

Тема 1.4. Классификация погрешностей

1.4.1. Виды погрешностей

Выполнив измерение, получают результат, который не может быть абсолютно точно равен истинному значению физической величины.

Таким образом, при любом измерении имеется погрешность, представляющая собой отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность результата каждого конкретного измерения складывается из многих составляющих, обязанных своим происхождением различным факторам и источникам.

Традиционный аналитический подход к оцениванию погрешностей результата состоит в выделении этих составляющих, изучении их по отдельности и последующем суммировании.

Зная свойства и оценив количественные характеристики составляющих погрешностей, можно правильно учесть их при оценивании погрешности результата или, если это возможно, ввести поправки в результат измерения.

Выделив и оценив отдельные составляющие погрешности, иногда оказывается возможным так организовать измерение, чтобы эти составляющие не оказали влияния на результат.

Естественно, что классифицировать составляющие погрешности можно по многим признакам.

В целях единообразия подхода к анализу и оцениванию погрешностей в метрологии принята следующая классификация.

1. По характеру проявления во времени погрешности делятся на систематические, случайные и грубые (промахи).

Систематическая погрешность - составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меня-

ющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Систематические погрешности подразделяются на:

- постоянные и
- переменные.

Переменные могут быть:

- прогрессирующими,
- периодическими,
- изменяющимися по сложному закону.

Закономерный характер систематической погрешности открывает возможности её предсказания, обнаружения и, благодаря этому, в значительной степени уменьшения.

Однако сложную задачу может представлять собой само обнаружение систематической погрешности.

Для уменьшения (компенсации) постоянной систематической погрешности наиболее распространены следующие методы:

- введение поправок;
- метод замещения;
- компенсация погрешности по знаку.

Ввести поправку - значит прибавить её к результату измерения.

Метод компенсации погрешности по знаку предусматривает измерения с двумя наблюдениями, выполняемыми так, чтобы постоянная систематическая погрешность в результат каждого из них входила с разными знаками.

Результат измерения находится как среднее результатов этих двух наблюдений.

Практически ни один из описанных методов не позволяет полностью исключить постоянную систематическую погрешность, а позволяет только существенно её уменьшить.

Случайная погрешность - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и вели-

чине) в серии повторных измерений одного и того же размера ФВ, проведенных с одинаковой тщательностью в одних и тех же условиях.

Случайная погрешность не может быть исключена из результата измерений, но может быть уменьшена статистической обработкой совокупности наблюдений.

Грубая погрешность (промах) - это случайная погрешность результата отдельного наблюдения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Они, как правило, возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора.

Возможной причиной возникновения промахов также могут быть кратковременные резкие изменения условий проведения измерений.

Грубые погрешности выявляются при статистической обработке ряда наблюдений, и соответствующие результаты наблюдений должны быть исключены из рассмотрения.

2. Обязательными компонентами любого измерения являются:

- средство измерения,
- метод измерения,
- и человек, проводящий измерения.

Несовершенство каждого из этих компонентов приводит к появлению своей составляющей погрешности результата. То есть основные причины появления погрешностей:

- несовершенство используемых средств измерений и неточность передачи рабочим средствам измерений размеров единиц соответствующих физических величин;
- несовершенство применяемого метода измерения;
- физиологическая ограниченность возможностей человека.

В соответствии с этим по источнику возникновения различают:

- инструментальные,
- методические и
- субъективные (личные) погрешности.

Инструментальная погрешность измерения - погрешность из-за несовершенства средств измерений.

Иногда эту погрешность называют аппаратурной.

Инструментальная погрешность обычно подразделяется на:

- основную погрешность средств измерений;
- дополнительную погрешность средств измерений.

Методическая погрешность - погрешность измерения, происходящая от несовершенства метода измерений.

Может возникать:

- из-за принципиальных недостатков используемого метода;
- из-за неполноты знаний о происходящих при измерении процессах;
- из-за неточности применяемых расчётных формул.

Субъективная, или личная, погрешность обусловлена индивидуальными особенностями лица, выполняющего измерения.

Автоматизация средств измерений и совершенствование конструкций приводят к уменьшению субъективной погрешности.

3. По условиям возникновения у средств измерения различают **основную** и **дополнительную** погрешности.

Каждое средство измерений предназначено для работы в определенных условиях, указываемых в нормативно-технической документации.

Условия измерения - совокупность влияющих величин, описывающих состояние окружающей среды и средства измерений.

Влияющая величина - это физическая величина, не измеряемая данным СИ, но оказывающая влияние на его результаты.

Влияние условий измерения на СИ проявляется в изменении его метрологических характеристик.

В соответствии с установленными для конкретных ситуаций диапазонами значений влияющих величин различают:

- нормальные,
- рабочие и
- предельные условия измерений.

Нормальные условия измерений - это условия, при которых влияющие величины имеют нормальные или находящиеся в пределах нормальной области значения.

Нормальная область значений влияющей величины - это область значений, в пределах которой изменением результата измерений под воздействием влияющей величины можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности.

При нормальных условиях определяется **основная** погрешность данного СИ.

(Основная погрешность средства измерений - погрешность в условиях, принятых за нормальные, т.е. при нормальных значениях всех величин, влияющих на результат измерения (температура, влажность, напряжение питания и т.п.)).

Рабочими называются условия измерений, при которых влияющие величины находятся в пределах своих рабочих областей.

Рабочая область значений влияющей величины - это область, в пределах которой нормируется **дополнительная** погрешность или изменение показаний СИ.

При этом та часть погрешности измерения, которая возникает из-за изменения условий, называется дополнительной погрешностью.

Дополнительная погрешность - погрешность, возникающая при отличии значений влияющих величин от нормальных).

Обычно различают отдельные составляющие дополнительной погрешности (температурную, погрешность из-за изменения напряжения питания и т.п.).

Предельные условия измерений - это условия, характеризующиеся экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые средство измерений может выдержать без разрушений и ухудшения его метрологических характеристик.

4. Выше мы определили статический и динамический режимы работы средства измерения.

Соответственно, выделяют статические и динамические составляющие погрешности.

Статическая погрешность - это погрешность средства измерения, применяемого для измерения физической величины, которая принимается неизменной.

Динамической называется погрешность СИ, возникающая дополнительно при измерении переменной физической величины и обусловленная несоответствием его реакции на скорость (частоту) изменения измеряемого сигнала.

При измерениях детерминированных сигналов динамические погрешности обычно рассматриваются как систематические.

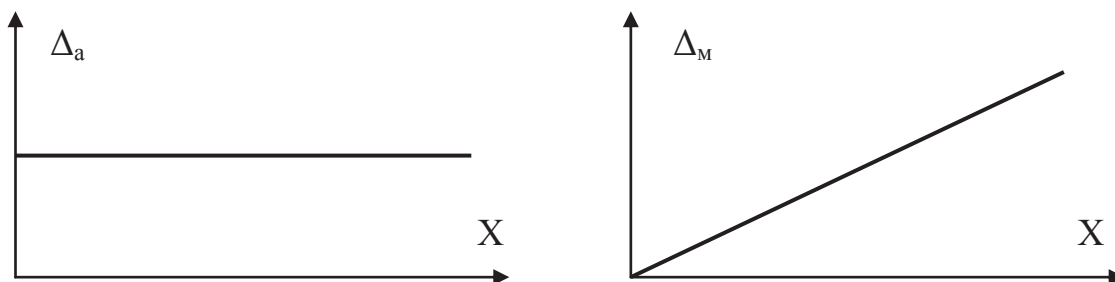
При случайном характере измеряемой величины динамические погрешности приходится рассматривать как случайные.

5. У средств измерений часто можно выделить составляющие погрешности, не зависящие от значения измеряемой величины и погрешности, изменяющиеся пропорционально измеряемой величине.

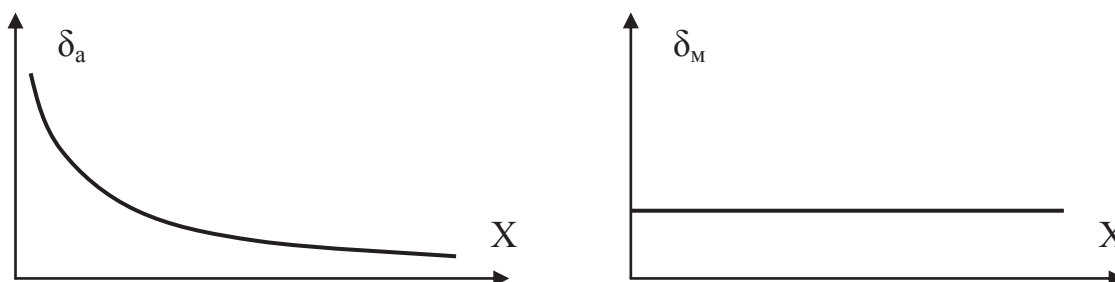
Такие составляющие называют, соответственно, аддитивными и мультипликативными погрешностями.

Аддитивная погрешность (абсолютная) не зависит от значения измеряемой величины, а **мультипликативная** - ему пропорциональна.

Аддитивную погрешность называют погрешностью нуля, а мультипликативную - погрешностью чувствительности.



Абсолютные аддитивная и мультипликативная погрешности



Относительные аддитивная и мультипликативная погрешности

6. Кроме точности (погрешности) качество измерений характеризуется достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью, а также размерами допускаемых погрешностей.

Достоверность измерений определяется степенью доверия к результату измерения и характеризуется вероятностью того, что истинное значение измеряемой величины находится в указанных пределах.

Данная вероятность называется доверительной.

Правильность измерений - это характеристика измерений, отражающая близость к нулю систематических погрешностей результатов измерений.

Сходимость результата измерений - характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполняемых повторно одними и теми же методами и средствами измерений и в одних и тех же условиях.

Сходимость измерений отражает влияние случайных погрешностей на результат измерения.

Воспроизводимость результатов измерений - характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами и средствами измерений, разными операторами, но приведенных к одним и тем же условиям.

Тема 1.5. Нормирование погрешностей средств измерений

1.5.1. Нормирование погрешностей средств измерений

Каждому средству измерений приписываются некоторые номинальные характеристики.

Действительные же характеристики средств измерений не совпадают с номинальными, что и определяет их погрешности.

Стандартизованной является оценка качества измерения с указанием погрешности.

Погрешности средств измерений представляют в форме абсолютных, относительных и приведённых погрешностей.

Выше было сказано, что под погрешностью понимается отклонение показаний приборов (или номинальных значений мер) от истинных значений измеряемой величины (истинных значений мер):

$$\Delta_x = x_{\text{изм}} - x_{\text{ист}}, \quad (1)$$

где Δ_x - погрешность измерения.

Качество измерения тем выше, чем ближе результат измерения оказывается к истинному значению.

Строго говоря, применение формулы (1) для вычисления погрешности измерения невозможно, поскольку истинное значение измеряемой величины неизвестно.

Поэтому это выражение погрешности используется только в теоретических исследованиях, а на практике $x_{\text{ист}}$ заменяется на его оценку - действительное значение величины x_d , и погрешность рассчитывается по формуле

$$\Delta_x = x_{\text{изм}} - x_d. \quad (2)$$

Погрешность, выраженная в соответствии с формулами (1) и (2), имеет размерность измеряемой величины и называется абсолютной погрешностью.

Широко используется также понятие относительной погрешности.

Относительная погрешность - это отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины:

$$\delta_x = \Delta_x / x_{\text{ист}}, \quad (3)$$

Относительные погрешности выражаются принятыми в системе СИ относительными величинами: безразмерным числом, в процентах и др.

Предпочтение отдаётся выражению погрешности измерения в форме относительной погрешности, как более информативной, дающей возможность объективно сопоставлять результаты.

Однако относительная погрешность как наглядная характеристика точности результата измерения не годится для нормирования погрешности средства измерений, так как при изменении значений $x_{ист}$ эта погрешность принимает различные значения вплоть до бесконечности при $x_{ист} = 0$.

Чтобы можно было сравнить по точности измерительные приборы с разными пределами измерений, введено понятие приведённой погрешности измерительного прибора.

Приведённая погрешность - это относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность средства измерений отнесена к условно принятому значению $x_{нм}$, постоянному во всем диапазоне измерений или его части:

$$\gamma = \Delta_x / x_{нм},$$

где Δ_x - абсолютная погрешность;
 $x_{нм}$ - нормирующее значение.

Обычно нормирующее значение принимают равным:

- 1) большему из пределов измерений, если нулевая отметка расположена на краю или вне диапазона измерения;
- 2) сумме модулей пределов измерения, если нулевая отметка расположена внутри диапазона измерения;
- 3) длине шкалы или её части, соответствующей диапазону измерения, если шкала существенно неравномерна (например, у омметра);
- 4) номинальному значению измеряемой величины, если таковое установлено (например, у частотомера с номинальным значением 50 Гц);
- 5) модулю разности пределов измерений, если принята шкала с условным нулём (например, для температуры), и т.д.

Чаще всего за нормирующее значение принимают верхний предел измерений данного средства измерений.

Отклонения параметров средств измерений от их номинальных значений, вызывающие погрешность измерений, не могут

быть указаны однозначно, поэтому для них должны быть установлены предельно допускаемые значения.

Нормирование метрологических характеристик средств измерений и заключается в установлении границ для отклонений реальных значений параметров средств измерений от их номинальных значений.

Указанное нормирование является гарантией взаимозаменяемости средств измерений.

Нормирование погрешностей средств измерений заключается в установлении предела допускаемой погрешности.

Под этим пределом понимается наибольшая (без учёта знака) погрешность средства измерения, при которой оно может быть признано годным и допущено к применению.

Подход к нормированию погрешностей средств измерений заключается в следующем:

1) в качестве норм указывают пределы допускаемых погрешностей, включающие в себя и систематические, и случайные составляющие;

2) порознь нормируют все свойства средств измерений, влияющие на их точность.

Стандарт устанавливает ряды пределов допускаемых погрешностей.

Этой же цели служит установление классов точности средств измерений.

Класс точности - обобщённая характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность.

Классы точности различных СИ могут задаваться по-разному в соответствии с ГОСТ 8.401- 80 "Классы точности средств измерений. Общие требования".

Этот стандарт устанавливает деление СИ по классам точности; способы нормирования метрологических характеристик, комплекс требований к которым зависит от класса точности СИ; обозначения классов точности.

Пределы допускаемых основной и дополнительных погрешностей выражают в форме приведённых, относительных или абсолютных погрешностей в зависимости:

- от характера изменения границ абсолютных погрешностей в пределах диапазона измерений, а также
- от условий применения и
- назначения средства измерений.

В зависимости от характера изменения границ погрешности в пределах диапазона измерений **пределы допускаемой абсолютной основной погрешности** устанавливают по формулам:

$$\Delta_d = \pm a \quad (1)$$

или

$$\Delta_d = \pm (a + bx), \quad (2)$$

где x - значение измеряемой величины на входе (выходе) средства измерений или число делений, отсчитанных по шкале;
 a и b - положительные числа, не зависящие от x .

Пределы допускаемой приведённой основной погрешности, в %, устанавливают по формуле:

$$\gamma_d = \Delta_d / x_{\text{нм}} \cdot 100 = \pm p, \quad (3)$$

где Δ_d - пределы допускаемой абсолютной погрешности, устанавливаемой в соответствии с (1);

$x_{\text{нм}}$ - нормирующее значение;

p - отвлечённое положительное число.

Пределы допускаемой относительной основной погрешности δ , в %, устанавливаются по формуле:

$$\delta_d = \Delta_d / x \cdot 100 = \pm q, \quad (4)$$

если Δ_d установлено в соответствии с (1),
или по формуле:

$$\delta_d = \Delta_d/x \cdot 100 = \pm [c + d(x_k/x - 1)], \quad (5)$$

если Δ_d установлено в соответствии с (2).

Здесь x_k - больший (по модулю) из пределов измерений,
с и d - положительные числа.

Положительные числа p, q, c и d выбираются из следующего
ряда:

$1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$ ($n = 1, 0, -1, -2$ и т.д.).

В зависимости от способа нормирования основной погрешности используются различные обозначения классов точности.

Если нормируется приведённая или относительная погрешность в соответствии с (4), то класс точности обозначается одним числом, равным пределу допускаемой погрешности, выраженному в процентах, т.е. p или q.

Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых выражены в форме относительных погрешностей в соответствии с (5), классы точности обозначают числами c и d, разделяя их косой чертой.

В случае нормирования абсолютной погрешности классы точности обозначают прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами.

При этом классы точности, которым соответствуют меньшие пределы допускаемых погрешностей, соответствуют буквы, находящиеся ближе к началу алфавита, или цифры, означающие меньшие числа.

Наиболее общие вопросы нормирования МХ СИ рассмотрены в ГОСТ 8.009-84 "ГСИ. Нормируемые МХ СИ".