

10. Чем определяется точность измерений?
11. Приведите классификацию погрешностей средств измерения.
12. Запишите формулу для определения суммарной абсолютной погрешности средств измерений.
13. Что такое аддитивная и мультипликативная составляющие погрешности?
14. Что такое класс точности СИ?

1.4. Методы обработки результатов измерений

1.4.1. Многократные прямые равноточные и неравноточные измерения

Необходимость многократных измерений некоторой физической величины возникает при наличии в процессе измерений значительных случайных погрешностей. В этом случае задача состоит в том, чтобы по результатам измерений найти наилучшую оценку истинного значения и интервал, в котором находится истинная величина с заданной вероятностью. Решение задачи выполняется методом статической обработки результатов измерений. Методика обработки результатов измерений используется применительно к прямым измерениям с многократными независимыми и равноточными измерениями.

Последовательность обработки результатов измерений включает следующие этапы:

- исправление результатов наблюдений исключением (если это возможно) систематической погрешности;
- исключение промахов;
- вычисление среднего арифметического значения \bar{x} по формуле (1.6);
- вычисление выборочного среднеквадратического отклонения $\sigma_{\bar{x}}$ от значения погрешности измерений по формуле (1.7);
- определение закона распределения случайной составляющей;
- определение при заданном значении доверительной вероятности P и числе измерений n коэффициента Стьюдента t_p ;
- нахождение границ доверительного интервала для случайной погрешности $\Delta = \pm t_p \sigma_{\bar{x}}$;
- если величина Δ сравнима с абсолютным значением погрешности

средства измерения, то величина $\Delta_{СИ}$ считается неисключенной систематической составляющей;

- окончательный результат представляется в виде $\bar{x} = x \pm \Delta_{\Sigma}$ при вероятности P .

При планировании измерительных операций и обработке их результатов зачастую приходится пользоваться неравноточными измерениями (т.е. измерениями одной и той же физической величины, выполненными с различной точностью, разными приборами, в различных условиях, различными исследователями и т. д.). Вероятность α того, что x_{∂} лежит в пределах равноточных измерений ($\bar{x}_{\partial} \pm \Delta \bar{x}_{\partial}$), определяется вышеприведенным методом для равноточных измерений. Точность измерений тем выше, чем меньше систематическая составляющая их погрешности.

1.4.2. Однократные измерения

Прямые статистические измерения в большей степени относятся к лабораторным (исследовательским) измерениям, например, при разработке и аттестации методики, когда погрешность измерений выявляется в процессе проведения и обработки экспериментальных данных.

Для производственных процессов более характерны однократные прямые или косвенные измерения. Здесь процедура измерений регламентируется заранее с тем, чтобы при известной точности средства измерения и условиях измерения погрешность не превзошла определенное значение. Поскольку измерения выполняются без повторных наблюдений, то нельзя отделить случайную составляющую от систематической. Поэтому для оценки погрешности дают лишь ее границы с учетом возможных влияющих величин. На практике дополнительные погрешности, как правило, не учитываются, так как измерения осуществляют в основном в нормальных условиях, а субъективные погрешности также весьма малы.

Результатом прямого однократного измерения физической величины является показание, снятое непосредственно с используемого измерительного прибора.

Однократные измерения достаточны, если неисключенная

систематическая погрешность (например, класс точности средства измерения) заведомо больше случайной. Тогда результат измерения записывают в виде

$$x = x_{\text{ср.изм}} \pm \Delta_{\Sigma} \text{ при вероятности } P = 0,95,$$

где $x_{\text{ср.изм}}$ – результат, зафиксированный средством измерения; $\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{ср.изм}}^2 + \Delta_{\text{мет}}^2}$ – суммарная погрешность измерения, определяемая классом точности средства измерения $\Delta_{\text{ср.изм}}$ и методической погрешностью $\Delta_{\text{мет}}$.

Практически при однократных измерениях, чтобы избежать промахов, делают 2-3 измерения и за результат принимают среднее значение. Предельная погрешность однократных измерений в основном определяется классом точности. При этом, как правило, систематическая составляющая не превосходит $\Delta_c \leq 0,3\Delta_{\text{ср.изм}}$, а случайная $\overset{o}{\Delta} \leq 0,4\Delta_{\text{ср.изм}}$, поэтому, учитывая, что $\Delta_{\text{изм}} = \pm(\Delta_c + \overset{o}{\Delta})$, погрешность результата однократного измерения можно принять равной $\Delta_{\text{изм}} = 0,7\Delta_{\text{ср.изм}}$.

1.4.3. Косвенные измерения

Косвенные измерения предполагают наличие функциональной связи:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Очевидно, погрешность в оценке Y зависит от погрешностей при измерениях аргументов. Для повышения точности косвенных измерений, прежде всего нужно стремиться снизить наибольшие погрешности отдельных аргументов.

Методы строгого анализа погрешности косвенных измерений отличаются значительной сложностью, поэтому используется упрощенный порядок расчета погрешностей.

Для технических измерений существует подход, основанный на методе математического программирования, сводящий аналитическую задачу к вычислительной. При этом в информации о законе распределения аргумента нет необходимости. В качестве оценки \bar{Y} принимается полусумма максимального и минимального значений функции Y , а оценки абсолютной погрешности – полуразность этих значений:

$$\bar{Y} = \frac{Y_{\max} + Y_{\min}}{2}; \Delta \bar{Y} = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{2}. \quad (1.27)$$

Тогда относительная погрешность

$$\delta_{\bar{Y}} = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{Y_{\max} + Y_{\min}} 100\%. \quad (1.28)$$

Одновременные измерения двух или нескольких величин называются *совместными*, если уравнения измерения для этих величин образуют систему линейных независимых уравнений. Например, для двух измеряемых величин x и y :

$$f_1(x, y; \alpha_1, \beta_1; \dots; a_1, b_1; \dots) = 0;$$

$$f_2(x, y; \alpha_2, \beta_2; \dots; a_2, b_2; \dots) = 0.$$

где $\alpha_1, \beta_1; \dots; \alpha_2, \beta_2; \dots$ – результаты прямых или косвенных измерений; $a_1, b_1; \dots; a_2, b_2; \dots$ – физические константы.

Если число уравнений превышает число неизвестных, то полученную систему решают методом наименьших квадратов и находят оценки x и y и их среднеквадратическое отклонение. Доверительные интервалы для истинных значений x и y строят на основе распределения Стьюдента. При нормальном распределении погрешностей метод наименьших квадратов приводит к наиболее вероятным оценкам.

Совокупные измерения отличаются от совместных только тем, что при совокупных измерениях одновременно измеряют несколько одноименных величин, а при совместных – разноименных. Математический аппарат у этих видов измерений один. Учитывая характер измеряемых величин, совместные измерения можно рассматривать как обобщение косвенных измерений, а совокупные – как обобщение прямых.

1.4.4. Контрольные вопросы

1. Какие измерения называются прямыми?
2. Какие измерения называются косвенными?
3. Назовите этапы обработки результатов многократных прямых равноточных измерений.
4. В чем сущность неравноточных измерений?
5. Когда применяются однократные измерения?
6. Как определяют результат при однократных измерениях?
7. Какие измерения называются косвенными?
8. Какую функциональную связь предполагают косвенные измерения?