

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕТРОЛОГИИ

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

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 $\frac{\theta(p)}{\sigma(\Delta)}$	
и доверительной вероятности p	12
Приложение Б Значения K_{\sum} в зависимости от числа наблюдений n для вероятности $p=0,95$ и отношения $\frac{\theta(p)}{\sigma(\Delta)}$	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 много-кратных 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 (Δ_m),
- инструментальные составляющие (Δ_{in}),
- составляющие, вносимые оператором (субъективные) (Δ_{op})

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 (Δ_o),
- дополнительной погрешности в статическом режиме (Δ_{don}),
- динамической погрешности (Δ_{din}),
- погрешности, возникающие из-за взаимодействия СИ с контролируемым объектом и элементами измерительного канала (Δ_{vv}),
- погрешности, вносимые различного рода вспомогательными устройствами (линиями связи, коммутаторами и т п) (Δ_{vcp})

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:

$$\Delta = \Delta_m * \Delta_o * \Delta_{\text{доп}} * \Delta_{\text{дин}} * \Delta_{\text{вв}} * \Delta_{\text{всп}} * \Delta_{\text{оп}}, \quad (1)$$

где * - символ объединения.

Формула (1) представляет собой символьическую 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 $\Delta_{\text{дин}}$, $\Delta_{\text{вв}}$, $\Delta_{\text{всп}}$, не требуется, например при измерениях геометрических величин в статике, а $\Delta_{\text{оп}}$ при использовании цифровых СИ отсутствует.

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

$$\Delta = \Delta_m * \Delta_o * \Delta_{\text{доп}} \quad (2).$$

Полученная расчетом оценка погрешности результатов измерений

Δ должна быть меньше или равна требуемой (приписанной) погрешности $\Delta_{\text{треб}}$:

$$\Delta \leq \Delta_{\text{треб}} \quad (3).$$

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 Δ_o 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.

P 32.160-2000

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_{α} и случайной δ_{α} составляющих погрешности измерений по ГОСТ 8.207:

- выявляют номенклатуру составляющих систематической погрешности;

Р 32.160-2000



Рисунок 1 Алгоритм оценивания погрешности МВИ

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

Находят:

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

где: m - число составляющих систематической погрешности;

K – коэффициент, определяемый доверительной вероятностью (p):

при $p = 0,95$ $K = 1,1$;

при $p = 0,99$ коэффициент принимают:

$K = 1,4$, если $m > 4$;

$K = 1,2-1,3$, если $m \leq 4$ (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:

$$\sigma(\hat{\Delta}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)}, \quad (5)$$

где: X_i – результат отдельного наблюдения в ряду измерений;

\bar{X} – среднее арифметическое из n наблюдений.

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

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

Оценивают СКО (среднего арифметического) результата измерения

$$\tilde{\sigma}(\Delta) = \frac{\sigma(\hat{\Delta})}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} \quad (7).$$

P 32.160-2000

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

На основе сведений о составляющих $\sigma(\dot{\Delta})$ случайной погрешности СКО результата измерения рассчитывают по формуле:

$$\tilde{\sigma}(\dot{\Delta}) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma^2(\dot{\Delta}_i)}, \quad (8)$$

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

Определяют значение отношения $\theta(p)/\tilde{\sigma}(\dot{\Delta})$.

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

$$\Delta = \dot{\Delta}_{sp}(p) = \pm t \tilde{\sigma}(\dot{\Delta}), \quad (9)$$

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

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

Если $0,8 \leq \theta(p)/\tilde{\sigma}(\dot{\Delta}) \leq 8$, то границы интервала, в котором погрешность МВИ находится с вероятностью p , рассчитывают по формулам:

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

$$\Delta = \Delta(p) = K_1 \left[\theta(p) + \dot{\Delta}_{sp}(p) \right], \quad (10)$$

где : коэффициент K_1 выбирается из таблицы приложения А в зависимости от отношения $\frac{\theta(p)}{\tilde{\sigma}(\dot{\Delta})}$ и доверительной вероятности p ;

пример расчета Δ приведен в приложении Г;

- при прямых многократных измерениях:

$$\Delta = \Delta(p) = K_{\Sigma} \hat{\sigma}_{\Sigma} \left(\dot{\Delta} \right), \quad (11)$$

$$\text{где. } K_{\Sigma} = \frac{\theta(p) + \hat{\Delta}_{sp}(p)}{\hat{\sigma}(\Delta_c) + \hat{\sigma}\left(\dot{\Delta}\right)} \quad (12)$$

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

значения K_{Σ} для различных отношений $\frac{\theta(p)}{\hat{\sigma}(\dot{\Delta})}$ и в зависимости

от числа наблюдений n для вероятности $p = 0,95$ приведены в приложении Б;

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

m - число составляющих систематической погрешности;

пример расчета Δ приведен в приложении Д;

- при косвенных измерениях с однократным измерением аргументов:

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

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: $\dot{\Delta}_{sp}(p)$ вычисляют по формуле (9);

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

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

m - число составляющих аргументов.

P 32.160-2000

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 $\Delta_{o,1}$ -го СИ преобразуют в соответствующий предел для относительной основной погрешности $\delta_{o,1}$ -го СИ

$$\delta_{o,1} = \frac{\Delta_{o,1}}{X_{nom}} \cdot 100\%, \quad (15)$$

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

Аналогично переводятся $\Delta_{don,1}$ в $\delta_{don,1}$, $\Delta_{din,1}$ в $\delta_{din,1}$ и т.п.

- затем производят суммирование при последовательном соединении СИ и вспомогательных устройств

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

где $\bar{\delta}_i$ - 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

$$\bar{\delta} = \sum [\bar{\delta}_i], \quad (17)$$

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

6 Качественная оценка приемлемости оценки погрешности МВИ

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

$$\bar{\delta} = \frac{\Delta}{X} \cdot 100\%, \quad (18)$$

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

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

- для наиболее важных параметров

$$\delta_{\bar{\delta}} < 100 \frac{|\delta_{\text{треб}} - \bar{\delta}|}{\bar{\delta}}, \quad (19)$$

- для параметров, не относящихся к наиболее важным

$$\delta_{\bar{\delta}} < \frac{100}{\bar{\delta}} \left\{ \delta_{\text{треб}}^2 - \bar{\delta}^2 \right\}^{0.5} \quad (20)$$

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

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

Пример расчета суммарной (результатирующей) 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 $\frac{\theta(p)}{\sigma(\dot{\Delta})}$

и доверительной вероятности p

$\frac{\theta(p)}{\sigma(\dot{\Delta})}$	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
$p = 0,99$	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 $\frac{\theta(p)}{\sigma(\dot{\Delta})}$

$\frac{\theta(p)}{\sigma(\dot{\Delta})}$	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 результирующих 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

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

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

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

$$\text{в абсолютной форме} - \theta_{\circ} = \pm 0,081 \text{ В}$$

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

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

$$\text{СКО по условию составляет } \sigma(\overset{\circ}{\Delta}) \leq \frac{1}{5} 0,081 = \pm 0,017 \text{ В}$$

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

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

P 32.160-2000

Погрешность измерения напряжения вольтметром В3-49 равна

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

где коэффициент $K_1 \sim 0,8$ при $\frac{\theta(p)}{\sigma(\Delta)} = 6,5$ и доверительной вероят-

ности $p = 0,95$ (приложение А)

Окончательный результат может быть представлен в виде

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

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 характеристики прибора за один час работы равна $\theta_i = \pm 0,001$ 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 $p = 0,95$.

После предварительной обработки измерительной информации на ПЭВМ были получены следующие результаты

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

Первоначально оценим значение основной погрешности вольтметра

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

Оценим границы систематической составляющей погрешности измерения по формуле (4)

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

где коэффициент $K=1,1$ при $p = 0,95$ согласно п 5 6

Границы погрешности результата измерения определяем по формуле (11)

$$\Delta = \Delta(p) = K \sum \sigma \left(\frac{\Delta}{\Delta} \right)$$

В рассматриваемом примере согласно приложению Б

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

СКО измерений $\sigma_{\sum}(\dot{\Delta})$ определим по формуле (12.1):

$$\begin{aligned}\hat{\sigma}_{\sum}(\dot{\Delta}) &= \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{j=1}^m \theta_j^2 + \sigma^2(\dot{\Delta})} = \\ &= 10^{-3} \sqrt{\frac{1}{3} (0,00221^2 + 0,001^2 + 0,005^2) + 1,21^2} = \pm 3,42 \cdot 10^{-3} B\end{aligned}$$

Тогда граничные значения погрешности измерения равны:

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

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

$$U = (1,213 \pm 0,007) B, \quad p = 0,95.$$

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)

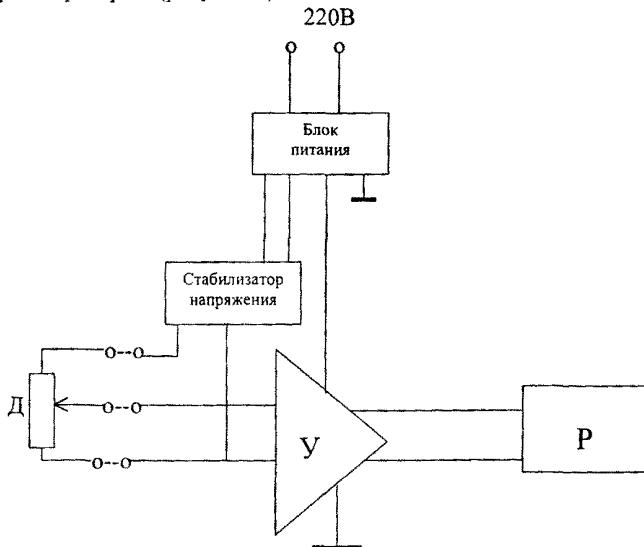


Рисунок 2

Нормируемые метрологические характеристики узлов канала

Датчик Д:

сопротивление $R_d = 200 \text{ Ом}$;

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

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

Усилитель У:

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

дополнительная погрешность от влияния температуры

$$\delta_t = \pm 0,2\% / 10^\circ C$$

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

Предел допускаемых значений основной погрешности при измерении постоянного напряжения равен:

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

где: U_s – 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 $10^\circ C$ 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 $(20 \pm 15)^\circ C$.

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

$$\delta_{o_d} = \pm 0,15\%$$

Температурная погрешность датчика (вместе в двумя жилами медной линии связи) при температурном коэффициенте линии

$\alpha_t = +4\% / 10^\circ C$ в диапазоне $(20 \pm 15)^\circ C$ составит

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

что по отношению к сопротивлению датчика $R_d = 200$ Ом составляет $\pm 0,06\%$.

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 $\delta_{u_d} = 10\% / 25 = \pm 0,40\%$.

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°C (размах $\pm 4^{\circ}\text{C}$ при среднем значении 21°C):

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

Погрешность измерения вольтметра универсального цифрового (в средней точке диапазона)

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

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

$$\delta_{ue} = \delta_{ue} \frac{|t_p - t_n|}{10},$$

где: δ_{ue} - погрешность измерения вольтметра при данной температуре окружающей среды;

δ_{ue_n} - погрешность измерения вольтметра в нормальных условиях;

t_p - температура, при которой выполняются измерения;

t_n - ближайшее к данной температуре измерения граничное значение температуры нормальных условий (15°C или 25°C)

При температуре в цехе $t = 20 - 15 = 5^{\circ}\text{C}$ (или $20 + 15 = 35^{\circ}\text{C}$)

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

Погрешность от наводки на линию связи.

P 32.160-2000

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 со-противлением $R_d = 200 \Omega$ составит

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

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

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

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

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

$$\bar{\delta} = 1,2 \sqrt{\delta_{o,d}^2 + \delta_{i,c}^2 + \delta_{u,d}^2 + \delta_{u,y}^2 + \delta_{I,y}^2 + \delta_{UBH,y}^2 + \delta_{UBI}^2 + \delta_{\text{нав}}^2} = \\ 1,2 \sqrt{0,15^2 + 0,06^2 + 0,40^2 + 0,30^2 + 0,08^2 + 0,07^2 + 0,035^2 + 0,18^2} = \pm 0,68\%$$

Оцениваем существенные составляющие погрешности. Таковыми являются $\delta_{i,d} = \pm 0,40\%$ и $\delta_{u,y} = \pm 0,30\%$, 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 $\delta_{\text{пред}} = \pm 0,8\%$.

Определяем погрешность оценки погрешности по формуле (19):

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

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

А.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-654

У К А З А Н И Е

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

