Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы»
(ФГУП «ВНИИМС»)

СОГЛАСОВАНО
Главный метролог
Госкорпорации «Росатом»
_____ Н.А. Обысов
«____»_____ 2017 г.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГУП «ВНИИМС»
_____ А.Ю. Кузин
«12» 12 2017 г.

СОГЛАСОВАНО
И.о. начальника
Управления Метрологии
Федерального агентства по
техническому регулированию
и метрологии
_____ Е.Р. Лазаренко
«____»_____ 2017 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения единства измерений

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

МИ 3592-2017

Москва, 2017

gost.e-ecolog.ru

ПРЕДИСЛОВИЕ

РАЗРАБОТАНА: Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГУП «ВНИИМС»)

УТВЕРЖДЕНА: ФГУП «ВНИИМС» «12» 12 2017 г.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНА: ФГУП «ВНИИМС» «13» 12 2017 г.

ВВЕДЕНА: Впервые

ИСПОЛНИТЕЛИ:

Руководитель разработки:

Зам. директора по производственной метрологии ФГУП «ВНИИМС» Н.В. Иванникова

Ответственный исполнитель:
Начальник отдела 201 ФГУП «ВНИИМС» И.М. Каширкина

Заместитель директора

Яшин А.В.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Область применения	4
2	Нормативные ссылки	5
3	Термины и определения	5
4	Сокращения	5
5	Общие положения	5
6	Нормируемые метрологические характеристики средств измерений	6
7	Представление метрологических характеристик средств измерений	8
8	Требования к эталонам	10
9	Алгоритмы оценки метрологических характеристик средств измерений с незначимой случайной составляющей погрешности	11
10	Алгоритмы оценки метрологических характеристик средств измерений со значимой случайной составляющей погрешности	15
11	Алгоритмы оценки метрологических характеристик мер и цифроаналоговых преобразователей	17
12	Алгоритмы оценки метрологических характеристик измерительных каналов	22
13	Алгоритмы оценки метрологических характеристик средств измерений ионизирующих излучений	23
	Приложение А. Построение функциональной зависимости между двумя величинами	29
	Приложение Б. Пример выделения общей составляющей погрешности комплекта эталонов	32
	Приложение В. Пример определения характеристик погрешности дозиметра гамма-излучения	33
	Библиография	38

РЕКОМЕНДАЦИЯ Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения метрологических характеристик средств измерений, применяемых в области использования атомной энергии	**МИ 3592-2017**

1 Область применения

1.1 Настоящая рекомендация распространяется на средства измерений, измерительные каналы (в том числе измерительных систем), а также составные части технических устройств, выполняющие измерительные функции (далее – СИ), применяемые в области использования атомной энергии.

1.2 Рекомендация устанавливает методы определения метрологических характеристик (МХ) СИ в зависимости от факторов, определяющих постановку и проведение эксперимента.

Устанавливаемые рекомендацией методы определения МХ СИ предназначены для использования при:

- предварительных исследованиях МХ СИ перед представлением СИ на испытания;
- испытаниях СИ в целях утверждения их типа.

1.3 Если для определенных видов СИ есть действующие нормативные документы, регламентирующие методы (методики) испытаний СИ, настоящая рекомендация используется совместно с этими документами и должна рассматриваться как дополнение и (или) уточнение к ним.

1.4 Рекомендация предназначена для:

- разработчиков СИ, применяемых в области использования атомной энергии;
- заявителей испытаний СИ, в том числе импортируемых;
- аккредитованных в установленном порядке юридических лиц, проводящих испытания СИ в области использования атомной энергии в целях утверждения их типа;
- организаций Госкорпорации «Росатом», проводящих рассмотрение (метрологическую экспертизу) материалов испытаний СИ в целях утверждения типа в соответствии с нормативным правовым актом [1].

2 Нормативные ссылки

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 8.009-84 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

ГОСТ 8.461-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки.

ГОСТ 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

ГОСТ 27451-87 Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия.

3 Термины и определения

В настоящей рекомендации применяются термины и определения, установленные Федеральным законом от 26.07.2008 № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» и [2].

4 Сокращения

В настоящем документе приняты следующие сокращения:

МХ	метрологические характеристики
СИ	средство измерений
СКО	среднее квадратическое отклонение

5 Общие положения

5.1 Методы определения МХ СИ, описанные в настоящей рекомендации, рекомендуется применять при разработке программы испытаний СИ в целях утверждения типа. Программа испытаний должна содержать все формулы, необходимые для расчета МХ СИ.

5.2 Протокол испытаний должен содержать все, включая промежуточные, результаты измерений, полученные при испытаниях СИ.

5.3 Нормирование МХ СИ осуществляют в соответствии с основными принципами ГОСТ 8.009. Обязательными являются требования достаточности и контролепригодности комплекса МХ СИ, установленные пунктом 1.3 ГОСТ 8.009.

5.4 При оценивании МХ СИ должен применяться «консервативный» подход [3]: если нет возможности точно оценить влияние какого-либо

фактора, необходимо принимать верхнюю границу оценки МХ СИ для уровня значимости не более 5 %.

5.5 В настоящем документе при оценивании МХ СИ предполагается, что погрешности величин, воспроизводимых эталонами, подчиняются равномерному закону распределения, а случайная погрешность испытываемых СИ – нормальному закону распределения. Такая ситуация имеет место в подавляющем большинстве случаев. Если исследователь имеет в своем распоряжении достоверные сведения об иных видах распределений, он может использовать эти сведения при оценивании МХ СИ. При этом также должен применяться «консервативный» подход.

5.6 Полученные при испытаниях СИ значения МХ $M_{исп}$ не должны превышать значений $M_{норм}$, указанных в заявке на проведение испытаний:

$$M_{исп} \le M_{норм} \qquad (1)$$

При предварительной оценке МХ заявителем рекомендуется вводить контрольный допуск

$$M_{исп} \le K \times M_{норм}, \qquad (2)$$

где K в диапазоне от 0,8 до 0,9.

Примечание – В неравенстве (1) для цифровых СИ использовать знак «меньше» для учета влияния цены наименьшего разряда показаний СИ на оценки характеристик погрешности.

5.7 Разработчику (заявителю испытаний) СИ также рекомендуется устанавливать запас (отношение нормируемого предела допускаемой погрешности СИ к ее фактическому значению) на характеристики погрешности. Количественное значение коэффициента запаса может быть установлено исходя из имеющихся сведений о характере изменения МХ СИ вследствие старения элементов СИ, распада источников ионизирующих излучений, входящих в состав СИ, иных процессов, приводящих к постепенному изменению МХ СИ.

6 Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

6.1 Для измерительных приборов нормируют МХ из числа следующих с учетом требования 5.3:

6.1.1 Цена деления шкалы (для аналоговых СИ) или выходной код, число разрядов кода, номинальная цена единицы наименьшего разряда кода (для цифровых СИ).

6.1.2 Характеристики погрешности:

- пределы или доверительные границы Θ (для вероятности P не менее 0,95) систематической составляющей погрешности;

- предел среднего квадратического отклонения σ (СКО) или доверительные границы ε (для вероятности P не менее 0,95) случайной составляющей погрешности;

- предел характеристики погрешности от гистерезиса – (вариация выходного сигнала показания) H;

- пределы или доверительные границы Δ (для вероятности P не менее 0,95) погрешности.

Примечание – Доверительные границы нормируют для измерительных каналов при использовании «покомпонентного метода» оценки МХ [4]. В остальных случаях нормируют пределы погрешности.

6.1.3 Функции влияния внешних влияющих величин:

- номинальная функция влияния $\Psi(\xi)$ внешней влияющей величины ξ и пределы допускаемых отклонений от нее Δ_ψ или верхняя граничная функция влияния ${}^{e}\Psi(\xi)$;

- вместо функции влияния возможно нормирование пределов допускаемых изменений $\vartheta(\xi)$ значений характеристик погрешности (дополнительные погрешности), вызванных изменениями влияющих величин ξ.

Примечание - При нормировании функций влияния и дополнительных погрешностей указывают пределы допускаемых изменений влияющего фактора ξ.

6.1.4 Динамические характеристики в соответствии с подразделом 2.4 ГОСТ 8.009 – для СИ, предназначенных для измерений величин, изменяющихся во времени.

6.1.5 Характеристики СИ, отражающие их способность влиять на инструментальную составляющую погрешности измерений вследствие взаимодействия СИ с любым из подключенных к их входу или выходу компонентов (подраздел 2.5 ГОСТ 8.009).

Примечание – Из этих характеристик в настоящем документе рассматриваются характеристики взаимодействия СИ с объектом измерений, поскольку остальные характеристики существенны только для согласования входа и выхода компонент измерительных каналов.

Характеристики взаимодействия СИ с объектом измерений могут быть нормированы следующими способами:

- предельное значение характеристики СИ, оказывающей влияние на результат измерений;

Пример – Входное сопротивление вольтметра.

- номинальная функция влияния $\omega(\eta)$ на результат измерений величины η, характеризующей свойства объекта измерений, и пределы допускаемых отклонений от нее Δ_ω.

Пример – Зависимость эффективности регистрации блока детектирования от энергии гамма-излучения.

- верхняя граничная функция влияния ${}^{e}\omega(\eta)$;

- пределы дополнительной погрешности, обусловленной свойствами объекта измерений $\vartheta(\eta)$.

6.1.6 Указанные МХ нормируют во всем диапазоне (во всех поддиапазонах) измерений. Если СИ выдает показания в диапазоне, более широком, чем диапазон измерений, то используют термин «диапазон показаний», имея в виду, что МХ нормированы лишь в диапазоне измерений, а не в «диапазоне показаний».

Примечания

1 Характеристику погрешности Δ нормируют для СИ, случайная составляющая погрешности которых в каждой точке диапазона измерений пренебрежимо мала в сравнении с систематической составляющей погрешности. Допускается также нормировать характеристику погрешности для СИ, не предназначенных для совместного применения с другими СИ .

2 Для СИ, принцип действия которых основан на накоплении измерительной информации во времени, характеристики погрешности нормируют с указанием времени измерения t (получения показания СИ).

6.2 Для измерительных преобразователей нормируют МХ из числа следующих с учетом требования 5.3:

- номинальную или индивидуальную функцию преобразования измерительного преобразователя $y=f(x)$ или обратную функцию $x=f^{-1}(y)$;

Примечание - Измерительные приборы с неименованной шкалой или со шкалой, отградуированной в единицах величин, отличных от единиц входной величины, рассматриваются как измерительные преобразователи.

- МХ по 6.1;
- неинформативные параметры выходного сигнала.

6.3 Для мер (в том числе однозначных и многозначных), цифроаналоговых преобразователей нормируют МХ из числа следующих с учетом требования 5.3:

- номинальное или действительное (индивидуальное) значение однозначной меры или диапазон значений, воспроизводимых многозначной мерой или цифроаналоговым преобразователем – Y;
- предельную функцию изменения номинального значения $Y(t)$ во времени – для мер с закономерным плавным изменением Y во времени;
- характеристику погрешности Δ значения (значений) Y;
- функции влияния внешних влияющих величин $\Psi(\xi)$ и (или) изменения во времени $\vartheta(\xi)$ значения характеристики погрешности;
- неинформативные параметры выходного сигнала – для цифроаналоговых преобразователей при необходимости.

7 Представление метрологических характеристик средств измерений

7.1 МХ указывают в технической и (или) эксплуатационной документации на СИ (описании типа, руководстве по эксплуатации).

7.2 Цену деления шкалы или цену единицы наименьшего разряда, представляют в виде числового значения.

7.3 Значение меры, представляют в виде числового значения, выраженного в единицах воспроизводимой величины.

7.4 Функцию преобразования измерительного преобразователя представляют в виде формулы, описывающей зависимость выходного сигнала от входного в установленном диапазоне или обратную зависимость. Количество значащих цифр в числовых коэффициентах формулы не ограничивается.

Линейную функцию преобразования, проходящую через начало координат, допускается представлять коэффициентом преобразования (чувствительностью) в виде числа, выраженного в единицах отношения величин выходного и входного сигналов.

Линейную функцию преобразования, не проходящую через начало координат, допускается представлять постоянным коэффициентом (значением уровня собственного фона), выраженным в единицах величины входного или выходного сигнала и чувствительностью.

7.5 Представление характеристик погрешности

7.5.1 Характеристики погрешности и ее составляющих представляют числом или функцией (формулой) информативного параметра входного или выходного сигнала для абсолютных, относительных или приведенных погрешностей.

7.5.2 Числовое значение характеристик погрешности, выраженных в абсолютной или приведенной форме, округляют в большую сторону до одной или двух значащих цифр.

Примечание - Рекомендуется следующий порядок округления. Если первая значащая цифра характеристики погрешности 1 или 2, то должна присутствовать и вторая значащая цифра от 0 до 9, например: 0,23 г/см^3; 0,0014 мм. Если первая значащая цифра характеристики погрешности 3 или 4, то должна присутствовать и вторая значащая цифра - 0 или 5, например: 0,35 г/см^3, 0,0040 мм. Если первая значащая цифра характеристики погрешности больше 4, то вторая значащая цифра должна отсутствовать, например: 0,5 г/см^3, 6 мг/дм^3. Значение характеристики погрешности округляют в большую сторону, например: 0,31 г/см^3 $\approx$ 0,35 г/см^3, а не 0,31 г/см^3 $\approx$ 0,30 г/см^3; 0,61 % $\approx$ 0,7 %; 2,72 % $\approx$ 2,8 %.

7.5.3 В числовом значении характеристики погрешности, выраженной в относительной форме, а также в значениях коэффициентов, определяющих функциональную зависимость характеристики погрешности, количество значащих цифр может быть равно двум вне зависимости от их первой значащей цифры.

7.5.4 Для представления функциональной зависимости характеристики погрешности рекомендуется выбирать функцию простого вида, содержащую не более двух числовых коэффициентов.

7.5.5 В случае симметричных пределов или доверительных границ характеристики погрешности указывают со знаком «±». В противном случае указывают оба предела или доверительные границы. Предел среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности указывают без знака «±».

Примеры:

1 Пределы допускаемой приведенной погрешности ±3,5 %.

2 Пределы допускаемой (абсолютной) погрешности (-3...+5) мкм.

3 Пределы допускаемой систематической составляющей погрешности $\pm(0,3\ \text{мкВ} + 0,02U)$, ***где U – измеренное значение напряжения, мВ.***

4 Доверительные границы (P=0,95) относительной случайной составляющей погрешности $\pm\left(5 + 10/\sqrt{D}\right)$ %, ***где D – измеренное значение мощности дозы, мкЗв/ч.***

5 Предел допускаемого относительного СКО случайной составляющей погрешности 2,5 %.

7.6 Предел допускаемой вариации представляют числом в единицах измеряемой величины или в процентах от нормирующего значения.

7.7 Номинальную и граничную функции влияния представляют в виде формулы в координатах, начало которых находится в точке [0, ξ0], где ξ0 - номинальное значение влияющей величины.

Линейную функцию влияния, проходящую через начало координат, допускается представлять коэффициентом влияния в виде числа.

Пределы допускаемых отклонений от номинальной функции влияния и дополнительные погрешности представляют аналогично 7.5.

7.8 Динамические характеристики представляют в соответствии с подразделом 4.8 ГОСТ 8.009.

7.9 Характеристики взаимодействия СИ с объектом измерений представляют аналогично 7.7.

8 Требования к эталонам

8.1 В качестве эталонов, применяемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений для испытаний, поверки и калибровки СИ могут быть использованы:

- эталоны, соответствующие требованиям законодательства по обеспечению единства измерений, в том числе аттестованные в соответствии с нормативным правовым актом [5];
- стандартные образцы утвержденного типа, в том числе прошедшие испытания в соответствии с нормативным правовым актом [6];

8.2 В качестве эталонов, применяемых вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут быть также использованы аттестованные объекты [3].

8.3 Отношение предела погрешности воспроизведения измеряемой величины эталоном $\Delta_{эт}$ к пределу погрешности испытываемого СИ Δ должно быть не более 1/3.

При применении эталонов для испытаний СИ, имеющих значимую случайную составляющую погрешности рекомендуется, чтобы отношение $\Delta_{эт}$ к пределу систематической составляющей погрешности испытываемого СИ Θ было не более 1/2.

8.4 Если передача единицы величины от эталона к испытываемому СИ осуществляется путем сличения при помощи компаратора, кроме погрешности эталона $\Delta_{эт}$, необходимо учитывать и погрешность передачи единицы величины. Далее предполагается, что для этого случая величина $\Delta_{эт}$ включает погрешность передачи единицы величины.

8.5 При использовании комплекта эталонов, воспроизводящего несколько значений измеряемой величины, предпочтительным является выделение общей для комплекта эталонов составляющей погрешности. Пример выделения общей составляющей погрешности комплекта эталонов приведен в приложении Б.

9 Алгоритмы оценки метрологических характеристик средств измерений с незначимой случайной составляющей погрешности

9.1 Выбор числа проверяемых точек в диапазоне измерений

9.1.1 Для СИ с линейной номинальной статической характеристикой преобразования $Y=a_0+a_1X$, описываемой $k=2$ параметрами, число проверяемых точек m в диапазоне измерений СИ выбирается следующим образом:

- если нулевое значение измеряемой величины расположено на краю диапазона измерений СИ, то число проверяемых точек принимается равным пяти; рекомендуемые значения проверяемых точек – 5, 25, 50, 75, 95 % от диапазона измерений;
- если СИ измеряет как положительные, так и отрицательные значения величины и нулевое значение измеряемой величины расположено в середине диапазона измерений, то число проверяемых точек принимается равным одиннадцати (по пяти точек на положительной и отрицательной частях диапазона измерений и одна точка вблизи нулевого значения).

9.1.2 Для СИ с нелинейной статической характеристикой преобразования, описываемой $k \geq 2$ параметрами, число проверяемых точек m в диапазоне измерений должно удовлетворять условию $m \geq k+3$, а их расположение может быть неравномерным.

В число проверяемых включают точки, соответствующие нижнему и верхнему пределам измерений, а также точки, в которых ожидаются наибольшие значения характеристик погрешности. Точки выбираются с учётом характера нелинейности. При плавном изменении погрешности рекомендуется выбирать точки так, чтобы интервал между соседними

точками соответствовал изменению погрешности на 20 - 30 %. При периодическом изменении погрешности рекомендуется выбирать не менее пяти точек на период изменения погрешности.

9.2 Проверка незначимости случайной составляющей погрешности

9.2.1 В средней и в крайних точках диапазона провести от десяти до двадцати измерений (n) выходного сигнала СИ X_j; вычислить среднее значение

$$\bar{X} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} X_j \quad , \tag{3}$$

оценку систематической составляющей погрешности СИ:

$$\hat{\theta} = \bar{X} - X_{эт} \ , \tag{4}$$

и оценку СКО случайной составляющей погрешности СИ:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}\left(X_j - \bar{X}\right)^2}. \tag{5}$$

9.2.2 Случайная составляющая погрешности считается незначимой, если во всех точках диапазона выполняется условие

$$\hat{\sigma} \le \frac{1}{8}\Delta \ , \tag{6}$$

где Δ – нормированное значение предела или доверительных границ погрешности СИ.

9.2.3 При испытаниях СИ в целях утверждения типа результаты проверки незначимости случайной составляющей погрешности должны быть отражены в протоколе испытаний.

9.3 Определение характеристик погрешности

9.3.1 При незначимой случайной составляющей погрешности оценки по формуле (4) являются оценками погрешности СИ. Верхние границы оценок погрешности (без учета знака) вычисляют по формуле:

$$^{в}\Delta = (|\hat{\theta}| + \Delta_{э\ т}) \tag{7}$$

9.3.2 Характеристики погрешности СИ соответствуют нормированным значениям Δ, если во всех точках диапазона выполняется условие

$$^{в}\Delta \le \Delta \tag{8}$$

9.3.3 При значимой характеристике погрешности от гистерезиса H ее определяют как разность показаний СИ, полученных при подходе к проверяемой точке диапазона измерений со стороны меньших, а затем со стороны больших значений (или наоборот).

9.4 Определение функций влияния внешних влияющих величин

9.4.1 В общем случае функцию влияния $\Psi(\xi)$ определяют путем задания ряда значений влияющего параметра ξ_i. Значения ξ_i должны

охватывать минимально возможное и максимально возможное значения влияющего параметра, включая номинальное значение ξ_0. При каждом значении ξ_i выполняют измерения выходного сигнала СИ Y_i и вычисляют разности $\Psi_i = Y_i - Y_0$, где Y_0 - величина выходного сигнала СИ при $\xi_i = \xi_0$.

Далее по приложению А строят функцию влияния – зависимость $\Psi(\xi-\xi_0)$, принимая СКО значений аргумента равными нулю, а СКО значений функции – равными $C/\sqrt{12}$, где C - цена деления шкалы или цена единицы наименьшего разряда выходного сигнала СИ.

Чаще всего количество точек принимают равным трем (минимальное, нулевое и максимальное отклонения), а модельную функцию задают линейной $\Psi = a_1(\xi-\xi_0)$, но возможен и иной вид модельной функции (параболический, экспоненциальный и т.д.), полученный путем подбора по оптимальному значению критерия (А.7).

9.4.2 Пределы допускаемых отклонений от функции влияния Δ_Ψ принимают равными максимальной полуширине доверительного интервала, вычисленного в соответствии с приложением А.

9.4.3 Верхнюю граничную функцию влияния ${}^{в}\Psi(\xi)$ вычисляют по формуле:

$$ {}^{в}\Psi(\xi) = \Psi(\xi) + \Delta_\Psi(\xi) \qquad (9) $$

9.4.4 Пределы допускаемых изменений $\vartheta(\xi)$ погрешности (дополнительную погрешность), вызванных внешними влияющими величинами, принимают равными максимальному значению ${}^{в}\Psi(\xi)$ во всем диапазоне изменения влияющей величины ξ.

9.5 Оценивание динамических характеристик

9.5.1 Основные способы определения динамических характеристик содержатся в ГОСТ 8.009 и [7].

9.5.2 Детально способы определения динамических характеристик описываются в специальной литературе и в настоящем документе не рассматриваются. При оценивании динамических характеристик следует использовать «консервативный» подход.

9.6 Оценивание характеристик взаимодействия с объектом измерений

9.6.1 Необходимость нормирования и определения характеристик взаимодействия с объектом измерений следует из общего требования к МХ по ГОСТ 8.009 и 5.3.

9.6.2 Если характеристики взаимодействия с объектом измерений нормированы в виде, удовлетворяющем требованиям 5.3, их оценивание проводят аналогично схеме подраздела 9.4.

9.7 Определение функции преобразования и характеристик погрешности измерительного преобразователя

9.7.1 Основным способом построения (определения) функции преобразования является метод конфлюентного анализа, описанный в приложении А.

9.7.2 При обработке в случае незначимой случайной составляющей погрешности СКО значений функции принимают равными $C/\sqrt{12}$, где C - цена деления шкалы или цена единицы наименьшего разряда выходного сигнала СИ.

9.7.3 Для строгого использования схемы приложения А необходимо, чтобы погрешности значений аргумента были некоррелированы. Реализация строгой схемы возможна, если для применяемого комплекта эталонов выделена общая для комплекта составляющая погрешности $\Delta_{эт.о}$ (8.5) и, соответственно, для каждого эталона известны некоррелированные СКО значений аргумента σ_x. Обработку по приложению А проводят, задавая в качестве СКО значений аргумента σ_x. После обработки к полученному значению полуширины доверительного интервала I_x арифметически прибавляют общую составляющую $\Delta_{эт.о}$

$$\Theta' = I_x + \Delta_{эт.о}. \qquad (10)$$

Пример выделения общей составляющей погрешности комплекта эталонов приведен в приложении Б.

9.7.4 Найденные при обработке по приложению А значения коэффициентов определяют индивидуальную функцию преобразования испытываемого измерительного преобразователя. Если нормируется индивидуальная функция преобразования, коэффициенты функции преобразования указывают в документации на СИ.

9.7.5 Величина $\pm\Theta'$ характеризует доверительные границы (для P=0,95) систематической составляющей погрешности испытываемого измерительного преобразователя, а для рассматриваемого в настоящем разделе случая незначимости случайной составляющей погрешности - доверительные границы погрешности $\pm\Delta'$.

Если нормируется индивидуальная функция преобразования, величину Θ' (или Δ') указывают в документации на СИ.

Если нормируется типовая функция преобразования, соответствие характеристики погрешности СИ нормированным значениям Δ проверяют по условию

$$|f^{-1}(\vec{a}_{эксп}, x) - f^{-1}(\vec{a}_{тип}, x)| + \Delta' \le \Delta \qquad (11)$$

Здесь

$\vec{a} = (a_1, a_2, \ldots a_m)$ – параметры функции преобразования; с индексом «эксп» - найденные экспериментально; с индексом «тип» - типовые значения;

$f^{-1}(\vec{a}, x)$ – обратная функция преобразования.

9.7.6 Если выделение общей для комплекта составляющей погрешности (9.7.3) невозможно, обработку результатов измерений проводят, считая σ_x=0, $\Delta_{эт.о}$=$\Delta_{эт}$.

Примечание – Такая схема обработки результатов измерений приводит к завышению оценок погрешности.

9.7.7 Если вид функции преобразования хорошо изучен, возможно применение упрощенной схемы нахождения коэффициентов $\vec{a}$. Решая систему уравнений (i от 1 до m; m-количество коэффициентов, описывающих функцию преобразования)

$$Y_i = f(\vec{a}, X_i) \ , \qquad (12)$$

находят коэффициенты $\vec{a}$

$$a_i = G_i(X_i, Y_i) \qquad (13)$$

Подставляя аналитические выражения для коэффициентов $\vec{a}$ в уравнение обратной функции преобразования, получают:

$$X = f^{-1}[G_i(X_i, Y_i), Y] \qquad (14)$$

Исходя из (14), вычисляют доверительные границы погрешности, выраженной в единицах входного сигнала Δ', по формуле для косвенных измерений [8]. Соответствие характеристик погрешности СИ нормированным значениям Δ проверяют по условию (11) не только для точек, выбранных для нахождения коэффициентов $\vec{a}$, но и еще в нескольких точках диапазона.

Пример такого подхода к оценке характеристик погрешности платиновых термометров сопротивления приведен в ГОСТ 8.461.

10 Алгоритмы оценки метрологических характеристик средств измерений со значимой случайной составляющей погрешности

10.1 Выбор числа проверяемых точек в диапазоне измерений в целом аналогичен подразделу 9.1. Однако, если абсолютная или относительная случайная составляющая погрешности СИ непостоянна в диапазоне измерений, рекомендуется включать дополнительные точки так, чтобы условие 9.1.2 выполнялось и для случайной составляющей погрешности, т.е. так, чтобы интервал между соседними точками соответствовал изменению случайной составляющей погрешности на 20 - 30 %.

10.2 Определение характеристик погрешности

10.2.1 В каждой точке диапазона по 10.1 проводят n измерений выходного сигнала СИ Xj; вычисляют среднее значение по формуле (3), оценку систематической составляющей погрешности по формуле (4) и оценку СКО случайной составляющей погрешности СИ по формуле (5).

Примечание – Рекомендуемое количество измерений n - от двадцати до пятидесяти. При n = 20 относительная расширенная неопределенность оценки СКО случайной составляющей погрешности СИ составляет примерно 30 %; при n = 50 – примерно 20 %.

10.2.2 Вычисляют верхнюю доверительную границу СКО случайной составляющей погрешности СИ

$$^{в}\sigma = \varkappa\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2}}\hat{\sigma}, \qquad (15)$$

где χ^2 – 5 % квантиль χ^2-распределения с (n-1) степенями свободы.

10.2.3 Вычисляют полуширину доверительного интервала (для P=0,95) оценки систематической составляющей погрешности $\hat{\theta}$

$$\Theta_c = \sqrt{\varepsilon_{\bar{x}}^2 + \Delta_{эт}^2} = \sqrt{\left(\frac{t\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}\right)^2 + \Delta_{эт}^2}\ , \qquad (16)$$

где t – 95 % квантиль распределения Стьюдента с (n-1) степенями свободы.

Примечание – Эмпирическая формула (16) дает приемлемое приближенное значение полуширины доверительного интервала для P=0,95 в случае нормального распределения случайной составляющей погрешности СИ и равномерного распределения погрешности эталона. Относительная погрешность вычислений по формуле (16) находится в пределах от минус 3,5 до 5,2 %. Формула может также применяться в случае симметричного одномодального распределения погрешности эталона.

10.2.4 Вычисляют верхнюю доверительную границу (для P=0,95) систематической составляющей погрешности (без учета знака)

$$^{в}\Theta = (|\hat{\theta}| + \Theta_c) \qquad (17)$$

10.2.5 Вычисляют верхнюю доверительную границу суммарной погрешности (без учета знака)

$$^{в}\Delta = \sqrt{^{в}\Theta^2 + \left(1{,}96 \times {}^{в}\sigma\right)^2} \qquad (18)$$

10.2.6 Характеристики погрешности СИ соответствуют нормированным значениям Θ, σ, Δ, если во всех точках диапазона выполняются условия:

$$^{в}\Theta < \Theta \qquad (19)$$

$$^{в}\sigma < \sigma \qquad (20)$$

$$^{в}\Delta < \Delta \qquad (21)$$

10.3 Определение функций влияния внешних влияющих величин

10.3.1 Определение функций влияния внешних влияющих величин проводят аналогично подразделу 9.4 с учетом следующей особенности, обусловленной значимостью случайной составляющей погрешности испытываемого СИ.

Измерения выходного сигнала СИ Y_i по 9.4.1 выполняют при каждом значении влияющего параметра ξ_i не менее n=20 раз; вычисляют средние значения по формуле (3) и оценки СКО $\hat{\sigma}_{Y_i}$ по формуле:

$$\hat{\sigma}_{Y_i} = \hat{\sigma}_i/\sqrt{n}\ , \qquad (22)$$

где $\hat{\sigma}_i$ вычисляют по формуле (5). Значения Y_i и $\hat{\sigma}_{Y_i}$используют при построении функции преобразования по приложению А.

10.3.2 Могут быть также определены функции влияния условий измерений на случайную составляющую погрешности. В этом случае схема исследований аналогична описанной, но в качестве выходных значений при построении функции влияния по приложению А берут оценки СКО $\hat{\sigma}$ по формуле (5), а СКО этих оценок s вычисляют по формуле:

$$s = \hat{\sigma}/\sqrt{2(n-1)} \qquad (23)$$

10.4 Определение функции преобразования измерительного преобразователя проводят аналогично подразделу 9.7 с учетом следующей особенности, обусловленной значимостью случайной составляющей погрешности испытываемого СИ.

Измерения выходного сигнала СИ выполняют при каждом значении входной величины X_i не менее двадцати раз; вычисляют средние значения выходного сигнала Y_i и оценки СКО средних значений

$$\hat{\sigma}_{Y_i} = \hat{\sigma}_i/\sqrt{n}\ , \qquad (24)$$

где $\hat{\sigma}_i$ вычисляют по формуле (5). Значения Y_i и $\hat{\sigma}_{Y_i}$ используют при построении функции преобразования по приложению А.

11 Алгоритмы оценки метрологических характеристик мер и цифроаналоговых преобразователей

11.1 Для определения значения (значений) мер и цифроаналоговых преобразователей и оценки характеристик погрешности их воспроизведения применяют следующие методы:

- метод прямых измерений значения (значений), воспроизводимых мерой и цифроаналоговых преобразователем с помощью эталона – измерительного прибора;

- метод косвенных измерений значения (значений), воспроизводимых мерой и цифроаналоговых преобразователем с помощью нескольких эталонов – измерительных приборов, измеряющих разные величины; при этом методе значения меры находят на основе известной зависимости величины, воспроизводимой мерой, от величин, измеряемых измерительными приборами;

- разновидности метода сличения с эталонной мерой при помощи компаратора, в том числе наиболее часто применяющиеся:

- дифференциальный метод, заключающийся в измерении на компараторе —разности величин, воспроизводимых испытываемой и эталонной мерами. Частным случаем дифференциального метода является нулевой метод, при котором добиваются равенства показаний от испытываемой и эталонной мер;

- метод «пропорции», при котором на компараторе измеряют отношение величин, воспроизводимых испытываемой и эталонной мерами.

Примечание - Дифференциальный метод применяют, когда значения величин, воспроизводимых испытываемой и эталонной мерами, близки, а пропорциональная систематическая составляющая погрешности компаратора мала. Метод «пропорции» применяют, когда известно, что функция преобразования компаратора линейная и проходит через ноль ($Y = a_1 \cdot X$), а постоянная систематическая составляющая погрешности компаратора мала).

11.2 Метод прямых измерений значения меры

11.2.1 В простейшем случае проводят многократные измерения значения, воспроизводимого мерой с помощью эталона – измерительного прибора. Для оценки воспроизводимого значения Y и характеристик погрешности Δ результаты измерений обрабатывают по схеме ГОСТ 8.736.

11.2.2 Необходимо учитывать, что применение ГОСТ 8.736 оправдано при следующих допущениях:

- воспроизводимый мерой параметр (характеристика) – однозначный;

Примечание - Для однозначного параметра отсутствует понятие неоднородности – он описывается одним значением, которое полностью характеризует объект. Для распределенного параметра характерно измерение только части объекта измерений и для разных частей объекта он имеет разные значения. Например, электродвижущая сила нормального элемента – однозначный параметр; диаметр меры, предназначенной для градуировки прибора, измеряющего диаметр топливной таблетки – распределенный параметр.

- погрешности, обусловленные отличиями условий измерений от условий, в которых определялись метрологические характеристики эталонного измерительного прибора, незначимы;

- погрешности, обусловленные взаимодействием эталонного измерительного прибора с объектом измерений, незначимы.

11.2.3 Если измеряемый параметр испытываемой меры распределенный, то необходимо также оценивать метрологическую характеристику меры, характеризующую ее неоднородность.

Примечание - Для приведенного в примечании к 11.2.2 примера меры диаметра неоднородность естественно характеризовать половиной размаха измеренных значений диаметров. В общем случае оценка результатов измерений требует специального рассмотрения, учитывающего особенности средств измерений, для поверки (калибровки, градуировки) которых применяется испытываемая мера.

11.2.4 Как правило, измерения проводятся в нормальных условиях и погрешностями, обусловленными отличиями условий измерений от условий, в которых определялись метрологические характеристики эталонного измерительного прибора, можно пренебречь. В противном случае для эталонного измерительного прибора должны быть известны функции влияния внешних влияющих параметров и возникающие вследствие этого влияния дополнительные погрешности должны быть включены в схему расчета значения Y и его погрешности Δ по ГОСТ 8.736.

11.2.5 В случае значимости погрешностей, обусловленных взаимодействием эталонного измерительного прибора с объектом измерений, они должны быть оценены и также включены в схему расчета значения Y и его погрешности Δ по ГОСТ 8.736.

11.3 Метод косвенных измерений значения меры

11.3.1 Для оценки воспроизводимого значения Y и характеристик погрешности Δ результаты измерений обрабатывают по схеме [8].

11.3.2 В случае значимости погрешностей, обусловленных отличиями условий измерений от условий, в которых определялись метрологические характеристики эталонных СИ, и (или) погрешностей, обусловленных взаимодействием эталонных СИ с объектом измерений, эти составляющие погрешности должны быть оценены и включены в схему расчета значения Y и его погрешности Δ по [8].

11.4 Дифференциальный метод

11.4.1 Дифференциальный метод может быть реализован в нескольких рассмотренных ниже вариантах:

а) Компаратор осуществляет прямое измерение разности величин, воспроизводимых испытываемой и эталонной мерами - R.

б) Компаратор последовательно измеряет сначала величину, воспроизводимую испытываемой мерой – $Z_{кал}$, затем величину, воспроизводимую эталонной мерой – $Z_{эт}$.

в) Компаратор представляет собой устройство сравнения, которое не выполняет измерения, а лишь фиксирует факт, отличается от нуля или нет разность сигналов от испытываемой меры и от эталонной меры (нулевой метод). При этом компаратор может чувствовать отличие сигнала от нуля, лишь большее пороговой чувствительности компаратора – p.

Примечание - В качестве компаратора может, например, применяться микросхема – аналоговый компаратор. Для таких микросхем величину p так и называют.

11.4.2 Для случая 11.4.1 а) оценку СКО измерения значения испытываемой меры вычисляют по формуле

$$\sigma(Y) = \sqrt{\Delta_{эт}^2/3 + \hat{\sigma}_R^2} \quad , \qquad (25)$$

где $\Delta_{эт}$ - предел погрешности значения, воспроизводимого эталонной мерой $X_{эт}$; $\hat{\sigma}_R$ - оценка СКО разности R соответственно.

11.4.3 В случае 11.4.1 б) результаты измерений величин $Z_{кал}$ и $Z_{эт}$ коррелированы. Для исключения корреляции необходимо организовать измерения следующим образом. Параллельно (практически одновременно) с измерением эталонной меры проводят измерение испытываемой меры;

повторяют пары измерений и, в конечном итоге получают n пар сопряженных значений ($Z_{эт j}$, $Z_{калj}$) (j от 1 до n; $n \geq 20$). Вычисляют разности

$$R_j = Z_{калj} - Z_{эт j} \quad , \tag{26}$$

среднее значение $\overline{R}$

$$\overline{R} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} R_j \tag{27}$$

и оценку СКО среднего значения $\overline{R}$

$$\hat{\sigma}_R = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{j=1}^{n}\left(R_j - \overline{R}\right)^2} \tag{28}$$

В результате модель измерений описывается функцией

$$Y = X_{эт} + \overline{R}(1+\theta_{прол}) \quad , \tag{29}$$

где $\theta_{прол}$ – выраженная в относительных единицах пропорциональная систематическая составляющая погрешности компаратора.

При описанной схеме измерений постоянная составляющая систематической погрешности компаратора исключается, исключается и влияние временного фактора (дрейфа) и в модели (29) все источники погрешности не коррелированы друг с другом.

СКО измерения значения испытываемой меры вычисляют по формуле

$$\sigma(Y) = \sqrt{\Delta^2_{эт}/3 + \hat{\sigma}^2_R + \left[\overline{R}(\sigma_{прол})\right]^2} \tag{30}$$

где $\sigma_{прол}$ - СКО пропорциональной составляющей погрешности компаратора.

Примечания

1 Строго говоря, второй член в выражении (30) должен быть не $\hat{\sigma}^2_R$, а $\hat{\sigma}^2_R(1-\sigma_{прол})^2$. Однако, обычно $\theta_{прол}$ «1 и поэтому вторым сомножителем можно пренебречь.

2 При описанной схеме измерений постоянная составляющая систематической погрешности компаратора исключается, исключается и влияние временного фактора (дрейфа) и в модели (30) все источники погрешности не коррелированы друг с другом. Рассмотрение структуры погрешности (30) показывает, что для уменьшения погрешности необходимо стремиться к тому, чтобы разность величин, воспроизводимых эталонной и калибруемой мерой, а также пропорциональная составляющая систематической погрешности компаратора были как можно меньше.

11.4.4 Для случая 11.4.1 в) оценку СКО измерения значения испытываемой меры вычисляют по формуле

$$\sigma(Y) = \sqrt{\Delta^2_{эт}/3 + \hat{\sigma}^2_p} \quad , \tag{31}$$

где $\hat{\sigma}_p$ - СКО пороговой чувствительности компаратора, которое оценивают, используя сведения о точностных характеристиках компаратора из документации на него. Если для компаратора характерен гистерезис, возможно оценить его величину экспериментально. Для этого необходимо провести сравнение сигналов от калибруемой и эталонной меры дважды,

меняя местами входы компаратора. Максимальная разность действительных значений эталонных мер, при которой выходной сигнал компаратора равен нулю, определяет пороговую чувствительность компаратора.

11.4.5 Доверительные границы (для P=0,95) или предел (для P=1) погрешности меры вычисляют по формуле

$$\Delta = k \cdot \sigma(Y), \qquad (32)$$

где коэффициент k принимают равным 1,96 в случае доверительных границ погрешности и 3 в случае предела погрешности.

11.5 Метод «пропорции»

11.5.1 В методе «пропорции» применяют компаратор с как можно меньшей постоянной составляющей систематической погрешности $\theta_{пост}$. Схема измерений аналогична изложенной в 11.4.3, но вычисляют не разности, а отношения результатов измерений испытываемой и эталонной меры

$$R_j = Z_{калj} / Z_{эmj}, \qquad (33)$$

и вычисляют среднее значение $\overline{R}$ и оценку СКО по формулам (27), (28).

Модель измерений описывается приблизительным соотношением

$$Y = X_{эт} \times \overline{R} \frac{\left(1 + \theta_{пост} / X_{кал} + \theta_{проп}\right)}{\left(1 + \theta_{пост} / X_{эт} + \theta_{проп}\right)} \approx X_{эт} \times \overline{R}\left[1 + \alpha \times \theta_{пост}\right], \qquad (34)$$

где

$$\alpha = \frac{1}{X_{кал}} - \frac{1}{X_{эт}} \qquad (35)$$

Примечание - Метод пропорции обладает теми же достоинствами, что и дифференциальный метод, но позволяет исключить пропорциональную систематическую составляющую погрешности компаратора, а вклад постоянной составляющей погрешности $\theta_{пост}$ тем меньше, чем ближе друг к другу $X_{эт}$ и $X_{кал}$.

11.5.2 Оценку СКО действительного значения испытываемой меры вычисляют по формуле

$$\sigma(Y) = Y \times \sqrt{\frac{\Delta_{эт}^2}{3X_{эт}} + \left[\frac{\hat{\sigma}_R}{\overline{R}}\right]^2 + \left[\alpha \times \sigma_{пост}\right)^2} \qquad (36)$$

11.5.3 Доверительные границы или предел погрешности меры Δ вычисляют по 11.4.5.

11.6 Особенности оценки МХ многозначных мер и цифроаналоговых преобразователей

11.6.1 Особенности определения МХ многозначных мер и цифроаналоговых преобразователей заключаются в необходимости подтверждения заявленных значений характеристик погрешности для всех

значений, воспроизводимых многозначной мерой или цифроаналоговым преобразователем.

11.6.2 Учитывая практическую невозможность определения характеристик погрешности для всех воспроизводимых значений, применяют способы, позволяющие сократить объем измерений с учетом конструктивных особенностей испытываемого СИ.

11.6.3 Для многозначных мер и цифроаналоговых преобразователей с десятичным (декадным) способом задания выходного сигнала применяют способ измерения нарастающих значений (способ поэлементной поверки) или способ комплектной поверки. Указанные способы описаны, например, в методических указаниях [9].

12 Алгоритмы оценки метрологических характеристик измерительных каналов

12.1 Документ [4] предусматривает два подхода к метрологическому обслуживанию измерительных каналов. Первый подход («комплектный метод») предусматривает экспериментальное определение МХ измерительного канала в целом. Второй подход («покомпонентный метод») предусматривает определение МХ каждого компонента и расчет характеристик погрешности измерений по МХ компонентов и характеристикам условий применения.

Условия применимости этих подходов описаны в [4].

12.2 В случае первого подхода определение МХ измерительного канала осуществляется путем подачи на вход измерительного канала эталонного сигнала (имитирующего измеряемую величину) и получения его выходного сигнала (результата измерений). Обработка результатов измерений в целях определения МХ осуществляется в соответствии с разделом 9 или разделом 10.

12.3 Расчет характеристик погрешности измерительных каналов при использовании покомпонентного метода.

12.3.1 При проведении расчетов характеристик погрешности измерительных каналов в реальных условиях эксплуатации рекомендуется использовать методы, изложенные в [7].

12.3.2 На первом этапе рассчитывают пределы дополнительных характеристик погрешности для всех измерительных компонентов, входящих в измерительный канал, в том числе дополнительные характеристики погрешности, обусловленные внешними влияющими величинами, динамическими характеристиками измерительных компонентов и их характеристиками взаимодействия с объектом измерений. Если случайная и систематическая составляющая погрешности измерительных компонентов нормированы раздельно, вычисляют

доверительные границы ε для P=0,95 случайной составляющей погрешности как

$$\varepsilon - 1{,}96\sigma \qquad (37)$$

Характеристики погрешности выражают в единицах измеряемой величины (приводят ко входу).

В результате будет получено m значений или формул, описывающих пределы или доверительные границы составляющих погрешности: Δ_1, Δ_2, … Δ_m.

12.3.3 Составляющие погрешности суммируют следующим образом:

- если m=2 и обе составляющих погрешности Δ_1, Δ_2 представлены пределами (P=1), вычисляют предел погрешности измерительного канала - Δ, равный

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 \ ; \qquad (38)$$

- если $m \geq 3$ и составляющие погрешности Δ_1, Δ_2 представлены пределами (P=1), вычисляют доверительные границы погрешности измерительного канала для P=0,95 - Δ, равные

$$\Delta = 1{,}1\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \Delta_i^2} \ ; \qquad (39)$$

- если $m \geq 3$ и часть составляющих погрешности представлена пределами (P=1), а часть доверительными границами (P=0,95), вычисляют доверительные границы погрешности измерительного канала для P=0,95 - Δ, равные

$$\Delta = 2\sqrt{\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\Delta_i}{K_i}\right)^2} \ , \qquad (40)$$

где K_i - коэффициент охвата (отношение предела или границ погрешности к СКО); значение K принимают равным $\sqrt{3}$ при равномерном или неизвестном распределении погрешности и равным 1,96 при нормальном распределении погрешности.

13 Алгоритмы оценки метрологических характеристик средств измерений ионизирующих излучений

13.1 Для некоторых видов СИ систематическая и случайная составляющая погрешности могут быть описаны гладкими аналитическими функциями, вид которых определяется физическими принципами, на которых основана работа таких СИ. В этом случае использование такой априорной информации может существенно повысить достоверность определения характеристик погрешности СИ, если вместо алгоритма 9.3 (при незначимой случайной составляющей погрешности) или 10.2 (при значимой случайной составляющей погрешности) использовать алгоритмы 13.2 и 13.3 (последний – при значимой случайной составляющей погрешности).

13.2 Если априорно известно, что систематическая составляющая погрешности СИ описывается функцией $\Theta = S(\vec{a}, X)$, параметры $\vec{a}$ этой функции находят путем обработки результатов измерений по приложению А,

задавая входные данные для обработки аналогично 10.4. Полученные при обработке верхняя и нижняя границы доверительного интервала для функции $\Theta = S(\vec{a}, X)$ определяют доверительные границы систематической составляющей погрешности СИ.

13.3 Если априорно известно, что СКО случайной составляющая погрешности СИ описывается функцией $\sigma = R(\vec{a}, X)$, параметры $\vec{a}$ этой функции находят путем обработки результатов измерений по приложению А, задавая входные данные для обработки следующим образом. В качестве значений функции берут верхние границы оценок СКО, вычисленные по формуле (5), а в качестве СКО этих оценок – значения, вычисленные по формуле (23).

Полученные при обработке значения коэффициентов $\vec{a}$ определяют функцию $\sigma = R(\vec{a}, X)$.

13.4 Примером СИ, для которых выполняются условия 13.1, являются СИ ионизирующих излучений, наиболее часто применяющиеся в области использования атомной энергии. Далее рассматриваются алгоритмы оценки МХ СИ ионизирующих излучений: блоков детектирования (измерительных преобразователей), радиометров и дозиметров (измерительных приборов), которые могут быть использованы вместо алгоритма 10.2 (с учетом того, что для рассматриваемых СИ ионизирующих излучений случайная составляющая погрешности значима).

13.5 Нормирование и определение систематической составляющей погрешности СИ ионизирующих излучений

13.5.1 Систематическую составляющую погрешности нормируют в виде пределов допускаемой относительной систематической составляющей погрешности.

13.5.2 Систематическую составляющую погрешности нормируют для определенной энергии ионизирующего излучения, которая должна быть приведена в документации на СИ.

Примечание – Для СИ гамма-излучения составляющие погрешности нормируют, как правило (если иное не предусмотрено требованиями к СИ), для энергии излучения ^{137}Cs – 661 кэВ.

13.5.3 Функцию отклика СИ от входной величины представляют в виде

$$Y = a_1 X \,, \qquad (41)$$

где X – значения входной величины, воспроизводимой эталоном;

Y – показания СИ.

Относительная систематическая составляющая погрешности измерительных приборов связана с коэффициентом a_1 соотношением

$$\Theta = \frac{Y - X}{X} = a_1 - 1 \qquad (42)$$

Относительная систематическая составляющая погрешности измерительных преобразователей связана с коэффициентом a_1 (чувствительностью) соотношением

$$\Theta = \frac{Y/a_1 - X}{X} \qquad (43)$$

Модель функции отклика (41) предполагает линейную зависимость выходного сигнала детектора (частоты импульсов или тока) от входного сигнала (уровня ионизирующего излучения). Эта модель удовлетворительна для подавляющего большинства СИ ионизирующих излучений.

Примечание - Термин «систематическая составляющая погрешности» не используется российскими стандартами на СИ ионизирующих излучений. Зарубежные стандарты используют термин «линейность», хотя функция отклика СИ ионизирующих излучений должна быть линейной «по физике» измерений (за исключением описанных ниже ограничений). По сути под термином «линейность» понимается предельная относительная систематическая составляющая погрешности, с которой можно оценить «линейность» с использованием имеющихся эталонов.

13.5.4 В общем случае модель (41) имеет ограничения. Вблизи нижней границы диапазона измерений влияющими факторами являются собственные шумы детектора, ближе к верхней границе – быстродействие детектора и электронных устройств. Влияние этих факторов может быть учтено моделью

$$Y = a_1 + a_3\left(1 - e^{-\frac{a_2}{a_3}X}\right) \quad , \qquad (44)$$

в которой коэффициент a_1 описывает собственные шумы детектора, а коэффициент a_3 представляет собой максимальную скорость счета импульсов или ток насыщения детектора.

Применяют также упрощенную модель, полученную из (44) путем разложения в ряд экспоненты:

$$Y = a_1 + a_2X + a_3X^2 \quad , \qquad (45)$$

в которой систематическое отклонение от линейности учитывается квадратичным членом.

13.5.5 Для измерительных преобразователей систематическую составляющую погрешности определяют по подразделам 9.7, 10.4 с аппроксимацией функции преобразования одной из формул (41), (44) или (45).

13.5.6 Для измерительных приборов, как правило, характерно введение поправок, учитывающих нелинейность функции отклика, с помощью встроенного программного обеспечения. Но даже если поправки не вводятся, целесообразно использовать простую модель (41) с входными данными для обработки по приложению А аналогично 10.4. Верхнюю оценку относительной систематической составляющей погрешности вычисляют по формуле

$$\Theta = \pm\,[|\hat{a}_1 - 1| + U(a_1)], \qquad (46)$$

где $\hat{a}_1$ - наилучшая оценка параметра a_1, полученная по приложению А.

$U(a_1)$ – расширенная неопределенность этой оценки, полученные по приложению А с аппроксимацией зависимости показаний СИ от значений, воспроизводимых эталоном (эталонами) формулой (41).

13.5.7 При испытаниях СИ ионизирующих излучений погрешности значений, воспроизводимых эталоном, часто бывают коррелированы. Для правильного учета корреляции также используют подход, аналогичный описанному в 9.7.3.

Пример – При испытаниях дозиметра гамма-излучения используется УПГД (установка поверочная гамма-дозиметров), снаряженная одним источником гамма-излучения, а воспроизводимая мощность дозы варьируется расстоянием дозиметра от источника. Погрешность воспроизведения мощности дозы определяется погрешностью активности источника δ_a и погрешностью установки испытываемого дозиметра в заданную точку δ_y. Погрешность активности источника является общей для всех точек диапазона измерений. В то же время составляющие погрешности δ_a и δ_y не разделены (неизвестны по отдельности); известна лишь относительная погрешность воспроизведения мощности дозы для любого нормированного расстояния дозиметра от источника - δ_y. Обработку по приложению А проводят, задавая в качестве СКО значений аргумента нулевые значения. После обработки к полученному значению полуширины доверительного интервала I_x арифметически прибавляют δ_y.

13.6 Нормирование и определение случайной составляющей погрешности СИ ионизирующих излучений

13.6.1 При нормировании и определении случайной составляющей погрешности СИ ионизирующих излучений используют известный факт, что показания СИ (для измерительных преобразователей - ток или количество зарегистрированных импульсов) подчиняются закону распределения Пуассона, дисперсия которого равна математическому ожиданию. Поэтому относительное СКО случайной составляющей погрешности должно быть обратно пропорционально квадратному корню из измеряемой величины, т.е. описываться формулой

$$\sigma = a_1/\sqrt{X} \qquad (47)$$

На практике анализ экспериментальных данных из материалов испытаний СИ ионизирующих излучений показал, что относительное СКО случайной составляющей погрешности хорошо описывается несколько более сложной формулой, учитывающей (кроме «Пуассоновской» составляющей) и постоянную составляющую

$$\sigma = a_1 + a_2/\sqrt{X} \qquad (48)$$

13.6.2 Выраженные в единицах выходного сигнала СИ оценки значений верхних доверительных границ СКО случайной составляющей погрешности ${}^{в}\sigma$ в нескольких точках диапазона определяют по 10.2.1, 10.2.2.

13.6.3 Выраженные в относительных единицах оценки ${}^{в}_{отн}\sigma$ вычисляют по формуле

$${}^{в}_{отн}\sigma = {}^{в}\sigma/X_{норм} \qquad (49)$$

В качестве нормирующих значений $X_{норм}$ берут средние значения $\bar{X}$, вычисленные по формуле (3). Для измерительных приборов в качестве нормирующих значений возможно также использовать значения, воспроизводимые эталоном $X_{эт}$.

13.6.4 Параметры функции (48) находят путем обработки результатов измерений по приложению А, задавая в качестве значений функции значения, вычисленные по формуле (49), а в качестве СКО этих оценок – значения, вычисленные по формуле (23).

13.6.5 Если СИ может быть использовано при различном времени измерения t (получения показания СИ), случайную составляющую погрешности нормируют и определяют для всех значений времени измерения t. Возможно включение времени измерения в формулу, нормирующую СКО случайной составляющей погрешности

$$\sigma = a_1 + a_2/\sqrt{Xt} \quad . \qquad (50)$$

13.7 Нормирование и определение характеристик взаимодействия СИ с объектом измерений

13.7.1 Для СИ ионизирующих излучений нормируют и определяют такие характеристики взаимодействия СИ с объектом измерений, как «анизотропия» и «энергетическая зависимость средств измерений», указанные в ГОСТ 27451.

13.7.2 Характеристики взаимодействия СИ с объектом измерений рекомендуется нормировать в виде номинальной функции влияния $\omega(\eta)$ и пределов допускаемых отклонений от нее Δ_ω (6.1.5).

13.7.3 Характеристики взаимодействия СИ с объектом измерений определяют аналогично 9.4.1, 9.4.2 с учетом 10.3.1. Измерения рекомендуется проводить в точке диапазона измерений, наиболее близкой к верхней границе диапазона, поскольку в этом случае влияние случайной составляющей погрешности минимально.

13.7.4 Определение зависимости показаний СИ от энергии ионизирующего излучения

13.7.4.1 Для определения зависимости показаний СИ от энергии ионизирующего излучения («энергетической зависимости средств измерений» (ГОСТ 27451) или «изменения отклика в зависимости от энергии излучения» [10]) проводят измерения излучения эталонов, воспроизводящих ионизирующее излучение с разной энергией. Для каждой энергии E_i определяют среднее значение показаний СИ $\bar{X}_i$ и СКО среднего значения. Зависимость $\bar{X}_i$ *от* E_i аппроксимируют аналитической функцией в соответствии с приложением А. Полученную функцию влияния энергии излучения и отклонения от нее нормируют на среднее значение показаний СИ, соответствующее значению энергии, принятому за номинальное

значение (12.5.2).

13.7.4.2 Определенную сложность представляет выбор аппроксимирующей функции. Для спектрометров ионизирующего излучения, как правило, эту функцию описывают полиномом в двойном логарифмическом масштабе или несколькими полиномами в разных поддиапазонах энергий, «сшитыми» на границах поддиапазонов условиями равенства функций и их первых производных. Для СИ гамма-излучения применяется также аппроксимация зависимости $X(E_i)$ одной аналитической функцией во всем диапазоне энергий:

$$X(E_i)=a_1 exp[a_2 ln(E_i)+a_3 ln^2(E_i)+a_4 exp(-a_5 E_i)] \quad (51)$$

Критерием применимости аппроксимирующей функции является условие (А.7).

13.7.4.3 Для дозиметров и радиометров может применена аналогичная схема, если иные требования не установлены заказчиком. Так, стандарт [10] устанавливает такое требование для СИ фотонного излучения: «Отклик в стандартной ориентации на фотонное излучение с энергией в диапазоне от 80 кэВ до 1,5 МэВ должен находиться в диапазоне от минус 25 до плюс 40 %». Стандарт [10] устанавливает для таких испытаний несколько источников излучения с разными энергиями. При этом аппроксимация изменений отклика в зависимости от энергии излучения может не применяться ([10]: «Результаты должны быть выражены как отношение показаний на единицу мощности дозы для каждого использованного источника излучения к отношению на единицу мощности дозы для эталонного гамма-излучения (^{137}Cs)).

По согласованию с заявителем испытаний СИ допускается применять упрощенную схему, заключающуюся в определении изменения отклика в зависимости от энергии излучения в крайних точках энергетического диапазона (например, использование для гамма-излучения источников ^{241}Am (энергия 59,5 кэВ) и ^{60}Co (энергия 1250 кэВ).

13.7.5 Для определения «анизотропии» проводят измерения показаний СИ при разных углах поворота испытываемого СИ по отношению к источнику излучения, воспроизводящих ионизирующее излучение с разной энергией. Для каждого угла поворота α_i определяют среднее значение показаний СИ $\bar{X}_i$ и СКО среднего значения. Зависимость $\bar{X}_i$ от α_i аппроксимируют аналитической функцией в соответствии с приложением А. Полученную функцию влияния угла поворота и отклонения от нее нормируют на среднее значение показаний СИ, соответствующее нулевому значению угла поворота.

Примечание - Как правило, аппроксимирующую функцию представляют в виде

$$X(\alpha)=a_1[1-a_2 sin^2(\alpha)]. \quad (52)$$

13.8 Пример определения характеристик погрешности дозиметра гамма-излучения приведен в приложении В.

Приложение А
(справочное)

Построение функциональной зависимости между двумя величинами

А.1 Настоящее приложение рассматривает способы построения функциональной зависимости

$$Y = F(X, \vec{a}), \qquad (A.1)$$

между двумя величинами Y и X по нескольким парам их случайных реализаций - (X_j, Y_j).

Здесь $\vec{a} = (a_1, a_2, ..., a_m)$ - параметры функциональной зависимости (далее – модельной функции), m - количество параметров.

Предполагается, что функциональная зависимость (А.1) строится при следующих допущениях:

- количество пар случайных величин – $n > m$;
- случайные величины X_j и Y_j подчиняются нормальному закону распределения, при этом известны или могут быть определены дисперсии этих величин σ_{xj}^2, σ_{yj}^2 или стандартные неопределенности

$$u(X_j) = \sigma_{xj} \qquad (A.2)$$

$$u(Y_j) = \sigma_{yj} \qquad (A.3)$$

- случайные величины X_j не коррелированы друг с другом;
- целью построения является нахождение наилучших значений параметров a и неопределенности построения функциональной зависимости (А.1).

Примечания:

1 Как правило, стандартные неопределенности $u(X_j)$ оцениваются по типу В, а $u(Y_j)$ – по типу А как $\hat{\sigma}/\sqrt{n}$, где $\hat{\sigma}$ вычисляется по формуле (5).

2 Допускается использовать настоящее приложение не только в случае нормального распределения случайных величин X_j и Y_j, но и в случаях любых симметричных одномодальных распределений.

А.2 Описанные в настоящем приложении алгоритмы могут быть применены:

а) для определения действительного значения меры методом градуировки;

б) для построения градуировочной характеристики измерительных приборов и измерительных преобразователей, описываемой функциональной зависимостью вида (А.1) и оценки ее неопределенности;

в) для аппроксимации метрологических характеристик средств измерений функциональной зависимостью вида (А.1);

г) для построения функций влияния и других метрологических характеристик.

В случае а) входными случайными величинами X_j являются значения величин, воспроизводимых эталонами, а выходными Y_j – соответствующие значения выходного сигнала измерительного прибора или измерительного преобразователя.

В случае б) входными случайными величинами X_j являются наилучшие значения измеряемой величины в разных точках диапазона, воспроизводимые эталонами, а выходными Y_j – соответствующие оценки выходного сигнала или оценки систематической составляющей погрешности СИ.

В случае в) входными случайными величинами X_j являются наилучшие (средние) значения измеряемой величины в разных точках диапазона, выходными Y_j – соответствующие оценки метрологических характеристик СИ.

В случае г) входными случайными величинами X_j являются значения влияющей величины (фактора), выходными Y_j – соответствующие оценки характеристик погрешности СИ.

А.3 В наиболее общем случае функциональную зависимость строят методом конфлюентного анализа, т.е. параметры a находят из условия (при $n > m$)

$$\chi^2_{\min} = (n-m)^{-1} \sum_{j=1}^{n} \left[F(X_j, a) - Y_j + \alpha_j \right]^2 \cdot W_j = \min, \qquad (A.4)$$

где статистические веса W_j и сдвиги α_j задаются формулами

$$W_j = \left\{ \sigma^2_{yj} + \left[\partial F(X_j, a) / \partial X_j \right]^2 \cdot \sigma^2_{xj} \right\}^{-1} \qquad (A.5)$$

$$\alpha_j = \frac{1}{2} \partial^2 F(X_j, a) / \partial X_j^2 \cdot \left(\sigma^2_{xj} + s^2_{xj} \right) \qquad (A.6)$$

Примечание - Величины s_{xj}^2 представляют собой средние квадратические отклонения неоднородности входных величин и применяются только в случае а) по пункту А.2, если величины, воспроизводимые эталонами, - распределенные.

А.4 Выбранная функция (А.1) правильно описывает функциональную зависимость, если выполняется условие

$$\chi^2_{\min} \le \chi^2_{(n-m);0,95} / (n-m), \qquad (A.7)$$

где $\chi^2_{\min}$ – минимальное значение суммы квадратов (А.4);

$\chi^2_{(n-m);0,95}$ - 95 %-ный квантиль χ^2–распределения с $(n - m)$ степенями свободы.

Если условие (А.7) не выполняется, то выбранная функция (А.1) неправильно описывает функциональную зависимость, и необходимо выбрать иную функцию.

А.5 Оценки погрешностей параметров a и полуширину доверительного интервала для зависимости (А.1) находят через элементы ковариационной матрицы Z^{-1} из соотношения

$$\chi^2_{\min} \cdot Z^{-1}_{ik} = u(a_i) \cdot u(a_k) \qquad (A.8)$$

Здесь Z^{-1} - матрица, обратная матрице Z, элементы которой равны

$$Z^{-1}_{ik} = \sum_{j=1}^{n} \left[\partial F(X_j, a) / \partial a_i \right] W_j \left[\partial F(X_j, a) / \partial a_k \right] \qquad (A.9)$$

А.6 Стандартные неопределенности оценок параметров $u(a_i)$ вычисляют по формулам

$$u(a_i) = \left(\chi^2_{\min} Z^{-1}_{ii} \right)^{1/2}, \qquad (A.10)$$

А.7 Расширенные неопределенности оценок параметров $U(a_i)$ вычисляют по формулам

$$U(a_i) = k u(a_i), \qquad (A.11)$$

Коэффициент охвата для вероятности охвата P принимают равным квантилю нормального распределения (для P=0,95 k=2), если ранее многократно был подтвержден правильный выбор аппроксимирующей функции (А.1), или квантилю распределения Стьюдента с $(n-m)$ степенями свободы для доверительной вероятности P в противном случае (если калибровка проводится впервые, есть сомнения в правильности выбора аппроксимирующей функции).

А.8 Полуширину доверительного интервала в точке X, выраженную в единицах величины выходного сигнала $I_Y(X)$, для вероятности охвата P вычисляют по формуле

$$I_Y(X) = k\left\{\chi^2_{\min}\sum_{i=1}^{m}\sum_{k=1}^{m} Z^{-1}_{ik}\left[\partial F(X,a)/\partial a_i\right]\left[\partial F(X,a)/\partial a_k\right]\right\}^{1/2} \qquad (A.12)$$

А.9 Полуширину доверительного интервала в точке X, выраженную в единицах величины входного сигнала $I_X(X)$, т.е. в единицах измеряемой величины, для вероятности охвата P вычисляют по формуле

$$I_X(X) = I_Y(X)/(\partial F/\partial X), \qquad (A.13)$$

где частная производная берется в точке X.

Примечание - Расширенные неопределенности оценок параметров $U(a_i)$ могут быть использованы для оценки значимости параметров a_i. Например, при построении градуировочной зависимости свободный член a_1 в зависимости $Y=a_1+a_2X$ представляет собой величину фонового сигнала или погрешность установки нуля. Критерием их незначимости является условие

$$|a_1| \le U(a_i) \qquad (A.14)$$

Приложение Б

(справочное)

Пример выделения общей составляющей погрешности комплекта эталонов

Б.1 Эталоны, применяемые для определения МХ СИ, предназначенного для измерений объемной доли урана в растворах, представляют собой растворы с разной концентрацией урана, приготовленные из одного исходного материала – стандартного образца в виде порошка, аттестованного по массовой доле урана. Концентрация урана в растворах вычисляется по формуле

$$X_j = \mu m_j / V_j \qquad (Б.1)$$

где μ – массовая доля урана в стандартном образце;

m_j – масса навески материала стандартного образца для приготовления j-го раствора;

V_j – объем растворителя для приготовления j-го раствора.

Б.2 Из формулы (Б.1) следует, что погрешность растворов, обусловленная погрешностью определения массовой доли урана в стандартном образце, является общей для всех растворов и ее относительное значение Δ_μ/μ одинаково для всех растворов. Некоррелированные составляющие погрешности растворов обусловлены погрешностью измерения объема раствора при его приготовлении Δ_V и погрешностью взвешивания Δ_m и равны

$$\Delta_{Xj}/X_j = \sqrt{\left(\Delta_{Vj}/V_j\right)^2 + \left(\Delta_{mj}/m_j\right)^2} \qquad (Б.2)$$

Б.3 Некоррелированные СКО значений аргумента σ_x вычисляют (в предположении о нормальном распределении погрешностей Δ_V и Δ_m) по формуле

$$\sigma_{Xj} = \Delta_{Xj}/1{,}96 \qquad (Б.3)$$

Приложение В
(справочное)

Пример определения характеристик погрешности дозиметра гамма-излучения

В.1 Исходные данные

В.1.1 Заявленные значения характеристик погрешности испытываемого дозиметра в диапазоне измерений мощности амбиентного эквивалента дозы 0,2 мкЗв/ч – 10 Зв/ч:

- пределы относительной систематической составляющей погрешности

$$^{норм}\Theta = \pm 10\ \%; \qquad (В.1)$$

- предел относительного СКО случайной составляющей погрешности

$$^{норм}\sigma = (6+9/\sqrt{D})\ \%, \qquad (В.2)$$

где D – измеренное значение мощности амбиентного эквивалента дозы, мкЗв/ч.

В.1.2 Применяемый эталон вторичный эталон - ВЭТ 8-10-84 в составе:

- Установка поверочная дозиметрическая гамма-излучения УПГД-1 с источниками нуклида цезий-137, диапазон мощности экспозиционной дозы от $2\cdot10^{-5}$ до $4{,}5\cdot10^{-1}$ Р/ч; (соответствует мощности амбиентного эквивалента дозы 0,2 мкЗв/ч – 4,5 мЗв/ч); пределы относительной погрешности равны ±2,4 %;

- Установка поверочная гамма-излучения УПГ-02 с источниками нуклида цезий-137, диапазон мощности экспозиционной дозы от 0,2 до $2\cdot10^{3}$ Р/ч; (соответствует мощности амбиентного эквивалента дозы 2 мЗв/ч – 20 Зв/ч); пределы относительной погрешности равны ±2,4 %.

В.1.3 Для определения характеристик погрешности было проведено по $n = 20$ измерений при 11 различных значениях мощности дозы, воспроизводимой эталоном.

В.1.4 Данные о значениях мощности дозы $X_{эт}$, воспроизводимой эталоном и погрешности этих значений приведены в таблице В.1, раздел «Данные эталона», строки 1, 2, столбцы 2-12. Результаты измерений приведены в таблице В.1, раздел «Результаты измерений», строки 3-22 2, столбцы 2-12. Указанные данные выражены в мкЗв/ч и не округлены.

В.2 Предварительная обработка результатов измерений

В.2.1 Для каждого значения мощности дозы $X_{эт}$, воспроизводимой эталоном (раздел «Предварительная обработка результатов измерений» столбцы 2-12), вычислены:

- среднее значение $\bar{X}$ по формуле (3) – строка 23;
- оценка СКО $\hat{\sigma}$ по формуле (5) – строка 24;
- оценка СКО среднего $\hat{\sigma}_{\bar{X}}$ по формуле (24) – строка 25;
- верхняя доверительная граница СКО случайной составляющей погрешности $^{в}\sigma$ по формуле (15) – строка 26; коэффициент $\varkappa$ при $n = 20$ равен 1,37;
- оценка систематической составляющей погрешности $\hat{\Theta}$ по формуле (4) – строка 27;
- полуширина доверительного интервала (для P=0,95) оценки систематической составляющей Θ_s по формуле (16) – строка 29; в таблице также приведены значения полуширины доверительного интервала $\left(\frac{t\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}\right)$, обусловленной только случайной составляющей погрешности, необходимой для расчета Θ_s, – строка 28;

- верхняя доверительная граница систематической составляющей погрешности ${}^{в}\Theta$ по формуле (17) – строка 30.

В.2.2 В соответствующих строках раздела «Предварительная обработка результатов измерений» таблицы также приведены обозначения вычисляемых величины и ссылки на формулы.

В.2.3 Вычисленные значения выражены в мкЗв/ч.

В.3 Определение характеристик погрешности по разделу 10

В.3.1 Полученные значения оценок характеристик погрешности ${}^{в}\Theta$ и ${}^{в}\sigma$ представлены в относительной форме и выражены в процентах

$$_{от}{}^{в}_{н}\Theta = 100\% \, {}^{в}\Theta / X_{эт} . \quad \text{(В.3)}$$

$$_{от}{}^{в}_{н}\sigma = 100\% \, {}^{в}\sigma / X_{эт} , \quad \text{(В.4)}$$

Эти значения приведены в строках 31, 32 раздела таблицы В.1 «Определение характеристик погрешности по разделу 10» соответственно.

В.3.2 Из строки 31 видно, что значения $_{от}{}^{в}_{н}\Theta$ в нижних точках диапазона (столбцы 2, 3, 5) не соответствуют заявленному значению предела систематической составляющей погрешности ${}^{норм}\Theta = \pm 10$ % (В.1).

В.3.3 В строке 33 приведены значения предела относительного СКО случайной составляющей погрешности, вычисленные по формуле (В.2), т.е. нормированные значения ${}^{норм}\sigma$. Из сравнения значений в строках 32 и 33 видно, что в двух точках (столбцы 4, 5) значения $_{от}{}^{в}_{н}\sigma$ не соответствуют заявленному значению предела СКО случайной составляющей погрешности.

В.4 Определение систематической составляющей погрешности по разделу 13

В.4.1 Исходные данные для обработки по приложению А приведены в строках 34-36 раздела таблицы В.1 «Исходные данные для обработки по разделу 13 – систематическая составляющая погрешности».

В.4.2 Общая для всех проверяемых точек диапазона составляющая погрешности значений, воспроизводимых эталоном, не выделялась, поэтому обработку результатов измерений по приложению при аппроксимирующей функции (41) проводили, считая погрешности аргумента, равными нулю: σ_x=0, а в дальнейшем принималось $\Delta_{эт.о}$=$\Delta_{эт}$. (9.7.6).

В.4.3 В результате обработки по программе, реализующей алгоритм приложения А, получены значения оценки коэффициента a_1 (41) и его расширенной неопределенности $U(a_1)$

$$\hat{a}_1 = 1{,}0011, \quad \text{(В.5)}$$

$$U(a_1) = I_x = 0{,}0118. \quad \text{(В.6)}$$

В.4.4 Тогда верхняя оценка относительной систематической составляющей погрешности, выраженная в процентах, вычисленная по формуле (компиляция формул (32) и (10)) составит

$${}^{в}\Theta = \pm 100\% \cdot [|\hat{a}_1 - 1| + U(a_1) + \Delta_{эт}] = \pm 3{,}7\ \%. \quad \text{(В.7)}$$

т.е. соответствует заявленному значению (В.1).

В.5 Определение СКО случайной составляющей погрешности по разделу 13

В.5.1 Исходные данные для обработки по приложению А приведены в строках 37-39 раздела «Исходные данные для обработки по разделу 13 – СКО случайной составляющей погрешности» таблицы В.1.

В.5.2 В результате обработки по программе, реализующей алгоритм приложения А, при аппроксимирующей функции (34) получены значения коэффициентов a_1 = 4,9 , и a_2 = 8,9 .

В.5.3 Оба значения меньше соответствующих коэффициентов в нормирующей СКО случайной составляющей погрешности формуле (В.2). Поэтому случайная составляющая погрешности соответствует заявленным значениям.

В.6 Выводы

В.6.1 Использование априорной информации (линейная зависимость выходного сигнала дозиметра от мощности дозы и учет влияния «пуассоновской» компоненты на случайную составляющую погрешности) позволяет повысить достоверность определения характеристик погрешности СИ.

В.6.2 Напротив, использование «классической» схемы по разделу 10, вследствие больших значений относительной случайной составляющей погрешности при малых измеряемых значениях мощности дозы и малых количествах измерений в таких точках диапазона не обеспечивает получения достоверных результатов и требует увеличения количества измерений.

Таблица В.1 Результаты измерений при определении характеристик погрешности дозиметра гамма-излучения

№ строки	№ столбца											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Данные эталона												
1	$X_{эт}$	0,2	0,45	1,95	9,94	19,6	173	1047	1000000	2000000	5000000	10000000
2	$\Delta_{эт}=0{,}024X_{эт}$	0,0048	0,0108	0,0468	0,23856	0,4704	4,152	25,128	24000	48000	120000	240000
Результаты измерений												
3	1	0,24	0,49	1,99	10,75	18,57	158,46	1069,26	992000	1930000	5460000	10330000
4	2	0,23	0,45	2,19	10,65	22,27	176,16	1050,61	1020000	2180000	4810000	10100000
5	3	0,25	0,43	1,88	10,12	19,71	169,81	1017,36	920000	1810000	5170000	10510000
6	4	0,21	0,42	1,64	9,12	20,88	160,24	976,89	1030000	2070000	4690000	10100000
7	5	0,26	0,54	1,84	8,78	18,73	175,29	987,13	991000	2010000	5280000	11330000
8	6	0,22	0,53	2,20	9,25	19,62	174,18	1023,25	1030000	2140000	5160000	10450000
9	7	0,20	0,56	2,24	9,06	19,46	160,01	1060,65	1020000	2100000	5140000	10610000
10	8	0,25	0,52	2,18	8,84	19,82	179,02	1060,31	1010000	2030000	5240000	10130000
11	9	0,24	0,51	1,88	9,19	19,41	169,45	1049,97	980000	2010000	5130000	10100000
12	10	0,22	0,49	2,18	10,64	21,27	169,15	1056,52	991000	1990000	4940000	9850000
13	11	0,21	0,47	1,94	10,78	20,31	160,21	1046,49	1050000	1950000	4970000	9550000
14	12	0,19	0,46	1,98	10,86	20,08	173,94	1031,64	1050000	1910000	4980000	9640000
15	13	0,17	0,54	1,95	10,61	19,56	175,18	1000,15	1010000	1930000	5160000	10130000
16	14	0,15	0,53	1,61	10,94	19,59	176,64	984,63	960000	2050000	5110000	10280000
17	15	0,18	0,51	1,65	11,12	19,61	180,19	981,14	940000	2110000	5050000	9810000
18	16	0,18	0,39	1,68	11,46	19,48	169,17	980,80	1020000	2060000	4910000	9760000
19	17	0,16	0,40	1,62	11,94	19,66	168,67	994,19	1010000	2070000	4990000	10170000
20	18	0,21	0,34	1,62	11,34	20,16	175,19	990,37	1020000	2010000	4990000	10480000
21	19	0,23	0,38	1,56	11,68	19,41	174,84	1015,84	910000	1970000	4970000	9840000
22	20	0,22	0,45	1,73	10,99	20,13	173,13	1034,83	980000	2010000	5020000	9910000

Продолжение таблицы В.1

№ строки	№ столбца										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Предварительная обработка результатов измерений												
23	$\bar{X}$ (3)	0,211	0,471	1,878	10,406	19,887	170,95	1020,60	996700	2017000	5058500	10154000
24	$\hat{\sigma}$ (5)	0,031	0,062	0,232	1,005	0,835	6,59	31,73	39208	86760	171227	405338
25	$\hat{\sigma}/\sqrt{n}$ (24) ($\varkappa$ = 1,37)	0,007	0,014	0,052	0,225	0,187	1,47	7,10	8767	19400	38288	90636
26	${}^{в}\sigma$ (15)	0,043	0,085	0,318	1,38	1,14	9,03	43,49	53731	118897	234651	555479
27	$\hat{\Theta}$ (4)	0,011	0,021	-0,072	0,47	0,29	-2,05	-26,40	-3300	17000	58500	154000
28	$\left(\frac{t\hat{\sigma}}{\sqrt{n}}\right)$ из (16)	0,015	0,029	0,109	0,47	0,39	3,08	14,85	18350	40605	80137	189704
29	Θz (16)	0,015	0,031	0,118	0,53	0,61	5,17	29,2	30211	62871	144298	305921
30	${}^{в}\Theta$ (17)	0,03	0,05	0,19	0,99	0,90	7,23	55,59	33511	79871	202798	459921
Определение характеристик погрешности по разделу 10												
31	${}_{от\,н}{}^{в}\Theta$ (В.3)	**13,2**	**11,4**	9,8	**10,0**	4,6	4,2	5,3	3,4	4,0	4,1	4,6
32	${}_{от\,н}{}^{в}\sigma$ (В.4)	21,4	18,9	**16,3**	**13,8**	5,8	5,2	4,2	5,4	5,9	4,7	5,6
33	${}^{норм}\sigma$ (В.2)	26,1	19,4	12,4	8,9	8,0	6,7	6,3	6,0	6,0	6,0	6,0
Исходные данные для обработки по разделу 13 – систематическая составляющая погрешности												
34	$X_{эт}$	0,2	0,45	1,95	9,94	19,6	173	1047	1000000	2000000	5000000	10000000
35	$\bar{X}$ (3)	0,211	0,471	1,878	10,406	19,887	170,95	1020,60	996700	2017000	5058500	10154000
36	$\hat{\sigma}/\sqrt{n}$ (24)	0,007	0,014	0,052	0,225	0,187	1,47	7,10	8767	19400	38288	90636
Исходные данные для обработки по разделу 13 – СКО случайной составляющей погрешности												
37	$X_{эт}$	0,2	0,45	1,95	9,94	19,6	173	1047	1000000	2000000	5000000	10000000
38	${}_{от\,н}{}^{в}\sigma$ (В.4)	21,4	18,9	16,3	13,8	5,8	5,2	4,2	5,4	5,9	4,7	5,6
39	$s = \hat{\sigma}/\sqrt{2(n-1)}$ (23)	3,5	3,1	2,6	2,2	0,9	0,8	0,7	0,9	1,0	0,8	0,9

БИБЛИОГРАФИЯ

[1] Приказ Госкорпорации «Росатом» от 15.11.2013 № 1/14-НПА «Об утверждении Положения о порядке проведения испытаний средств измерений в области использования атомной энергии в целях утверждения их типа».

[2] РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.

[3] Приказ Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 31.10.2013 № 1/10-НПА «Об утверждении метрологических требований к измерениям, эталонам единиц величин, стандартным образцам, средствам измерений, их составным частям, программному обеспечению, методикам (методам) измерений, применяемым в области использования атомной энергии».

[4] МИ 2439-97 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологические характеристики измерительных систем. Номенклатура. Принципы регламентации, определения и контроля.

[5] Приказ Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» от 15.11.2013 № 1/12-НПА «Об утверждении Положения о порядке аттестации эталонов единиц величин в области использования атомной энергии».

[6] Приказ Госкорпорации «Росатом» от 15.11.2013 № 1/11-НПА «Об утверждении Положения о порядке проведения испытаний стандартных образцов в области использования атомной энергии в целях утверждения их типа».

[7] РД 50-453-84 Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета.

[8] МИ 2083-90 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

[9] МИ 1695-87 Государственная система обеспечения единства измерений. Методические указания. Меры электрического сопротивления многозначные, применяемые в цепях постоянного тока. Методика поверки.

[10] Стандарт МЭК 60532. Третье издание 2010-08. Приборы радиационной защиты - Стационарные измерители мощности дозы излучения, приборы оповещения и мониторы рентгеновского или гамма-излучения с энергией от 50 кэВ до 7 МэВ.

gost.e-ecolog.ru