

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение считается завершенным, если определен его результат и произведена оценка точности. В связи с этим процесс измерения можно условно расчленить на следующие этапы:

- проведение наблюдений и определение их результатов; на этом этапе отсчитывают показания средств измерений, производят их первичную оценку и обработку, находят результат наблюдений;
- определение результата измерений путем обработки результатов наблюдений;
- оценка точности выполненного измерения путем вычисления погрешностей.

В некоторых случаях этапы могут совмещаться и видоизменяться.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Основой измерений являются наблюдения, которые осуществляются персоналом или автоматическими устройствами.

Если для проведения одного измерения производят одно наблюдение, то такой метод измерений называется методом однократных наблюдений. При однократных наблюдениях результат измерения равен результату наблюдения, т. е. $X = x_n$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерение дополняется оценкой точности, которая должна быть не хуже, чем определено требованиями.

В практике испытаний и исследований, где требуется более высокая точность, прибегают к нескольким наблюдениям для проведения одного измерения. Такой метод называется методом многократных наблюдений. С помощью этого метода удастся учесть влияние некоторых случайных факторов. При многократных наблюдениях результат наблюдений, результат измерения, а также оценку точности получают методами статистической обработки случайных величин.

Существует также промежуточный метод, когда для исключения грубых ошибок и повышения надежности измерений выполняют несколько наблюдений, однако дальнейшую обработку проводят без применения статистических методов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Мерой оценки точности измерения является погрешность. *Погрешность* характеризует отклонение измеренного значения некоторой величины от ее истинного (действительного) значения.

Следует различать *погрешность измерений*, получаемую как результат обработки экспериментальных наблюдений, и *нормированную погрешность средства измерения*, являющуюся его технической характеристикой. Эти погрешности могут совпадать только в отдельных, частных случаях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Абсолютной погрешностью называется разность

$$\Delta x = x - X,$$

где x — истинное значение; X — результат измерения.

Абсолютная погрешность выражается в тех же единицах, что и измеряемая величина.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Относительной погрешностью измерения называется отношение

$$\delta_x = \Delta x / x$$

или в процентах

$$\delta_x = (\Delta x / x) 100\%$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

В соответствии с делением измерений погрешности подразделяют на статические и динамические. Ниже под термином «погрешность» будет подразумеваться статическая погрешность. В тех случаях, когда под термином «погрешность» подразумевается динамическая погрешность, это будет специально оговариваться.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

По своей природе погрешности бывают систематическими и случайными.

Систематическими называют погрешности, которые могут быть заранее обнаружены или предсказаны и которые принципиально могут быть исключены или уменьшены специальными мерами.

Систематические погрешности, которые действуют в процессе измерения, называются *неисключенными*.

Случайными называют непредвиденные погрешности, которые могут быть выявлены только статистической обработкой многократных наблюдений. Частным случаем случайных погрешностей являются грубые ошибки наблюдений, которые выявляются при первичной обработке данных и затем отбрасываются.

Поскольку точное значение погрешности обычно неизвестно, пользуются понятием *границы погрешности*, т. е. предельной величиной, больше которой (без учета знака) погрешность быть не может.

Если погрешность определяется методом статистической обработки, то пользуются понятием *доверительной границы погрешности*, которая обозначает, что погрешность не выйдет за границу с доверительной вероятностью, равной заданной.

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Классификация
систематических
погрешностей**

Классификация систематических погрешностей

В зависимости от источника возникновения систематические погрешности подразделяются на :

- инструментальные, которые свойственны средствам измерений и являются следствием дефектов их статических характеристик;
- методические, возникающие из-за несовершенства методики измерения, либо из-за несоответствия методики поставленной задаче;
- субъективные, вызванные ошибками наблюдателя при отсчете показаний (небрежность, переопределение ошибки при

Субъективные погрешности устраняются точным выполнением инструкций и методических указаний и потому в особых пояснениях не нуждаются.

Классификация систематических погрешностей

В зависимости от характера систематические погрешности подразделяются на обнаруживаемые и необнаруживаемые.

- Обнаруживаемые систематические погрешности в свою очередь подразделяются на постоянные и переменные.

Классификация систематических погрешностей

К *постоянным* относят погрешности, возникающие из-за неточностей в градуировке средства измерения, т. е. из-за отклонения фактической функции преобразования от номинальной.

К постоянным также относят некоторые методические погрешности, величина которых не зависит от условий выполнения измерений.

Классификация систематических погрешностей

К переменным относятся погрешности, возникающие из-за изменения внешних условий (нестабильность источников электропитания, изменения окружающей температуры, атмосферного давления, влажности, действия внешних полей и т. д.).

Необнаруживаемые систематические погрешности могут быть предсказаны либо выявлены при обработке результатов измерений. Появление необнаруживаемых заранее погрешностей может быть связано с недостаточной информацией о характеристиках средств измерений, с неучтенными методическими погрешностями, а также с субъективными ошибками наблюдений.

Методы определения и уменьшения систематических погрешностей

**Определение постоянных
погрешностей.**

Определение постоянных погрешностей

В основном этот вопрос касается инструментальных погрешностей средств измерений, которые характеризуются функцией преобразования, или градуировочной характеристикой с нормированными погрешностями.

Нормированная погрешность является паспортной характеристикой средства измерения и может быть задана в виде абсолютной, относительной или приведенной погрешности. Если средство измерения исправно, соответствует предъявляемым к нему требованиям и эксплуатируется в нормальных условиях, его погрешность не должна выходить за установленные границы. Для поддержания средства измерения в рабочем состоянии и контроля его фактических погрешностей оно подвергается периодическим поверкам.

Определение постоянных погрешностей

Средства измерений, поверка которых подтвердила, что фактические погрешности не превышают граничных значений, признаются годными для эксплуатации. Средства, имеющие погрешности выше заданных, из эксплуатации выводятся как непригодные и направляются в ремонт либо списываются.

Определение постоянных погрешностей

В некоторых случаях, например при изготовлении нестандартизованных средств или при желании сузить пределы допустимой систематической погрешности, их подвергают индивидуальным градуировкам. Градуировки выполняют в соответствии с принятыми методиками и с применением соответствующих образцовых приборов.

Индивидуальная градуировка оформляется в виде градуировочных таблиц, графиков или аналитических функций либо в виде таблиц или графиков поправок к действующей градуировке. Средство измерения с индивидуальной градуировкой имеет собственную нормированную погрешность, зависящую от точности образцового средства, метода градуировки и рассчитываемую по соответствующим правилам.

Определение постоянных погрешностей

Пределы допустимых погрешностей
средств измерений (паспортные или
индивидуальные) должны
рассматриваться как границы основной
неисключенной систематической
погрешности.

Определение и уменьшение переменных погрешностей

Переменные погрешности возникают из-за изменений условий эксплуатации средств измерений.

Для определения всех составляющих переменных погрешностей проводят специальные эксперименты, в которых поочередно меняют каждую из влияющих величин в заданных пределах. Эти погрешности задаются в абсолютной или относительной форме; обычно их относят к определенному диапазону изменения влияющей величины (например, дополнительная приведенная погрешность не превышает 0,2% на каждые 10 °С изменения окружающей температуры от 20 °С).

Определение и уменьшение переменных погрешностей

Уменьшить переменные погрешности можно, устраняя или уменьшая изменения внешних условий.

Для этой цели используют стабилизацию питающего напряжения, термостабилизацию, экранирование от внешних полей, амортизацию и другие меры.

Пределы неустранимых переменных погрешностей должны рассматриваться как границы дополнительной неисключенной погрешности.

Выявление и уменьшение влияния необнаруживаемых погрешностей

Единственным путем выявления
необнаруживаемых систематических
погрешностей является проведение
измерений двумя или несколькими
независимыми методами, обладающими
приблизительно одинаковыми
постоянными и переменными
систематическими погрешностями.
При нескольких методах измерений
сравнивают их результаты, отбрасывают
тот из них, который грубо отличается от
остальных.

По оставшимся определяют среднее арифметическое, которое принимают за окончательный результат измерения. Вероятная погрешность измерения может быть определена методом, применяемым для расчета случайных погрешностей. Если используются два независимых метода (этот способ наиболее распространен в холодильной технике), то грубое расхождение между результатами указывает на наличие в одном из каналов измерений недопустимой систематической погрешности. Измерительные каналы должны быть исправлены и измерения повторены.

Если грубых расхождений нет, то за окончательный результат измерения следует принять среднее арифметическое результатов двух независимых измерений. Бывают случаи, когда рассчитанные заблаговременно систематические погрешности принятых двух методов неравноценны, тогда сравнение результатов позволяет выявить лишь грубые погрешности, а результатом измерения следует считать (при отсутствии грубых расхождений) результат, полученный более точным методом.

СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Случайные погрешности могут быть определены, если результаты получаются на основании многократных наблюдений величины, значение которой не изменяется в течение всего процесса измерений. Данное условие является важным, так как при его несоблюдении случайными окажутся не только результаты измерений, но и сама измеряемая величина. С достаточным основанием можно принять, что при числе наблюдений 20 и более распределение случайных величин происходит по нормальному закону, а при числе наблюдений меньше 20 — по распределению Стьюдента.

Определение грубых ошибок

Грубые ошибки определяют на основании обработки результатов наблюдений.

Пусть выполнено n наблюдений.

Среднее арифметическое значение результатов наблюдения находят по формуле

$$\bar{X}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

где x_i — результаты наблюдений.

Определение грубых ошибок

Среднее квадратическое отклонение результата наблюдений определяют по формуле

$$\sigma(\bar{X}_n) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{X}_n - x_i)^2}$$

Определение грубых ошибок

Принято считать, что результаты наблюдений, для которых выполняется условие

$$\bar{X}_n - x_i \geq 3\sigma,$$

считаются грубыми ошибками и из дальнейших расчетов исключаются.

Определение грубых ошибок

Результатом измерения при многократных наблюдениях является среднее арифметическое результатов наблюдений, за исключением грубых ошибок:

$$\bar{X}_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i,$$

где m — число наблюдений после исключения грубых ошибок.

Определение доверительных границ случайных погрешностей измерения

Для определения доверительных границ погрешности измерения доверительную вероятность принимают равной 0,95.

Доверительная граница абсолютной случайной погрешности находится по формуле $\Delta x_{\text{сл}} = t\sigma(\bar{X}_m)$

где t — коэффициент Стьюдента для вероятности 0,95; $\sigma(\bar{X}_m)$ — среднее квадратичное отклонение результата

Среднее квадратичное отклонение
результата измерения находят из
выражения

$$\sigma(\bar{X}_m) = \sqrt{\frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^m (\bar{X}_m - x_i)^2}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И СУММАРНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ

Измеряемая величина может быть представлена в виде суммы

$$x = X \pm \Delta x_{\Sigma} = X(1 \pm \delta_{\Sigma})$$

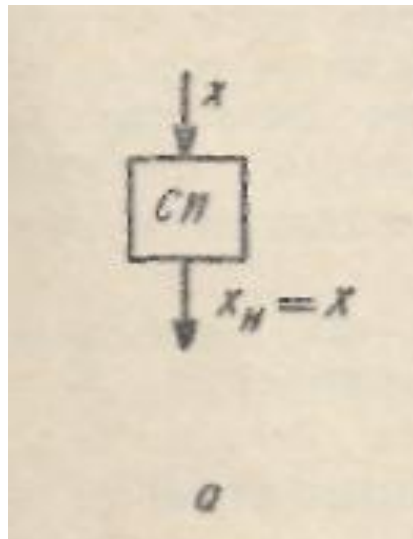
где X — результат измерения; Δx_{Σ} — граница суммарной абсолютной погрешности; δ_{Σ} — граница суммарной относительной погрешности.

Задача состоит в том, чтобы уметь найти результат измерения и границы суммарных погрешностей для любого случая измерения.

Нахождение результатов измерений

Рассмотрим методы нахождения результатов прямых и косвенных измерений при одно- и многократных наблюдениях.

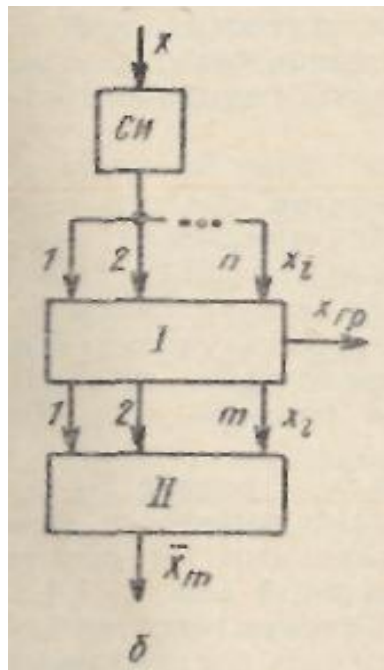
Нахождение результатов измерений



Простейший случай —
*прямое измерение с
однократным
наблюдением.*

Измеряемая величина
воспроизводится
средством измерения СИ
и выдается в виде
наблюдаемого значения
 x_H . В данном случае это
значение и есть результат
измерения ($X = x_H$).

Нахождение результатов измерений



Если производится прямое измерение с *многократными наблюдениями*, то в расчет принимают n наблюдений на выходе средства измерения СИ. Вначале над ними производится операция I выделения грубых ошибок по вышеприведенным формулам. Грубые ошибки $x_{гр}$, отбрасываются. Для оставшихся m наблюдений находят среднее арифметическое $\bar{x}_m$ (операция II) по формуле, которое является результатом измерения.

Для малого числа наблюдений (до 3—5) операцию I выполняют без анализа среднего квадратичного отклонения путем простой сравнительной оценки результатов наблюдений. Критерии оценки задают в каждой конкретной методике

Косвенное измерение состоит в том, что измеряемую величину находят расчетом по определенным формулам, в которые входят результаты прямых измерений двух или нескольких величин (например, для измерения холодопроизводительности компрессора необходимо измерить температуру, расход, давление, которые затем подставляются в соответствующую формулу).

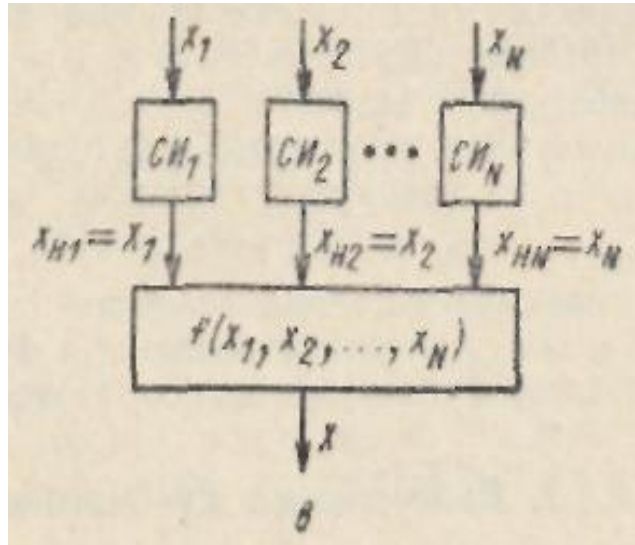
Нахождение результатов измерений

Для выполнения измерения необходимо знать статическую связь между конечной косвенно измеряемой величиной x и входящими в нее величинами $x_1, x_2, \dots, x_N$ измеряемыми при помощи $СИ_1, СИ_2, \dots, СИ_N$.

Пусть эта связь представляет собой функцию

$$x = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$$

Нахождение результатов измерений



При однократных наблюдениях каждой величины результаты измерений совпадают с результатами наблюдений:

$$X_1 = x_{n_1}, \quad X_2 = x_{n_2}, \quad \dots, \quad X_N = x_{n_N}.$$

Эти величины подставляются в приведённую выше функцию Результат вычисления является результатом косвенного измерения

Нахождение результатов измерений

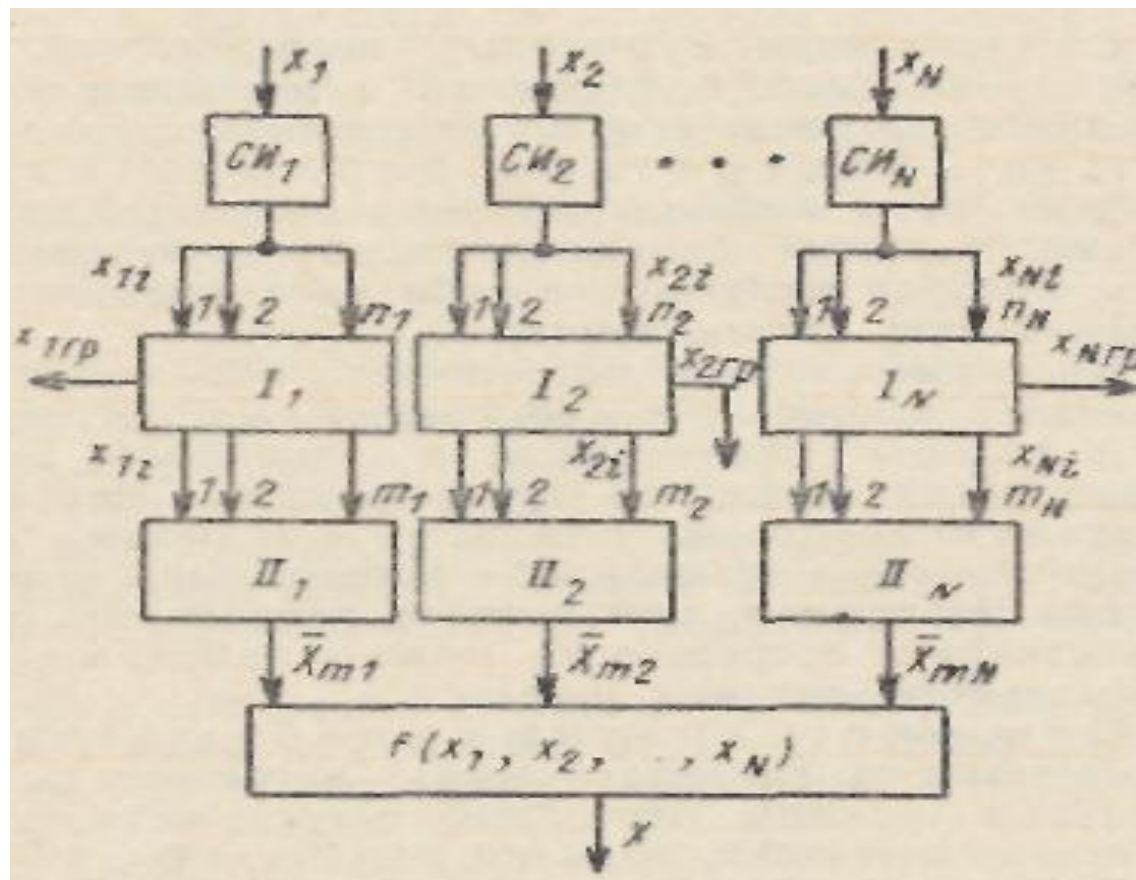


Схема проведения **косвенного**
измерения с многократными
наблюдениями.

Нахождение результатов измерений

В расчет принимают n_1 наблюдений величины x_1 , n_2 — величины x_2 и т. д.; n_N — величины x_N .
Операциями $l_1, l_2, \dots, l_N$ отфильтровывают результаты наблюдения с грубыми ошибками $x_{1гр}, x_{2гр}, \dots, x_{Nгр}$, после чего остаются m_1 наблюдений величины x_1 , m_2 — величины x_2 и т. д.; m_N — величины x_N .
Эти результаты наблюдений проходят операции $ll_1, ll_2, \dots, ll_N$ по нахождению средних арифметических значений $X_{m1}, X_{m2}, \dots, X_{mN}$, которые являются результатами измерений исходных величин.

Полученные результаты вводятся в функцию, после вычисления которой получают результат косвенного измерения.

Вычисление суммарных погрешностей

Составляющие суммарных погрешностей

В зависимости от числа проводимых наблюдений и методики их обработки в расчет суммарной погрешности могут вводиться следующие составляющие.

Составляющие суммарных погрешностей

При однократных наблюдениях, а также при небольшом числе наблюдений, не подвергающихся статистической обработке, в расчет вводят неисключенную систематическую погрешность, которая включает в себя инструментальную, методическую и субъективную составляющие.

Составляющие суммарных погрешностей

Инструментальная погрешность

определяется через пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений, которые указываются в технических характеристиках или в данных индивидуальной градуировки.

Методическая погрешность выявляется анализом методики измерения или соответствующим экспериментом.

Субъективная погрешность может быть учтена лишь условно. Например, при отсчете показаний стрелочных приборов субъективную погрешность можно принимать в размере половины минимального деления шкалы.

При многократных наблюдениях в расчет вводят неисключенную систематическую погрешность и доверительные границы случайной погрешности, найденные на основании статистической обработки результатов наблюдений

Вычисление суммарных погрешностей при однократных наблюдениях

При нахождении суммарной погрешности все составляющие рассматриваются как случайные величины с равномерным распределением .

Границы суммарной погрешности (без знака), которые в данном случае совпадают с границами неисключенной систематической погрешности, т. е.

$\Delta x_{\Sigma} = \Delta x_0$ и $\delta_{\Sigma} = \delta_0$, рекомендуется вычислять по формулам:

Вычисление суммарных погрешностей при однократных наблюдениях

в относительной форме

$$\delta_0 = b \sqrt{\sum_{i=1}^l \delta_i^2},$$

в абсолютной

$$\Delta x_0 = b \sqrt{\sum_{i=1}^l \Delta x_i^2},$$

где b — коэффициент, который при доверительной вероятности 0,95 принимают равным 1,1; δ_i — граница i -й неисключенной систематической погрешности (в относительной форме); Δx_i — граница i -й неисключенной систематической погрешности (в абсолютной форме); l — количество учитываемых составляющих.

Прямое измерение. Если прямое измерение выполняется одним средством измерения, границу суммарной относительной погрешности измерения вычисляют по

$$\delta_0 = b \sqrt{\delta_{ин}^2 + \delta_{мет}^2 + \delta_{сб}^2}$$

где $\delta_{ин}$, $\delta_{мет}$, $\delta_{сб}$ — границы относительных погрешностей: инструментальной, методической и субъективной.

Если паспортная инструментальная погрешность средств измерений задана в виде абсолютной погрешности, то величина $\delta_{ин}$ должна быть определена по формуле:

$$\delta_{ин} = \Delta x / X.$$

(1—25)

где X — результат измерений, при нескольких наблюдениях вычисляется так же, как при вычислении случайных погрешностей

Если паспортная инструментальная погрешность средства измерения задана в виде приведенной относительной погрешности (или класса точности), то величину $\delta_{ин}$ определяют по формуле

$$\delta_{ин} = \delta_{пр} (D / X)$$

где $\delta_{пр}$ — приведенная относительная погрешность; D — нормированная величина (обычно диапазон измерений).

В случаях, когда методическая и субъективная составляющие заданы в абсолютном или приведенном относительном виде, значения $\delta_{\text{мт}}$ и $\delta_{\text{сб}}$ для формулы (1—24) должны вычисляться аналогично инструментальной погрешности по формулам (1—25) и (1-26).

Задача определения суммарной погрешности может быть решена непосредственно в абсолютной форме. В этом случае граница суммарной погрешности будет иметь вид:

$$\Delta x_0 = b \sqrt{\Delta x_{ин}^2 + \Delta x_{мет}^2 + \Delta x_{сб}^2}$$

где $\Delta x_{ин}$, $\Delta x_{мет}$, $\Delta x_{сб}$ — абсолютные погрешности: инструментальная, методическая и субъективная.

Часто измерение производится не одним, а несколькими средствами, соединенными последовательно в измерительную цепь (например, измерение температуры с помощью последовательно соединенных термопреобразователя сопротивления, передающего нормирующего преобразователя и показывающего миллиамперметра). При этом каждое из средств измерений характеризуется собственной паспортной инструментальной погрешностью.

Вычисление суммарных погрешностей при однократных наблюдениях

Каждая из границ инструментальной погрешности должна быть приведена к общему виду по формулам (1—25) или (1—26), причем в качестве результата измерений следует принимать соответствующее значение выходной величины каждого средства измерения.

Например, для термопреобразователя сопротивления выходной величиной является величина его электрического сопротивления, для нормирующего преобразователя — выходной ток и т. д. После указанной операции найдет величина

$$\delta_{ин} = b \sqrt{\delta_{ин1}^2 + \delta_{ин2}^2 + \dots + \delta_{инN}^2}$$

где $d_{ин1}$, $d_{ин2}$, $d_{инN}$ — границы относительной инструментальной погрешности средств измерений от 1-го до N -го, входящих в измерительную цепь.

Расчет границы суммарной погрешности производят по формуле (1—24) с подстановкой в нее значения $\delta_{\text{ин}}$ из формулы (1—27). Методическая и субъективная составляющие при этом остаются теми же, что и в случае измерения одним средством измерения.

Определение суммарной погрешности измерительной цепи через абсолютные погрешности отдельных средств измерений в данном случае невозможно, так как каждая из этих величин может выражаться в различных единицах.

Косвенное измерение. Выше было показано, что косвенное измерение предполагает наличие расчетной формулы, связывающей результаты прямых измерений отдельных составляющих величин с косвенно измеряемой величиной.

Рассмотрим основные случаи расчетных формул.

а) Формула имеет вид произведения

$$x = f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot \dots \cdot f_N(x_N).$$

По правилам, изложенным выше, найдем границы неисключенных систематических погрешностей измерений величин $x_1, x_2, \dots, x_N$ по формуле (1—24), обозначив их соответственно $\delta_{o1}, \delta_{o2}, \dots, \delta_{oN}$.

Пользуясь теми же предположениями, которые были высказаны выше, найдем границу неисключенной погрешности косвенного измерения:

$$\delta_0 = b \sqrt{\delta_{0_1}^2 + \delta_{0_2}^2 + \dots + \delta_{0_N}^2}$$

Значение искомой величины имеет вид (1—21).

$$x = X \pm \Delta x_{\Sigma} = X(1 \pm \delta_{\Sigma})$$

По той же формуле (1—29) определяется суммарная погрешность, если расчетная формула имеет вид дроби:

$$x = \frac{f_1(x_1) \cdot f_2(x_2) \cdot \dots \cdot f_N(x_N)}{f_{N-1}(x_{N-1})}$$

б) Формула имеет вид многочлена

$$x = f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_N(x_N)$$

В этом случае необходимо найти границы абсолютных погрешностей измерения каждой из составляющих величин $x_1, x_2, \dots, x_N$ в виде $\Delta x_{01}, \Delta x_{02}, \dots, \Delta x_{0N}$ воспользовавшись для ε

$$\Delta x = x - X,$$

$$\Delta x_0 = b \sqrt{\sum_{i=1}^l \Delta x_i^2},$$

далее найти границу суммарной абсолютной погрешности:

$$\Delta x_0 = b \sqrt{\Delta x_{0_1}^2 + \Delta x_{0_2}^2 + \dots + \Delta x_{0_N}^2}$$

Вычисление суммарных погрешностей при однократных наблюдениях

после чего искомую косвенно измеренную величину можно представить в виде

$$x = X \pm \Delta x_{\Sigma} = X(1 \pm \delta_{\Sigma})$$

принимая $\Delta x_{\Sigma} = \Delta x_0$.

Вычисление суммарных погрешностей при многократных наблюдениях

Прямые измерения. При многократных наблюдениях и статистической обработке их результатов вычисление границы суммарной погрешности измерения производят по формуле

$$\Delta x_{\Sigma} = k \sigma_{\Sigma},$$

где k — коэффициент, зависящий от соотношения случайной и неисключенной систематической погрешностей; σ_{Σ} — оценка суммарного среднего квадратичного отклонения результата измерения:

Вычисление суммарных погрешностей при многократных наблюдениях

Оценка суммарного среднего
квадратичного отклонения результата
измерения.

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^l \frac{\Delta x_i^2}{3} + \sigma^2(x_m)};$$

$$k = \frac{\Delta x_{\text{сл}} + \Delta x_0}{\sigma(\bar{X}_m) + \sqrt{\sum_{i=1}^l \frac{\Delta x_i^2}{3}}}$$

В формулах (1—33) и (1—34): Δx_i — границы i -й неисключенной систематической погрешности; $\sigma(\bar{X}_m)$ — среднее квадратичное отклонение по формуле (1—20); $\Delta x_{\text{сл}}$ — доверительная граница случайной погрешности по формуле (1—19); Δx_0 — граница суммарной неисключенной систематической погрешности по формуле (1—23).

Расчет суммарной погрешности

упрощается, если допустить неточность ее вычисления до 15% от значения Δx_{Σ} . В

этом случае рекомендуем $\frac{\Delta x_0}{\sigma(\bar{X}_m)} < 0,8$ я при

пренебречь систематическими

погрешностями $\Delta x_{\Sigma} = \Delta \bar{x}_{сл}$ гать, что $\frac{\Delta x_0}{\sigma(\bar{X}_m)} > 0,8$, а

при пренебречь случайными

погрешностями $\Delta x_{\Sigma} = \Delta x_0$ и считать .

Косвенные измерения. При косвенном измерении, когда искомая величина может быть представлена выражениями (1—28) или (1—30), находят суммарные погрешности измерений каждой из входящих в них величин $x_1, x_2, \dots, x_N$ по формулам (1—32), (1—33) и (1—34):

$$\Delta x_{1\Sigma} = k_1 \sigma_{1\Sigma}, \quad \Delta x_{2\Sigma} = k_2 \sigma_{2\Sigma}, \quad \dots, \quad \Delta x_{N\Sigma} = k_N \sigma_{N\Sigma} \\ (1—35)$$

Общую суммарную границу погрешности для функции вида (1—28) можно определить, переводя суммарные абсолютные погрешности (1—35) в относительную форму:

$$\delta_{1\Sigma} = \frac{\Delta x_{1\Sigma}}{\bar{X}_{m1}}; \quad \delta_{2\Sigma} = \frac{\Delta x_{2\Sigma}}{\bar{X}_{m2}}; \quad \dots; \quad \delta_{N\Sigma} = \frac{\Delta x_{N\Sigma}}{\bar{X}_{mN}}$$

Вычисление суммарных погрешностей при многократных наблюдениях

и подставив их в формулу:

$$\delta_{\Sigma} = b \sqrt{\delta_{1\Sigma}^2 + \delta_{2\Sigma}^2 + \dots + \delta_{N\Sigma}^2}$$

Для функции вида (1—30) общая суммарная погрешность получается подстановкой суммарных погрешностей составляющих величин в абсолютной форме (1—35) в формулу:

$$\Delta x_{\Sigma} = b \sqrt{\Delta x_{1\Sigma}^2 + \Delta x_{2\Sigma}^2 + \dots + \Delta x_{N\Sigma}^2}$$

По величине Δx_Σ можно найти и границу общей погрешности в относительной форме

$$\delta_\Sigma = \Delta x_\Sigma / X,$$

где X — результат косвенного измерения, полученный по формуле (1-30).

Примеры вычисления суммарных погрешностей

Вычисление суммарных погрешностей при многократных наблюдениях

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЯХ

Как было указано в предыдущей главе, измерение быстроменяющихся величин связано с динамическими погрешностями. Только идеальная динамическая характеристика вида $(1—1)$ обеспечивает воспроизводство входного сигнала на выходе средства измерения или его элемента без искажений. Если регистрируется периодически изменяющаяся величина (именно этот случай встречается, например, при индицировании компрессоров), то возможны искажения, как по форме, так и по фазе.

Искажения могут быть предсказаны, если известны форма входного сигнала и динамические характеристики измерительной цепи. При отсутствии аналитических выражений динамических характеристик прибегают к экспериментальным исследованиям .

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЯХ

При любом способе анализа динамических свойств цепей или элементов необходимо принять один из двух методов оценки динамических погрешностей.

Первый метод состоит в определении относительной погрешности измерения, т. е. погрешности относительно текущего (мгновенного) значения измеряемой величины. Недостаток этого метода в том, что при знакопеременных величинах или при уменьшении измеряемой величины до малых значений (в пределе — до нуля) относительная погрешность возрастает и в пределе становится равной бесконечности.

Второй метод предусматривает определение приведенной погрешности, т.е. погрешности, отнесенной к некоторому нормализующему значению (например, к максимальному).

Погрешности динамических измерений могут быть использованы для оценки их влияния на конечный результат и для восстановления неискаженной измеряемой величины.

В первом случае зарегистрированный процесс принимается за конечный результат измерения, а ожидаемые погрешности используют при определении суммарных погрешностей косвенных измерений. Например, при осциллографировании давления в цилиндре компрессора ожидаемые погрешности позволяют оценить общую погрешность при вычислении индикаторной мощности, величин депрессий и т. д.

Второй случай касается результатов измерений, которые нецелесообразно использовать непосредственно. Так, если известно, что измерительная цепь вносит заметные фазовые искажения (запаздывание), то стремятся ввести соответствующую поправку в результат измерения, например перестроение осциллограммы, исключив погрешность и восстановив измеряемую величину.

НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ О ДИНАМИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЯХ

В целом процедура учета динамических погрешностей достаточно трудоемка и громоздка. Поэтому основное направление создания аппаратуры и методик для динамических измерений состоит в том, чтобы характеристики аппаратуры и других элементов измерительных цепей не достигали тех граничных значений, которые могут вызвать заметные динамические погрешности. Так, принимают заведомо более широкие частотные полосы, чем это вытекает из приближенных расчетов, исключают элементы запаздывания (например, подводящие каналы к датчикам давления). Эти меры, естественно, вызывают определенное усложнение и удорожание измерительной техники. Но во многих случаях это оказывается более эффективно, чем поиски и исключение погрешностей.

Указанные меры не всегда могут быть реализованы. При измерении быстроменяющихся температур, например, остается проблема учета инерционности первичного преобразователя. В таких случаях разрабатываются специальные методы расчета погрешностей и внесения поправок.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОВЕРОК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Поверка — одна из форм метрологического надзора и служит для определения фактических точностных показателей средств измерений. Последние допускаются к эксплуатации только при положительных результатах поверки. Организация и порядок проведения поверки регламентируются ГОСТом.

В зависимости от назначения различают поверки:

- первичные, осуществляемые при выпуске средств измерений из производства и ремонта;
- периодические, которые проводятся при эксплуатации через определенные интервалы времени, обеспечивающие поддержание средств измерений в исправном состоянии;
- внеочередные, выполняемые в особых случаях, например перед ответственными измерениями, после длительного хранения или транспортировки и т. д.

Если поверку осуществляют центральные или территориальные органы Госстандарта или их представители, то такая поверка называется государственной. Если поверку проводят метрологические службы предприятий или организаций, эксплуатирующих средства измерений, то такая поверка называется ведомственной. Право на проведение ведомственной поверки предоставляется территориальными органами Госстандарта, которые оформляют соответствующие регистрационные удостоверения.

Обязательной государственной поверке подлежат средства измерений:

- применяемые ведомственными метрологическими службами в качестве исходных образцовых средств;
- применяемые в качестве образцовых средств при выпуске средств измерений из ремонта, выполняемого для сторонних организаций;

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОВЕРОК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

- принадлежащие ведомственным метрологическим службам и используемые в качестве образцовых средств органами государственной метрологической службы;
- выпускаемые прибороремонтными предприятиями после ремонта, выполненного для сторонних организаций;
- применяемые для измерений, связанных с учетом материальных ценностей, взаимными расчетами, охраной здоровья трудящихся, обеспечением безопасности труда (устанавливаются перечнем Госстандарта).

Все остальные средства измерений подлежат ведомственной поверке.

Если ведомственная метрологическая служба не обеспечена поверочным оборудованием, соответствующие средства измерений проходят поверку в органах государственной службы по графикам, согласованным с этими органами. Данная поверка должна рассматриваться как ведомственная, выполняемая сторонней организацией.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОВЕРОК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

К проведению ведомственной поверки допускаются лица, прошедшие специальное обучение и сдавшие экзамены в учебных заведениях Госстандарта. В отдельных случаях допускается сдача экзаменов экстерном.

Периодичность обязательной государственной поверки (межповерочные интервалы) средств измерений устанавливается органами Госстандарта.

Периодичность ведомственной поверки устанавливается руководителями метрологических служб предприятий и организаций, эксплуатирующих средств измерений.

Поверке не подлежат средства измерений, применяемые для наблюдения за изменениями величин без оценки их значений в единицах физических величин с нормированной точностью. Контроль их исправности осуществляют ведомственные метрологические службы. На приборах должно быть нанесено отчетливо видимое обозначение «и» (индикатор).

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

Поверка средств измерений осуществляется путем передачи размера единицы физической величины от эталона или образцового средства к рабочим средствам измерений.

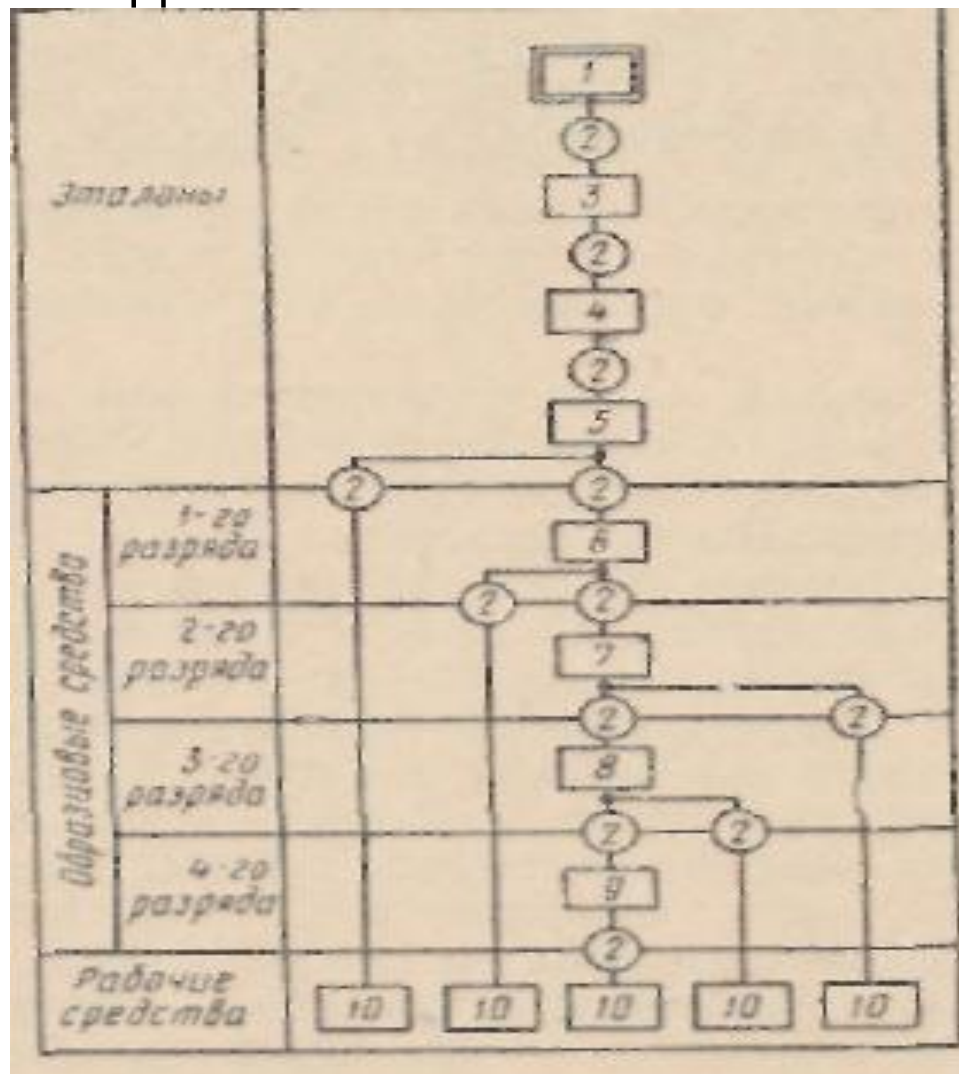
Основным документом, регламентирующим средства, методы и точность передачи величины, является поверочная схема. Поверочные схемы подразделяются на общесоюзные и локальные

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

Общесоюзные поверочные схемы составляются центральными органами Государственной метрологической службы и охватывают все этапы передачи физической единицы, начиная от эталона.

Пример общесоюзной поверочной схемы приведен на рисунке.

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ



Общесоюзная поверочная схема

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

Схема определяет передачу единицы от государственного эталона 1 к рабочим средствам измерения 10.

Схема включает в себя эталоны (в данном случае — вторичный 3, эталон-копию 4 и рабочий 5), образцовые средства измерений и методики поверок 2.

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

Видно, что схемы поверки различных по точности рабочих средств измерений отличаются друг от друга. Рабочие средства наивысшей точности поверяют по рабочему эталону 5, а остальные — по образцовым средствам соответствующего разряда (6, 7, 8 и 9). Практическая поверочная деятельность осуществляется по локальным схемам, которые являются частью общесоюзной.

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

Ведомственные метрологические службы также пользуются локальными поверочными схемами, которые осуществляются ими и охватывают лишь этапы, выполняемые этими службами.

Локальные поверочные схемы состояются при наличии трех и более ступеней передачи размера единиц и должны соответствовать общесоюзной схеме. В локальной схеме должны быть указаны местонахождение и наименование эталона или образцового средства, по которому поверяются исходные образцовые средства данной схемы.

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

Методы поверки, входящие как составные части в поверочные схемы, составляют применительно к каждому виду измерений.

Следующие общие методы могут быть положены в основу конкретных методов поверки:

- непосредственное сличение поверяемого средства с образцовым средством измерения того же вида;
- сличение поверяемого средства измерения с образцовым средством того же вида при помощи компаратора;

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

- прямое измерение поверяемым средством измерения величины, воспроизводимой образцовой мерой;
- косвенное измерение образцовыми средствами величины, воспроизводимой поверяемым средством.

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

Образцовые средства измерений, их точность и деление на разряды определяются конкретными общесоюзными поверочными схемами отдельно по каждому виду измерений.

Так, в поверочной схеме для средств измерений давления в диапазоне от 0,025 до 60 МПа предусматриваются образцовые ртутные мановакуумметры 2-го разряда и образцовые пружинные вакуумметры и манометры 4-го разряда. В поверочной схеме средств измерений температуры предусмотрены образцовые термопреобразователи сопротивления (термометры сопротивления) и термоэлектрические преобразователи (термодатчики) 1, 2 и 3-го разрядов.

СХЕМА И МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

На основании поверочных схем в необходимых случаях создаются поверочные установки, в состав которых наряду с образцовыми средствами измерений входят различные вспомогательные устройства (термостаты, резервуары, испытательные камеры и др.). Такие установки подлежат метрологической аттестации органами государственной или ведомственной метрологической службы.