравновесяване на тарата при товар 25 kg				10	20	
Грешка $E_{cal,Net}/kg$					-0,002	-0,005	
Повторяемост s/g	1,10	2,74			1,10	2,74	нормално/4
Цифровизация $d_0/\sqrt{12}$	0,58						правоъгълно/100
Влияние на разделителната способност $d_j/\sqrt{12}$	0,58	1,44	2,89	2,89	0,58	1,44	правоъгълно/100
Ексцентричност $\hat{w}_{ecc}(I)$	Не е приложима в този случай						правоъгълно/100
$u(I)$	1,37	3,15	4,02	4,02	1,376	3,15	
Изпитвателни товари ¹³	10	20+5	2×20	3×20	(25+) 10	(25+) 20	

¹³ Теглилки клас M1, калибрирани преди 8 месеца, среден дрейф след 2 рекалибрирания: $|D_{mc}| \leq mpe/2$ за 112 месеца; използвани за номинални стойности; поддържана температура на помещението, $\Delta T < 1 \text{ K}$

$u(\delta m_c) = mpe/\sqrt{3}$	0,29 g	0,72 g	1,15 g	1,73 g	0,29 g	0,58 g	правоъгълно/100
$u(\delta m_D) = mpe/(2\sqrt{3})$	0,14 g	0,36 g	0,58 g	0,87 g	0,14 g	0,29 g	правоъгълно/100
$u(\delta m_B) = \hat{w}(m_B) m_N$ $= (2,5 \text{ mg/kg})m_N^{14}$	пренебрежим						правоъгълно/100
$u(\delta m_{conv})$	пренебрежим						
Неопределеност на грешката $u(E)$	1,41 g	3,25 g	4,22 g	4,46 g	1,41 g	3,22 g	
ν_{eff}	10	7	21	26	10	7	
$k(95\%)$	2,28	2,43	2,13	2,10	2,28	2,43	
$U(E) = ku(E) / g$	3,2	7,7	9,0	9,4	3,2	7,7	

Апроксимация извършена въз основа на 4 брутни показания

Апроксимация при прекарване на правата линия през нулата/ kg	$E_{appr}(R) = -1,69 \times 10^{-4} R$						
Неопределеност на грешките от апроксимация, $u(E_{appr})$, за частичните измервателни обхвати (PWR)	PWR 1	$u(E_{appr}) = \sqrt{(5,4 \times 10^{-8} g^2 + 2,63 \times 10^{-9} R^2)^{15}}$					
	PWR 2	$u(E_{appr}) = \sqrt{(2,8 \times 10^{-7} g^2 + 2,63 \times 10^{-9} R^2)}$					
	PWR 3	$u(E_{appr}) = \sqrt{(4,7 \times 10^{-7} g^2 + 2,63 \times 10^{-9} R^2)}$ $4,7 \cdot 10^{-7} g \cdot 2,63 \cdot 10^{-9} R$					
$u(E_{appr})$ за PWR 1 до 3/ g	$u(E_{appr}) = 5,13 \times 10^{-5} R$						
Разширена неопределеност/g при $k = 2$	$U(E_{appr}) = 2u(E_{appr}) = 10,3 \times 10^{-5} R$						

За целите на сравнението, апроксимация свързана с всички 6 показания

Апроксимация при прекарване на правата линия през нулата/ g	$E_{appr}(R) = -1,79 \times 10^{-4} R$						
Ичина или въздействие	Товар, показание в kg Стандартна неопределеност в g или като относителна стойност						Разпределение/степенни на свобода
$u(E_{appr})$ за PWR 1 до 3/ g	$u(E_{appr}) = 4,62 \times 10^{-5} R$						
Разширена неопределеност с $k = 2$ / g	$U(E_{appr}) = 2u(E_{appr}) = 9,2 \times 10^{-5} R$						
При Max, първата апроксимация дава $E = -10,1 \text{ g}$, $U(E_{appr}) = 6,2 \text{ g}$; а втората апроксимация дава $E = -10,7 \text{ g}$, $U(E_{appr}) = 5,5 \text{ g}$: разликите са незначителни. Виж G2.5.1							

Приема се в свидетелството за калибриране да се обяви само най-голямата стойност на разширената неопределеност за всички получени грешки: $U(E) = 4,2 \text{ g}$, при $k = 2,1$ за $\nu_{eff} = 28$, придружена с декларация, че доверителната вероятност е най-малко 95 %.

¹⁴ За $\Delta p = 40 \text{ hPa}$, $\Delta T = 10 \text{ K}$, $u(\rho_a) = 0,0207 \text{ kg/m}^3$ (от таблицата в A3.1).

с $\rho = (7950 \pm 70) \text{ kg/m}^3$, уравнение (7.1.2-7) дава $\hat{w}(m_B) = 2,6 \text{ mg/kg}$

¹⁵ Първият член е пренебрежим за всичките 3 PWR!

В свидетелството за калибриране може да препоръча на потребителя, че стандартната неопределеност на грешката, при който и да е резултат от отчитане R получен след калибриране, ще се увеличи с неопределеността на отчитането $u(R)$ в зависимост от скалното деление s :

от 0 до 12 kg:	$d = 2 \text{ g,}$	$u(R) = 1,4 \text{ g}$
от 12 до 30 kg:	$d = 5 \text{ g,}$	$u(R) = 3,2 \text{ g}$
от 30 до 60 kg:	$d = 10 \text{ g,}$	$u(R) = 4,0 \text{ g}$

За точките на изпитване посочени по-горе неопределеността $U(W^*)$ на резултата от измерване при условията на калибриране: $W^* = R - E$, тогава ще бъде:

Отчитане R/kg	10	25	40	60
Неопределеност $U(W^*)/\text{g}$	3,9	9,1	11,7	12,0

G2.4 Неопределеност на показанието при използване

Както е посочено в т. 7.4, последващата информация може да бъде доразвита от лабораторията за калибриране или от потребителя на везната. Във всички случаи тя не може да се представи нито да бъде част от свидетелството за калибриране.

G2.4.1 Нормалните условия на използване на везната като са приети или като са специфицирани от потребителя могат да включват:

- Изменение на температурата $\pm 5 \text{ K}$
- Товари, които не винаги са центрирани внимателно
- Работещо устройство за уравнивяване на тарата
- Време за натоварване: нормално както при калибриране.

G2.4.2 Таблица за пресмятане съгласно т. 7.4 и т. 7.5

Величина или въздействие	Товар, показание, грешка в kg Стандартна неопределеност в g, или в относителна стойност			Разпределение/с тепени на свобода
Грешки на показанието за нетни и брутни резултати от отчитане/ g	$E_{\text{appr}}(R) = -1,79 \times 10^{-4} R$			
Неопределеност на грешките $u(E_{\text{appr}}(R))$ v	$u(E_{\text{appr}}) = 4,62 \times 10^{-5} R$			
Неопределеност на резултата от отчитане $u(R)$ $= u(I)/ \text{g}$	$PWR 1$	$PWR 2$	$PWR 3$	
	1,37	3,15	4,02	
Неопределеност на грешката $u(E(R)) = \sqrt{\{u^2(R) + u^2(E_{\text{appr}})\}}$	$PWR 1$	$u(E(R)) = \sqrt{\{1,88 \text{ g}^2 + 2,13 \times 10^{-9} R^2\}}$		
	$PWR 2$	$u(E(R)) = \sqrt{\{9,92 \text{ g}^2 + 2,13 \times 10^{-9} R^2\}}$		
	$PWR 3$	$u(E(R)) = \sqrt{\{16,16 \text{ g}^2 + 2,13 \times 10^{-9} R^2\}}$		
Въздействия от везната				
Дрейф от настройването виж G2.5.2	$\hat{w}(R_{\text{adj}}) = 9,6 \times 10^{-5}$			
Температура виж G2.5.3	$\hat{w}(R_{\text{temp}}) = 5,8 \times 10^{-6}$			

Въздействие на процедурата на измерване			
Ексцентрично натоварване	$\hat{w} (R_{ecc}) = 1,44 \times 10^{-4}$		
Работа на устройството за тариране	$\hat{w} (R_{tare})$: включена в процедурата за калибриране		
Време на натоварване	Не е приложимо в този случай		
Неопределеност на резултата от измерване $u(W)$	<i>PWR 1</i>	$u(W) = \sqrt{\{1,88 \text{ g}^2 + 3,0 \times 10^{-8} R^2\}}$	
	<i>PWR 2</i>	$u(W) = \sqrt{\{9,92 \text{ g}^2 + 3,0 \times 10^{-8} R^2\}}$	
	<i>PWR 3</i>	$u(W) = \sqrt{\{16,20 \text{ g}^2 + 3,0 \times 10^{-8} R^2\}}$	
Неопределеност на резултата от измерване чрез корекция – E_{appr}			
Разширена неопределеност $U(W) = ku(W), k = 2$	<i>PWR 1</i>	$U(W) = 2\sqrt{\{1,88 \text{ g}^2 + 3,0 \times 10^{-8} R^2\}}$	
	<i>PWR 2</i>	$U(W) = 2\sqrt{\{9,92 \text{ g}^2 + 3,0 \times 10^{-8} R^2\}}$	
	<i>PWR 3</i>	$U(W) = 2\sqrt{\{16,20 \text{ g}^2 + 3,0 \times 10^{-8} R^2\}}$	
Опростен до членове от първи порядък: $U(W) \approx U(Max_{i-1}) + \{[U(Max_i) - U(Max_{i-1})]/(Max_i - Max_{i-1})\}R$	<i>PWR 1</i>	$U(W) \approx 2,7 \text{ g} + 1,9 \times 10^{-4} R$	
	<i>PWR 2</i>	$U(W) \approx 7,5 \text{ g} + 3,2 \times 10^{-4} (R - 12 \text{ kg})$	
	<i>PWR 3</i>	$U(W) \approx 13,1 \text{ g} + 3,4 \times 10^{-4} (R - 30 \text{ kg})$	
Обща неопределеност без корекция на отчитането			
$U_{gl}(W) = U(W) + E_{appr}(R) $ Също опростен до членове от първи порядък:	<i>PWR 1</i>	$U_{gl}(W) \approx 2,7 \text{ g} + 2,74 \times 10^{-4} R$	
	<i>PWR 2</i>	$U_{gl}(W) \approx 7,5 \text{ g} + 4,12 \times 10^{-4} (R - 12 \text{ kg})$	
	<i>PWR 3</i>	$U_{gl}(W) \approx 13,1 \text{ g} + 4,32 \times 10^{-4} (R - 30 \text{ kg})$	

G1.4.3 Едно допълнение към свидетелството за калибриране може да съдържа следната декларация:

„При нормални условия на използване включващи:

Температура на помещението в граници 17 °C до 27 °C,
натоварване със специално внимание центъра на товара да бъде в центъра на устройството за приемане на товара,
получаване на отчитания със или без тариране (нетни или брутни стойности),
не се правят никакви корекции на резултата от отчитане R ,

Резултатът от измерване W е:

$W = R \pm U(W)$, с $U(W)$, дадена в таблицата по долу:

Измервателен обхват	Резултат от отчитане		Неопределеност $U(W)$ на резултати от измерване W
	от	до:	
<i>PWR 1</i>	0	12 kg	$\approx 2,7 \text{ g} + 2,82 \times 10^{-4} R$
<i>PWR 2</i>	12 kg	30 kg	$\approx 7,5 \text{ g} + 4,12 \times 10^{-4} (R - 12 \text{ kg})$ $\approx 3 \text{ g} + 4 \times 10^{-4} R$
<i>PWR 3</i>	30 kg	60 kg	$\approx 13,1 \text{ g} + 4,32 \times 10^{-4} (R - 30 \text{ kg})$ $\approx 4,4 \times 10^{-4} R$

С ниво на доверителна вероятност по-добро от 95%.“

При алтернативната възможност трябва да се, чете:
(Условията като по-горе)....,резултатът от измерване W е:

с толеранс от	1 % за	$R \geq 0,28\text{kg}$,
с толеранс от	0,5 % за	$R \geq 0,57\text{kg}$,
с толеранс от	0,2 % за	$R \geq 1,56\text{kg}$,
с толеранс от	0,1 % за	$R \geq 3,72\text{kg}$

С ниво на доверителна вероятност по-добро от 95%“

G2.5 Допълнителна информация към примера

Многоинтервалните везни имат променящо се скално деление за измервателния обхват – виж спецификацията за Max и d в т. G2.1 – и показват нетни показания след задействане на устройството за уравнивяване на тарата започвайки винаги от най-малкото скално деление по същия начин както при измерване на брутни товари.

Не е възможно такава везна за грешки на нетните показания с голям диапазон от тара товари с разумни усилия. Може обаче да се приеме, че на везна с достатъчна линейност на функцията $I = f(m)$, един и същ нетен товар ще има показание с почти същата грешка независимо от стойността на уравновесената тара.

Апроксимация с линейна функция без отместваща стойност на началото, например линейна функция през нулата – $I(m = 0) = 0$, като уравнение (C2.2-16) дава възможност да се оцени линейността на функцията: доколко условието (C2.2-2), за $\min\chi^2$ – критерия отговаря на действителните данни от изпитването, апроксимацията чрез линейна функция се приема за подходящ подход, което означава, че единичните грешки са действително много близки до правата линия през нулата.

Изпитването с един или два нетни товара, приложени с уравнивяване на тарата с подходящи тара товари, трябва да се извърши така, че да осигурява незначително въздействие от пълзене и хистерезис върху грешките на нетните товари. Доколкото грешките за едни и същи нетни товари с или без тара товар имат приблизително еднакво стандартно отклонение от повтораемост, може да се приеме, че грешките определени при калибриране, действително са приложими към всички показания за нетните и брутни товари.

G.2.5.1 Сравнение при апроксимации

Това сравнение показва, че в този случай стойностите на грешките за точки 5 и 6 точки при изпитване не променят значително резултатите след апроксимация.

Стойностите за $\min\chi^2$ критерия получени чрез оценки са:

2,08 когато са оценени спрямо стойност на критерия от **4,9** при първата апроксимация,

и

2,33 когато са оценени спрямо стойност на критерия от **4,9** при втората апроксимация.

И в двата случая няма съмнение, че линейния модел на апроксимация е съвместим с действителните данни от изпитването.

G2.5.2 Както е посочено в т. G 2.1, грешката при Max е +7 g по време на последното калибриране, и е -10 g в момента на измерване. Двете стойности отговарят на спецификацията на производителя за грешки при Max. От уравнение (7.4.3-2) относителната неопределеност на промяната на настройването е:

$$\hat{w}(R_{adj}) = \Delta E(Max) / (Max \sqrt{3}) = 9,6 \times 10^{-5}$$

G2.5.3 Както е посочено в т. G2.1, температурата на заобикалящата среда на везната е от 17 °C до 27 °C, което води до $\Delta T = 10$ K. Температурният коефициент на везната специфициран от производителя ще бъде $TC \leq 2 \times 10^{-6}/K$: следователно уравнение (7.4.3-1) дава:

$$\hat{w}(R_{temp}) = 2 \times 10^{-6} \times 10 / \sqrt{3} = 5,8 \times 10^{-6}$$

G3 Везна с максимален товар 30 t, скално деление 10 kg

G3.1 Специфични условия при калибриране

Средство за измерване:	Електронна везна, описание и идентификация с OIML R76 (или EN 45501) одобряване на типа, но без проверка
Max/d	30 t/10 kg
Устройство за приемане на товара	3 m ширина, 10 m дължина, 4 опорни точки
Инсталиране	Навън, при атмосферни условия на сянка
Температурен коефициент	$TC \leq 2 \times 10^{-6}/K$ (Ръководство за работа на производителя)
Вградено устройство за настройване	Няма
Последно калибриране	преди 10 месеца, грешката при Max е била -5 kg
Скално деление при изпитване	Най-високата разделителна способност (сервизен режим), $d_T = 1$ kg
Продължителност на изпитването	от 9:00 до 11:00 сутринта
Температура по време на калибриране:	17 °C to 20 °C
Атмосферно налягане по време на калибрирането:	1010 hPa \pm 10 hPa
Изпитвателни товари	<p>Еталонни теглилки:</p> <ul style="list-style-type: none"> 12 ролкови цилиндрични теглилки, сив чугун, 500 kg всяка, сертифицирани за клас M1 отклонение от $mpe = 25$ g (OIML R111); <p>Заместващ товар от стомана или сив чугун:</p> <ul style="list-style-type: none"> 6 стоманени контейнера напълнени със стоманени или чугунени парчета, всеки тежащ ≈ 3000 kg; Ремарке, за преместване на стоманените контейнери с маса настроена до ≈ 6000 kg; мотокар с вилки, тегло $\approx 4,5$ t, с товароносимост 6 t за преместване на заместващия товар.

G3.2 Изпитване и резултати

<p>Повторяемост (приема се за постоянна по целия обхват на измерване)</p>	<p>Мотокар с два стоманени контейнера 2, преминава последователно по дължина до края на устройството за приемане на товара, товарът се центрира на око, показанието при нулево натоварване се нулира, когато е необходимо. Изпитвателен товар $\approx 10,5$ t Запис на показанията: 10411 kg; 10414 kg; 10418 kg; 10412 kg; 10418 kg. След разтоварване показанието на ненатоварената везна е между 0 и 2 kg</p>													
<p>Грешки на показанието</p>	<p>Изпитвателни товари за натоварване със заместване, с 6000 kg еталонни теглилки и 4 заместващи товари приблизително 6 t всеки. Всички изпитвателни товари са приложени само по веднъж при непрекъснато натоварване само в посока на нарастване, показанията след всяко разтоварване на еталонните теглилки се записват, но не се правят корекции, всички товари се разполагат доколкото е възможно около центъра на устройството за приемане на товара. Запис на показанията:</p>													
<p>Грешки на показанието</p>	<p>товар L_{Ti}/kg</p> <table border="1" data-bbox="575 864 1007 1092"> <tr><td>6000</td></tr> <tr><td>12014</td></tr> <tr><td>17996</td></tr> <tr><td>24014</td></tr> <tr><td>30001</td></tr> <tr><td>0</td></tr> </table>	6000	12014	17996	24014	30001	0	<p>показание I_j/kg</p> <table border="1" data-bbox="1013 864 1427 1092"> <tr><td>6001</td></tr> <tr><td>12014</td></tr> <tr><td>17999</td></tr> <tr><td>24019</td></tr> <tr><td>30010</td></tr> <tr><td>4</td></tr> </table>	6001	12014	17999	24019	30010	4
6000														
12014														
17996														
24014														
30001														
0														
6001														
12014														
17999														
24019														
30010														
4														
<p>Виж т. G3.5.1 за пълния запис на данните.</p>														
<p>Изпитване за ексцентрично натоварване</p>	<p>Същият изпитвателен товар $\approx 10,5$ t, който е използван при изпитване за повторяемост, показанията на ненатоварената везна се нулират, когато е необходимо, позиция/показание в kg: 1/10471 kg; 2/10467 kg; 3/10473 kg; 4/ 10476 kg; 5/10475 kg $\Delta I_{ecc} _{\max} = 5$ kg</p>													

G3.3 Грешки и свързаните с тях неопределености

Пресмятания съгласно т. 7.1 до т. 7.3

Величина или въздействие	Товар, показание в g					Разпределение/ степени на свобода
	Стандартна неопределеност в mg					
Показание $I \approx m_N/kg$	6000	12000	18000	24000	30000	
Грешка E_{cal}/kg	1	0	3	5	9	
Повторяемост s/kg	3,3					нормално/4
Цифровизация $d_{T0}/\sqrt{12}$	0,3					правоъгълно/100
Цифровизация $d_{T1}/\sqrt{12}$	0,3					правоъгълно/100
Ексцентричност $u(I_{ecc,ind}) = 6,9 \times 10^{-5} I_j$ Основа: т. G3.5.2	0,4	0,8	1,2	1,7	2,1	правоъгълно/100
Пълзене/хистерезис $u(I_{time}) = 7,7 \times 10^{-5} I_j$ Виж: G3.5.3	0	0,92	1,39	1,85	2,31	правоъгълно/100
Неопределеност на показанието $u(I)$	3,34	3,54	3,80	4,14	4,54	

<u>Изпитвателни товари</u>						
<u>Еталонни теглилки</u> m_{c1}^{16}	6000					
$u(\delta m_c) = mpe/\sqrt{3}$	0,173					правоъгълно/100
$u(\delta m_D) = mpe/\sqrt{3}$	0,173					правоъгълно/100
$u(\delta m_B) = 7.2 \times 10^{-6} m_{c1}^{17}$	0,043					правоъгълно/100
$u(m_{c1})$	0,25					триъгълно />100
<u>Заместващи товари</u> $L_{subj} \approx$	0	6000 kg	12000 kg	18000 kg	24000 kg	
$L_{Tj} = m_{c1} + L_{subj} \approx$	6000 kg	12000 kg	18000 kg	24000 kg	30000 kg	
$u(\delta m_B) = 2,9 \times 10^{-6} L_{subj}$ виж т. G3.5.4	пренебрежима					
$u(L_{Tj}) = \sqrt{\{j^2 u^2(m_{c1}) + 2 \sum u^2(I_{j-1})\}}$	0,25 kg	4,76 kg	6,93 kg	8,80 kg	10,62 kg	триъгълно до нормално />100
Неопределеност на грешката $u(E) = \sqrt{\{u^2(I_j) + u^2(L_{Tj})\}}$	3,36 kg	5,93 kg	7,90 kg	9,74 kg	11,56 kg	
U_{eff}	4	35	74	100	113	
$k(95\%)$	2,87	2,07	2,03	2,03	2,02	
$U(E) = ku(E)$	9,6	12,3	16,0	19,8	23,4	

¹⁶ Клас M1, калибрирани преди 3 месеца, среден дрейф, наблюдаван между 2 рекалибрирания: $|D_{mc}| \leq mpe$ за 12 месеца; използвани номинални стойности; умерено поддържана температура на заобикалящата среда, $\Delta T < 5$ K.

¹⁷ Стойност от таблица E2.1 за сив чугун: $\rho = (7100 \pm 300) \text{ kg/m}^3$; $u(\rho_a) = 0,064 \text{ kg/m}^3$; $\hat{w}(m_B) = 9 \times 10^{-6}$.

Допълнение, не е задължително:		
Резултат от апроксимация правата през нулата /kg	$E_{appr}(R) = 0,00019R$	
Неопределеност на грешките при апроксимация / kg	$u(E_{appr}(R)) = \sqrt{(7.3 \times 10^{-7} \text{kg}^2 + 1.75 \times 10^{-8} R^2)}^{18}$	
Разширена неопределеност, с $k = 2$ / kg	$U(E_{appr}(R)) = 2u(E_{appr}(R)) = 8.4 \times 10^{-4} R$	

В свидетелството за калибриране се препоръчва на ползвателя, че всяко R получено след калибриране трябва да се коригира с изваждане на съответстваща му грешка E посочена по-горе, само когато се закръгли да стойността на скалното деление d , символ E_d , и че стандартната неопределеност на грешката при всяко отчитане нараства със стандартната неопределеност на резултата от отчитане $u(R) = \sqrt{(2d^2/12 + s^2)} = 5,25 \text{ kg}$.

За действителните стойности, които могат да бъдат представени в свидетелството за калибриране виж т. G3.5.5

Прието е в свидетелството за калибриране да се обяви само най-голямата стойност на разширената неопределеност за всички посочени грешки: $U(E) = 23,4 \text{ kg}$, или $U(E_d) = 25 \text{ kg}$ при $k = 2,02$, с декларация, че доверителната вероятност е най-малко 95 %.

G3.4 Неопределеност на показанието при използване

Както е посочено в т. 7.4, последващата информация може да бъде доразвита от лабораторията за калибриране или от потребителя на везната. Във всички случаи тя не може да се представи нито да бъде част от свидетелството за калибриране.

G3.4.1 Нормалните условия на използване на везната като са приети или като са специфицирани от потребителя могат да включват:

- Изменение на температурата – 10 °C до + 30 °C
- Товари, които не винаги са центрирани внимателно
- Работещо устройство за уравновесяване на тарата
- Време за натоварване: по-кратко отколкото това при калибриране.

¹⁸ Първият член е пренебрежим.

G3.4.2 Таблица за пресмятане като в т. 7.4 и т. 7.5

Величина или въздействие	Показание в kg Стандартна неопределеност относителна или в kg	Разпределение/ степени на свобода
Грешки определени при калибриране /kg	$E(R) = 0,00019R$	
Стандартна неопределеност $u(E(R))$ /kg	$u(E(R)) = \sqrt{\{(5,25 \text{ kg})^2 + 1,75 \times 10^{-7} R^2\}}$	
<u>Допълнителни приноси в неопределеността</u>		
<u>Везна</u>		
Дрейф на настройване: изменение $E(Max)$ за 1 година = 15 kg	$\hat{w}(R_{adj}) = 15/(30000\sqrt{3}) = 2,89 \times 10^{-4}$	
Температура: $\hat{w}(R_{temp}) = TC \times \Delta T / \sqrt{12}$	$2 \times 10^{-6} \times 40 / \sqrt{12} = 0,23 \times 10^{-4}$	правоъгълно/100
<u>Измервателна процедура</u>		
Ексцентрично натоварване: $\hat{w}(R_{ecc}) = \Delta I _{max} / (L_{ecc} \sqrt{3})$	$5 / (10470 \sqrt{3}) = 2,76 \times 10^{-4}$	правоъгълно/100
Нелинейност на уравновесяване на тарата по-малка от неговата стандартна!	----	правоъгълно/100
Време на натоварване: $u(I_{time})$ приложена за целия измервателен обхват, виж т. G3.5.3	$\hat{w}(R_{time}) = 0,77 \times 10^{-4}$	правоъгълно/100
Неопределеност на резултата от измерване $u(W)$	$u(W) = \sqrt{\{(5,24 \text{ kg})^2 + (17,48 + 8,35 + 0,053 + 7,62 + 0,59) \times 10^{-8} R^2\}}$ $u(W) = \sqrt{\{(5,25 \text{ kg})^2 + 3,41 \times 10^{-7} R^2\}}$	
$k(95\%)$	2	
<u>Неопределеност резултат от измерване с корекция – E_{appr}</u>		
$U(W) = ku(W)$	$U(W) = 2\sqrt{\{(5,25 \text{ kg})^2 + 3,41 \times 10^{-7} R^2\}}$	
Опростяване до членове от първи порядък	$U(W) \approx U(W=0) + \{[U(W=Max) - U(W=0)]/Max\}R$ $U(W) \approx 10,5 \text{ kg} + 8,69 \times 10^{-4} R$	
Обща неопределеност на резултата от измерване без корекция на резултата от отчитане $u(W) = \sqrt{\{(5,24 \text{ kg})^2 + (17,48 + 8,35 + 0,053 + 7,62 + 0,59) \times 10^{-8} R^2\}}$		
$U_{gt}(W) = U(W) + E_{appr}(R) $	$U_{gt}(W) = 10,5 \text{ kg} + 7,3 \times 10^{-4} R$	

G3.4.3 Едно допълнение към свидетелството за калибриране може да съдържа следната декларация:

„При нормални условия на използване включващи:

Температура на помещението в граници $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+30$,
 натоварване без специално внимание центъра на товара да бъде в центъра на
 устройството за приемане на товара,
 получаване на отчитания със или без тариране (нетни или брутни стойности),
 не се правят никакви корекции на резултата от отчитане R ,

Резултатът от измерване W е:

$$W = R \pm (10,5 \text{ kg} + 1,06 \times 10^{-3} R)$$

с ниво на доверителна вероятност по-добро от 95%.“

При алтернативната възможност трябва да се чете:

(Условията като по-горе)... „резултата от измерване W е:

с толеранс от 1 % за $R \geq 1200 \text{ kg}$,

с толеранс от 0,5 % за $R \geq 2800 \text{ kg}$,

с толеранс от 0,2% за $R \geq 13930 \text{ kg}$,

с ниво на доверителна вероятност по-добро от 95%.“

G3.5 Допълнителна информация към примера

G3.5.1 Детайли за процедурата за заместване, позоваване: т. 4.3.3

За изпитване при калибриране със заместващ товар, всеки заместващ товар се юстира с добавяне или отнемане на механични части така, че да се постигнат разлики $\Delta I_j \leq 20 \text{ kg}$ (спестява време в сравнение с настройване към $\Delta I \leq 1 \text{ kg}$). Всички показания са с по-голяма разделителна способност $d_T = 1 \text{ kg}$.

При стъпка 1, празното ремарке се използва като заместващ товар, при стъпки от 2 до 4, всеки път се поставят на ремаркетото два стоманени контейнера.

Всички данни, които са записани са представени изцяло по-долу. Съвместимите с т. 4.3.3, символи са:

L_{Tj} изпитвателен товар за стъпка j , състоящ се от $m_{c1} = 6000 \text{ kg}$ еталонни теглилки плюс натрупан заместващ товар L_{Tj-1}
 $E_j = I_j - L_{Tj}$
 I_j' показание след разтоварване на m_{c1}
 $I(L_{subj})$ показание след добавяне на $\approx 6000 \text{ kg}$ заместващ товар
 $\Delta I_j = I(L_{subj}) - I_j$
 $L_{sub} = L_{Tj} + \Delta I_j$, стойност на заместващия товар

Стъпка j	L_{Tj}	I_j	E_j	I_j'	$I(L_{subj})$	ΔI_j	L_{subj}
0	0	0	0				
1	6000	6001	1	1	6015	14	6014
2	12014	12014	0	6016	11996	-18	11996
3	17996	17999	3	12001	18017	18	18014
4	24014	24019	5	18022	24006	-13	24001
5	30001	30010	9		---	---	---

След разтоварване на всички изпитвателни товари е записано стабилно показание от 4 kg. В т. G3.3, всички показания са дадени като номинални стойности като в т. 6.2.1.

G3.5.2 Товари за изпитване на ексцентрично натоварване

Позиции на товара при изпитване на ексцентрично натоварване: разстоянията от центъра на устройството за приемане на товара са 2,50 m по дължина и 0,75 m по ширина, каквито са и позициите на еталонния товар при това изпитване.

Товарите за изпитване на показанията се центрират внимателно на око, наблюдавани са най-големи разстояния от 1 m по дължина и 0,4 m по ширина. Следователно ексцентричността на тези товари не е по-голяма от 1/2 от разстоянието при изпитването за ексцентричност.

Относителната стандартна неопределеност от изпитване за ексцентричност на показанието тогава е:

$$\hat{w}(I_{ecc, ind}) = \Delta I_{ecc} / \max / (2L_{ecc} \sqrt{3})$$

G3.5.3 Ефект от пълзене и хистерезис

При всяка от стъпките със заместващ товар се приема, че причината за допълнителната неопределеност се дължи на факта, че процедурата включва поредица от натоварвания и разтоварвания и е необходимо някакво допълнително време за настройване на всеки натрупан заместващ товар.

Приносът за пълзенето и хистерезиса може да се получи от показанието за връщане към нулев товар E_0 като в т. 7.4.4.2.

Уравнението (7.4.4-7): $\hat{w}(I_{time}) = E_0 / (\text{Max} \sqrt{3})$ дава стойността

$$\hat{w}(I_{time}) = 4 / (30000 \times \sqrt{3}) = 7,7 \times 10^{-5}$$

която трябва да се добави към неопределеността на показанието за всички товари с изключение на първия товар от 6000 kg, който се състои само от еталонни теглилки.

Същата неопределеност се добавя за показанието при използване, защото времето за натоварване при нормално използване се очаква да бъде достатъчно кратко и затова различно от това при калибриране.

G3.5.4 Корекция от изтласкващата сила на въздуха на заместващия товар

Заместващият товар се състои от ремарке и стоманени контейнери напълнени с парчета метални отпадъци (стомана или чугун).

Приема се, че плътността на напълнените контейнери е $\rho = (7500 \pm 400) \text{ kg/m}^3$ (въз основа на информацията дадена в Приложение Е).

За ремаркетото с цел опростяване може да се приеме същата плътност (в по-голямата си част то е направено от стомана, с изключение на гумите и някои части на спирачната система).

По време на калибрирането температурата на въздуха t се променя от 17 °C до 20 °C, при атмосферно налягане $p = (1010 \pm 10) \text{ hPa}$.

Прилагайки равенство (A1.1-1), в което члена за относителната влажност се пренебрегва, се намират екстремните стойности:

$$\rho_{a, \min} = 0,34848 p_{\min} / (273,15 + t_{\max}) = 1,1889 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{a, \max} = 0,34848 p_{\max} / (273,15 + t_{\min}) = 1,2251 \text{ kg/m}^3$$

С разлика $\Delta\rho_a = 0,0362 \text{ kg/m}^3$

При максимална разлика следователно изтласкващата сила на въздуха на заместващия товар ще е:

$$\Delta m_{\text{sub},B} \approx L_{\text{sub}} \Delta\rho_a / \rho = 24000 \times 0,0362 / 7500 = 0,12 \text{ kg}$$

Водеща до относителна неопределеност:

$$\hat{w}(\delta m_{\text{sub},B}) = \Delta m_{\text{sub},B} / (L_{\text{sub}} \sqrt{3}) = 2,9 \times 10^{-6}$$

която наистина е пренебрежимо малка.

G3.5.5 Резултати от измерване при условията на калибриране

Резултатите от измерване при условията на калибриране $W^* = R - E$ получени след калибриране, когато са определени за точките на изпитване са както следва:

Отчитане R / kg	6000	12000	18000	24000	30000	
Грешка от закръгляне на d / kg	0	0	0	10	10	
$u(R)$	5,25					
$u(W^*) = \sqrt{\{u^2(R) + u^2(E)\}}$	6,23 kg	7,92 kg	9,49 kg	11,06 kg	12,70 kg	
v_{eff}	38	91	133	153	157	
$k(95\%)$	2,07	2,03	2,02	2,02	2,02	
$U(W^*) = ku(W^*)$	12,9 kg	16,1 kg	19,2 kg	22,3 kg	25,6 kg	
Резултат от апроксимация към права линия, която минава през нулата / kg	$E_{\text{appr}}(R) = 0,00019R$					
Неопределеност на W^* / kg	$u(W^*) = 10,5 \text{ kg} + 5,29 \cdot 10^{-4} R$					
Разширена неопределеност с $k = 2$ / kg	$U(W^*) = 2u(W^*)$					

Превод: физ. Надя Владимирова, БИМ – ГД „НЦМ“