ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ

Всероссийский научно-исследовательский институт
метрологической службы (ВНИИМС)

РЕКОМЕНДАЦИЯ

Государственная система обеспечения
единства измерений

МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

МИ 2440-97
(с Изменением №1)

Москва, 1999

gost.e-ecolog.ru

РЕКОМЕНДАЦИЯ	МИ 2440-97
Государственная система обеспечения единства измерений. Методы экспериментального определения и контроля характеристик погрешности измерительных каналов измерительных систем и измерительных комплексов	

Настоящая рекомендация распространяется на измерительные системы (ИС) и измерительные комплексы, виды которых перечислены в МИ 2438, а метрологические характеристики регламентированы в соответствии с МИ 2439.

Рекомендация устанавливает методы экспериментального определения и контроля характеристик погрешности измерительных каналов (ИК) ИС и последовательность выбора этих методов в зависимости от факторов, определяющих постановку и проведение эксперимента.

Устанавливаемые рекомендацией методы определения и контроля предназначены для использования при проведении метрологических работ: исследований состава и свойств погрешности ИК ИС на стадии их разработки (проектирования), испытаний ИС с целью утверждения их типа или проверки соответствия утверждённому типу в соответствии с МИ 2441 и ПР 50.2.009, поверки или калибровки ИС в соответствии с МИ 2438. Описания выбранных методов включаются в состав соответствующей нормативной и технической документации: программ исследований, испытаний, методик поверки и калибровки, проектной, конструкторской, технологической и эксплуатационной документации на ИС.

В рекомендации используются термины и определения, данные в МИ 2438. Определения (дефиниции) характеристик погрешности принимаются по ГОСТ 8.009.

Пояснения к специфическим терминам, используемым только в настоящем документе, приведены в приложении 1.

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Изложение методов определения и контроля характеристик погрешности ИК ведётся для одной проверяемой точки диапазона измерений, поскольку во всех проверяемых точках выполняются одни и те же операции, реализующие выбранный метод. При этом

предполагается, что ИК является простым (т.е. осуществляет преобразование прямоизмеряемой величины или её носителя).

Примечание. Общие положения по выбору числа проверяемых точек в диапазоне измерения ИК приведены в приложении 2.

1.2 При описании методов определения и контроля характеристик погрешности, изложенных в разделах 3 и 4, принимается, что погрешность ИК в проверяемой точке состоит из систематической и случайной составляющих, а вариация отсутствует (пренебрежимо мала). При этом характеристиками погрешности являются:

- значение систематической составляющей погрешности;
- среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности;
- границы интервала, в котором с заданной вероятностью P лежит погрешность.

Исходными данными для нахождения их точечных и интервальных оценок являются полученные экспериментально выборочные значения D_i погрешности, где i=1,2,...,n, которые обрабатываются далее в соответствии с расчётными методами по п.5.1 раздела 5.

Примечание. При пренебрежимо малой случайной составляющей характеристикой погрешности является её значение. В этом случае для краткости в рекомендации говорится об определении или контроле погрешности (а не её характеристик).

1.3 Описанные в разделе 4 методы определения характеристик погрешности применимы и в том случае, когда, кроме погрешности по п.1.2, ИК обладает существенной вариацией, которая является дополнительной характеристикой к уже указанным.

В этом случае эксперимент в соответствии с описанными методами осуществляют дважды: сначала при подходе к проверяемой точке диапазона измерений ИК со стороны меньших, а затем - со стороны больших значений (или наоборот). При этом получают две выборки значений D_i^M и D_i^B погрешности размером n/2 (i = 1,2,...,n/2) каждая, которые являются исходными данными для нахождения точечных и интервальных оценок характеристик и обрабатываются в соответствии с расчётными методами по п.5.2.

Из описанных в разделе 3 методов контроля характеристик погрешности в данном случае, как правило, применимы только методы измерительного контроля, основанные на указанных выше методах определения характеристик погрешности и сравнении найденных их оценок с допускаемыми для характеристик значениями.

1.4 Для расчёта интервальных оценок погрешности или её характеристик при наличии существенной случайной составляющей погрешности в рекомендации применяется современный робастный метод обработки наблюдений, описанный в разделе 5. Это не исключает возможности использования традиционных методов обработки,

основанных на предположении о нормальности закона распределения случайной составляющей погрешности и являющихся одним из возможных частных случаев применяемого в рекомендации робастного метода lp-оценок (случай, когда p=2). Указания о допустимости использования традиционных методов (принятия значения p=2) даются при изложении методик определения погрешности или её характеристик.

1.5 При определении и контроле характеристик погрешности простых ИК на их вход задают от эталона или требуемые значения прямоизмеряемой величины, или требуемые значения носителя прямоизмеряемой величины, соответствующие проверяемым точкам.

1.6 Сигналы, подаваемые на вход ИК и получаемые на выходе ИК, выражены в единицах прямоизмеряемой величины или соответствующего её носителя, если иное не оговорено в описании метода.

При практическом использовании описанных ниже методов определения и контроля погрешности может потребоваться пересчёт сигналов, выраженных в значениях прямоизмеряемой величины, в значения носителя, поступающего на вход ИК, или получаемого на его выходе. Для этих пересчётов должны использоваться номинальные прямые и обратные функции преобразования датчиков и ИК, нормированные в соответствующей документации.

1.7 Под номинальной прямой функцией преобразования F_n понимается номинальная зависимость значения Y показания или выходного носителя ИК от значения X прямоизмеряемой величины или входного носителя ИК

$$Y = F_n(X),$$

в частном случае Y=X.

1.8 Под номинальной обратной функцией преобразования F_{n0} понимается номинальная зависимость значения X прямоизмеряемой величины или входного носителя ИК от значения Y показания или выходного носителя ИК

$$X = F_{n0}(Y),$$

в частном случае X=Y.

Очевидно, что должно выполняться условие

$$X = F_{n0}[F_n(X)].$$

1.9 В рекомендации не рассматриваются:

– методы определения и контроля погрешности отдельных компонентов (элементов) ИК;

– методы определения и контроля погрешности сложных (т.е. осуществляющих косвенные, совокупные или совместные измерения) ИК

(при их разработке допускается использование описанных в рекомендации методов определения и контроля погрешности в целесообразном сочетании друг с другом и с расчётными методами).

2 ВЫБОР МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЛИ КОНТРОЛЯ ПОГРЕШНОСТИ

2.1 Выбор экспериментального метода определения или контроля погрешности или её характеристик зависит от множества факторов, определяющих постановку и проведение эксперимента. К числу основных факторов, влияющих на выбор указанных методов, относятся:

- наличие или отсутствие априорных сведений о составе и свойствах погрешности ИК;
- цель эксперимента;
- вид ИК.

2.2 По составу и свойствам погрешность ИК подразделяется на две группы: с существенной и пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности.

2.3 Целью эксперимента может быть определение или контроль характеристик погрешности ИК. В процессе контроля проверяется соответствие истинных значений характеристик регламентированным для них нормам. В процессе определения находятся точечные и (или) интервальные оценки истинных значений характеристик.

2.4 ИК ИС подразделяются на следующие виды: аналоговый, аналого-цифровой и цифро-аналоговый. Определения видов ИК приведены в приложении 1.

2.5 Априорные сведения о составе и существенности составляющих погрешности ИК могут быть получены: из нормативной и технической документации на ИС, в которой в соответствии с рекомендацией МИ 2439 регламентированы метрологические характеристики ИК в виде норм для них или перечня характеристик, подлежащих экспериментальному определению; по результатам экспериментальных исследований состава и свойств погрешности ИК.

2.6 При наличии априорных сведений о составе и свойствах погрешности ИК выбор осуществляется по таблицам 1,2,3. С учётом факторов, указанных в п.2.2, п.2.3 и п.2.4, из таблиц выбирается пункт с изложением метода определения или контроля характеристик погрешности.

2.6.1 Для аналогового ИК выбор производится по таблице 1.

Таблица 1.

Случайная составляющая существенна		Случайная составляющая пренебрежимо мала	
Определение погрешности	Контроль погрешности	Определение погрешности	Контроль погрешности
п. 4.2	п. 3.2	п. 4.1	п. 3.1

2.6.2 Для аналого-цифрового ИК выбор производится по таблице 2.

Таблица 2.

Случайная составляющая существенна		Случайная составляющая пренебрежимо мала	
Определение погрешности	Контроль погрешности	Определение погрешности	Контроль погрешности
п. 4.4	п. 3.4	п. 4.3	п. 3.3

2.6.3 Для цифро-аналогового ИК выбор производится по таблице 3.

Таблица 3.

Случайная составляющая существенна		Случайная составляющая пренебрежимо мала	
Определение погрешности	Контроль погрешности	Определение погрешности	Контроль погрешности
п. 4.2	п. 3.2	п. 4.1	п. 3.1

2.7 При отсутствии априорных сведений по составу погрешности и существенности её составляющих проводят, руководствуясь приведенными ниже указаниями, предварительное исследование погрешности ИК, типичных для проверяемой ИС.

Примечания

1 Такие исследования проводят обычно в рамках исследовательских или предварительных испытаний, осуществляемых на этапах разработки (проектирования) ИС или вводе её в эксплуатацию соответственно.

2 Если такие исследования не проводились на указанных этапах и задача выбора метода возникает на более поздних этапах (когда проводить такие исследования практически нереально), то в качестве выхода из этой нежелательной ситуации можно принять, что случайная составляющая погрешности существенна и выбрать для использования

метод определения или контроля погрешности в соответствии с указаниями п.2.6, однако такое решение может приводить к неоправданному увеличению трудоёмкости эксперимента, если на самом деле случайная составляющая погрешности окажется пренебрежимо мала.

2.7.1 Выбираются для исследований предварительные выборки (не менее 5 шт.) однотипных ИК.

2.7.2 Для каждой выборки ИК назначают не менее 4 проверяемых точек, распределенных равномерно в пределах диапазона измерений.

2.7.3 Для каждой проверяемой точки определяют толерантные пределы погрешности и границы доверительных интервалов для систематической составляющей погрешности и для СКО случайной составляющей погрешности, используя методы определения характеристик погрешности, изложенные в п.4.2 и п.4.4, для случая существенной случайной составляющей погрешности.

2.7.4 Сопоставляя результаты, полученные для разных проверяемых точек всех каналов в выборке, выбирают наихудшие (наибольшие) значения границ интервалов:

D_{sg} - для доверительного интервала систематической составляющей погрешности;

S_g - для доверительного интервала СКО случайной составляющей погрешности;

D_g - для толерантного интервала погрешности.

Выбранные наихудшие (наибольшие) значения границ интервалов далее рассматриваются как параметры совокупности однотипных измерительных каналов.

На основе полученных данных выносят суждение о возможности признания случайной составляющей погрешности пренебрежимо малой или наоборот. Для этого:

- вычисляют значение интервального коэффициента по формуле

$$K_p = \frac{D_g}{\sqrt{\frac{D_{sg}^2}{3} + S_g^2 + \frac{q^2}{12}}},$$

где **q** - номинальная ступень квантования (цена единицы наименьшего разряда выходного кода или показания ИК); для аналоговых и цифро-аналоговых ИК принимают q=0;

- проверяют выполнение неравенства

$$S_g^2 \le \frac{A(2-A)D_0^2}{K_p^2},$$

где

D_0 - граничное значение (предел допускаемых значений) погрешности канала в фактических условиях его применения (если оно неизвестно, вместо него в формулу рекомендуется подставить D_g);

A - критерий малости составляющей погрешности (относительная погрешность расчёта $\cdot D_0$, обусловленная пренебрежением одной или несколькими составляющими погрешности); рекомендуется выбирать для практических расчётов $0{,}1 \le A \le 0{,}2$.

Если неравенство выполняется, то следует считать, что случайная составляющая погрешности пренебрежимо мала. В противном случае случайная составляющая не может быть признана пренебрежимо малой.

2.7.5 Используя данные, полученные в п.2.7.4, выбирают метод определения или контроля погрешности для исследованных каналов в соответствии с указаниями п.2.7.

3 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПОГРЕШНОСТИ

3.1 Метод контроля погрешности аналоговых и цифро-аналоговых ИК для случая пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности

3.1.1 Структурная схема контроля погрешности приведена на рис.3.1.

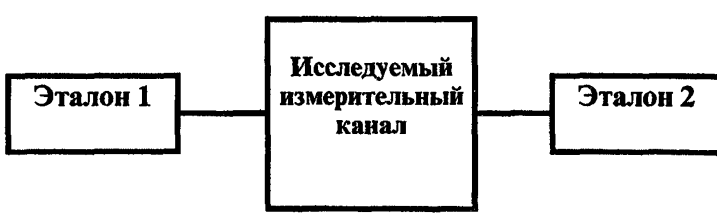

Рис.3.1.

Эталон 1 задает на входе ИК значения X прямоизмеряемой величины или её носителя, соответствующие проверяемым точкам диапазона измерений (при проверке погрешности цифро-аналоговых ИК в качестве эталона 1 используется произвольный задатчик кодов).

Эталон 2 измеряет значения Y выходного носителя ИК (в частном случае, когда на выходе измерительного канала установлен

показывающий аналоговый измерительный прибор, считываются его показания).

3.1.2 По описанной схеме может осуществляться как допусковый, так и измерительный контроль. Метод допускового контроля изложен в п.3.1.3, метод измерительного контроля - в п.3.1.4.

3.1.3 Метод допускового контроля включает в себя следующие операции.

3.1.3.1 Для каждой проверяемой точки X вычисляются нижняя B_b и верхняя B_t границы, в пределах которых могут находиться выходные сигналы ИК (показания эталона 2), если погрешность ИК в проверяемой точке находится в допускаемых пределах, по формулам:

$$B_b = F_n(X) - D_0,$$
$$B_t = F_n(X) + D_0,$$

где $F_n(X)$ - значение выходного сигнала ИК, вычисленное для проверяемой точки X по номинальной прямой функции преобразования ИК;

D_0 - граница (предел) допускаемых значений погрешности ИК, выраженная в единицах выходного сигнала ИК (при необходимости может вводиться контрольный допуск, равный примерно 0,8 границы D_0).

Указанные вычисления могут быть проведены заранее, до начала эксперимента.

3.1.3.2 По эталону 1 устанавливают последовательно значения X, соответствующие проверяемым точкам диапазона измерений, считывают и регистрируют показания эталона 2.

3.1.3.3 Если для всех проверяемых точек X выполняется неравенство

$$B_b \le Y(X) \le B_t,$$

где Y(X) - действительное значение выходного сигнала ИК при входном сигнале равном X, ИК считается удовлетворяющим заданным требованиям (далее для краткости - годным). Если хотя бы в одной из проверяемых точек это неравенство не выполняется, то ИК считается неудовлетворяющим заданным требованиям (далее для краткости - бракованным).

3.1.4 Метод измерительного контроля осуществляется путём определения в соответствии с п.4.1 абсолютной погрешности D и последующей проверки неравенства

$$-D_0 \le D \le +D_0,$$

где D_0 выражается в тех же единицах, что и D.

Если для всех проверяемых точек указанное неравенство выполняется, то ИК считается годным. Если хотя бы в одной из проверяемых точек это неравенство не выполняется, то канал бракуется.

3.2 Метод контроля характеристик погрешности аналоговых и цифро-аналоговых ИК для случая существенной случайной составляющей погрешности

3.2.1 Метод контроля имеет две разновидности: метод допускового контроля и метод измерительного контроля. Первый изложен в п.3.2.2, второй - в п.3.2.3.

3.2.2 Допусковый контроль осуществляется в соответствии с указаниями п.3.1.3, но в каждой проверяемой точке X выполняется не менее 8 отсчётов $Y_i(X)$ выходного сигнала ИК. Погрешность в проверяемой точке признаётся удовлетворяющей заданным границам (пределам) D_0, если все полученные значения $Y_i(X)$ удовлетворяют неравенству п.3.1.3.3. Проверяемый ИК считается годным, если погрешность окажется в допускаемых пределах во всех проверяемых точках при всех сделанных отсчётах.

Если хотя бы в одной из проверяемых точек, в том числе при одном отсчёте в одной из точек, погрешность выходит из заданных границ (превышает предел допускаемых значений), то канал бракуется.

3.2.3 Измерительный контроль осуществляется путём определения в соответствии с п.4.2 точечных и (или) интервальных оценок контролируемых характеристик и последующего сравнения их с допускаемыми для характеристик значениями (границами).

ИК признаётся годным, если толерантные пределы погрешности и (или) границы доверительных интервалов для характеристик составляющих погрешности оказываются внутри заданных границ (пределов допускаемых значений) для контролируемых характеристик проверяемого ИК во всех проверяемых точках. В противном случае ИК бракуется.

3.3 Метод контроля погрешности аналого-цифровых ИК для случая пренебрежимо малой случайной составляющей поргрешности

3.3.1 Структурная схема контроля погрешности приведена на рис.3.2.

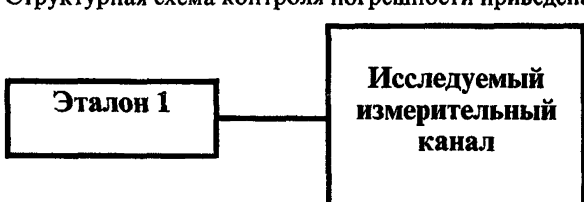

Рис. 3.2.

Эталон 1 задаёт на входе ИК значения X прямоизмеряемой величины или её носителя, соответствующие проверяемым точкам диапазона измерений. На выходе ИК получается код (показание) N, которое может быть считано экспериментатором или автоматическим устройством.

3.3.2 По описанной схеме может осуществляться как допусковый, так и измерительный контроль. Метод допускового контроля изложен в п.3.3.3, метод измерительного контроля - в п.3.3.4.

3.3.3 Метод допускового контроля включает в себя следующие операции.

3.3.3.1 Для каждой проверяемой точки N_0 диапазона измерений (для аналого-цифровых ИК проверяемые точки при контроле погрешности задают указанием значения N_0 выходного кода или показания) вычисляют значения X_{k1} и X_{k2} контрольных сигналов по формулам:

$$X_{k1} = F_{n0}(N_0) - D_0,$$
$$X_{k2} = F_{n0}(N_0) + D_0,$$

где $F_{n0}(N_0)$ - значение входного сигнала ИК, вычисленное для проверяемой точки N_0 по номинальной обратной функции преобразования ИК;

D_0 - граница (предел) допускаемых значений погрешности ИК, выраженная в единицах входного сигнала ИК (при необходимости может вводиться контрольный допуск, равный например 0,8 границы D_0).

3.3.3.2 Устанавливают значение величины X, подаваемой на вход ИК, равным X_{k1} и наблюдают (регистрируют) выходной код (показание) N_1 проверяемого ИК.

3.3.3.3 Если отсчёт N_1 удовлетворяет неравенству $N_1 > N_0$, проверяемый ИК бракуют, т.к. при этом погрешность выходит из допускаемых границ (превышает предел допускаемых значений). В противном случае - переходят к выполнению операции п.3.3.3.4.

3.3.3.4 Устанавливают значение величины X, подаваемой на вход проверяемого ИК, равным X_{k2} и наблюдают (регистрируют) выходной код (показание) N_2 проверяемого ИК.

3.3.3.5 Если отсчёт N_2 удовлетворяет неравенству $N_2 < N_0$, проверяемый ИК бракуют, т.к. при этом погрешность выходит из допускаемых границ (превышает предел допускаемых значений). В противном случае считают, что в проверенной точке погрешность не выходит из заданных границ (не превышает предел допускаемых значений).

3.3.3.6 ИК признаётся годным, если во всех проверяемых точках погрешность не выходит из заданных границ (не превышает предел допускаемых значений).

Если хотя бы в одной из проверяемых точек погрешность выходит из допускаемых границ (превышает предел допускаемых значений), то ИК бракуется.

3.3.4 Метод измерительного контроля осуществляется путём определения в соответствии с п.4.3 абсолютной погрешности D и последующей проверки неравенства

$$-D_0 \le D \le +D_0,$$

где D_0 выражается в тех же единицах, что и D.

Если для всех проверяемых точек указанное неравенство выполняется, то ИК считается годным. Если хотя бы в одной из проверяемых точек это неравенство не выполняется, то ИК бракуется.

3.4 Метод контроля характеристик погрешности аналого-цифровых ИК для случая существенной случайной составляющей погрешности

3.4.1 Метод контроля имеет две разновидности: метод допускового контроля и метод измерительного контроля. Первый изложен в п.3.4.2, второй - в п.3.4.3.

3.4.2 Допусковый контроль осуществляется в соответствии с указаниями п.3.3.3, но в каждой проверяемой точке X выполняется не менее 8 отсчётов (минимальное необходимое количество отсчётов может быть выбрано по рекомендациям МИ 1202) N_i и N_j выходных кодов для установленных на входе значений X_{k1} и X_{k2} соответственно.

Погрешность в проверяемой точке признаётся удовлетворяющей заданным границам (пределам) D_0, если все полученные значения N_i,N_j удовлетворяют требованиям п. 3.3.3.3 и п.3.3.3.5.

Проверяемый ИК считается годным, если его погрешность окажется в допускаемых пределах во всех проверяемых точках при всех сделанных отсчётах.

ИК бракуется, если хотя бы в одной из проверяемых точек, в том числе при одном отсчёте в одной из точек, погрешность выходит из заданных границ (превышает предел допускаемых значений).

3.4.3 Метод измерительного контроля осуществляется путём определения в соответствии с п.4.4 точечных и (или) интервальных оценок контролируемых характеристик и последующего сравнения их с допускаемыми для них значениями (границами).

ИК признаётся годным, если толерантные пределы погрешности и (или) границы доверительных интервалов для характеристик составляющих погрешности оказываются внутри заданных границ (пределов допускаемых значений) для контролируемых характеристик проверяемого канала во всех проверяемых точках. В противном случае канал бракуется.

4 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ

4.1 Метод определения погрешности аналоговых и цифро - аналоговых ИК для случая пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности

4.1.1 Структурная схема определения погрешности приведена на рис. 3.1 и описана в п.3.1.1.

4.1.2 Если проверяемая точка диапазона измерений X задана в единицах прямоизмеряемой величины или её носителя, то по эталону 1 устанавливают значение входного сигнала, равное X, считывают и регистрируют показания Y эталона 2 и рассчитывают значение D абсолютной погрешности ИК, выраженное в единицах выходного сигнала, по формуле

$$D = Y - F_n(X),$$

где $F_n(X)$ - значение выходного сигнала ИК, вычисленное для исследуемой точки X по номинальной прямой функции преобразования ИК.

4.1.3 Если проверяемая точка диапазона измерений Y задана в единицах выходного носителя или показания, то по эталону 1 устанавливают такое значение входного сигнала X, при котором показание эталона 2 равно Y (для цифро-аналоговых ИК устанавливают такое значение входного кода X', при котором показание Y' эталона 2 наиболее близко к Y).

Значение абсолютной погрешности вычисляется в единицах входного сигнала ИК по формуле

$$D = X - F_{n0}(Y),$$

для цифро-аналогового ИК значение абсолютной погрешности вычисляется по формуле

$$D = X' - F_{n0}(Y').$$

где $F_{n0}(Y')$ - значение входного сигнала ИК, вычисленное для исследуемой точки Y' по номинальной обратной функции преобразования ИК.

4.2 Метод определения характеристик погрешности аналоговых и цифро-аналоговых ИК для случая существенной случайной составляющей погрешности

4.2.1 В каждой проверяемой точке проводится не менее n = 10 отсчётов D_i (где i=1,2,...n) погрешности проверяемого ИК в соответствии с указаниями п.4.1.

4.2.2 По методике п.5.1 вычисляются точечные оценки характеристик систематической и случайной составляющих погрешности и (в зависимости от определяемой характеристики) границы доверительных интервалов для характеристик составляющих и (или) толерантные пределы для погрешности.

В случае, когда не требуется большой точности эксперимента, или есть основания считать закон распределения случайной составляющей погрешности нормальным, можно для упрощения расчётов принять параметр p=2. В противном случае целесообразно применить методику п.5.1 в полном объёме.

4.3 Метод определения погрешности аналого-цифровых ИК для случая пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности

4.3.1 Структурная схема определения погрешности приведена на рис.3.2 и описана в п.3.3.1.

Ниже приводятся два варианта реализации метода:

- в п.4.3.2 описан вариант, который может быть использован при любом соотношении номинальной ступени квантования и границы погрешности ИК, но обязателен для применения при $D_0 < 5q$; проверяемые точки диапазона измерений задают указанием значения N_0 выходного кода или показания ИК;
- в п.4.3.3 описан вариант, допускаемый к применению только при $D_0 \geq 5q$; проверяемые точки диапазона измерений задают указанием значения X_0 прямоизмеряемой величины или её носителя, поступающих на вход ИК.

В обоих вариантах следует выражать все сигналы и коды или в единицах измеряемой величины, или в единицах носителя измеряемой величины, поступающего на вход исследуемого ИК.

4.3.2 Регулируя выходной сигнал эталона 1 (ступень регулирования должна быть не более 0,25q (0,25 номинальной ступени квантования проверяемого ИК), устанавливают на входе ИК такое значение X_m прямоизмеряемой величины или её носителя, при котором на выходе ИК или наблюдается устойчивый переход от кода (показания) N_0-1 к заданному коду N_0 проверяемой точки, или наступает приблизительно равночастное чередование кодов N_0-1 и N_0 Значение погрешности ИК при выходном коде N_0 вычисляют по формуле

$$D=F_{no}(N_0-0,5) - X_m + 0,5q,$$

где $F_{no}(N_0 -0,5)$ – значение входного сигнала ИК, вычисленное по номинальной обратной функции преобразования для кодового значения ($N_0 -0,5$), соответствующего переходу выходного кода от значения N_0-1 к значению N_0,

q – значение номинальной ступени квантования ИК

4.3.3 На вход проверяемого канала подают от эталона 1 значение X_0 измеряемой величины или её носителя, соответствующее проверяемой точке диапазона измерений. Считывают и регистрируют значение N выходного кода (показания) ИК. Если наблюдается случайное чередование смежных кодов (показаний), то считывают код (показание), наиболее отличающийся от значения X_0. Вычисляют погрешность ИК по формуле

$$D = N - X_0.$$

Примечание. Следует иметь в виду, что метод имеет методическую погрешность. Оценка погрешности ИК всегда получается меньшей (по

модулю) её истинного значения, и это уменьшение может достигать размера номинальной ступени квантования q проверяемого ИК.

4.4 Метод определения характеристик погрешности аналого-цифровых ИК для случая существенной случайной составляющей погрешности

4.4.1 Структурная схема определения погрешности приведена на рис. 3.2 и описана в п.3.3.1.

4.4.2 Метод применяется когда СКО случайной составляющей погрешности превышает 0,25q , т.е. при любом значении измеряемой величины в пределах любой ступени квантования чередуются случайным образом не менее двух значений выходного кода (показания) ИК. Проверяемые точки диапазона измерений задают указанием значения X_0 прямоизмеряемой величины или её носителя.

4.4.3 На вход проверяемого канала подают от эталона 1 значение X_0 измеряемой величины или её носителя, соответствующее исследуемой точке диапазона измерений. Считывают и регистрируют $n \geq 10$ значений N_i (где i=1,2,..., n) выходного кода (показания) ИК. Вычисляют значения погрешностей ИК по формуле

$$D_i = N_i - X_0.$$

Примечание. При использовании метода следует выразить все сигналы и коды или в единицах измеряемой величины, или в единицах носителя измеряемой величины, поступающего на вход проверяемого ИК.

4.4.4 По методике п.5.1 вычисляются точечные оценки характеристик систематической и случайной составляющих погрешности и (в зависимости от определяемой характеристики) границы доверительных интервалов для характеристик составляющих и (или) толерантные пределы для погрешности.

Примечание. При вычислении СКО случайной составляющей погрешности, определяемой в п.5.1.3 и используемой в п. 5.1.4 и п.5.1.5, следует вводить поправку Шеппарда

$$S_p = \sqrt{\left(S_p^0\right)^2 - \frac{q^2}{12}},$$

где

S_p^0- lp-оценка СКО, вычисленная по формуле п.5.1.3 для найденного значения p.

При p=2:

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (D_i - D_a)^2}{n-1} - \frac{q^2}{12}} \quad .$$

Если подкоренное выражение получилось меньшим нуля, следует считать, что случайная составляющая погрешности пренебрежимо мала по сравнению с номинальной ступенью квантования ИК, т.е. $S_p = 0$.

5 МЕТОД РАСЧЁТА ТОЛЕРАНТНЫХ ПРЕДЕЛОВ ПОГРЕШНОСТИ И ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ, НЕЗАВИСЯЩИЙ ОТ ВИДА ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

В разделе изложены два варианта применения методов расчёта: в п.5.1 излагается применение расчётных методов для случая, когда вариация ИК пренебрежимо мала; в п.5.2 - для случая, когда вариация ИК существенна.

5.1 Исходными данными для расчёта толерантных пределов погрешности и границ доверительных интервалов характеристик её составляющих в конкретной проверяемой точке являются найденные экспериментально одним из описанных выше в разделе 4 методов выборочные значения D_i погрешности, где $i = 1,2,...n$, при $5 \le n \le 250$. Расчёт осуществляется в изложенной ниже последовательности.

5.1.1 Вычисляют:

- среднее значение погрешности

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i}{n} \quad ;$$

- оценку второго центрального момента

$$M_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (D_i - D_a)^2}{n} \quad ;$$

- оценку четвёртого центрального момента

$$M_4 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(D_i - D_a)^4}{n};$$

- оценку выборочного эксцесса

$$E_c = \frac{M_4}{M_2^2};$$

- несмещённую оценку эксцесса

$$E_x = \frac{\left[n^2 - 2n + 3\right]E_c - 3(2n-3)}{n^2 - 3n + 3 - (n-1)E_c}.$$

Если выполняется неравенство $1{,}8 < E_x \le 6$, то вычисляют значение параметра "p" по приближённой формуле

$$p = \left[\frac{4{,}2}{E_x - 1{,}8}\right]^{0{,}5886}.$$

Если $E_x > 6$, то следует увеличить число отсчётов погрешности в эксперименте и повторить расчёт или принять p=1.

Если $E_x \le 1{,}8$, то следует увеличить число отсчётов погрешности в эксперименте и повторить расчёт или принять p=15.

Если повторение эксперимента невозможно, то в особо ответственных случаях значение p находят из точного уравнения

$$E_c = \frac{\Gamma(1/p)\Gamma(5/p)}{\left[\Gamma(3/p)\right]^2},$$

где Г - гамма-функция.

Если полученное значение p=1, это свидетельствует о возможном наличии грубого промаха в измерениях и за lp-оценку систематической составляющей погрешности принимают выборочную медиану.

Если получено значение $p \geq 15$, это может свидетельствовать о наличии вариации или о двухмодальном законе распределения погрешности.

5.1.2 Находят lp-оценку систематической составляющей (математического ожидания) погрешности из условия

$$D_{sp} = \arg\min_f \sum_{i=1}^{n} |D_i - f|^p .$$

Иными словами, нужно найти такое значение "f", при котором сумма в приведенном выше выражении минимальна; это значение "f" принимается за оценку систематической составляющей погрешности. Решение может быть найдено итеративным методом, при этом рекомендуется принять для первой итерации $f = D_a$.

Если $p=2$, то $D_{sp} = D_a$.

5.1.3 Вычисляют lp-оценку СКО случайной составляющей погрешности

$$S_p = \left[\frac{p}{n-1}\right]^{1/p} \left[\frac{\Gamma(3/p)}{\Gamma(1/p)}\right]^{1/p} \sqrt[p]{\sum_{i=1}^{n} |D_i - D_{sp}|^p} .$$

Если $p=2$, оценка СКО равна

$$S_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (D_i - D_a)^2}{n-1}} .$$

5.1.4 Находят границы доверительного интервала для систематической составляющей погрешности D_{sp} при доверительной вероятности $P=0,95$ по формуле

$$D_{sp} - t\frac{S_p}{\sqrt{(n-1)}} \leq D_s \leq D_{sp} + t\frac{S_p}{\sqrt{(n-1)}} ,$$

где

$$t = \frac{0,4446 + 1,1146(a-n)}{1 + 0,57(a-n)} + 0,154\frac{p-2}{p-0,6266} ;$$

$$a=\frac{2,357(p-2)}{p+0,316}.$$

5.1.5 Находят границы доверительного интервала для СКО случайной составляющей погрешности при доверительной вероятности P=0,95 по формуле;

$$S_p\sqrt{\frac{n-1}{\chi_2^2}} \le S \le S_p\sqrt{\frac{n-1}{\chi_1^2}},$$

где

$$\chi_1^2=(n-1)\left[1-\frac{1,2+a_1 n}{1-b_1 n}\right];$$

$$\chi_2^2=(n-1)\left[1+\frac{c_0+c_1 n}{1+c_2 n}\right];$$

$$a_1=\frac{0,0189-0,0013p}{1+0,068p};\quad b_1=\frac{0,0388-0,266p}{1+2,27p};$$

$$c_0=\frac{4,93+0,464p}{1,16p-1};\quad c_1=\frac{0,0024p-0,1255}{1-1,474p};$$

$$c_2=\frac{0,431+0,095p}{1,414p-1}.$$

5.1.6 Находят толерантные пределы с доверительной вероятностью P=0,95 для интервала, который содержит не менее Q=0,95 возможных значений погрешности, по формуле

$$(D_{sp} - \chi S_p) \le D \le (D_{sp} + \chi S_p),$$

где

$$\chi = \frac{a_0 + a_1 n}{1 + b_1 n}; \quad a_0 = -\frac{2{,}787 + 1{,}8244p}{1 + 0{,}03007p};$$

$$a_1 = -\frac{0{,}8282 + 0{,}576p}{1 + 0{,}106p}; \quad b_1 = -\frac{0{,}264 + 0{,}286p}{1 + 0{,}072p}.$$

5.2 При существенной вариации исходными данными для расчёта точечных и интервальных оценок характеристик погрешности в конкретной проверяемой точке являются найденные экспериментально выборочные значения D_i^M и D_i^B (см. п.1.3).

В этом случае можно также использовать формулы п.5.1, но для этого необходимо осуществить следующие преобразования над значениями D_i^M и D_i^B.

5.2.1 Вычисляют преобразованные значения $(D_i^M)_{пр}$ и $(D_i^B)_{пр}$ по формулам:

$$(D_i^M)_{пр} = D_i^M + \frac{D_a^B - D_a^M}{2} \quad \text{и} \quad (D_i^B)_{пр} = D_i^B - \frac{D_a^B - D_a^M}{2},$$

где $$D_a^M = \frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n/2} D_i^M \quad ; \quad D_a^B = \frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n/2} D_i^B .$$

Объединяют значения $(D_i^M)_{пр}$ и $(D_i^B)_{пр}$ в один ряд размером n, обозначая его члены через D_i, где i=1,2,...,n. Среднее значение этого ряда *является оценкой систематической составляющей погрешности* и равно

$$D_a = \frac{D_a^M + D_a^B}{2},$$

а отклонение членов ряда от этого среднего равны отклонениям $(D_i^M - D_a^M)$ и $(D_i^B - D_a^B)$ соответственно.

Полученный ряд значений D_i используется для расчёта точечных и интервальных оценок характеристик погрешности по формулам раздела 5.1.

5.2.2 Точечную оценку D_h вариации h находят по формуле

$$D_h = \frac{D_a^B - D_a^M}{2}.$$

Её lp-оценку D_{hp} вычисляют по формуле п.5.1.2, подставляя для первой итерации значение $f=D_h$ и значение p, определённое в п.5.1.1.

Границы доверительного интервала для вариации h вычисляют по формуле п.5.1.4, подставляя вместо D_s величину D_h, вместо D_{sp} значение D_{hp}, и используя значение S_p, найденное в п.5.1.3.

Приложение 1

ПОЯСНЕНИЯ К СПЕЦИФИЧЕСКИМ ТЕРМИНАМ

П1.1 Определение погрешности или её составляющих - эксперимент, результатом которого является точечная и (или) интервальная оценка истинного значения погрешности или характеристики одной из её составляющих.

П1.2 Контроль погрешности - эксперимент, результатом которого является высказывание о факте принадлежности (непринадлежности) истинного значения погрешности (характеристики одной из составляющих погрешности) множеству допускаемых для неё значений, заданному границами (пределами) допускаемых значений.

Примечание. Контроль может выполняться или путём определения точечных (интервальных) оценок погрешности или характеристики её составляющей и сравнения оценок с допускаемыми границами (пределами), или путём специально организованного эксперимента, результатом которого является высказывание о принадлежности (непринадлежности) истинного значения погрешности (характеристики её составляющей) к множеству допускаемых для неё значений, без определения оценок характеристик. Методы, применяемые в первом случае, названы в рекомендации методами измерительного контроля, во втором случае - методами допускового контроля.

П1.3 Аналоговый ИК - ИК, который бесконечному несчётному множеству возможных значений измеряемой величины или её носителя, действующих на входе ИК, ставит в соответствие бесконечное несчётное множество возможных значений выходного носителя (показаний) ИК.

П1.4 Аналого-цифровой ИК - ИК, который бесконечному несчётному множеству возможных значений измеряемой величины или её носителя, действующих на входе ИК, ставит в соответствие конечное счётное множество возможных значений выходного кода (показаний) ИК.

П1.5 Цифро-аналоговый ИК - ИК, который конечному счётному множеству возможных значений величины или её носителя (входного кода), задаваемых на входе канала, ставит в соответствие конечное счётное множество возможных значений выходного носителя ИК.

П1.6 Носитель (измеряемой величины) - физический феномен, значение одного из параметров которого связано с истинным значением измеряемой величины номинальной функциональной зависимостью.

П1.7 Однотипные ИК - ИК, составленные из компонентов одного и того же типа (типоразмера), имеющие одинаковые диапазоны измерений и граничные значения погрешности.

Примечание. Недопустимо относить к числу однотипных совокупность аналого-цифровых каналов, имеющих общий аналого-цифровой преобразователь, подключаемый к ним через коммутатор.

Приложение 2

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ВЫБОРУ ЧИСЛА ПРОВЕРЯЕМЫХ ТОЧЕК В ДИАПАЗОНЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИК

П2.1 Для ИК с линейной номинальной статической характеристикой преобразования число проверяемых точек в диапазоне измерений ИК выбирается следующим образом:

- если нулевое значение измеряемой величины расположено в середине диапазона измерений ИК, то число проверяемых точек принимается равным 11 (по пяти точек на положительной и отрицательной частях диапазона измерений и одна точка вблизи нулевого значения);
- если нулевое значение измеряемой величины расположено на краю диапазона измерений ИК, то число проверяемых точек принимается равным 5.

П2.2 Для ИК с нелинейной статической характеристикой преобразования число проверяемых точек в диапазоне измерений ИК выбирается не менее указанного в п. П2.1, а их расположение может быть неравномерным.

В число проверяемых включают точки, в которых ожидаются наибольшие значения характеристик погрешности, а также точки, соответствующие нижнему и верхнему пределам измерений.

Эти точки выбираются с учётом характера нелинейности. Например:

- для аналоговых ИК при использовании в них линейной или кусочно-линейной аппроксимации нелинейных зависимостей входного сигнала ИК от измеряемой величины целесообразно выбирать задаваемые значения измеряемой величины (т.е. проверяемые точки) в интервалах с наибольшей нелинейностью (так в соответствии с ГОСТ 3044 наибольшая нелинейность зависимости термо-ЭДС термопар от измеряемой температуры имеет место в начале диапазона около 0°С);
- для аналого-цифровых ИК, в состав которых входят аналого-цифровые преобразователи, обладающие дифференциальной и интегральной нелинейностью, в состав проверяемых включаются “критические” точки (в которых происходит пропадание или деформация отдельных кодов), которые могут быть определены в соответствии с МИ 1202.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ

1 РАЗРАБОТАНА Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС) Госстандарта России.
2 ИСПОЛНИТЕЛИ: Вострокнутов Н.Н. (руководитель темы), Кашлаков В.М., Кузнецов В.П., Солопченко Г.Н.
3 УТВЕРЖДЕНА ВНИИМС 25.12.97 г.
4 ЗАРЕГИСТРИРОВАНА ВНИИМС 29.12.97 г.
5 ВЗАМЕН МИ 2313-94
6 ССЫЛОЧНЫЕ НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

Обозначение НД, на который дана ссылка	Номер пункта, приложения
МИ 2438-97	Преамбула
МИ 2439-97	Преамбула, 2.5
МИ 2441-97	Преамбула
ПР 50.2.009-94	Преамбула
ГОСТ 8.009-84	Преамбула
МИ 1202-86	3.4.2,Приложение 2
ГОСТ 3044-84	Приложение 2

СОДЕРЖАНИЕ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....1

2 ВЫБОР МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЛИ КОНТРОЛЯ ПОГРЕШНОСТИ.....4

3 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПОГРЕШНОСТИ.....7
3.1 Метод контроля погрешности аналоговых и цифро-аналоговых ИК для случая пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности.....7
3.2 Метод контроля характеристик погрешности аналоговых и цифро-аналоговых ИК для случая существенной случайной составляющей погрешности.....9
3.3 Метод контроля погрешности аналого-цифровых ИК для случая пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности.....9
3.4 Метод контроля характеристик погрешности аналого-цифровых ИК для случая существенной случайной составляющей погрешности.....11

4 МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ.....12
4.1 Метод определения погрешности аналоговых и цифро-аналоговых ИК для случая пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности.....12
4.2 Метод определения характеристик погрешности аналоговых и цифро-аналоговых ИК для случая существенной случайной составляющей погрешности.....12
4.3 Метод определения погрешности аналого-цифровых ИК для случая пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности.....13
4.4 Метод определения характеристик погрешности аналого-цифровых ИК для случая существенной случайной составляющей погрешности.....14

5 МЕТОД РАСЧЁТА ТОЛЕРАНТНЫХ ПРЕДЕЛОВ ПОГРЕШНОСТИ И ДОВЕРИТЕЛЬНЫХ ИНТЕРВАЛОВ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ, НЕЗАВИСЯЩИЙ ОТ ВИДА ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ.....15

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 Пояснения к специфическим терминам.....21
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 Общие положения по выбору числа точек в диапазоне измерения ИК.....22

gost.e-ecolog.ru