РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

Выбор методов, средств и алгоритмов оценивания погрешностей измерений при аттестации отраслевых методик выполнения измерений

МПС России

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАНЫ Государственным унитарным предприятием Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта МПС России

ВНЕСЕНЫ Департаментом технической политики МПС России

2 УТВЕРЖДЕНЫ И ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ указанием МПС России № от

3 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения..... 1
2 Нормативные ссылки..... 1
3 Обозначения и сокращения..... 1
4 Общие положения..... 2
5 Алгоритм оценивания погрешности измерений..... 4
6 Количественная оценка приемлемости оценки погрешности МВИ..... 10
Приложение А Зависимость коэффициента K_1 от отношения $\frac{\theta(p)}{\tilde{\sigma}\left(\dot{\Delta}\right)}$ и доверительной вероятности р..... 12
Приложение Б Значения K_{Σ} в зависимости от числа наблюдений n для вероятности р=0,95 и отношения $\frac{\theta(p)}{\tilde{\sigma}\left(\dot{\Delta}\right)}$ 13
Приложение В Значение коэффициента t при разной доверительной вероятности p (распределение Стьюдента) 14
Приложение Г Пример оценивания погрешности однократного измерения..... 15
Приложение Д Пример расчета погрешности при прямых многократных измерениях..... 17
Приложение Е Пример расчета результирующей погрешности измерительного канала, состоящего из серийно выпускаемых узлов..... 19

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

Выбор методов, средств и алгоритмов оценивания погрешностей измерений при аттестации отраслевых методик выполнения измерений

Дата введения 2001-03-01

1 Область применения

Настоящие рекомендации распространяются на методики выполнения измерений, применяемые на железнодорожном транспорте и не подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору.

Рекомендации могут быть использованы при разработке программ и алгоритмов аттестации методик выполнения измерений.

2 Нормативные ссылки

В настоящих правилах использованы ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 8 009-84 "ГСИ. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений";

ГОСТ 8.207- 76 "ГСИ Прямые измерения с многократными наблюдениями Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения",

ГОСТ Р 8.563-96 "ГСИ. Методики выполнения измерений";

МИ 2174-91 "ГСИ. Аттестация алгоритмов и программ обработки данных при измерениях Основные положения";

МИ 2232-2000 "ГСИ Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации";

МИ 2336-95 "ГСИ. Характеристики погрешности результатов количественного химического анализа. Алгоритмы оценивания";

ПР 32.138-99 "Порядок аттестации методик выполнения измерений, применяемых на железнодорожном транспорте и не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору".

3 Обозначения и сокращения

НД - нормативный документ
СИ - средство измерений
МВИ - методика выполнения измерений
СКО - среднее квадратическое отклонение

4 Общие положения

Настоящие рекомендации устанавливают методику оценивания погрешности измерений при аттестации отраслевых МВИ

4 1 Погрешность измерений в соответствии с ГОСТ Р 8 563 определяется композицией следующих составляющих

- методические составляющие ($\Delta_м$),
- инструментальные составляющие ($\Delta_и$),
- составляющие, вносимые оператором (субъективные) ($\Delta_{оп}$)

4 1 1 Методическая составляющая погрешности измерений обусловлена несовершенством принятого метода измерений

Методические составляющие погрешности возникают из-за

- несоответствия принятой модели объекта измерений (процесса) реальному объекту измерений,
- отклонения от принятых значений аргументов функции, связывающей измеряемую величину с величиной на входе СИ (первичного измерительного преобразователя),
- погрешности из-за эффектов квантования,
- отличия алгоритма вычислений от функции, связывающей результаты наблюдений с измеряемой величиной,
- погрешностей, возникающих при отборе и приготовлении проб (при химическом анализе),
- погрешностей, вызываемых влиянием внешних факторов (давление, температура, влажность и т п), при химическом анализе – погрешностей, вызываемых мешающим влиянием факторов пробы (мешающие компоненты пробы, дисперсность, пористость и т п)

4 1 2 Инструментальные составляющие погрешности - погрешности применяемых СИ, которые нормируются в виде

- основной погрешности ($\Delta_о$),
- дополнительной погрешности в статическом режиме ($\Delta_{доп}$),
- динамической погрешности ($\Delta_{дин}$),
- погрешности, возникающие из-за взаимодействия СИ с контролируемым объектом и элементами измерительного канала ($\Delta_{вв}$),
- погрешности, вносимые различного рода вспомогательными устройствами (линиями связи, коммутаторами и т п) ($\Delta_{всп}$)

4 1 3 Погрешность, вносимая оператором, чаще всего проявляется при измерениях, характеризующихся сложным алгоритмом самих измерений и подготовки к ним, при считывании значений измеряемой величины со шкал и диаграмм, а также последующей обработки диаграмм и т п

4.1.4 В общем случае полная погрешность измерений представляет собой композицию всего ряда перечисленных выше составляющих:

$$\Delta = \Delta_м * \Delta_о * \Delta_{доп} * \Delta_{дин} * \Delta_{вв} * \Delta_{всп} * \Delta_{оп}, \qquad (1)$$

где * - символ объединения.

Формула (1) представляет собой символическую запись объединения составляющих погрешности измерений в реальных условиях применения.

Таким образом, процедура оценивания погрешности МВИ заключается в возможно полном учете указанных составляющих погрешности измерений.

В ряде случаев информация о составляющих погрешности, таких как $\Delta_{дин}$, $\Delta_{вв}$, $\Delta_{всп}$, не требуется, например при измерениях геометрических величин в статике, а $\Delta_{оп}$ при использовании цифровых СИ отсутствует.

В этом случае формула (1) упрощается и имеет вид:

$$\Delta = \Delta_м * \Delta_о * \Delta_{доп} \qquad (2).$$

Полученная расчетом оценка погрешности результатов измерений Δ должна быть меньше или равна требуемой (приписанной) погрешности $\Delta_{треб}$:

$$\Delta \le \Delta_{треб} \qquad (3).$$

Количественная оценка приемлемости оценки погрешности МВИ изложена в п. 6.

Методическая составляющая погрешности по своей природе является систематической и может быть учтена внесением в результат измерений в виде поправки .

Основная погрешность $\Delta_о$ в соответствии с ГОСТ 8.009 при нормировании метрологических характеристик СИ содержит систематическую и случайную составляющие.

Систематическая погрешность - составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Случайная погрешность - составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

При оценке полной погрешности измерений используют методы: экспериментальный и расчетный (расчетно-экспериментальный) согласно ПР 32.138.

При экспериментальном исследовании МВИ оценку полной погрешности измерений определяют по МИ 2174 и МИ 2336

В настоящих рекомендациях представлена процедура расчетного метода оценивания погрешности МВИ

4 2 В практических случаях из-за отсутствия необходимой исходной информации об измерениях (о степени близости выбранной физической модели объекту измерений, о характеристиках корреляции между составляющими погрешности измерений или погрешности измерений текущих значений, о виде функции плотности распределения вероятностей погрешности измерений или ее составляющих и т п) принимается ряд допущений, позволяющих упростить процедуру оценивания погрешности измерений

- случайная составляющая погрешности результата измерений подчиняется нормальному закону распределения,
- каждая составляющая систематической погрешности распределена равномерно,
- корреляция между составляющими погрешности измерений отсутствует,
- частотные характеристики изменений измеряемой величины и внешних влияющих величин не принимаются во внимание

Примечание - Принятые допущения при расчетном способе оценивания приводят, как правило, к несколько завышенным оценкам погрешности МВИ

5 Алгоритм оценивания погрешности измерений

Алгоритм оценивания погрешности измерений в общем виде, согласно МИ 2232, представлен на схеме (рисунок 1)

5 1 Формирование исходной информации

Исходная информация содержится в документах на МВИ руководствах по эксплуатации (паспортах) СИ, инструкциях, рекомендациях, разделах технических условий, технологических картах и т п

Исходная информация должна содержать

- требования к погрешности измерений или (и) приписанные характеристики погрешности измерений $\Delta_{\text{трб}}$
- метод (методы) измерений,
- требования к СИ, вспомогательным устройствам, материалам, стандартным образцам, аттестованным смесям или указания типов СИ, их характеристик и обозначения документов с требованиями к СИ (ГОСТ, ТУ и другие документы),
- условия измерений (перечень влияющих величин, их номинальных значений и (или) границ диапазонов возможных значений),
- сведения о виде измерений (прямые, косвенные, совместные и совокупные), числе наблюдений (однократные или многократные)

5 2 Расчет составляющих погрешности измерений

Составляющие погрешности разделяют на две группы:

- относящиеся к наиболее важным параметрам (к ним относят параметры, влияющие на безопасность движения поездов);
- не относящиеся к наиболее важным параметрам.

Предварительное суммирование составляющих погрешности измерений проводят из группы, относящихся к наиболее важным параметрам.

В результате получают предварительную оценку границы погрешности измерений.

5.3 Выделение существенных составляющих погрешности измерений наиболее важных параметров.

Существенной составляющей погрешности принимается такая составляющая, вклад которой в суммарную погрешность не менее:

- 30% - при арифметическом суммировании;
- 20% квадрата значения ее границ по отношению к сумме квадратов составляющих погрешности измерений (полученного по результатам предварительного квадратичного суммирования).

Выявляют возможность более точного расчета существенных составляющих погрешности наиболее важных параметров путем более тщательного анализа документации на МВИ или в результате эксперимента.

5.4 Проведение суммирование всех составляющих погрешности измерений (существенных, несущественных, и не относящихся к наиболее важным).

Типичные способы суммирования составляющих погрешности измерений приведены в п.5.6 (формулы (10), (11), (13)) и (при ограниченной исходной информации) в п.5.7.

В результате получают предварительную оценку границы погрешности измерений.

5.5 Если приведенных в технической документации метрологических характеристик недостаточно для поставленной цели и методические составляющие погрешности отсутствуют или пренебрежительно малы, то при оценке составляющих инструментальной погрешности допускают, что:

- СКО основной погрешности равно 0,5 предела допускаемых значений;
- СКО дополнительной погрешности равно 0,5 предела допускаемых значений.

5.6 Оценивание характеристики систематической Δ_{∞} и случайной $\mathring{\Delta}_{0}$ составляющих погрешности измерений по ГОСТ 8.207:

- выявляют номенклатуру составляющих систематической погрешности;

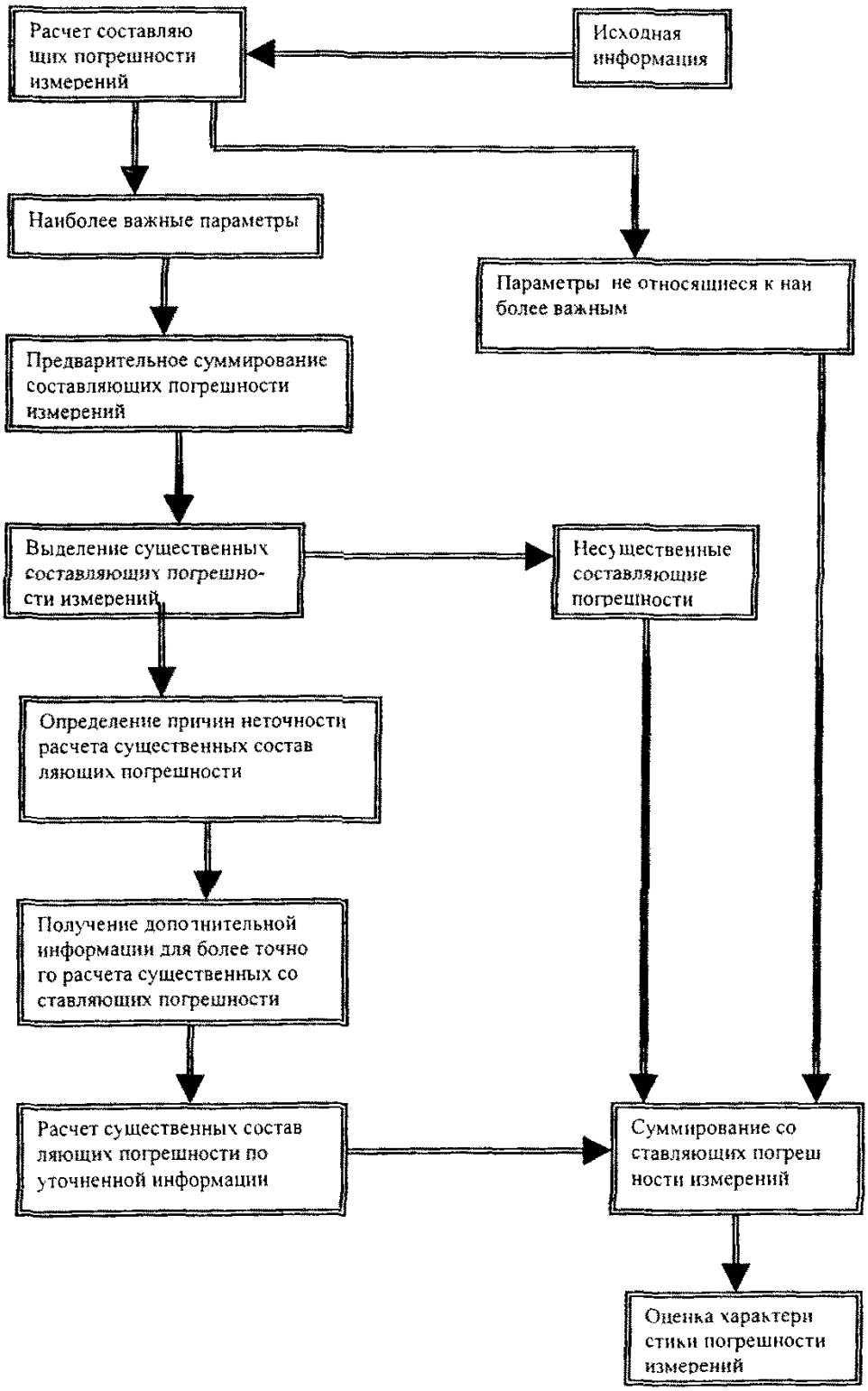

Рисунок 1 Алгоритм оценивания погрешности МВИ

- расчетным или экспериментальным путем оценивают значения каждой систематической составляющей погрешности.

Находят:

$$\Delta_{oc} = \theta(p) = K\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\theta_i^{\,2}}\ , \qquad (4)$$

где: m - число составляющих систематической погрешности;

K – коэффициент, определяемый доверительной вероятностью (р):

при р = 0,95 K = 1,1;

при р = 0,99 коэффициент принимают:

K = 1,4, если $m > 4$;

K = 1,2-1,3, если $m \le 4$ (по ГОСТ 8.207);

θ_i – характеристика i-й составляющей систематической погрешности;

при измерении наиболее важных параметров (при ограниченной исходной информации) коэффициент K принимают равным 1,2.

Определяют СКО отдельного (случайного) наблюдения при измерении:

$$\sigma(\overset{\circ}{\Delta}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^2 \Big/ (n-1)}\ , \qquad (5)$$

где: X_i - результат отдельного наблюдения в ряду измерений;

$\bar{X}$ - среднее арифметическое из n наблюдений.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \qquad (6).$$

При определении СКО из ряда результатов наблюдений должны быть исключены наблюдения, являющиеся промахами, как содержащие грубую погрешность

Оценивают СКО (среднего арифметического) результата измерения

$$\tilde{\sigma}(\Delta) = \frac{\sigma\left(\overset{\circ}{\Delta}\right)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{n(n-1)}} \qquad (7).$$

При измерениях с однократными наблюдениями СКО результата измерения $\tilde{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}\right)$ определяют по данным, приведенным в технической документации на СИ или МВИ.

На основе сведений о составляющих $\sigma\left(\overset{\circ}{\Delta}_i\right)$ случайной погрешности СКО результата измерения рассчитывают по формуле:

$$\tilde{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}\right)=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}\sigma^2\left(\overset{\circ}{\Delta}_i\right)}, \qquad (8)$$

где m – число составляющих случайной погрешности (инструментальная, методическая, оператора и т.д.)

Определяют значение отношения $\theta(p)/\tilde{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}\right)$.

Если $\theta(p)/\tilde{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}\right)< 0{,}8$, то значением $\theta(p)$ пренебрегают и за погрешность результата измерения Δ принимают доверительные границы случайной составляющей погрешности $\overset{\circ}{\Delta}_{cp}(p)$, которые вычисляют по формуле:

$$\Delta=\overset{\circ}{\Delta}_{cp}(p)=\pm t\,\tilde{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}\right), \qquad (9)$$

где t - коэффициент распределения Стьюдента (см. приложение В).

Если $\theta(p)/\tilde{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}\right) > 8$, то пренебрегают случайной погрешностью и за погрешность результата измерения принимают $\Delta=\theta(p)$.

Если $0{,}8 \le \theta(p)/\tilde{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}\right) \le 8$, то границы интервала, в котором погрешность МВИ находится с вероятностью р, рассчитывают по формулам:

- при прямых однократных измерениях (для суммирования систематической и случайной составляющей погрешности)

$$\Delta = \Delta(p)=K_1\left[\theta(p)+\overset{\circ}{\Delta}_{cp}(p)\right], \qquad (10)$$

где : коэффициент K_1 выбирается из таблицы приложения А в зависимости от отношения $\dfrac{\theta(p)}{\tilde{\sigma}\left(\overset{\circ}{\Delta}\right)}$ и доверительной вероятности р;

пример расчета Δ приведен в приложении Г;

- при прямых многократных измерениях:

$$\Delta = \Delta(p) = K_{\Sigma} \; \tilde{\sigma}_{\Sigma}\left(\dot{\Delta}\right), \tag{11}$$

где. $$K_{\Sigma} = \frac{\theta(p) + \dot{\Delta}_{cp}(p)}{\sigma(\Delta_c) + \tilde{\sigma}\left(\dot{\Delta}\right)} \tag{12}$$

$\sigma(\Delta_c) = \sqrt{\frac{1}{3}\sum_{j=1}^{m}\theta_j^2}$ - СКО суммы не исключенных систематических погрешностей при равномерном их распределении;

значения K_{Σ} для различных отношений $\frac{\theta(p)}{\tilde{\sigma}\left(\dot{\Delta}\right)}$ и в зависимости от числа наблюдений n для вероятности p = 0,95 приведены в приложении Б;

$\tilde{\sigma}_{\Sigma}\left(\dot{\Delta}\right) = \sqrt{\frac{1}{3}\sum_{j=1}^{m}\theta_j^2 + \tilde{\sigma}^2\left(\dot{\Delta}\right)}$ - СКО измерений; (12.1)

m - число составляющих систематической погрешности;

пример расчета Δ приведен в приложении Д;

- при косвенных измерениях с однократным измерением аргументов:

$$\Delta = \theta(p) = K \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)^2 \theta_j^2}, \tag{13}$$

где: K = 1,1 для p = 0,95;

$\frac{\partial f}{\partial x_j}$ - первая производная от функции f по x_j аргументу, вычисленная в точке x_j;

θ_j - j-я составляющая систематической погрешности;

- при косвенных измерениях с многократным измерением аргументов вычисление производят по формуле (10),

где $\dot{\Delta}_{cp}(p)$ вычисляют по формуле (9);

$$\sigma\left(\dot{\Delta}\right) = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)^2 \tilde{\sigma}^2(x_j)}, \tag{14}$$

где: $\tilde{\sigma}(x_j)$ - СКО результатов измерения x_j-го аргумента;

m - число составляющих аргументов.

5.7 Способ суммирования составляющих относительной погрешности измерений (при ограниченной исходной информации)

- предварительно составляющие погрешности переводятся из абсолютной формы в относительную

Например, предел допускаемой абсолютной основной погрешности Δ_{oi} i-го СИ преобразуют в соответствующий предел для относительной основной погрешности δ_{oi} i – го СИ

$$\delta_{oi} = \frac{\Delta_{oi}}{X_{ном}} 100\%, \qquad (15)$$

где $X_{ном}$ – номинальное значение измеряемого параметра, для которого рассчитывается погрешность измерений

Аналогично переводятся $\Delta_{доп\,i}$ в $\delta_{доп\,i}$, $\Delta_{дин\,i}$ в $\delta_{дин\,i}$ и т п,

- затем производят суммирование при последовательном соединении СИ и вспомогательных устройств

$$\overline{\delta} = K\sqrt{\sum \overline{\delta}_i^2}, \qquad (16)$$

где $\overline{\delta}_i$ - оценка границы i-ой составляющей относительной погрешности измерений,

K - коэффициент, приведен в п 5 6

Для экспресс-оценок границ относительной погрешности измерений наиболее важных параметров, указанных в п 5 3, может быть применено арифметическое суммирование оценок границ составляющих

$$\overline{\delta} = \Sigma\left[\overline{\delta}_i\right], \qquad (17)$$

(оценка $\overline{\delta}$ существенно завышена)

6 Количественная оценка приемлемости оценки погрешности МВИ

Для количественной оценки приемлемости оценки погрешности измерений ее абсолютное значение Δ, рассчитанное по формулам (10), (11), (13) представляют в относительной форме

$$\overline{\delta} = \frac{\Delta}{X} 100\%, \qquad (18)$$

где X –значение измеряемого параметра, для которого рассчитывается погрешность измерений

Полученная расчетным путем количественная оценка погрешности измерений $\overline{\delta}$ считается приемлемой, если относительная погрешность оценки МВИ не превышает 30%, рассчитанная по формулам:

- для наиболее важных параметров

$$\delta_{\overline{\delta}} < 100\frac{\left|\delta_{треб} - \overline{\delta}\right|}{\overline{\delta}}, \qquad (19)$$

- для параметров, не относящихся к наиболее важным

$$\delta_{\overline{\delta}} < \frac{100}{\overline{\delta}}\left\{\delta^2_{треб} - \overline{\delta}^2\right\}^{0,5} \qquad (20)$$

где: $\delta_{\overline{\delta}}$ - относительная погрешность оценки границы относительной погрешности измерений, %

$\delta_{треб}$ - предел допускаемых значений относительной погрешности измерений, %

Пример расчета суммарной (результирующей) погрешности измерительного канала, состоящего из серийно выпускаемых узлов при ограниченной исходной информации и расчета количественной оценки приемлемости оценки погрешности приведен в приложении Е.

Приложение А
(справочное)

Зависимость коэффициента K_1 от отношения $\frac{\theta(p)}{\tilde{\sigma}\left(\dot{\Delta}\right)}$

и доверительной вероятности p

$\frac{\theta(p)}{\tilde{\sigma}\left(\dot{\Delta}\right)}$	0,8	1	2	3	4	5	6	7	8
p =0,95	0,78	0,74	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80	0,81
p = ,99	0,84	0,82	0,80	0,82	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85

Приложение Б
(справочное)

Значения коэффициента K_{Σ} в зависимости от числа наблюдений n для вероятности p = 0,95 и отношения $\frac{\theta(p)}{\sigma\left(\dot{\Delta}\right)}$

$\frac{\theta(p)}{\sigma\left(\dot{\Delta}\right)}$	0,8	1	2	3	4	5	6	7	8
n = 5	2,52	2,47	2,33	2,24	2,18	2,14	2,11	2,09	2,06
n = 10	2,15	2,13	2,08	2,04	2,01	2,00	1,99	1,98	1,97
n = 15	2,08	2,06	2,02	2,00	1,98	1,97	1,96	1,95	1,95
n = 20	2,03	2,02	1,99	1,97	1,96	1,95	1,95	1,94	1,93

Приложение В
(справочное)

Значение коэффициента t при разной доверительной вероятности p (распределение Стьюдента)

Число результатов наблюдений n	При доверительной вероятности p				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
	Значения коэффициента t				
2	6,31	12,71	31,82	63,66	636,62
3	2,92	4,30	6,97	9,93	31,60
4	2,35	3,18	4,54	5,84	12,92
5	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	2,02	2,57	3,37	4,03	6,87
7	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96
8	1,90	2,37	3,00	3,50	5,41
9	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
11	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59
12	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44
13	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32
14	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
15	1,76	2,15	2,62	2,98	4,14
16	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
17	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
18	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
19	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
20	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
∞	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29

Приложение Г
(рекомендуемое)

Пример оценивания погрешности однократного измерения

Измерение напряжения на участке цепи осуществляется вольтметром В3-49 с диапазоном измерения от 10 мВ до 100 В Стрелка вольтметра остановилась против цифры 40 В Основная погрешность вольтметра в процентах от показаний прибора не превышает

$$\theta_o = \pm\left(0{,}2 + \frac{0{,}08}{U}\right)$$

Температурная погрешность, погрешность от нестабильности напряжения питания не превышает половины основной СКО не превышает одной пятой основной погрешности

Оценить суммарную погрешность измерения напряжения при доверительной вероятности p = 0,95

Основная погрешность вольтметра в нашем случае равна

в относительной форме - $\theta_o = \pm\left(0{,}2 + \frac{0\,08}{40}\right) = \pm 0{,}202\%$

в абсолютной форме - $\theta_o = \pm 0{,}081B$

Дополнительные погрешности от непостоянства температуры и напряжения питания равны $\theta_1 = \pm 0{,}041$ В и $\theta_2 = \pm 0{,}041$ В.

Суммарная систематическая погрешность измерения равна

$$\Delta = \theta(p) = K\sqrt{\sum_{j\ 1}^{m}\theta_j} = \pm 1{,}1\sqrt{0{,}081^2 + 0{,}041^2 + 0{,}041^2} = \pm 0{,}11B$$

СКО по условию составляет $\sigma\left(\overset{\circ}{\Delta}\right) \le \frac{1}{5}\ 081 = \pm 0{,}017B$

Доверительные границы случайной составляющей погрешности измерения для вероятности 0,95 по формуле (9) равны

$$\Delta = \overset{\circ}{\Delta}_{sp}(p) = \pm t\,\sigma\left(\overset{\circ}{\Delta}\right) = \pm 1{,}96\ \ 0{,}017 = \pm 0{,}034\ \text{В}$$

Погрешность измерения напряжения вольтметром В3-49 равна

$$\Delta(p) = K_1\left[\theta(p) + \mathring{\Delta}_{гр}(p)\right] = \pm 0{,}8(0{,}11 + 0{,}034)B = \pm 0{,}12B,$$

где коэффициент $K_1 \sim 0{,}8$ при $\frac{\theta(p)}{\sigma\left(\mathring{\Delta}\right)} = 6{,}5$ и доверительной вероятности p = 0,95 (приложение А)

Окончательный результат может быть представлен в виде

$U = (40{,}00 \pm 0{,}12)$ В, p = 0,95

Приложение Д
(рекомендуемое)

Пример расчета погрешности при прямых многократных измерениях

Многократные ($n=15$) измерения напряжения на участке электрической цепи осуществляются вольтметром ВК7-10А/1 В рабочем диапазоне от 1 до 10 В основная погрешность вольтметра вычисляется по формуле $\theta_o = \pm(0{,}1\%U + 0{,}001)$ Дополнительная погрешность за счет временной нестабильности характеристик прибора за один час работы равна $\theta_1 = \pm 0\ 001$ В Дополнительная погрешность, вызванная изменением напряжения питающей сети на 10% равна $\theta_2 = \pm 0{,}005$ В

Необходимо оценить погрешность измерения и записать окончательный результат при р = 0,95

После предварительной обработки измерительной информации на ПЭВМ были получены следующие результаты

$U_x = 1{,}2125 B$, $\sigma(U_x) = 1{,}21\ \ 10^{-3} B$

Первоначально оценим значение основной погрешности вольтметра

$\theta_o = \pm(0{,}001\ \ 1\,2125 + 0\ 001) = \pm 2{,}21\ \ 10^{-3} B$

Оценим границы систематической составляющей погрешности измерения по формуле (4)

$$\theta(p) = K\sqrt{\theta_o^2 + \theta_1^2 + \theta_2^2} = \pm 1{,}1\sqrt{0{,}00221^2 + 0{,}001^2 + 0\ 005^2} = \pm 6\ 10\ \ 10^{-3} B,$$

где коэффициент $K=1{,}1$ при р = 0,95 согласно п 5 6

Границы погрешности результата измерения определяем по формуле (11)

$$\Delta = \Delta(p) = K_{\Sigma}\ \ \sigma_{\Sigma}\left(\dot{\Delta}\right)$$

В рассматриваемом примере согласно приложению Б

$$K_{\Sigma} = 1{,}97 \text{ при } \frac{\theta(p)}{\sigma\left(\dot{\Delta}\right)} = \frac{6\ 10\ \ 10^{-3}}{1\ 21\ \ 10^{-3}} = 5{,}05 \text{ и } n = 15$$

СКО измерений $\sigma_{\Sigma}\left(\dot{\Delta}\right)$ определим по формуле (12 1):

$$\tilde{\sigma}_{\Sigma}\left(\dot{\Delta}\right)=\sqrt{\frac{1}{3}\sum_{j=1}^{m}\theta_j^2+\sigma^2\left(\dot{\Delta}\right)}=$$

$$=10^{-3}\sqrt{\frac{1}{3}\left(0{,}00221^2+0{,}001^2+0{,}005^2\right)+1{,}21^2}=\pm 3{,}42\ 10^{-3}B$$

Тогда граничные значения погрешности измерения равны:

$$\Delta=K_{\Sigma}\ \sigma_{\Sigma}\left(\dot{\Delta}\right)=\pm 1{,}97\ 3{,}42\ 10^{-3}=\pm 6{,}74\ 10^{-3}\approx\pm 7{,}00\ 10^{-3}B$$

Окончательный результат измерения напряжения на участке электрической цепи может быть представлен в виде:

$U=(1{,}213\pm 0{,}007)$ В, $p=0{,}95$.

Приложение Е
(рекомендуемое)

Пример расчета результирующей погрешности измерительного канала, состоящего из серийно выпускаемых узлов

Расчет проводим согласно алгоритму оценивания погрешности МВИ (рис.1).

1 Исходная информация

Канал состоит из трех узлов – реостатного датчика Д, усилителя У и регистратора Р (рисунок 2)

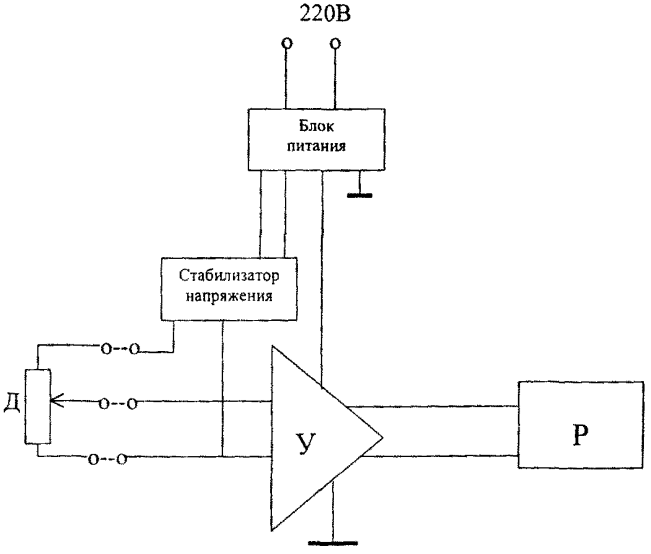

Рисунок 2

Нормируемые метрологические характеристики узлов канала

Датчик Д:

сопротивление $R_д$ = 200 Ом;

пределы допускаемой основной погрешности $\delta_{o\,д} = \pm 0{,}15\%$;

напряжение питания датчика 200 мВ через стабилизатор напряжения с коэффициентом стабилизации к = 25.

Усилитель У:

погрешность (коэффициент) влияния колебаний напряжения U питания на коэффициент усиления $\delta_{U_y} = \pm 0{,}3\% / (10\% \Delta U/U)$

дополнительная погрешность от влияния температуры

$\delta_{t_y} = \pm$ 0,2 %/10 ° С

Регистратор Р – вольтметр универсальный цифровой В7-40/1.

Предел допускаемых значений основной погрешности при измерении постоянного напряжения равен:

$$\pm\left[0{,}05 + 0{,}02\left(\frac{U_в}{U} - 1\right)\right]$$ на пределах 200 мВ; 2 В;

где: $U_в$ - верхнее значение установленного предела измерений;

U - значение измеряемого напряжения на входе.

Пределы допускаемых значений дополнительной погрешности равны пределам допускаемых значений основной погрешности измерения от изменения температуры на каждые 10° С в пределах рабочего диапазона температур.

Условия выполнения измерений.

Измерительный канал питается от сети (220 ± 22) В, 50 Гц.

Датчик установлен на стенде, где температура может изменяться в пределах (20 ± 15)° С.

Сопротивление каждой жилы линии связи между усилителем и датчиком ~ 2 Ом.

Напряжение наводки частотой 50 Гц, измеренное вольтметром универсальным электронным с входным сопротивлением (1 + 0,1) МОм составляет 1,8 В.

2 Расчет составляющих погрешности измерений.

а) Составляющие погрешности датчика.

Основная погрешность датчика нормирована по паспорту

$$\delta_{о\,д} = \pm 0{,}15\%$$

Температурная погрешность датчика (вместе в двумя жилами медной линии связи) при температурном коэффициенте линии $\alpha_t = + 4$ %/10°С в диапазоне (20 ± 15)° С составит

$$\Delta R = \frac{\Delta t}{10}\alpha_t R = \frac{15}{10}\frac{4}{100}2 = 0{,}12Ом,$$

что по отношению к сопротивлению датчика $R_Д$= 200 Ом составляет ± 0,06%.

Если эта погрешность не исключена изменением схемы включения датчика (компенсацией), то она должна быть учтена.

Погрешность датчика от колебания напряжения питания.

Стабилизатор снижает размах колебаний напряжения в 25 раз, поэтому на выходе стабилизатора предел допускаемого значения этой погрешности $\delta_{и\,д} = 10\%/25 = \pm 0{,}40\%$.

Погрешность коэффициента усиления усилителя вызывается колебаниями напряжения питания. Ее предельное значение составляет

$$\delta_{U_y} = 0{,}03\% \cdot 10 = \pm 0{,}30\ \%\ .$$

Погрешность смещения нуля усилителя при колебании температуры в помещении от 17 до 25° С (размах $\pm 4^{O}$С при среднем значении 21°С):

$$\delta_{iy} = \pm 0{,}2\% \frac{4^{\circ}C}{10^{\circ}C} = \pm 0{,}08\%\ .$$

Погрешность измерения вольтметра универсального цифрового (в средней точке диапазона)

$$\delta_{цв_{н\,у}} = \pm\left[0{,}05 + 0{,}02\left(\frac{200}{100} - 1\right)\right] = \pm 0{,}07\%\ .$$

Дополнительную погрешность измерения в пределах диапазона рабочих температур определяют по формуле :

$$\delta_{цв_t} = \delta_{цв_{н\,у}} \frac{\left|\ t_p - t_н\right|}{10},$$

где: $\delta_{цв}$ - погрешность измерения вольтметра при данной температуре окружающей среды;

$\delta_{цв_{н\,у}}$ -погрешность измерения вольтметра в нормальных условиях;

t_p - температура, при которой выполняются измерения;

$t_н$ - ближайшее к данной температуре измерения граничное значение температуры нормальных условий (15°С или 25°С)

При температуре в цехе t = 20 –15 = 5°С (или 20 + 15 = 35°С)

$$\delta_{цв_t} = \pm 0{,}07 \frac{|10 - 15|}{10} = \pm 0{,}07 \frac{|-5|}{10} = \pm 0{,}035\%$$

Погрешность от наводки на линию связи.

При напряжении наводки 1,8 В через электронный вольтметр проходит ток $I = \frac{U}{R} = \pm 1{,}8/10^6 = \pm 18 \cdot 10^{-7} A$.

Падение напряжения при замыкании линии на датчик сопротивлением $R_д$= 200 Ом составит

$U = 18 \cdot 10^{-7}\ 200 = 3{,}6 \cdot 10^{-4} = 0{,}36$ мВ

Погрешность наводки при максимальном сигнале с датчика, равном 200 мВ, будет

$$\delta_{нав} = \pm \frac{0{,}36 \cdot 100}{200} = \pm 0{,}18\%.$$

Проводим предварительное суммирование составляющих относительной погрешности измерений по формуле (16).

Принимаем значение коэффициента К=1,2 (для оценок границ погрешности наиболее важных параметров)

$$\bar{\delta} = 1{,}2\sqrt{\delta_{о\,д}^2 + \delta_{т\,с}^2 + \delta_{и\,д}^2 + \delta_{U\,у}^2 + \delta_{t\,у}^2 + \delta_{ЦВн\,у}^2 + \delta_{ЦВt}^2 + \delta_{нав}^2} =$$

$$1{,}2\sqrt{0{,}15^2 + 0.06^2 + 0{,}40^2 + 0{,}30^2 + 0{,}08^2 + 0{,}07^2 + 0{,}035^2 + 0{,}18^2} = \pm 0{,}68\%$$

Оцениваем существенные составляющие погрешности. Таковыми являются $\delta_{и\,д}$=± 0,40% и $\delta_{Uу}$=± 0,30%, так как квадраты их значений составляют более 20% суммы квадратов всех составляющих.

Причин неточности расчета этих составляющих погрешности не установлено, а дополнительная информация для более точного расчета отсутствует. Поэтому результат предварительного суммирования составляющих погрешности измерений принимаем в качестве окончательного.

Оценим погрешность оценки погрешности измерений при условии, что приписанная или требуемая погрешность МВИ $\delta_{треб}$= ±0,8%.

Определяем погрешность оценки погрешности по формуле (19):

$$\frac{100\left|\delta_{треб} - \bar{\delta}\right|}{\bar{\delta}} = \frac{100|0{,}80 - 0{,}68|}{0{,}68} = 17{,}65\% < 30\%.$$

Вывод: погрешность оценки погрешности измерений может считаться удовлетворительной.

Зам. директора ГУП ВНИИЖТ В.И Панферов

Заведующий отделением сертификации, метрологии и стандартизации А.А.Хацкелевич

Заведующий отделом стандартизации, метрологии средств испытаний и измерений Н.И.Ананьев

Зав лабораторией Ю.Я.Яныгин

Исполнитель
инженер 1 категории
Н.А.Ягодкина

СОГЛАСОВАНО

Заместитель руководителя Департамента технической политики МПС России Ю.А.Юрченко

Зам. начальника БОМС – ГУП ПКБ ЭЛ Я.Д. Гуральник

Главный метролог БОМС – ГУП ПТКБ ЦП Б.П. Дементьев

Главный метролог БОМС – ГУП ПКБ ЦТ В.С. Ожаровский

Главный метролог БОМС – ПКБ ЦВ Ю.Н. Мамунц

Главный метролог БОМС - ПКБ ЦЛ Н.П. Поликарпова

Главный метролог БОМС – ГУП ЦСС А Н. Молодцов

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Москва

"18" 01 2001г № М-65у

УКАЗАНИЕ

Руководителям департаментов
(по списку)
Начальникам железных дорог
Руководителям организаций
и предприятий (по списку)

Об утверждении и введении
в действие Р 32 160-2000

В целях совершенствования метрологического обеспечения на железнодорожном транспорте и реализации Закона Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» Министерство путей сообщения Российской Федерации ПРИКАЗЫВАЕТ·

Утвердить и ввести в действие с 1 марта 2001 г рекомендации по метрологии Р 32 160-2000 «Выбор методов, средств и алгоритмов оценивания погрешностей измерений при аттестации отраслевых методик выполнения измерений»

Приложение Р 32 160-2000 на 27 л

Первый заместитель Министра А С Мишарин



gost.e-ecolog.ru

Швейковская ЦТех 2 57 13