

Сбор, обработка и представление первичной технологической информации

Инструментально-программный
методический комплекс

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВАХ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПРОЦЕССЕ

Основные понятия об измерении

Обычно под термином **измерение** понимают нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств, называемых средствами измерений (СИ).

- Согласно ГОСТ 8.009-84 ^[1] СИ – средство, предназначенное для измерений, вырабатывающее сигнал (показание), несущий информацию о значении измеряемой величины, или воспроизводящее величину заданного (известного) размера.
- **Измерительный прибор** – средство информации, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия оператором.

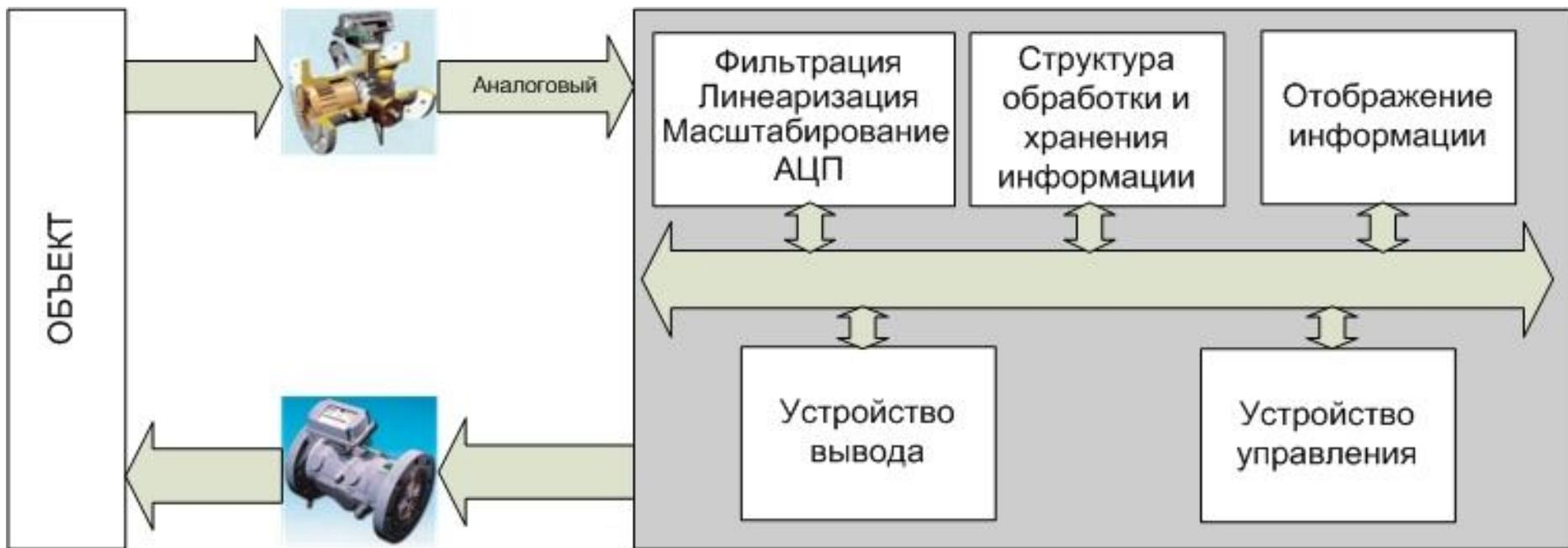
В зависимости от формы представления измерительной информации измерительные приборы подразделяют на:

- показывающие;
- регистрирующие;
- самопишущие;
- печатающие.

^[1] ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.



Обобщенная схема информационно-измерительной системы



Информация, поступающая от объекта исследований в измерительный преобразователь **(ИП)**, преобразуется в электрический сигнал и поступает в структуру ИИС, осуществляющую измерение и преобразование информации **(СИПИ)**. В структуре СИПИ измерительная информация подвергается следующим операциям: фильтрации, масштабированию, линеаризации, аналого-цифровому преобразованию. Затем сигналы измерительной информации в цифровой (дискретной) форме поступают в структуру обработки и хранения информации **(СОХИ)** или в структуру отображения информации **(СОИ)**. Устройство управления **(УУ)** осуществляет функции управления, устройство вывода **(УВ)** осуществляет вывод управляющих сигналов на исполнительные устройства **(ИУ)**, воздействующие на объект исследования.

Статические и динамические характеристики преобразователей

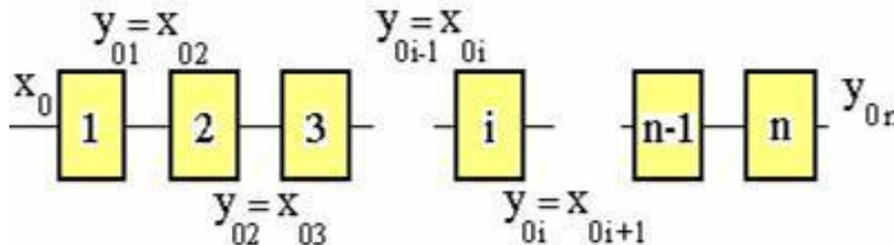
- *Зависимость выходной величины датчика или измерительного прибора от входной, выраженная аналитически или графически, называется **статической характеристикой**.*
- В общем виде статическая характеристика имеет вид:

$$y = f(x),$$

где x – значение измеряемой величины;

y – выходная величина.

Преобразование измеряемой величины x в выходную величину редко осуществляется в одиночном звене. Реальный измерительный прибор или датчик может быть представлен как последовательность из n соединенных звеньев:



Каждое из звеньев имеет свою статическую характеристику. Входной величиной любого звена, кроме первого, является выходная характеристика предыдущего звена.

Статические и динамические характеристики преобразователей

Если статическую характеристику любого из звеньев представить как

$$y_{0i} = f_i(x_{0i})$$

то учитывая, что $x_{0i} = y_{0i-1}$ получим зависимость выходной характеристики любого из звеньев от измеряемой величины:

$$y_{0i} = f_i\{f_{i-1}(f_{i-2}\dots f_2)[f_1(x_0)]\}$$

Статическая характеристика прибора, состоящего из n звеньев, может быть записана в следующем виде:

$$y_{0n-1} = f_{n-1}\{f_{n-2}(f_{n-3}\dots f_2)[f_1(x_0)]\}$$

Если функциональная связь между входной и выходной величиной в рабочей области звена непрерывна и однозначна, то каждому значению x_0 отвечает одно значение y_0 . Такое звено носит название **статического**.

Статические и динамические характеристики преобразователей

- Частный случай статической характеристики звена – линейная зависимость, определяемая уравнением вида

$$y = a + kx_0$$

где a – постоянная, имеющая размерность выходной величины;
 k – постоянная, называемая передаточным коэффициентом.

- Применительно к измерительным приборам и преобразователям передаточный коэффициент k в обычно называют **чувствительностью**.
- Если статическая характеристика **нелинейна**, под чувствительностью понимают предел отношения приращений выходного Δy и входного Δx сигналов. Таким образом, чувствительность S определится как

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left| \frac{\Delta y_0}{\Delta x_0} \right| = \frac{dy_0}{dx_0}$$

- Чувствительность измерительного прибора, состоящего из n звеньев, определяется чувствительностью входящих в него звеньев. Если все звенья прибора линейные, то чувствительность прибора – величина постоянная, а шкала равномерная. Если хотя бы одно звено нелинейно, вся характеристика также получается нелинейной.

Статические и динамические характеристики преобразователей

- Теперь обсудим случай, когда функциональная связь между равновесными значениями входной и выходной величин вообще отсутствует, многозначна или имеет разрывы непрерывности. Такое звено называют **астатическим**.
- Во многих случаях у астатических звеньев при отсутствии функциональной связи между равновесными координатами в статике имеется функциональная связь в динамике в виде дифференциального уравнения. Различают астатическое звено 1, 2 порядка в зависимости от порядка дифференциального уравнения:

$$\frac{dy}{d\tau} = f(x_0); \frac{d^2 y}{d\tau^2} = f(x_0).$$

- Датчики в отдельности и измерительные системы в целом предназначены для работы в нестационарных условиях, т.е. обычно измеряемая величина не является постоянной, а зависит от времени. Поэтому для измерительных систем важно свести к минимуму запаздывание в показаниях при изменении измеряемой величины.

Статические и динамические характеристики преобразователей

- *Зависимость показаний измерительной системы от измеряемой величины в нестационарных условиях носит название динамической характеристики.*

Вид динамической характеристики зависит от характера изменения измеряемой величины. Физические явления, определяющие динамические характеристики, весьма сложны, поэтому аналитическое определение динамических характеристик весьма затруднено. Обычно динамические характеристики определяют опытным путем как изменение выходного сигнала y при известном изменении входной величины x . Графическое изображение изменения во времени выходной величины при скачкообразном изменении входной представляет из себя **переходный процесс**.

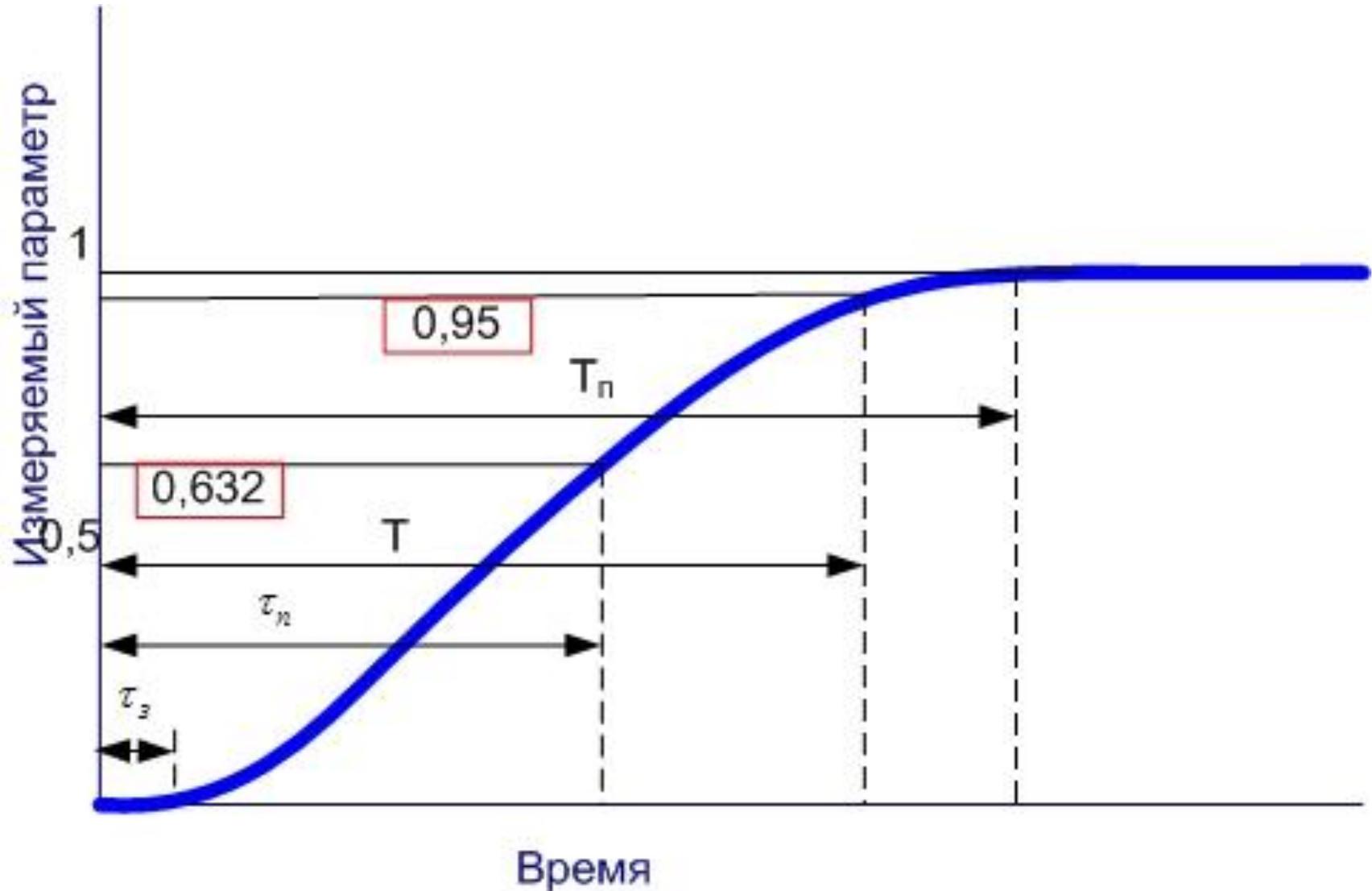
Измерительная система реагирует на изменение измеряемого параметра не сразу, не мгновенно, а спустя некоторое время после единичного воздействия на измеряемый параметр.

Статические и динамические характеристики преобразователей

- **Время запаздывания (или время начала реагирования) t_3** – это время от момента изменения значения измеряемой величины на входе прибора до момента начала изменения выходного сигнала.
- **Время переходного процесса T** – это время, в течение которого значения выходного сигнала после изменения измеряемой величины входят в 5% зону установившегося значения ($X_d=0,95$, где X_d – значение выходного сигнала в динамических условиях).
- **Полное время переходного процесса (полное время установления показаний) T_p** – это время от момента изменения измеряемой величины на входе в измерительную систему до момента, когда значение выходного сигнала не изменяется.
- Если говорить о математическом описании кривой переходного процесса, то в большинстве случаев эту кривую можно описать экспоненциальной зависимостью. В этом случае *период времени, в течение которого значение выходного сигнала с момента начала его изменения достигает 0,632 от разности между установившимся и начальным его значениями, называется постоянной времени $t_{п}$.*

Если график переходного процесса не описывается уравнением экспоненты, то постоянную времени для этого случая можно определить, построив проекцию на ось времени отрезка касательной, проведенной в точке перегиба графика.

Статические и динамические характеристики преобразователей



Основные понятия измерений и погрешности измерений

- Цель любого измерения – определение конкретного свойства объекта измерения. Поэтому результатом измерения является значение величины, определяемое по результатам измерений.
- В зависимости от процедуры проведения измерения и способа обработки результата измерения можно разделить на **прямые, косвенные, совокупные и совместные**.
- *Прямым измерением принято называть такое измерение, при котором искомое значение величины находят из опытных данных, полученных непосредственно в процессе измерения.*
- *Косвенное измерение – это такое измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и другими величинами, определяемыми по результатам прямых измерений. Таким образом, искомую величину находят в результате решения уравнения $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.*
- *При совокупных измерениях выполняют одновременное измерение нескольких одноименных величин, а искомое значение исследуемой величины находят из решения системы уравнений, в которые входят результаты прямых измерений величин.*
- *При совместных измерениях определяют одновременно несколько разноименных величин с целью установления зависимости между ними.*

Основные понятия измерений и погрешности измерений

Различают **действительное** и **истинное** значение физической величины.

- *Истинным значением физической величины называют такое ее значение, которое идеальным образом отражает в качественном и количественном отношении соответствующее свойство объекта.*
- *Действительным значением физической величины называют значение, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что может быть использовано вместо него.*

Однако всегда конкретный результат измерения в какой-то мере отличается от истинного значения величины, поэтому вводится понятие **погрешности измерения**.

Погрешностью измерения называют отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Другими словами, погрешность результата измерения – это число, характеризующее границы неопределенности полученного в результате измерений значения определяемой величины. Погрешность средства измерения или измерительной системы – это характеристика определенного свойства средства измерения. Для описания погрешностей средств измерения используют правила, определяемые ГОСТ 8.401-80 ^[1].

^[1] ГОСТ 8.401-80 Классы точности средств измерений. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1980.

Основные понятия измерений и погрешности измерений

Погрешности приборов можно классифицировать по следующим признакам:

1. Единице измерения величины;
2. Характеру связи между величиной погрешности и измеряемой величиной;
3. Условиями и причинами появления погрешности; закономерностями появления погрешности при многократных измерениях.

В зависимости от единицы измерения различают **абсолютные, относительные и приведенные погрешности**.

Абсолютная погрешность средства измерения выражается в единицах измеряемой величины x или выходного сигнала y измерительного преобразователя. Абсолютная погрешность в единицах измеряемой величины x (погрешность, приведенная ко входу) равна разности между показанием x_n и истинным значением измеряемой величины:

$$\Delta = x_n - x.$$

Основные понятия измерений и погрешности измерений

Абсолютная погрешность измерительной системы, приведенная к ее выходу, может быть записана как

$$\Delta_y = y - y_0,$$

где $y = f(x)$ фактический выходной сигнал измерительной системы, соответствующий его реальной статической характеристике;

$y_0 = f(x_0)$ идеальный выходной сигнал, соответствующий идеализированной (заданной) статической характеристике.

При фиксированном значении измеряемой величины в реальных условиях всегда происходят изменения выходного сигнала на величину Δy , вызванные неконтролируемыми источниками погрешностей (к примеру, изменения температуры, давления и влажности воздуха, напряжения в питающей сети и др.). Рассматривая бесконечно малое приращение выходного сигнала Δy как дифференциал функции, получим приближенную связь между абсолютными погрешностями входа и выхода:

Основные понятия измерений и погрешности измерений

$$\Delta_y = \frac{dy}{dx} \Delta = S \Delta$$

$$S = \frac{dy}{dx}$$

где - чувствительность измерительного прибора.

Относительная погрешность средства измерения равна отношению абсолютной погрешности Δy или Δ к действительному значению x_0 измеряемой величины или выходного сигнала:

$$\delta_x = \frac{\Delta}{x_0} = \frac{\Delta}{x_n - \Delta} = \frac{\Delta}{[x_n(1 - \frac{\Delta}{x_n})]} \cong \frac{\Delta}{x_n};$$

$$\delta_y = \frac{\Delta_y}{y_0} \cong \frac{\Delta_y}{y}.$$

Основные понятия измерений и погрешности измерений

При выводе соотношений (2.14) и (2.15) подразумевали, что $\Delta/x_n \ll 1$ и $\Delta y/y_0 \ll 1$, что соответствует случаю точных измерений. В этом режиме при вычислении относительной погрешности абсолютную погрешность допустимо относить к показанию прибора (значению выходного сигнала).

Приведенная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению X_N :

$$\delta = \frac{\Delta}{X_N}$$

Чаще всего нормирующее значение выбирают равным величине диапазона измерений.

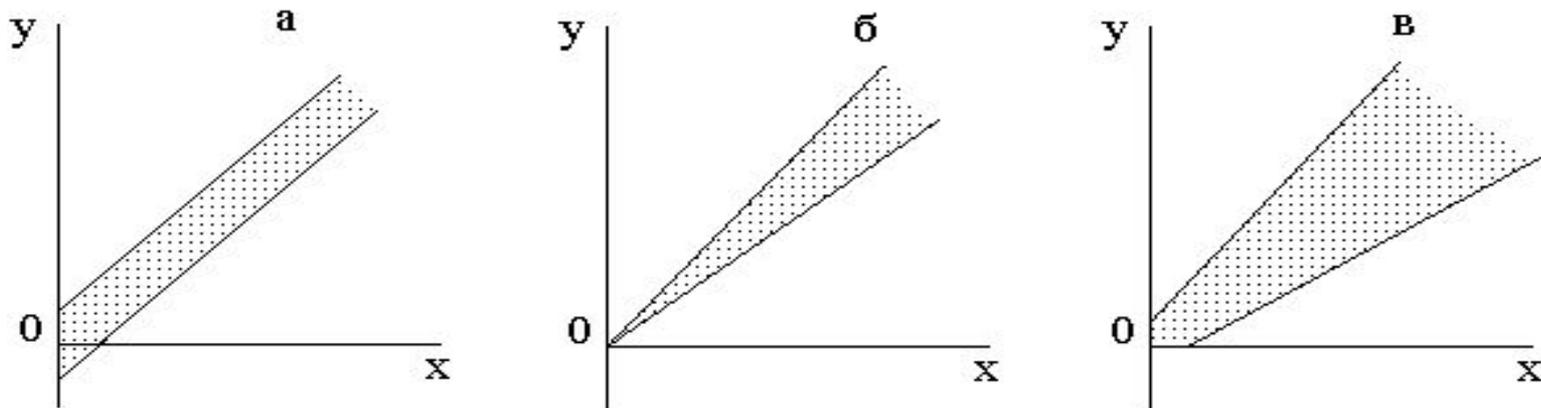
Погрешности, возникающие при выполнении измерений, делят на **методические и инструментальные**. Инструментальная погрешность присуща конкретному средству измерения и может быть определена в процессе его испытаний или поверки. Методическая погрешность связана с использованием конкретной методики измерения.

Основные понятия измерений и погрешности измерений

- В зависимости от характера изменения погрешности при многократных испытаниях СИ различают **систематическую и случайную погрешности**. Эти погрешности возникают при многократных экспериментальных определениях погрешностей. **Случайная погрешность** от испытания к испытанию изменяется случайным образом. До испытания невозможно предсказать характер и закон изменения погрешности, оценить ее можно лишь с использованием теории вероятностей и математической статистики. **Систематической** можно назвать прогрессирующую погрешность (непредсказуемо медленно изменяющуюся по времени) или имеющую неизменную временную зависимость от различных параметров.
- По условиям появления погрешности разделяют на **статические и динамические**. **Статические** появляются при установившемся режиме измерения, когда измеряемая величина и выходной сигнал преобразователя сохраняют постоянные значения. **Динамические** погрешности возникают при неустановившемся режиме измерения. Под динамической погрешностью понимают ту часть погрешности СИ, которая добавляется к статической погрешности в неустановившемся режиме измерения. Таким образом, общая погрешность в динамическом режиме равна сумме статической и динамической погрешностей.

Основные понятия измерений и погрешности измерений

Если нанести на график экспериментальную зависимость выходного сигнала y от входного x , то полученные точки в координатах « $x - y$ » разместятся в пределах некоторой полосы



При неизменном положении полосы погрешностей от значения x диапазон разброса значений погрешностей имеет постоянное значение для **аддитивной** погрешности (см. рис. а). В том случае, когда ширина диапазона погрешностей возрастает с увеличением входного сигнала x , такая погрешность носит название **мультипликативной** (см. рис. б). Когда свой вклад в распределение полосы погрешностей вносят как аддитивная, так и мультипликативная погрешности, распределение полосы погрешностей имеет трапецеидальную форму (см. рис. в).

Методы повышения точности измерений

В условиях эксплуатации измерительных систем изменение показания прибора или изменение выходного сигнала зачастую связано не только с изменением измеряемой величины x , но и с изменением физических характеристик материалов, изменением питающего напряжения и многих других параметров.

Определим изменение показаний, вызванное только одним произвольно выбранным параметром l_1 (все остальные параметры будем считать постоянными). Значения параметров изменяются в небольших пределах, поэтому приращение функции можно считать равным ее дифференциалу:

$$\Delta y_{l_1} = \Delta l_1 \frac{\partial y}{\partial l_1}$$

Отклонение параметра от номинального значения **называется первичной погрешностью**, а приведенное выражение – **частной погрешностью**.

Аналогично можно найти другие частные погрешности, вызываемые отклонением остальных параметров от их номинальных значений. Таким образом, суммарная погрешность СИ определится как сумма частных погрешностей:

$$\Delta y = \Delta y_{l_1} + \Delta y_{l_2} + \dots + \Delta y_{l_n}$$

Методы повышения точности измерений

- **Первая группа методов** заключается в повышении стабильности статической характеристики СИ. Результатом этого становится сведение к минимуму частных погрешностей. Поэтому данные методы получили еще название **технологического и классического**. Конкретные советы по повышению точности измерений при применении технологического метода дать трудно. Общие рекомендации – это изготовление СИ из элементов со стабильными характеристиками, параметры которых мало подвержены внешним влияниям; применение магнитного или электрического экранирования, стабилизации питания, гальванических развязок и других подобных методов. Однако следует отметить, что современные требования к СИ настолько высоки, что обойтись только конструктивно-технологическими приемами при повышении точности измерений не удастся.
- **Вторая группа методов** повышения точности результатов измерений заключается во введении в процесс измерения структурной или временной избыточности. Это дает возможность получать дополнительную информацию об измеряемой величине и возникающих при измерении помехах. Эти способы получили название **структурных методов повышения точности измерений**. Отличительная особенность структурных методов – возможность получения высокоточных результатов измерений без повышения требований к метрологическим показателям используемых в СИ измерительных преобразователей. Это позволяет использовать в СИ простые и надежные преобразователи, а требуемую точность измерений достигать дополнительной обработкой информации по специальным алгоритмам.

- К примеру, для простейшего измерительного преобразователя (ИП) с линейной характеристикой можем записать

$$y_1 = k_1 x + a_1$$

где x и y_1 – соответственно входной и выходной сигналы ИП;
 k и a_1 - параметры ИП.

- В процессе эксплуатации параметры отклоняются от номинальных значений:

$$\Delta k_1 = k_1 - k_{1H}$$

$$\Delta a_1 = a_1 - a_{1H}$$

При фиксированном уровне x приведенное значение погрешности ИП составит

$$\delta_{1n} = \frac{\Delta k_1 x + \Delta a_1}{k_{1H} x_{\max}} = \delta k_1 \frac{x}{x_{\max}} + \delta a_1 \frac{a_H}{N}$$

где - $N = k_{1H} x_{\max}$ нормирующий множитель, равный

изменению сигнала y при изменении x от 0 до x_{\max} ;

$$\delta k_1 = \Delta k_1 / k_{1H}$$

$$\delta a_1 = \Delta a_1 / a_H$$

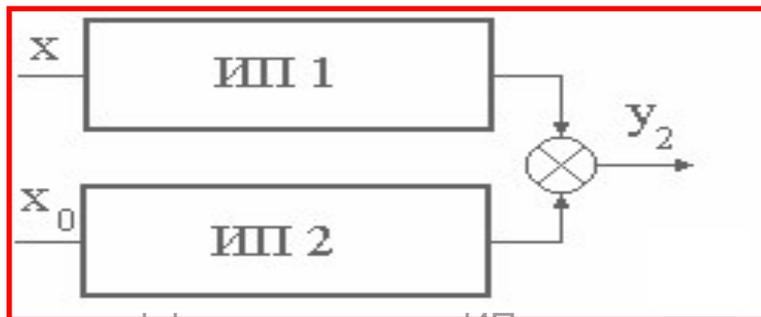
параметров ИП

Первое слагаемое отражает **мультипликативную**, а второе – **аддитивную** составляющие погрешности.

Попробуем устранить **аддитивную составляющую**, включив параллельно основному ИП1 с линейной статической характеристикой и входным сигналом x идентичный сравнительный преобразователь ИП2 со стандартным входным сигналом x_0 (рис. 2.4.). Если выходной сигнал ИП2 вычитается из выходного сигнала ИП1, то такой составной ИП называется дифференциальным. Его статическая характеристика имеет вид

$$y_2 = k_1 x + a_1 - k_2 x_0 - a_2,$$

где x_0 – значение меры или стандартного образца, подаваемого на вход ИП2.



Приведенная погрешность дифференциального ИП имеет вид

$$\delta_{2n} = \frac{\Delta y_2}{N} = \delta k_1 \frac{x}{x_{\max}} + \frac{a_{1н}}{N} (\delta a_1 - \delta a_2),$$

За счет сравнительного канала удается уменьшить, а при полной корреляции случайных величин δa_1 и δa_2 в принципе полностью подавить аддитивные составляющие случайной и систематической погрешностей.

Охватим ИП цепью отрицательной обратной связи. Статическая характеристика такого ИП имеет вид

$$y_k = k_1 x / (1 + k_1 k_0),$$

где k_0 — коэффициент преобразования звена в цепи обратной связи.



Приведенная погрешность ИП с замкнутой структурной схемой

$$\partial y_k = \frac{\Delta y_k}{N_k} \approx \frac{\delta k_0 x}{x_{\max}}$$

где

$$N_k = \frac{k_{1н} x_{\max}}{1 + k_{1н} k_{0н}}; \delta k_0 = \frac{\Delta k_0}{k_{0н}}; k_1 k_0 \gg 1.$$

Методы повышения точности измерений

Введение отрицательной обратной связи позволяет практически устранить изменения коэффициента преобразования (т. е. мультипликативную погрешность) канала прямой передачи информации. Погрешности, возникающие в цепи обратной связи, в такой структуре не подавляются, поэтому ее применение оправдано при

$$\delta k_0 \ll \delta k_1$$

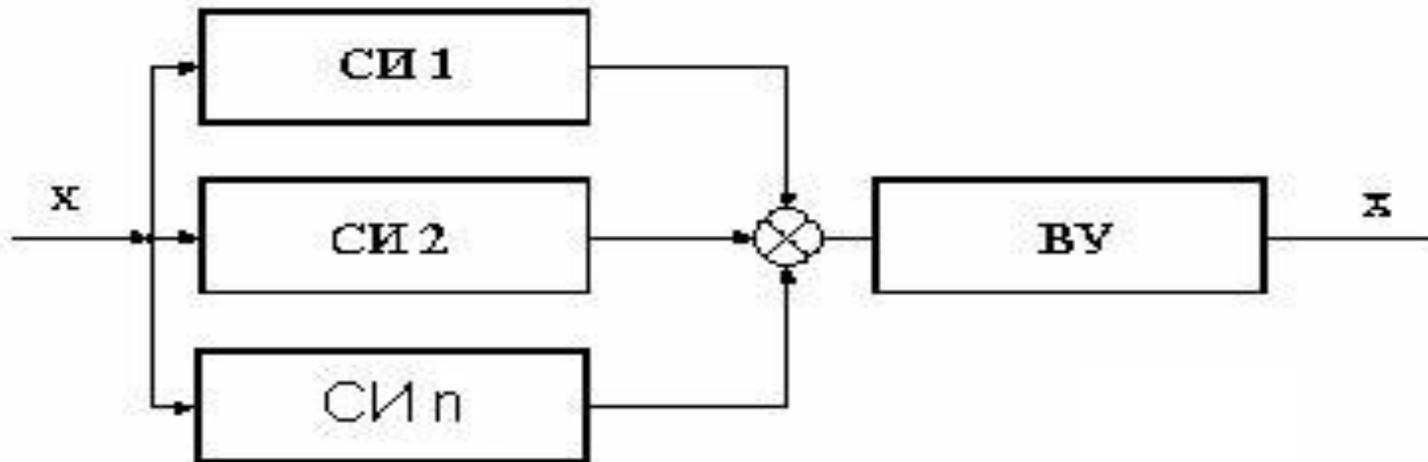
Таким образом, в указанных условиях применение дифференциальных схем позволяет уменьшить аддитивные составляющие погрешности, а применение структур с обратной связью — мультипликативные составляющие погрешности.

Методы уменьшения **случайной составляющей погрешности** основаны на статистической обработке результатов многократных или многоканальных измерений величины x .

Если выполнено n последовательных независимых измерений величины x , результаты которых обработаны по алгоритму поиска математического ожидания и дисперсии измеряемой величины, то результат многократного измерения x имеет в $n^{0.5}$ раз меньшую среднеквадратическую погрешность по сравнению с результатом однократного измерения. Таким образом, увеличением числа измерений n можно монотонно уменьшать случайную составляющую погрешности СИ. Однако в реальных условиях число n всегда ограничено.

Методы повышения точности измерений

Другой способ уменьшения составляющей погрешности основан на статистической обработке результатов многоканальных измерений



Величину x измеряют с использованием n идентичных параллельных каналов СИ1, СИ2, СИ n . Результат x вырабатывается вычислительным устройством ВУ по алгоритму поиска математического ожидания и дисперсии измеряемой величины.

Методы повышения точности измерений

Из способов уменьшения **систематической погрешности** следует выделить широко используемый метод образцовых алгоритмов (или мер). В этом случае процесс измерения состоит из нескольких стадий. Сначала находят измеряемую величину x , которой соответствует выходной сигнал СИ $y(x)$. Затем измеряемую величину x переключателем Π отключают и в последующих тактах ко входу СИ последовательно подключают известные меры x_1, x_2 и т. д. Им соответствуют выходные сигналы СИ: y_1, y_2 и т. д. При линейной статической характеристике СИ достаточно использовать две меры.

Полученная информация обрабатывается в вычислительном устройстве ВУ, где при линейной статической характеристике СИ реализуется алгоритм

$$\tilde{x} = x_1 + (x_2 - x_1) \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

