

Погрешности измерения

Погрешностью измерения называют отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Погрешность измерения зависит от воздействия ряда независимых факторов: погрешности применяемых измерительных средств, внешних условий измерения, погрешности формы объекта измерения и др.

Погрешности измерения классифицируются на систематические, случайные и грубые. Систематической называют составляющую погрешности измерения, остающуюся постоянной или закономерно изменяющуюся при повторных измерениях одной и той же величины. К числу постоянных систематических погрешностей можно отнести погрешность градуировки шкалы прибора, на котором производятся измерения.

Случайной называют составляющую погрешности измерения, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. К таким погрешностям, например, относятся вариация показаний измерительного прибора, т. е. наибольшая разность показаний прибора при многократном измерении одной и той же величины и неизменных внешних условиях, а также погрешности округлений при отсчете показаний измерительного прибора.

Систематическая погрешность может быть исключена из результатов измерений, если ее природа известна и величина может быть определена, путем внесения поправок в результаты измерений. В технических измерениях метод внесения поправок используется редко. Для устранения систематических погрешностей в процессе измерения чаще прибегают к их переводу в случайные. Например, систематическая ошибка может возникнуть при измерении диаметра цилиндрической детали из-за ее овальности. Она будет зависеть от величины овальности детали и направления измерения. Эту систематическую погрешность можно перевести в случайную, измерив диаметр детали в разных направлениях и определив среднее арифметическое измерений.

Определить случайную погрешность результатов измерения можно лишь вероятностным способом, так как случайные погрешности подчиняются вероятностным законам распределения. Случайные погрешности измерений образуются в результате совместного влияния ряда независимых факторов, среди которых нет преобладающих. Рассеивание таких случайных величин, согласно теореме Ляпунова, подчиняется нормальному закону распределения (закону Гаусса).

Случайные погрешности определяются как отклонения результатов измерения от истинного значения измеряемой величины. Практически рассматривают отклонения результатов измерения от среднего арифметического \bar{L} из ряда измерений l_i .

Среднее арифметическое из ряда измерений рассматривается как наиболее достоверное значение измеряемой величины, которое при числе измерений $N \rightarrow \infty$ стремится к истинному значению этой величины. Среднее арифметическое из случайных погрешностей при отсутствии систематических погрешностей равно нулю.

Для характеристики величины случайных отклонений результатов измерений нужно задавать доверительные границы отклонений уверенный интервал и величину доверительной вероятности, коэффициента надежности ,

$$P(\bar{X} - \Delta x < x < \bar{X} + \Delta x) = \alpha \quad (\text{III.2})$$

Доверительными границами случайных отклонений результатов измерений называют верхнюю и нижнюю границы интервала значений от $\bar{X} - \Delta x$ до $\bar{X} + \Delta x$, накрывающего с заданной вероятностью случайные отклонения результатов измерений. Доверительный интервал выражается через среднее квадратическое отклонение, доверительная вероятность определяется по таблицам интеграла Лапласа (для закона нормального распределения) или, задаваясь доверительной вероятностью, определяют доверительные границы. Так, например, задаваясь 95%-ной вероятностью, считают доверительный интервал равным 4σ , где σ — среднее квадратическое отклонение результата измерения. При

небольшом числе измерений доверительные интервалы и доверительную вероятность определяют, пользуясь распределением Стьюдента.

Параметры рассеивания случайных погрешностей измерения определяют путем обработки результатов измерений одной и той же величины.

Результаты ряда измерений обрабатывают обычно следующим образом [1]:

определяют среднее арифметическое из ряда измерений:

$$L = \sum_{i=1}^n l_i / N \quad (\text{III.3})$$

случайные (остаточные) погрешности:

$$x_i = l_i - L$$

Систематическую погрешность результата измерений определяют как разность между средним арифметическим из ряда измерений и действительным значением измеряемой величины.

Определяют среднюю квадратическую погрешность однократного измерения

$$\sigma = \sqrt{\sum x_i^2 / N}, \quad (\text{III.4})$$

где N — число измерений.

Предельная случайная погрешность одного измерения

$$\Delta_{\text{lim}} = 3 \sigma$$

Средняя, квадратическая погрешность среднего арифметического из ряда измерений

$$M = \sigma / \sqrt{N}, \quad (\text{III.5})$$

предельная погрешность среднего арифметического

$$M_{\text{lim}} = 3M = 3 \sigma / \sqrt{N}.$$

Эту величину можно рассматривать как предельную погрешность аттестации среднего арифметического размера L, т. е. при повторной аттестации размера теми же средствами и в тех же условиях погрешность аттестации ΔL , будет находиться в пределах

$$\pm M_{\text{lim}} = \pm 3 \sigma / \sqrt{N}$$

Грубой погрешностью называют погрешность измерений, существенно превышающую ожидаемую при данных условиях. Она может появиться, например, в результате неправильного отсчета показаний прибора.

Существует ряд критериев для исключения грубых погрешностей при математической обработке результатов измерений. Чаще всего применяется критерий Райта (правило 3σ): значения x_i , превышающие 3σ после определения величины σ с учетом всех отклонений, должны быть исключены. После исключения грубых погрешностей снова производится математическая обработка ряда измерений.

Определение случайной составляющей суммарной погрешности метода измерения, которая зависит от ряда независимых ошибок, производится по закону сложения независимых случайных величин:

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum (\sigma_i)^2} \quad (\text{III.6})$$

где σ_{Σ} — средняя квадратическая погрешность суммы случайных величин (метода измерения); σ_i^2 — дисперсия i -ой случайной величины, т. е. отдельной составляющей суммарной погрешности метода.

Учитывая, что распределение составляющих случайных погрешностей — погрешностей измерительных средств, температурных, образцовых мер, по которым настраиваются измерительные средства, вследствие колебаний измерительных усилий, отсчета и т. д., — подчиняется, как правило, закону нормального распределения, можно написать

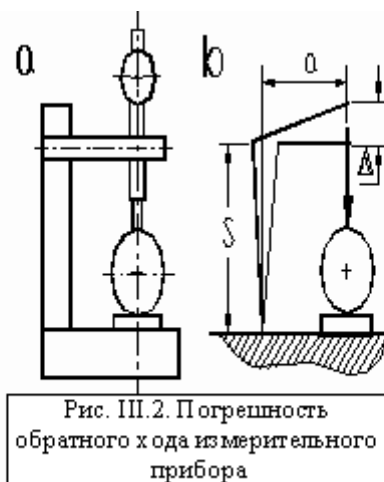
$$\Delta_{\text{lim}\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{lim}1}^2 + \Delta_{\text{lim}2}^2 + \dots + \Delta_{\text{lim}n}^2} \quad (\text{III.7})$$

где $\Delta_{\text{lim}\Sigma}$ — предельная случайная погрешность метода измерения; $\Delta_{\text{lim}1}, \Delta_{\text{lim}2}, \dots, \Delta_{\text{lim}n}$ — предельные случайные составляющие погрешности измерения $\pm \Delta_{\text{lim}i} = \pm 3\sigma_i$.

С учетом систематических и случайных составляющих погрешностей измерений суммарная погрешность метода измерения

$$\Delta_{\Sigma} = \sum \Delta_{\text{сист}} \pm \Delta_{\text{lim}\Sigma}, \quad (\text{III.8})$$

где $\sum \Delta_{\text{сист}}$ — алгебраическая сумма систематических погрешностей, взятых со своими знаками.



Работа систем автоматического контроля связана с сортировкой контролируемых деталей на годные (находящиеся внутри допустимых предельных размеров) и брак (выходящие за пределы допуска), с рассортировкой деталей на размерные группы внутри поля допуска или с дачей команд на управление станком при достижении деталью какого-то заданного размера.

Шкала в системах активного контроля используется, как правило, для наблюдения за ходом съема припуска и настройки контактов или других командных элементов преобразователя (датчика). В контрольно-сортировочных автоматах наличие шкалы облегчает настройку автомата и наблюдение за его работой. Погрешность показаний, шкалы оказывает существенное влияние на точность автоматического контроля только в том случае, когда настройка команд автомата (настройка датчика) производится по шкале отсчетного устройства, а не по образцовым деталям (эталоном). При настройке контрольного автомата по образцовым деталям этот показатель не оказывает влияния на точность автомата.

Погрешность обратного хода (разность между показаниями прибора при движении измерительного наконечника в прямом и обратном направлениях) возникает вследствие ряда причин: гистерезиса упругих элементов, колебаний сил трения в подвижных частях систем, колебаний зазоров и т. д. Эта погрешность оказывает существенное влияние на точность устройств автоматического контроля, которые работают обычно в динамическом режиме. Погрешность обратного хода измерительной системы может быть рассмотрена на примере [6] измерительного прибора (рис. III.2, а). При движении измерительного стержня прибора вверх измерительное усилие

$$P_{\text{и}} = P_{\text{пр}} + G_{\text{с}} + F_{\text{д}}, \quad (\text{III.9})$$

где $P_{\text{пр}}$ — сила натяжения пружины; $G_{\text{с}}$ — вес стержня; $F_{\text{д}}$ — сила трения движения.

При движении измерительного стержня вниз сила трения изменяет знак и действует против силы натяжения пружины и веса стержня:

$$P_{\text{и}} = P_{\text{пр}} + G_{\text{с}} - F_{\text{д}} \quad (\text{III.10})$$

где $F_{\text{п}}$ — сила трения покоя (при изменении направления движения).

Возникает изменение измерительного усилия $\Delta P_{\text{и}} = F_{\text{д}} + F_{\text{п}}$ при одном положении измерительного стержня в зависимости от направления его движения. Этот перепад измерительного усилия вызывает изменение величин силовых деформаций звеньев цепи, что служит одной из основных причин погрешности обратного хода.

Погрешность обратного хода

$$\Delta = (F_{\text{д}} + F_{\text{п}}) / k, \quad (\text{III.11})$$

где k — приведённая жесткость системы.

Погрешность обратного хода системы (рис. III.2, б)

$$\Delta = (\Delta P_{\text{и}} a^2 / E) [s / J_{\text{ст}} + a / 3 J_{\text{к}}]^3 \quad (\text{III.12})$$

где $J_{\text{ст}}$ — момент инерции стойки; $J_{\text{к}}$ — момент инерции кронштейна; s — высота стойки; a — длина кронштейна; E — модуль упругости.

Важной характеристикой точности средств автоматического контроля является, нестабильность срабатывания, т. е. разность между наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины, в пределах которой возможно как получение, так и неполучение выходного сигнала при постоянном уровне настройки прибора [13].

Уровнем настройки называют значение величины, соответствующей центру распределения показаний прибора при неизменной его настройке. Под настройкой прибора следует понимать приведение его в такое состояние, когда при измерении установочной меры он дает требуемый результат.

Погрешность (нестабильность) срабатывания определяется полем рассеивания случайных отклонений средства автоматического контроля подобно вариации показаний универсальных измерительных приборов. Нестабильность срабатывания автоматических измерительных систем зависит от изменения характеристик сил трения элементов системы, зазоров в кинематической цепи прибора, изменения параметров электрической схемы включения датчика и др.

Погрешность настройки и смещение уровня настройки являются также важными составляющими суммарной погрешности средств автоматического контроля.

Под смещением уровня настройки понимают самопроизвольное изменение уровня настройки показаний или срабатываний прибора при измерении постоянной линейной величины.

Существенной характеристикой средства автоматического контроля является также порог чувствительности — наименьшее изменение измеряемой величины, на которое оно реагирует.

В зависимости от условий работы (испытаний) автоматических измерительных систем различают их статические и динамические погрешности. Статической погрешностью называют погрешность средства измерения при измерении постоянной величины. Динамической погрешностью называют разность между погрешностью средства измерения в динамическом режиме, т. е. при измерении переменной во времени величины, и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент. Статическая погрешность характеризуется предельной погрешностью средства измерений при установившемся состоянии его элементов, динамическая погрешность — погрешностями средства измерений с учетом движения его элементов, действующих на них сил, изменения параметров при неустановившемся состоянии его элементов.

Рассматривая измерительное устройство как преобразователь входного сигнала x в выходной сигнал y , где под входным сигналом понимается измерительный импульс, т. е. изменение измеряемой величины, а под выходным сигналом — сигнал устройства, соответствующий определенной величине входного сигнала, можно считать, что в статическом режиме эта зависимость $y = f(x)$ не изменяется во времени, а в динамическом режиме $y = \varphi(x, t)$, т. е. зависит от времени.

Для определения динамических погрешностей измерительных устройств предложен ряд характеристик: собственная круговая частота колебаний подвижных частей ω_0 ; амплитудно-частотная характеристика $\Delta A(\omega)$, выражающая зависимость амплитуды A динамической погрешности от частоты ω изменения контролируемой величины, и переходная функция $\Delta s(t)$ — динамическая погрешность показаний при внезапном изменении контролируемой величины.

Увеличение передаточного отношения (чувствительности) средств автоматического контроля, если это не связано с усложнением кинематической схемы, за счет увеличения количества механических передаточных звеньев, и ростом инерционности системы ведет в общем случае к уменьшению неустойчивости срабатывания и снижению погрешностей настройки. Облегчается настройка и работа контрольно-сортировочных автоматов при сортировке на большое количество групп.