Группа Т80

РЕКОМЕНДАЦИЯ

ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации

МИ 2232-92

Настоящая рекомендация устанавливает методику оценивания погрешности измерений, погрешности измерительных каналов ИИС и АСУТП расчетным и расчетно-экспериментальным способами в условиях ограниченной исходной информации в случаях, когда прямое экспериментальное оценивание погрешности практически невозможно.

Рекомендация может быть использована при разработке программ и методик метрологической аттестации средств измерений, измерительных каналов ИИС и АСУТП, методик выполнения измерений.

1. ТИПИЧНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ И ДОПУЩЕНИЯ, ПРИНИМАЕМЫЕ ПРИ ОЦЕНИВАНИИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. В числе нормируемых метрологических характеристик средств измерений общепромышленного применения, как правило, отсутствуют характеристики систематических и случайных составляющих погрешности, функции влияния и ряд других, предусмотренные ГОСТ 8.009.

Для большинства типов средств измерений характерно нормирование следующих метрологических характеристик:

- пределы допускаемых значений основной погрешности,
- пределы допускаемых значений дополнительных погрешностей при наибольших отклонениях внешних влияющих величин от нормальных значений либо максимально допускаемые значения коэффициентов влияния,
- некоторые частные динамические характеристики (АЧХ, интервал времени установления выходного сигнала и т.п.).

В таких условиях принимают следующие типичные допущения:

- СКО основной погрешности равно 0,5 предела допускаемых значений;
- СКО дополнительной погрешности равно 0,5 предела допускаемых значений, функция влияния принимается ступенчатой;
- матожидание основной и дополнительных погрешностей равно 0;
- в качестве матожиданий коэффициентов влияния принимаются их нормированные максимально допускаемые значения.

gost.e-ecolog.ru

1.2. При расчете погрешности измерений обычно отсутствует следующая исходная информация (дополнительно к п. 1.1.):

- характеристики корреляции между составляющими погрешности измерений;
- характеристики корреляции между погрешностью измерений текущих значений, по которым вычисляются средние или суммарные значения измеряемой величины и соответствующие погрешности этих значений;
- вид функции распределения внешних влияющих величин;
- частотные характеристики изменений измеряемой величины и внешних влияющих величин.

В таких условиях принимают следующие типичные допущения;

- корреляция между составляющими погрешности измерений отсутствует;
- в отношении корреляции между погрешностями измерений текущих значений принимаются два типичных допущения - отсутствие корреляции (погрешность измерений текущих значений считается высокочастотной случайной величиной) или сильная корреляция (погрешность измерений текущих значений считается неизменной систематической величиной в интервале времени усреднения или суммирования текущих значений измеряемого параметра);
- функции распределения характеристик внешних влияющих величин принимаются равномерными или нормальными;
- в большинстве случаев частотные характеристики изменений измеряемой величины и внешних влияющих величин не принимаются во внимание, т.к. считается, что инерционные свойства средств измерений не оказывают существенного влияния на погрешность измерений многих измеряемых технологических параметров.

1.3. При экспериментальных процедурах оценивания погрешности измерений обычно имеют место следующие ограничения исходной информации (дополнительно к п.1.1.) и условий эксперимента:

- заранее неизвестна комбинация возможных значений внешних влияющих величин, вызывающая наибольшую погрешность измерений, а также их частотный спектр; чаще всего создать такую комбинацию практически невозможно;
- заранее неизвестно соотношение между погрешностью средств измерений, с помощью которых осуществляется эксперимент, и оцениваемой погрешностью;
- заранее неизвестны входящие в измерительный канал средства измерений (часть средств измерений), которые вносят существенный вклад в общую погрешность измерений.

В таких условиях принимают следующие типичные допущения:

- случайная составляющая погрешности измерений принимается высокочастотной и ее конкретные значения, полученные при повторении экспериментальных процедур в течение времени эксперимента, считаются некоррелированными; вычисленные на основе таких эксперимен-

тальных данных СКО (дисперсия) случайной погрешности приписывается значительно большим интервалам времени;

- систематические составляющие, полученные в течение времени эксперимента, считаются постоянными и приписываются значительно большим интервалам времени;

- случайную комбинацию значений внешних влияющих величин, которая имела место при эксперименте, принимают как типичную, либо как наихудшую (для погрешности измерений) в условиях эксплуатации средств измерений;

- погрешность выбранных для проведения экспериментов средств измерений принимается несущественной;

- при проведении экспериментального оценивания погрешности части измерительного канала принимается, что эта часть вносит существенный вклад в общую погрешность измерений.

1.4. Указанные в п.п.1.1.-1.3 и другие допущения приводят к погрешностям расчетных и экспериментальных оценок погрешности измерений.

1.5. Определение погрешностей расчетных и экспериментальных оценок погрешности измерений приведено в приложении 1.

2. УСЛОВИЯ УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ ОЦЕНОК ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. При наличии требований к точности результатов измерений наиболее важных параметров, используемых для реализации функций аварийной защиты и блокировки, контроля за соблюдением требований техники безопасности и экологической безопасности, контроля характеристик готовой продукции, общее условие удовлетворительной точности оценки границы погрешности измерений может быть следующим:

$$\delta_{\bar{\delta}} < 100 \cdot \frac{[\delta_\partial - \bar{\delta}]}{\bar{\delta}},$$

где $\delta_{\bar{\delta}}$ - относительная погрешность (без учета знака) оценки границы относительной погрешности измерений, % (см. приложение 1);

$\bar{\delta}$ - оценка границы относительной погрешности измерений (без учета знака), %;

δ_∂ - предел допускаемых значений относительной погрешности измерений без учета знака, % (устанавливается, исходя из требований обеспечения эффективности реализации указанных выше функций независимо от точности оценок границ погрешности измерений);

$[\delta_\partial - \bar{\delta}]$ - абсолютное значение (модуль) разности δ_∂ и $\bar{\delta}$.

2.2. При наличии требований к точности измерений наиболее важных параметров, не перечисленных в п. 2.1., общее условие удовлетворительной точности оценки границы погрешности измерений может быть следующим:

$$\delta_{\bar{\delta}} < \frac{100}{\bar{\delta}} \left\{ [\delta_\partial^2 - \bar{\delta}^2] \right\}^{0,5},$$

где $[\delta_\partial^2 - \bar{\delta}^2]$ - абсолютное значение разности квадратов δ_∂ и $\bar{\delta}$.

Аналогично выражаются указанные условия для точности оценок границ абсолютной погрешности измерений:

- для погрешности измерений наиболее важных технологических параметров, указанных в п. 2.1,

$$\Delta_{\bar{\Delta}} < [\Delta_\partial - \bar{\Delta}];$$

- для погрешности измерений наиболее важных технологических параметров, не указанных в п. 2.1,

$$\Delta_{\bar{\Delta}} < \left\{ [\Delta_\partial^2 - \bar{\Delta}^2] \right\}^{0,5}.$$

Эти условия целесообразно использовать, когда номинальное значение измеряемого технологического параметра равно или близко к 0.

2.3. Если отсутствуют требования к точности измерений, то точность оценки границы погрешности измерений может считаться удовлетворительной, если относительная погрешность оценки не превышает 30%.

2.4. Если погрешность оценки погрешности измерений не удовлетворяет условиям, приведенным в п.п. 2.1. - 2.3, то решение об использовании такой оценки погрешности измерений может быть принято при незначительных возможных экономических потерях или других неблагоприятных последствиях из-за погрешности измерений.

3. АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ (рис. 1).

3.1. Расчет составляющих погрешности измерений выполняется на основе исходной информации в соответствии с рекомендациями приложения 2.

Результаты расчета целесообразно выразить в виде границ составляющих относительной погрешности либо абсолютной погрешности в единицах измеряемой величины.

В качестве примера в приложении 3 приведены некоторые варианты измерительных каналов ИИС и АСУ ТП, типичные условия измерений и доли составляющих погрешности измерений, соответствующие компонентам измерительных каналов и внешним влияющим величинам.

3.2. Для параметров, не относящихся к наиболее важным, проводится суммирование составляющих, в результате чего получают оценку границы погрешности измерений.

Типичные способы суммирования составляющих погрешности измерений (при ограниченной исходной информации) приведены в приложении 4.

3.3. Для наиболее важных параметров необходимо выделить существенные составляющие погрешности измерений.

Составляющая принимается существенной, если квадрат значения ее границы больше 20 % квадрата значения границы погрешности измерений (полученного по результатам предварительного квадратичного суммирования составляющих погрешности измерений).

Уровень существенности составляющей при арифметическом суммировании - 30 % . Для конкретного наиболее важного параметра такой уровень существенности составляющих погрешности измерений может быть установлен в зависимости от значимости параметра в системе управления технологическим процессом.

3.4. Для существенных составляющих погрешности измерений наиболее важных параметров необходимо выявить возможность их экспериментального определения.

Экспериментальное оценивание составляющих погрешности измерений может быть осуществлено достаточно корректно, если имеется возможность измерять с необходимой точностью величины на входе и выходе средств измерений и задавать типичные комбинации значений внешней влияющей величины и измеряемой величины на входе в условиях эксплуатации средств измерений (методические составляющие погрешности измерений параметров обычно оцениваются аналитически).

Экспериментальное определение существенных составляющих погрешности измерений при выполнении указанных условий может дать более точные оценки по сравнению с расчетом.

Точность экспериментального оценивания составляющих погрешности измерений может быть принята удовлетворительной, если погрешность оценки не превышает 30 % от самой оценки.

3.5. Для существенных составляющих погрешности измерений наиболее важных параметров, которые не могут быть достаточно корректно определены экспериментально, целесообразно выявить причины неточности расчета границ составляющих погрешности из-за неполноты

исходных данных и принятых в этой связи допущений, получить дополнительную информацию и произвести новый расчет.

3.6. Оцененные расчетным или экспериментальным способом границы составляющих погрешности измерений суммируют в соответствии с рекомендациями приложения 4. При этом принято значение вероятности, равное 1.

3.7. Если оценка границы погрешности измерений наиболее важного параметра весьма близка к заданному пределу допускаемых значений или соизмерима с допуском на измеряемый параметр (при отсутствии требований к точности измерений), то из-за неточности оценки могут возникнуть сомнения в возможности использования этой оценки, например, при принятии решения о соответствии погрешности измерений заданным требованиям.

В этих случаях для наиболее важных параметров целесообразно выполнить расчет погрешности оценки границы погрешности измерений в соответствии с рекомендациями приложения 1. Такой расчет и использование рекомендаций данного приложения целесообразны, если погрешность измерений вызывает чрезмерно большие потери или имеются грубые нарушения условий безопасности работы и экологической безопасности.

Решение вопроса об удовлетворительной точности оценки границы погрешности измерений принимается в соответствии с п. 2.

Если точность оценки границы погрешности измерений признается удовлетворительной, то такая оценка используется по своему назначению.

Если точность оценки границы погрешности измерений признается неудовлетворительной, то необходимо провести исследования и выявить дополнительную исходную информацию для более точного расчета существенных составляющих, полученных ранее с наибольшими погрешностями их оценок, либо выполнить более точное экспериментальное определение этих составляющих.

Далее необходимо выполнить суммирование составляющих и расчет погрешности оценки границы погрешности измерений.

Если погрешность оценки границы погрешности измерений наиболее важного параметра оказывается существенной и ей нельзя пренебречь, то решение о возможности использования такой оценки погрешности измерений принимается в соответствии с рекомендациями п. 2.4.

4. УПРОЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ
(рис.2)

Этот алгоритм может быть использован, если экономические потери или другие неблагоприятные последствия из-за погрешности измерений незначительны, либо опыт оценивания погрешности расчетных оценок погрешности измерений показывает, что точность оценок удовлетворительна.

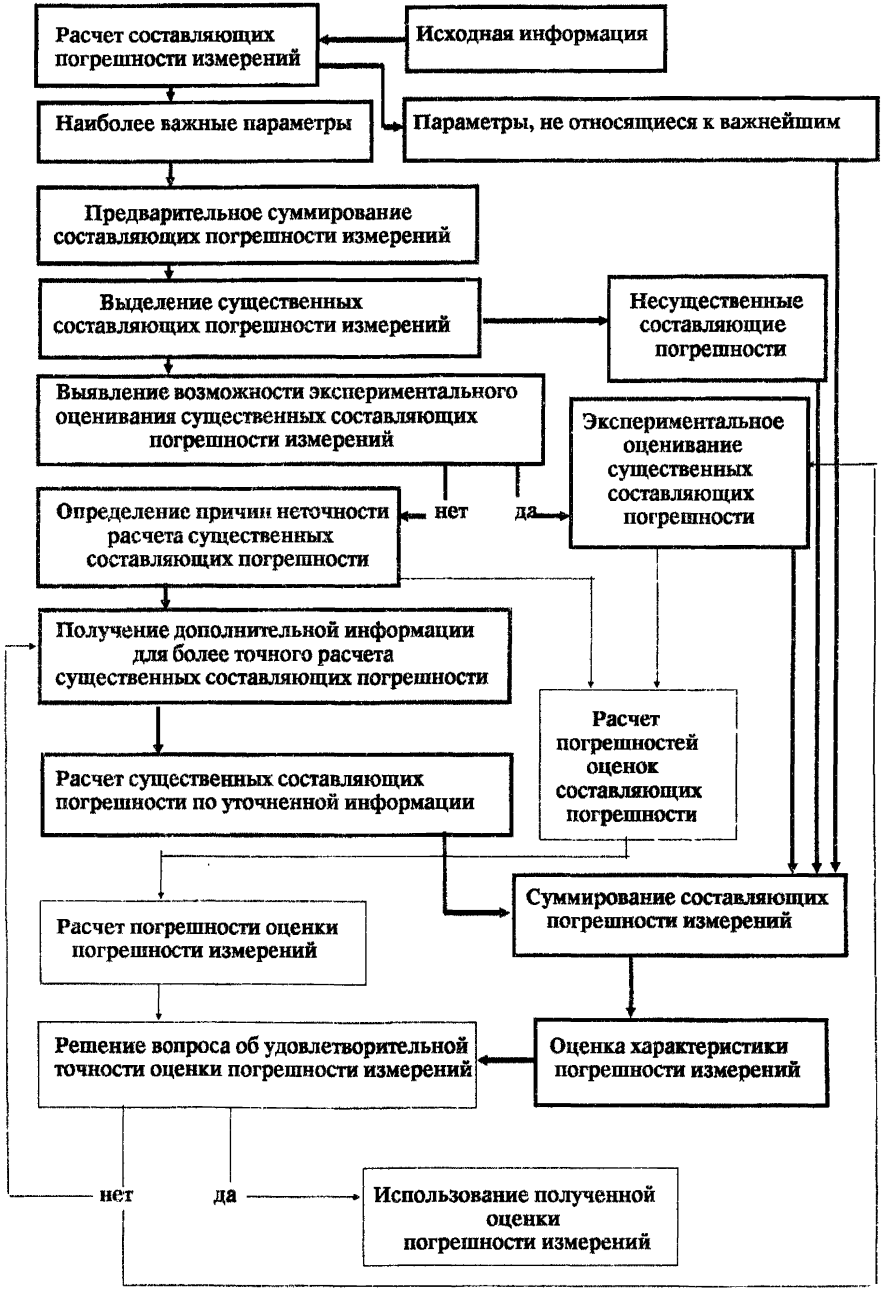

Расчет составляющих погрешности измерений
Исходная информация
Наиболее важные параметры
Параметры, не относящиеся к важнейшим
Предварительное суммирование составляющих погрешности измерений
Выделение существенных составляющих погрешности измерений
Несущественные составляющие погрешности
Выявление возможности экспериментального оценивания существенных составляющих погрешности измерений
Экспериментальное оценивание существенных составляющих погрешности
Определение причин неточности расчета существенных составляющих погрешности
нет
да
Получение дополнительной информации для более точного расчета существенных составляющих погрешности
Расчет погрешностей оценок составляющих погрешности
Расчет существенных составляющих погрешности по уточненной информации
Суммирование составляющих погрешности измерений
Расчет погрешности оценки погрешности измерений
Решение вопроса об удовлетворительной точности оценки погрешности измерений
Оценка характеристики погрешности измерений
нет
да
Использование полученной оценки погрешности измерений

Рис. 1

4.1. Расчет составляющих погрешности измерений (п. 3.1.).

4.2. Суммирование составляющих погрешности измерений параметров, не относящихся к наиболее важным (п. 3.2.).

4.3. Выделение существенных составляющих погрешности измерений наиболее важных параметров (п. 3.3.).

4.4. Выявление дополнительной исходной информации для более точного расчета существенных составляющих погрешности измерений наиболее важных параметров (п. 3.5.).

4.5. Суммирование составляющих погрешности измерений наиболее важных параметров (3.6.).

5. Расчет границ составляющих относительной погрешности измерений и суммирование этих составляющих, а также ориентировочный расчет погрешности оценок границ погрешности измерений целесообразно выполнять на персональных ЭВМ с помощью автоматизированной системы расчета погрешности измерений (АСРПИ).

Рекомендуемые требования к такой системе приведены в приложении 5.


Расчет составляющих погрешности измерений
Исходная информация
Наиболее важные параметры
Параметры, не относящиеся к важнейшим
Предварительное суммирование составляющих погрешности измерений
Выделение существенных составляющих погрешности измерений
Несущественные составляющие погрешности
Определение причин неточности расчета существенных составляющих погрешности
Получение дополнительной информации для более точного расчета существенных составляющих погрешности
Расчет существенных составляющих погрешности по уточненной информации
Суммирование составляющих погрешности измерений
Оценка характеристики погрешности измерений

Рис.2

Погрешности оценок погрешности измерений, вызванные ограничениями исходной информации, условиями эксперимента и принятыми в этой связи типичными допущениями

1. Погрешности расчетных оценок границ погрешности измерений, вызванные некоторыми из типичных допущений, приведенных в п.п. 1.1 и 1.2 настоящих рекомендаций.

1.1. Принимается линейная (ступенчатая) функция влияния при нормировании предела допускаемых значений дополнительной погрешности, приписанного максимальному допускаемому отклонению i-ой внешней влияющей величины от нормального значения. Максимальная относительная погрешность оценки границы i-ой составляющей погрешности измерений может быть рассчитана следующим образом:

$$\delta\,\overline{\delta}_i = \frac{[\overline{\delta}_{ic} - \overline{\delta}_{iл}]}{\overline{\delta}_{i\,c(л)}} \cdot 100\,,$$

где $\overline{\delta}_{ic}$ - оценка границы i-ой составляющей относительной погрешности измерений при ступенчатой функции влияния,

$\overline{\delta}_{iл}$ - то же при линейной функции влияния,

$\overline{\delta}_{i\,c(л)}$ - одна из оценок $\overline{\delta}_{ic}$ или $\overline{\delta}_{iл}$ для принятого вида функции влияния.

1.2. Принимается нормальное распределение основной погрешности средства измерений (в пределах однотипной совокупности). Возможно и равномерное распределение. В этом случае можно принять в качестве максимальной относительной погрешности оценки границы q-ой составляющей погрешности измерений $\delta\,\overline{\delta}_q = 15\ \%$.

1.3. Принимается равномерное (нормальное) распределение j-ой внешней влияющей величины, в то время как в действительности ее распределение может быть нормальным (равномерным).

В этом случае максимальная относительная погрешность оценки границы j-ой составляющей, погрешности измерений не превышает $\delta\,\overline{\delta}_j = 15\ \%$.

1.4. Принимается в качестве матожидания l-го коэффициента влияния его нормированное максимально допускаемое значение. В этом случае можно принять в качестве максимальной относительной погрешности границы l-ой составляющей погрешности измерений $\delta\,\overline{\delta}_l = 25\ \%$.

1.5. Принимается некоррелированность составляющих погрешности измерений, в то время как некоторые из них вызываются одними и теми же внешними влияющими величинами.

В этом случае максимальная относительная погрешность оценки границы погрешности измерений из-за неучета корреляции между составляющими может быть рассчитана следующим образом:

$$\delta_{\delta_к} = \frac{140}{\bar{\delta}} \cdot \left(\sum_{p<5} \bar{\delta}_p \bar{\delta}_s\right)^{0,5},$$

где $\bar{\delta}$ - оценка границы относительной погрешности измерений без учета корреляции,

$\bar{\delta}_p$ и $\bar{\delta}_s$ - оценки границ составляющих относительной погрешности измерений, вызванных одними и теми же внешними влияющими величинами.

1.6. Максимальная относительная погрешность расчетной оценки границы погрешности измерений, вызванная всеми или частью допущений, приведенных выше, может быть рассчитана следующим образом:

$$\delta_{\bar{\delta}} = \left(\sum \frac{(\bar{\delta}_r \delta_{\bar{\delta}_r})^2}{\bar{\delta}^2} + \delta^2_{\bar{\delta}_к}\right)^{0,5},$$

где $\bar{\delta}$ - оценка границы относительной погрешности измерений;

$\bar{\delta}_r$ и $\delta_{\bar{\delta}_r}$ - оценка границы составляющей и ее максимальная относительная погрешность из числа указанных в п.п. 1.1. - 1.4. настоящего приложения;

$\delta_{\bar{\delta}_к}$ - максимальная относительная погрешность оценки границы погрешности измерений, вычисленная согласно п. 1.5. настоящего приложения.

2. Погрешности экспериментальных оценок границ погрешности измерений, вызванные некоторыми из типичных допущений, приведенных в п.п. 1.1. и 1.3. настоящих рекомендаций.

2.1. Принимаются несущественными погрешности средств измерений, используемых для экспериментального оценивания i-ой составляющей погрешности измерений.

В этом случае максимальная относительная погрешность оценки границы i-ой составляющей погрешности измерений может быть рассчитана следующим образом:

$$\delta_{\bar{\delta}_{эi}} = \left(\frac{1}{|\bar{\delta}_{эi}|} \cdot \left(\bar{\delta}^2_{эi} + \sum \bar{\delta}^2_{id}\right)^{0,5} - 1\right) \cdot 100,$$

$\bar{\delta}_{эi}$ - экспериментальная оценка границы i-ой составляющей погрешности измерений, $|\bar{\delta}_{эi}|$ - ее модуль;

$\overline{\delta_{id}}$ - расчетная оценка границы составляющей относительной погрешности измерений, вносимой погрешностью средств измерений, используемых при экспериментальном оценивании i-ой составляющей.

2.2. Экспериментальная оценка составляющей погрешности измерений, полученная в конкретных условиях, приписывается совокупности возможных значений внешних влияющих величин в процессе эксплуатации средств измерений. В этом случае максимальная относительная погрешность оценки границы j-ой составляющей относительной погрешности измерений может быть рассчитана следующим образом:

$$\delta_{\overline{\delta_{эj}}} = \frac{|\overline{\delta_{эj}}| - |\overline{\delta_j}|}{|\overline{\delta_{эj}}|} \cdot 100 ,$$

где $\overline{\delta_{эj}}$ - экспериментальная оценка границы j-ой составляющей относительной погрешности измерений, $|\overline{\delta_{эj}}|$ - ее модуль;

$\overline{\delta_j}$ - расчетная оценка границы, j-ой составляющей относительной погрешности измерений, полученная по нормированным характеристикам средства измерений при условии наибольших возможных отклонений внешних влияющих величин от нормальных значений, $|\overline{\delta_j}|$ - ее модуль.

Примечание к п.п. 1.1., 1.5., 1.6., 2.1., 2.2.: если номинальное значение измеряемого параметра равно или близко к 0, то вместо относительных значений $\overline{\delta_{iC}}, \overline{\delta_{iл}}, \overline{\delta}, \overline{\delta_p}, \overline{\delta_S}, \overline{\delta_r}, \overline{\delta_{эi}}, \overline{\delta_{id}}, \overline{\delta_{эj}}, \overline{\delta_j}$ необходимо использовать соответствующие оценки границ составляющих и самой абсолютной погрешности измерений $\overline{\Delta_{iC}}, \overline{\Delta_{iл}}, \overline{\Delta}, \overline{\Delta_p}, \overline{\Delta_S}, \overline{\Delta_r}, \overline{\Delta_{эi}}, \overline{\Delta_{id}}, \overline{\Delta_{эj}}, \overline{\Delta_j}$ в единицах измеряемой величины.

2.3. Относительная разница между границей доверительного интервала и оценкой границы - составляющей погрешности измерений может быть принята за относительную погрешность оценки, порожденную ограниченным числом наблюдений в одинаковых условиях при эксперименте.

2.4. Если характеристики случайной и систематической составляющих погрешности измерений, полученные при ограниченном интервале времени эксперимента, приписываются значительно большему интервалу времени, то погрешность такой оценки может быть определена по результатам длительных исследований с целью получения характеристик автокорреляционных, функции, соответствующей составляющей погрешность измерений или изменений внешней влияющей величины.

Для таких внешних влияющих величин, как температура, влажность, давление окружающего воздуха характеристики автокорреляционных функций могут быть получены из опубликованных данных гидрометеослужбы. Аналогично из опубликованных работ могут быть получены

характеристики автокорреляционных функций изменений напряжения и частоты тока питающей сети, ряда других внешних влияющих величин.

3. Максимальная относительная погрешность расчетно-экспериментальной оценки границы погрешности измерений может быть получена путем квадратического суммирования соответствующих частных погрешностей.

Приложение 2

Расчет типичных составляющих погрешности измерений

1. Составляющие относительной погрешности измерений текущих значений параметров, кроме измерений расхода с помощью сужающих устройств. (Если номинальное значение измеряемого параметра равно или близко к 0, то необходимо рассчитывать составляющие абсолютной погрешности измерений. Для этого случая приведенные в данном приложении формулы легко преобразуются).

1.1. Граница составляющей относительной погрешности, вызываемой основной погрешностью i-го средства измерений:

$$\delta_i = \delta_{oi} = \frac{\Delta_{oi}}{x_{ном}} \cdot 100 = \gamma_{oi} \frac{x_в - x_н}{x_{ном}},$$

где δ_{oi} - предел допускаемых значений относительной основной погрешности i-го средства измерений;

Δ_{oi} - то же для абсолютной основной погрешности;

γ_{oi} - то же для приведенной основной погрешности, нормированной от разности пределов измерений;

$x_{ном}$ - номинальное значение измеряемого параметра, для которого рассчитывается погрешность измерений;

$x_в$, $x_н$ - верхний и нижний пределы измерений i-го средства измерений (в тех же единицах, что и $x_{ном}$).

Если γ_{oi} нормирован для верхнего предела измерений, то $x_н = 0$.

1.2. Граница составляющей относительной дополнительной погрешности, вызываемой j-ой внешней влияющей величиной.

1.2.1. При нормировании пределов допускаемых значений относительной $\delta_{\partial ij}$, абсолютной $\Delta_{\partial ij}$, приведенной $\gamma_{\partial ij}$ дополнительной погрешности при наибольших отклонениях внешней влияющей величины от нормального значения:

$$\delta_{ij} = \delta_{\partial ij} = \frac{\Delta_{\partial ij}}{x_{ном}} \cdot 100 = \gamma_{\partial ij} \frac{x_в - x_н}{x_{ном}}.$$

1.2.2. При нормировании пределов допускаемых значений коэффициентов влияния

$$\delta_{ij} = \frac{\delta_{\partial ij}}{\Delta\xi_j} \cdot \Delta\xi_{jм} = \frac{\Delta_{\partial ij}}{\Delta\xi_j} \cdot \Delta\xi_{jм} \cdot \frac{100}{x_{ном}} = \frac{\gamma_{\partial ij}}{\Delta\xi_j} \Delta\xi_{jм} \frac{x_в - x_н}{x_{ном}},$$

где $\frac{\delta_{\partial ij}}{\Delta\xi_j}$ - предел допускаемых относительных значений коэффициента влияния ($\delta_{\partial ij}$ - предел допускаемых значений дополнительной относительной погрешности при отклонении j-ой влияющей величины на $\Delta\xi_j$);

$\frac{\Delta_{\partial ij}}{\Delta\xi_j}$ - то же для абсолютных значений коэффициента влияния;

$\frac{\gamma_{\partial ij}}{\Delta\xi_j}$ - то же для приведенных значений коэффициента влияния, нормированного от разности пределов измерений;

$\Delta\xi_{j\text{м}}$ - наибольшее отклонение внешней влияющей величины от нормального значения (в единицах $\Delta\xi_j$).

Если $\gamma_{\partial ij}$ нормирован от верхнего предела измерений, то $x_н = 0$.

2. Составляющие относительной погрешности измерений текущих значений расхода с помощью сужающих устройств.

2.1. Граница составляющей относительной погрешности измерений расхода, вызываемой погрешностями коэффициента расхода, коэффициента расширения, коэффициента коррекции расхода на число Рейнольдса, коэффициента коррекции расхода на влажность газа

$$\delta_i = 2\sigma_r ,$$

где σ_r - среднее квадратическое отклонение погрешности указанных коэффициентов.

2.2. Граница составляющей относительной погрешности измерений расхода, вызываемой погрешностью коэффициента сжимаемости газа, погрешностью определения (измерения) плотности среды

$$\delta_i = \sigma_i ,$$

где σ_i - среднее квадратическое отклонение погрешности указанного коэффициента или погрешности определения (измерения) плотности среды.

2.3. Граница составляющей относительной погрешности измерений расхода, вызываемой погрешностью средства измерений перепада давления, нормированной по расходу

$$\delta_i = \delta\sqrt{\Delta_{pi}} ,$$

где $\delta\sqrt{\Delta_{pi}}$ - граница составляющей относительной погрешности измерений перепада давления, полученная в соответствии с п.1 настоящего приложения по характеристике основной или дополнительной погрешности, нормированной по расходу.

Таким же образом вычисляется граница составляющей погрешности измерений расхода по характеристике основной или дополнительной погрешности, нормированной по перепаду давления, если перед данным средством измерений в измерительном канале находится средство измерений, выходной сигнал которого прямо пропорционален расходу.

2.4. Граница составляющей относительной погрешности измерений расхода, вызываемой погрешностью средства измерений перепада давления, нормированной по перепаду давления (если перед данным сред-

ством измерений в измерительном канале нет средства измерений, выходной сигнал которого прямо пропорционален расходу)

$$\delta_i = \delta_{\Delta pi} \cdot \frac{x_в}{x_{ном}},$$

где $\delta_{\Delta pi}$ - граница составляющей относительной погрешности измерений перепада давления, полученная в соответствии с п.1 настоящего приложения по характеристике основной или дополнительной погрешности, нормированной по перепаду давления;

$x_в$ - верхний предел измерений расхода;

$x_{ном}$ - номинальное (среднее) значение измеряемого расхода.

2.5. Граница составляющей относительной погрешности измерений расхода, вызываемой погрешностью измерений абсолютного давления перед сужающим устройством.

2.5.1. При измерении абсолютного давления средствами измерений абсолютного давления

$$\delta_i = 0{,}5\delta_{pa},$$

где δ_{pa} - граница относительной погрешности измерений абсолютного давления, полученная по характеристикам основной и дополнительных погрешностей i -го средства измерений абсолютного давления в соответствии с п.1 настоящего приложения и п.1 приложения 4.

2.5.2. При измерениях абсолютного давления средствами измерений избыточного давления и барометром

$$\delta_i = 0{,}5\left\{\delta_{pи}^2 \cdot \left(\frac{P_и}{P_и + 1{,}033}\right)^2 + \delta_{pσ}^2\right\}^{0{,}5},$$

где $\delta_{pи}$ - граница относительной погрешности измерений избыточного давления перед сужающим устройством, полученная в соответствии с п.1 настоящего приложения и п.1 приложения 4;

$\delta_{pσ}$ - граница относительной погрешности барометра;

$P_и$ - номинальное (среднее) значение избыточного давления перед сужающим устройством.

2.6. Граница составляющей относительной погрешности измерений расхода, вызываемой погрешностью измерений температуры перед сужающим устройством

$$\delta_i = 0{,}5\,\delta_t \cdot \frac{t}{t + 273{,}15},$$

где δ_t - граница составляющей относительной погрешности измерений температуры, полученная в соответствии с п.1 настоящего приложения и п.1 приложения 4;

t - номинальное (среднее) значение температуры, в °С.

Если t равно или близко к 0, то

$$\delta_i = 50 \cdot \frac{\Delta t}{t + 273{,}15},$$

где Δt - граница абсолютной погрешности измерений температуры, в °С.

3. Составляющие относительной погрешности измерений средних или интегральных значений за заданный интервал времени могут быть определены по составляющим погрешности измерений текущих значений, умноженным на коэффициент снижения погрешности (отношение границ погрешностей измерений средних и текущих значений). Эти коэффициенты могут быть найдены, если известны значения нормированной автокорреляционной функции основной погрешности (изменений внешней влияющей величины для дополнительной погрешности) для заданного интервала времени усреднения (интегрирования) и ее матожидания (матожидания отклонений от нормальных значений внешней влияющей величины для дополнительных погрешностей).

При числе измерений текущих значений в течение интервала времени усреднения более 20 коэффициент снижения погрешности С может быть найден ориентировочно следующим образом:

$$C = \frac{M}{\Pi} \cdot (1 - r) + r,$$

где $\frac{M}{\Pi}$ - отношение матожидания основной погрешности (отклонений от нормального значения влияющей величины) к ее пределу допускаемых значений (предельному отклонению);

r - значение нормированной автокорреляционной функции изменений основной погрешности (внешней влияющей величины) для заданного интервала времени усреднения.

Приложение 3

Составляющие погрешности некоторых типичных измерительных каналов ИИС и АСУТП

Варианты измерительных каналов:

1. Измерения давления датчиком типа Сапфир-22ДИ кл. точности 0,5 с каналом высокого уровня устройства связи с объектом (УСО) АСУТП (блок нагрузок БН-9 кл. точности 0,1; АЦП А611-8/2 кл. точности 0,3/0,2);

2. Измерения температуры (800 °С) термопарой ТХА с нормирующим преобразователем типа Ш-78 кл. точности 0,4 и каналом высокого уровня УСО АСУТП;

3. Измерения температуры (1100 °С) термопарой ТПП с каналом низкого уровня УСО АСУТП (коммутатор А612-5 кл. точности 0,25; усилитель А613-1 кл. точности 0,4; АЦП А611-8/2);

4. Измерения температуры (1100 °С) термопарой ТПП с нормирующим преобразователем типа Ш-78 и каналом высокого уровня УСО АСУТП;

5. Измерения расхода природного газа с помощью 3-х каналов:

- диафрагма, дифманометр типа Сапфир-22ДД кл. точности 0,5 с блоком извлечения квадратного корня типа БИК-1 кл. точности 0,25 и каналом высокого уровня УСО АСУТП;
- датчик абсолютного давления типа Сапфир-22ДА кл. точности 0.5 с каналом высокого уровня УСО АСУТП;
- термометр сопротивления ТСМ кл. точности С с нормирующим преобразователем типа Ш-79 кл.точн. 0,4 и каналом высокого уровня УСО АСУТП;

6. Измерения расхода электромагнитным расходомером типа ИР-61 кл. точности 1 с каналом высокого уровня УСО АСУТП;

7. Измерения содержания кислорода в газовой смеси газоанализатором типа ГЛ 5108 кл. точности 10 с каналом высокого уровня УСО АСУТП;

8. Измерения содержания кислорода в газовой смеси газоанализатором типа МН 5130м кл. точности 2,5 с каналом высокого уровня УСО АСУТП.

Условия измерений:

- значения измеряемых величин составляют 3/4 от верхних пределов (диапазонов) измерений средств измерений, кроме канала с термометром сопротивления ТСМ, где это соотношение составляет 1/5;
- температура окружающего воздуха для всех средств измерений, кроме датчиков, от 15 до 30 °С, для датчиков от 15 до 35 °С;
- отклонения от нормальных значений напряжения питания ± 10%, частоты тока питания ± 0,66 %;
- имеют место вибрация, помехи различного вида и отклонения от номинальных или градуировочных значений сопротивления нагрузки;
- остальные внешние влияющие величины не действуют.

Таблица 1

Доли составляющих погрешности измерений, вносимых средствами измерений, входящими в измерительный канал, %

Варианты измерительных каналов	Средства измерений, входящие в канал		
	Датчики и газоанализаторы	Нормирующие преобразователи	Каналы УСО АСУТП
1	87		13
2	91	7	2
3	57		43
4	46	16	38
5	93	4	3
6	85		15
7	91		9
8	87		13

Таблица 2

Доли составляющих погрешности измерений, вызываемых внешними влияющими величинами и основными погрешностями средств измерений, %

Основная погрешность и внешние влияющие величины	Варианты измерительных каналов							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Основная погрешность	41	10	54	38	17	34	26	9
напряжение питания		1		5		1		35
частота тока питания				2				1
температура окружающего воздуха	34	1	26	9	33	27	35	13
вибрация	19			5	9			
сопротивление нагрузки	6	1		5	3	1		
продолжительность эксплуатации		84	19	26				
помехи различного вида		2		10	1			
линия связи с датчиком		1				1		
давление измеряемой среды (дифман.)					1			
температура измеряемой среды						27	12	
электропроводность измеряемой среды						8		
расход анализируемой смеси							4	1
влажность измеряемой среды							7	
неизмеряемые примеси								35
остальные факторы					36	1	16	6

Типичные способы суммирования границ составляющих относительной погрешности измерений (при ограниченной исходной информации)

1. При последовательном (одноканальном) соединении средств измерений и вспомогательных устройств в измерительном канале оценка границы относительной погрешности измерений вычисляется следующим образом:

$$\overline{\delta} = \kappa \cdot \left(\Sigma \overline{\delta}_i^{\,2}\right)^{0,5},$$

где $\overline{\delta}_i$ - оценка границы i-ой составляющей относительной погрешности измерений (см. приложение 2);

к = 1 для оценок границ погрешности измерений параметров, не относящихся к наиболее важным;

к = 1,2 для оценок границ погрешности измерений наиболее важных параметров.

При измерениях особо ответственных параметров, указанных в п. 2.1 настоящей рекомендации, оценка границы относительной погрешности измерений может быть получена арифметическим суммированием оценок границ составляющих

$$\overline{\delta} = \Sigma \left[\overline{\delta}_i\right],$$

при этом необходимо иметь в виду, что получаемая оценка $\overline{\delta}_i$ существенно завышена.

2. При соединении средств измерений и вспомогательных устройств в соответствии с рис.П1 оценка границы относительной погрешности измерений средних значений вычисляется следующим образом:

$$\overline{\delta}_c = \kappa \cdot \left(\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{r} \overline{\delta}_i^2 + \sum_{j=1}^{p} \overline{\delta}_j^2\right)^{0,5},$$

где m - число однотипных параллельных ветвей (точек измерений);

$\overline{\delta}_i$ - оценка границы i-ой составляющей относительной погрешности параллельной ветви измерительной схемы из числа r составляющих параллельной ветви (вычисляется в соответствии. с п.п. 1 или 3 приложения 2);

$\overline{\delta}_j$ - оценка границы j-ой составляющей относительной погрешности общей ветви измерительной схемы из числа p составляющих общей ветви (вычисляется в соответствии с п.п.1 или 3 приложения 2);

к - см. п. 1.

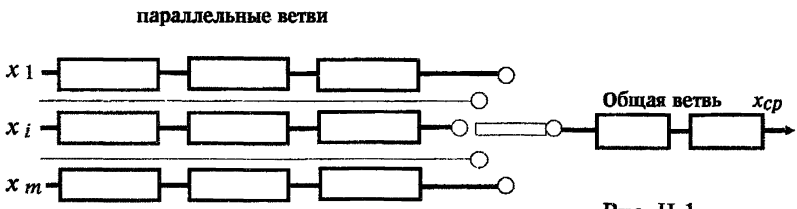


Рис. II.1

Примечание к п.п. 1. и 2.: если номинальное значение измеряемого параметра равно или близко к 0, то рассчитывается оценка границы абсолютной погрешности измерений, при этом суммируются соответствующие значения границ составляющих абсолютной погрешности в единицах измеряемой величины.

3. При определении суммарного расхода нескольких потоков, измеренных расходомерами в каждом потоке, оценка границы относительной погрешности определения суммарного расхода вычисляется следующим образом:

$$\bar{\delta}_{\Sigma} = \frac{1}{\sum_{s=1}^{r} x_s} \cdot \left\{ \sum_{s=1}^{r} (x_s \cdot \bar{\delta}_s)^2 \right\}^{0,5},$$

где $\bar{\delta}_s$ - оценка границы относительной погрешности измерений расхода s -го потока; x_s - среднее значение расхода s -го потока или значение расхода в этом потоке, для которого рассчитывается погрешность измерений суммарного расхода; r - число потоков.

4. При определении разности двух измеряемых параметров оценка границы относительной погрешности разности результатов измерений этих параметров вычисляется следующим образом:

$$\bar{\delta}_p = \frac{1}{|x_{1ном} - x_{2ном}|} \cdot \left\{ (x_1 \cdot \bar{\delta}_1)^2 + (x_2 \cdot \bar{\delta}_2)^2 \right\}^{0,5},$$

где $|x_{1ном} - x_{2ном}|$ - абсолютное значение (модуль) разности номинальных значений $x_{1ном}$ первого и $x_{2ном}$ второго измеряемых параметров, для которого рассчитывается оценка погрешности их разности; $\bar{\delta}_1$ и $\bar{\delta}_2$ - оценки границ относительных погрешностей измерений первого и второго параметров.

При близости $x_{1ном}$ и $x_{2ном}$ целесообразно вычислять оценку границы абсолютной погрешности разности результатов измерений параметров

$$\bar{\Delta}_p = (\bar{\Delta}_1^2 + \bar{\Delta}_2^2)^{0,5},$$

где $\bar{\Delta}_1$ и $\bar{\Delta}_2$ - оценки границ абсолютных погрешностей измерений первого и второго параметров.

Основные требования к автоматизированной системе расчета погрешности измерений на персональных ЭВМ (АСРПИ)

1. Работа системы должна осуществляться в диалоговом режиме.

2. Расчет границ относительной погрешности должен осуществляться как для измерений текущих значений, так и для средних значений (по точкам измерений и по интервалам времени усреднения 8-24 ч и 1 месяц).

3. Система должна позволять вводить нерассчитываемые (заранее известные из литературных и других источников) составляющие погрешности измерений (методические погрешности, погрешности коэффициента расхода, коэффициента коррекции расхода на число Рейнольдса, коэффициента коррекции расхода на влажность газа, коэффициента расширения, коэффициента сжимаемости газа, погрешности определения плотности среды и т.п.).

4. Система должна позволять выводить на печать составляющие погрешности измерений (квадраты значений оценок границ составляющих при квадратическом суммировании составляющих).

5. Система должна предусматривать три способа учета дополнительных погрешностей средств измерений:
- по введенному максимальному отклонению внешней влияющей величины от нормального значения (при нормировании коэффициентов влияния);
- по введенному ответу "ДА" или "НЕТ" на вопрос о воздействии внешней влияющей величины (при нормировании пределов допускаемых значений дополнительной погрешности при максимально допускаемом отклонении внешней влияющей величины от нормального значения);
- автоматически без вопросов к пользователю (например, при воздействии изменения частоты тока питания, атмосферного давления окружающего воздуха, и т.п.).

6. Автоматизированная база данных (БД) должна содержать сведения о средствах измерений и типовых измерительных каналах и корректироваться в диалоговом режиме.

6.1. Сведения о средствах измерений:
- тип (модель) ; }
- пределы измерений; } основные реквизиты для поиска
- класс точности; }
- основная и дополнительные погрешности;

- диапазоны значений внешних влияющих величин;
- дополнительная информация (номинальное рабочее давление для дифманометров, многоканальность для вторичных приборов, другие, кроме перечисленных выше, характеристики, для которых нормированы погрешности средств измерений);
- источник информации (ТУ, эксплуатационная документация и т.п.).

6.2. Сведения о типовых измерительных каналах:
- условное обозначение для автоматического поиска;
- наименование с обобщенным составом средств измерений;
- границы относительной погрешности измерительного канала в типовых условиях эксплуатации (лабораторные условия, цех, пультовое помещение и т.п.).

gost.e-ecolog.ru