Основные понятия метрологии цифровых измерений

Цифровой результат измерения физической величины – числовое значение величины, полученное путем ее измерения, представленное в позиционной системе счисления в виде рационального числа определенного формата с известной точностью и доверительной вероятностью.

В современных технических системах используются преимущественно двоичная, восьмеричная, шестнадцатеричная и десятичная (или двоично-десятичная) системы счисления и два формата представления рациональных чисел: с фиксированной и с плавающей запятой (точкой).

В двоичной системе счисления используются всего две цифры 0 и 1. Двойка являет-ся основанием двоичной системы счисления. в формировании числа участвуют всего лишь две знака-цифры: 0 и 1. Как только разряд достигает своего предела (т.е. единицы), появляется новый разряд, а старый обнуляется.

Пример: 0 – это ноль; 1 – это один (и это предел разряда); 10 – это два; 11 – это три (и это снова предел); 100 – это четыре; 101 – пять; 110 – шесть; 111 – семь и т.д.

$1*2^7 + 0*2^6 + 0*2^5 + 0*2^4 + 1*2^3 + 0*2^2 + 0*2^1 + 1*2^0 = 128 + 0 + 0 + 0 + 8 + 0 + 0 + 1 =$

$=10001001_2 = 137_{10}$

Перевод десятичного в двоичное. Один из способов – это деление на два и формирование двоичного числа из остатков.

Пример: число 77: 77 / 2 = 38 (1 остаток); 38/2 = 19 (0 остаток); 19/2 = 9 (1 остаток); 9/2 = 4 (1 остаток); 4/2 = 2 (0 остаток); 2/ 2 = 1 (0 остаток); 1/2 = 0 (1 остаток).

$1001101 = 1*2^6 + 0*2^5 + 0*2^4 + 1*2^3 + 1*2^2 + 0*2^1 + 1*2^0 = 64 + 0 + 0 + 8 + 4 + 0 + 1 = 77$

В восьмеричной системе счисления основанием является цифра 8 и, соответственно, она вмещает в себя только восемь цифр: от 0 до 7.

Перевод восьмеричного числа в десятичное

Пример: восьмеричное число 3607_8 в десятичное. С конца берём каждую цифру исход-ного числа, каждое из них умножаем на 8, и все в целом складываем. Ко всем числам 8, на которые умножаются цифры исходного числа, необходимо добавить степени в по-рядке возрастания: 0, 1, 2 и т.д. Необходимо начинать **с нулевой степени.** Получим:

$$3607_8 = (7 \times 8^0) + (0 \times 8^1) + (6 \times 8^2) + (3 \times 8^3) = 7 + 0 + 384 + 1536 = 1927_{10}$$

Перевод из десятичной в восьмеричную

Пример: 15 450:

15450	8			
15448	1931	8		
2	1928	241	8	
	3	240	30	8
		1	24	3
			6	

$15450_{10} = 36132_8$ ⇐

Двоично-десятичный код , BCD, 8421-BCD — форма записи рациональных чисел, когда каждый десятичный разряд числа записывается в виде его четырёхбитного двоичного кода.

Для записи числа в двоично-десятичной системе счисления его необходимо сначала представить в десятичной системе, а затем каждую, входящую в состав числа, десятичную цифру представить в двоичной системе. При этом для написания различных десятичных цифр в двоичной системе счисления требуется разное количество двоичных разрядов. При двоичном изображении десятичной цифры всегда записывается 4 двоичных разряда. Группа из этих четырех разрядов называется *тетрадой*.

Десятичные цифры от 0 до 9 заменяются представляющими их двоичными тетрадами: 0=0000, 1=0001, 2=0010, 3=0011, 4=0100, 5=0101, 6=0110, 7=0111, 8=1000 и 9=1001

Десятичное число	3	6	9	1
Двоично-десятичное число	0011	0110	1001	0001

Цифровой результат измерения может регистрироваться в цифровом регистре, в цифровой памяти (базе данных), на цифровом табло, на цифровой печати, на других аудио- и видеосредствах отображения и документирования данных.

Цифровое измерение физической величины – измерение, результат которого представлен в цифровом виде (цифровой результат).

К нецифровым измерениям относятся аналоговые и дискретные измерения, результа-ты которых представляются в виде аналоговых сигналов, кодов или отсчетов соответст-вующей шкалы.

Цифровое измерение – это всегда прямое измерение (в строгом смысле понятия измерения измерение всегда прямое).

Понятие косвенного измерения в метрологии цифровых измерений для цифровых операций отсутствует, так как операции преобразований цифровых результатов измерений не являются измерением, а относятся к операциям неизмерительного назначения (нап-ример, хранения, передачи, вычисления и т.п.).

Цифровое средство измерений (ЦСИ) – СИ, выполняющее цифровое измерение.

Цифровой измерительный канал (ЦИК) – цепь последовательно соединенных СИ, образующих путь прохождения измерительной информации от входа цепи к выходу и предназначенных для измерения одной физической величины с представлением результатов ее измерений на выходе ИК в цифровом виде.

В состав ЦИК входит в качестве выходного устройства цифровое СИ, а в качестве исходных и промежуточных – нецифровые СИ. В простейшем случае ЦИК содержит одно цифровое СИ.

Цифровая измерительная система (ЦИС) – совокупность цифровых ИК и иных технических средств неизмерительного назначения, объединенных единым алгоритмом функционирования, предназначенная для измерений, а также выполнения иных операций неизмерительного назначения с целью определения значений одной или нескольких физических величин или их функций.

В нецифровой ИС все ИК или их часть являются нецифровыми. В цифровой ИС все ИК являются цифровыми.

Цифровая ИС в простейшем случае содержит один ЦИК и одно техническое средство неизмерительного назначения, конструктивно обособленное от ИК.

Средства, не выполняющие измерения относятся к техническим средствам неизмерительного назначения.

Например, компьютер (в том случае, если он не реализует с помощью встроенных в него технических средств аналого-цифровых и дискретно-цифровых измерительных преобразований входных сигналов), цифровой накопитель (цифровая память), монитор, принтер, модем, каналы и линии связи и другие устройства.

Метрология цифровых измерений (цифровая метрология) – наука о цифровых измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Цифровая метрология имеет дело только с цифровыми измерениями.

Традиционная метрология, частично входящая в цифровую метрологию, распространяет свою сферу влияния только до уровня получения цифрового результата измерения, т.е. в рамках СИ или ЦИК. За пределами цифрового результата измерения кончается действие традиционной метрологии, так как с появлением этого результата заканчивается сам процесс измерения. Дальнейшие преобразования этого результата относятся не к области измерений, а к области цифровых информационных технологий (вычислительной техники, программирования, техники связи и т.п.).

Цифровая метрология рассматривает технологические процессы преобразования цифрового результата измерений как операции неизмерительного характера. Поэтому технические средства, выполняющие эти операции, не рассматриваются как СИ, хотя к ним и предъявляются определенные требования по точности и достоверности выполнения соответствующих неизмерительных операций.

Цифровой контроль технических средств – совокупность работ, в ходе выполнения которых устанавливаются или подтверждаются точностные характеристики технических средств неизмерительного назначения, используемых в составе цифровых измерительных систем.

К цифровому контролю относятся цифровая экспертиза, цифровая поверка и цифровая аттестация технических средств неизмерительного назначения.

Точностная характеристика технического средства – характеристика, определяющая точность и достоверность цифровых преобразований, выполняемых техническим средством.

Точностные характеристики зависят от назначения и состава цифровых преобразований соответствующего технического средства.

Технические средства могут подразделяться по составу цифровых преобразований на вычислительные (компьютер, контроллер), хранения (память), отображения (табло, дисплей, монитор), документирования (принтер), передачи (линии и каналы связи) и т. п. и (или) их комбинации.

Точностная характеристика вычислителя определяет точность и достоверность вычислительных операций, включая форматы представления чисел, методы их округления и контроля правильности операций.

Точностная характеристика средства хранения определяет его разрядность, методы контроля записи, чтения и хранения чисел и их временную стабильность.

Точностная характеристика средства отображения или документирования определяет форматы представления чисел и методы их округления при выводе чисел из памяти для отображения или документирования.

Точностная характеристика средства передачи определяет скорость, задержку и надежность приема/передачи чисел, включая методы обнаруженбия, контроля и исправления ошибок.

Цифровая экспертиза технических средств – анализ и оценивание экспертами-метрологами на основании соответствующей документации достаточности точностных характеристик технических средств неизмерительного назначения, используемых в составе цифровых измерительных систем.

Результатом цифровой экспертизы технических средств является экспертное заключение соответствующей метрологической службы.

Цифровая поверка технических средств – испытание технических средств на соответствие их реальных точностных характеристик характеристикам, заявленным в соответствующей технической документации.

Для технических средств неизмерительного назначения достаточна первичная поверка, связанная с их цифровой аттестацией. Необходимость в периодических поверках (как для средств измерений) отсутствует.

Цифровая поверка проводится согласно методике цифровой поверки, входящей в комплект технической документации технического средства неизмерительного назначения, используемого в составе цифровой измерительной системы.

При цифровой поверке используются как автоматические способы генерации чисел заданной точности, так и ручные способы.

Цифровая аттестация технических средств – признание метрологической службой узаконенным для применения технических средств неизмерительного назначения в составе конкретных цифровых измерительных систем.

Цифровая аттестация включает в себя цифровую экспертизу и при необходимости первичную поверку соответствующих технических средств.

Результатом цифровой аттестации технических средств является соответствующее свидетельство, выдаваемое метрологической службой.

Для обеспечения работы цифровых устройств обработки необходимо преобразовать аналоговый сигнал в цифровую форму.

Изменение величины может происходить в пределах какого-либо диапазона размеров и во времени.

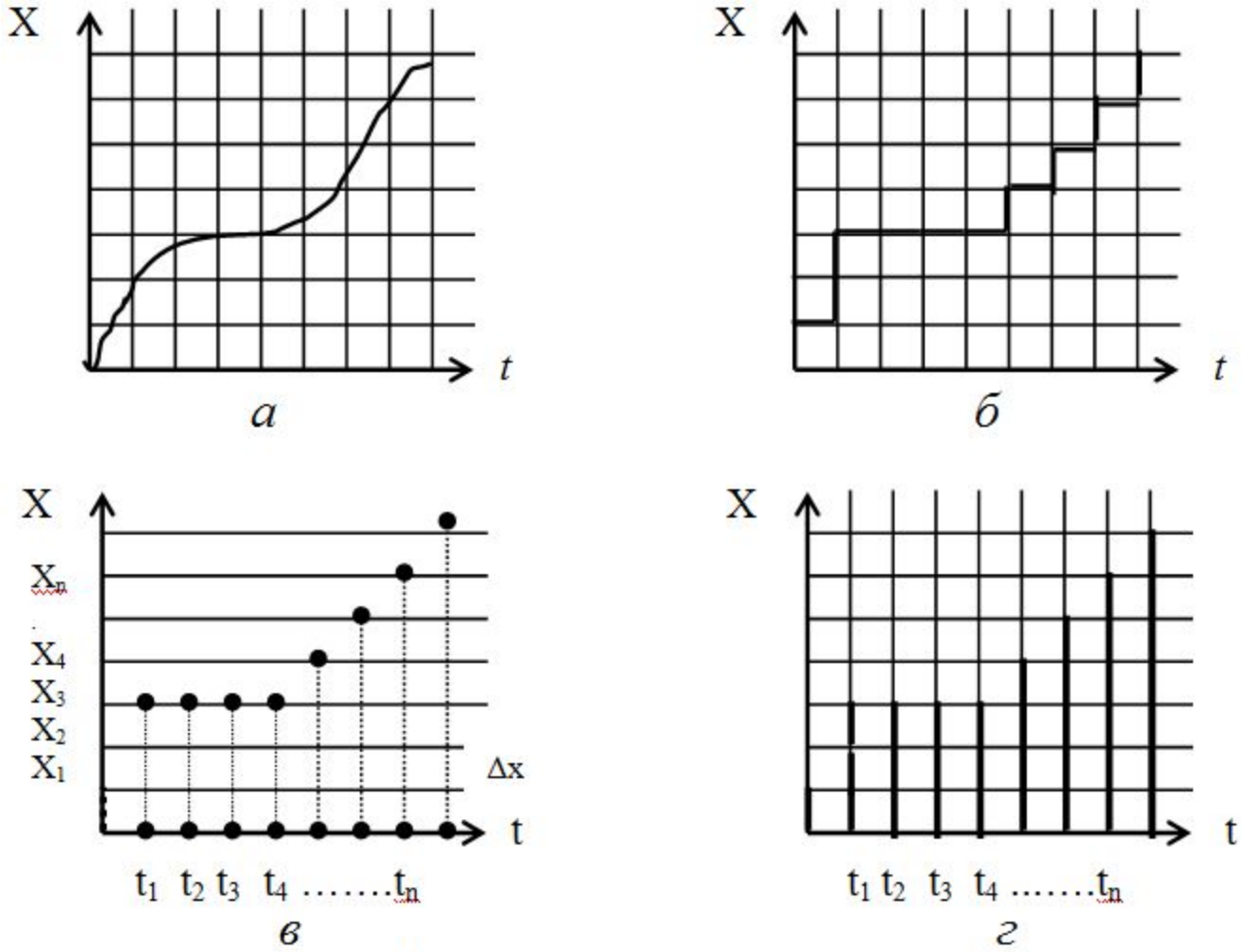
По диапазону в зависимости от числа размеров различают *непрерывные* и *квантованные* изменения величин.

При непрерывном по размеру изменении величины имеется бесконечное число размеров по диапазону.

При квантованном – в диапазоне проявляется конечное число размеров величины.

Во времени изменение величины может быть непрерывным и дискретным (прерывным во времени).

При непрерывном изменении величины во времени значения размеров величины определены на данном отрезке времени при бесконечно большом числе моментов времени. При дискретном изменении величины значения размеров величины отличны от нуля только в определенные моменты или интервалы времени.



Изменение величины:

а) непрерывной по размеру и во времени;

б) квантованной по размеру и непрерывной во времени

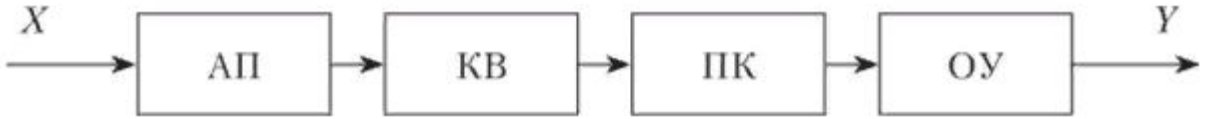
в) непрерывной по размеру и дискретной во времени;

г) квантованной по размеру и дискретной во времени

Дискретизация аналогового сигнала $x(t)$ состоит в измерении (отсчете) его значений в дискретные моменты времени, отстоящие друг от друга на интервал $T_д$, называемый периодом дискретизации. В результате сигнал $x(t)$ преобразуется в последовательность своих значений $\{x(t_n)\}$ в моменты времени $t_n - nT_д$, $n = 0, 1, 2, \ldots$.

Квантование - это преобразование аналоговых значений сигнала в дискретную форму $x_{Ke}(t_n)$ путем дискретизации сигналов по амплитуде (или по фазе).

Обобщенная структурная схема ЦСИ включает аналоговый преобразователь (АП), квантователь (КВ), преобразователь (ПК) и отсчетное устройство (ОУ).



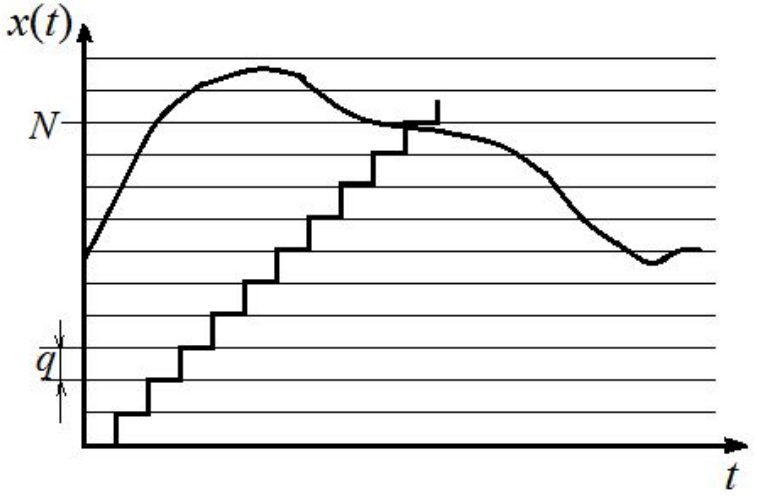
Квантователь осуществляет квантование входного аналогового сигнала по уровню (или но времени). В общем случае ЦСИ производит над измеряемой величиной три операции: квантование по уровню, дискретизацию по времени и кодирование.

Сущность квантования по уровню заключается в том, что бесконечному множеству точек сигнала $x_{вх}$ в рассматриваемом диапазоне от $x_н$ (нижнее) до $x_в$ (верхнее значение) ставится в соответствие конечное и счетное множество выходных кодов (квантов).

При преобразовании аналоговой величины в код квантование осуществляется с заданными шагами как по времени, так и по уровню.

Равномерное квантование, при котором шаг квантования постоянный:

$$q = x_i - x_{i-1} = \text{const};$$



$$N = \frac{x(t)}{q}$$

Максимальная ошибка квантования по уровню

$$\Delta = \frac{q}{2}$$

При достаточно большом числе уровней квантования N распределение погрешности квантования в пределах от $-q/2$ до $+q/2$ будет равномерным независимо от закона распределения самой функции $x(t)$. Среднеквадратичное значение погрешности квантования по уровню:

$$\sigma = \frac{q}{2\sqrt{3}}$$

т.е. в $\sqrt{3}$ раз меньше максимальной.

Обычно точность преобразования (квантования) задается в виде приведенной погрешности в процентах:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x(t)_{\max} - x(t)_{\min}} 100\%$$

Подставив значение q, получим выражение для шага квантования при $x(t)_{\min} = 0$

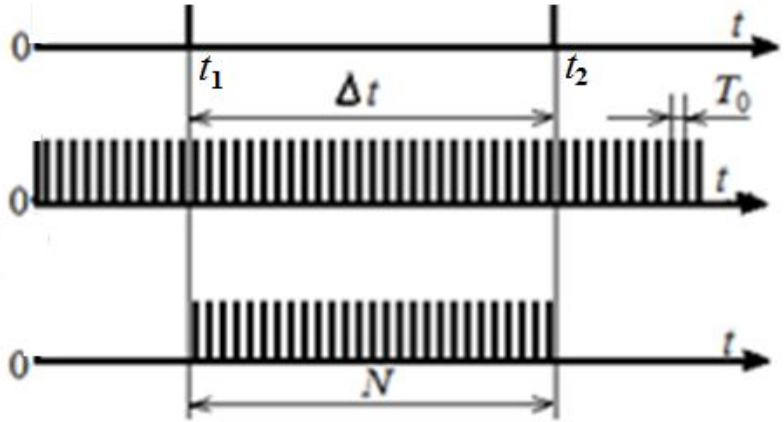
$$q = \frac{2x(t)_{\max}\gamma}{100}$$

После того как непрерывное сообщение с помощью квантования будет преобразовано в дискретное сообщение, необходимо каждому его уровню присвоить цифровой эквивалент, как правило, в двоичном неизбыточном коде и передать по каналу связи. При этом, если известен шаг квантования q, то число уровней квантования N и число разрядов кодовой комбинации K при $x(t)_{\min} = 0$ можно определить из выражения:

$$N = \frac{x(t)_{\max}}{q}$$

Цифровые измерительные приборы измеряют значения непрерывно изменяющейся величины в отдельные (дискретные) моменты времени и представляют полученный результат в цифровой форме.

При построении цифровых приборов и широко используется преобразование измеряемой величины интервал времени, который затем измеряется цифровым способом.



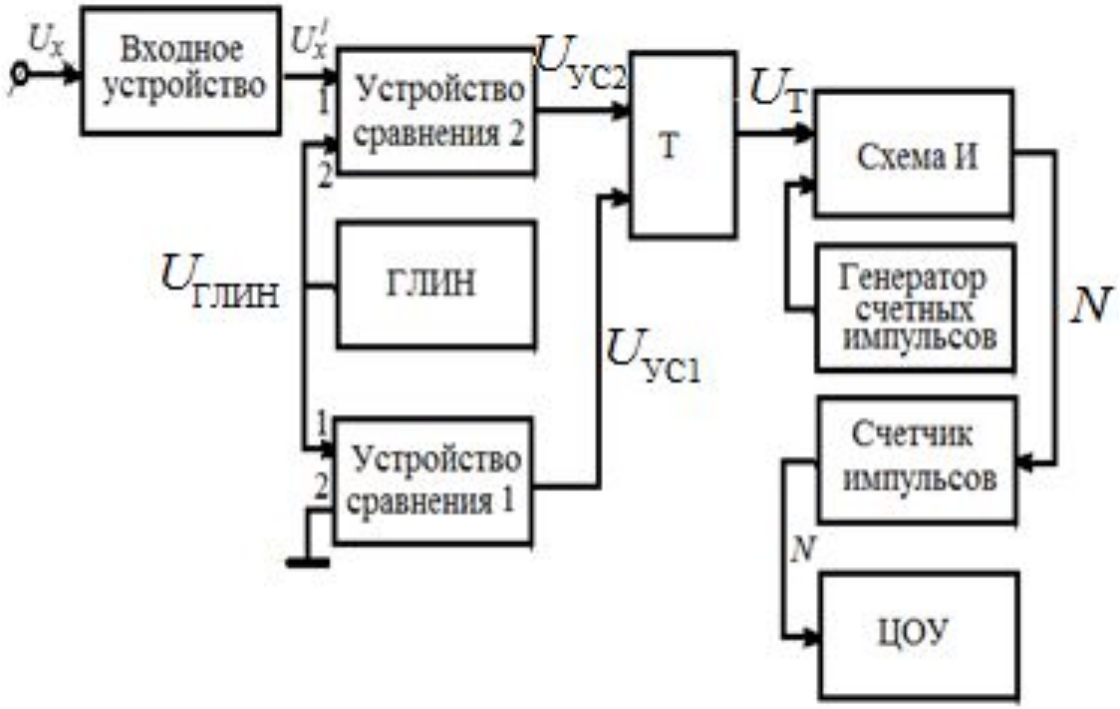
$$\Delta t = t_2 - t_1 = F(x)$$

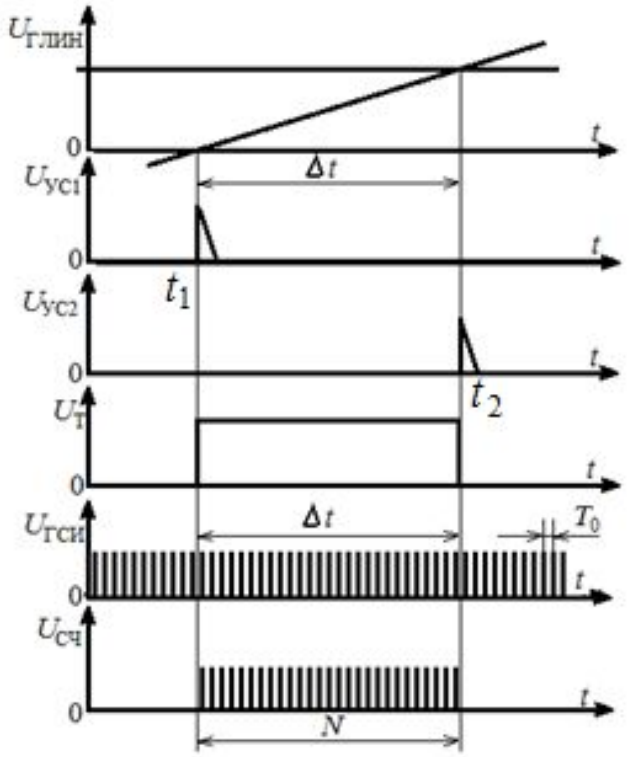
$$T_0 = \frac{1}{f_0}$$

$$N = \frac{t_2 - t_1}{T_0} = \frac{\Delta t}{T_0} = kF(x)$$

Максимальная ошибка определения интервала времени будет равна T_0

Рассмотрим пример построения цифрового вольтметра с преобразованием напряжения в интервал времени (время – импульсный вольтметр)





$$U'_x = U_{\text{глин}} \qquad \Delta t = U_X S$$

$$N = \frac{\Delta t}{T_0} = \Delta t \cdot f_0 \qquad N = K \cdot U_x$$

Метрологические характеристики, нормируемые для цифровых приборов:

- диапазон измерения,
- пределы допускаемой основной *относительной* погрешности, нормируются двучленной формулой путем задания коэффициентов *c* и *d*,
- количество разрядов, представляемых на индикацию,
- цена единицы младшего разряда индикации результатов измерений,
- вид, число разрядов и цена единицы младшего разряда выходного кода, нормируется в случаях наличия связи с компьютером или печатающим устройством,
- пределы допускаемой дополнительной погрешности,
- максимальная частота измерений (представляется в 1/с) или длительность цикла одного преобразования (представляется в *с*),
- погрешность датирования отсчетов,
- максимальная скорость обмена информацией с внешними устройствами, нормируется в случаях, когда такая связь предусмотрена.
- класс точности.

Если цифровой прибор предназначен для выполнения измерений в динамическом режиме с записью результатов, то нормируются динамические характеристики этого преобразователя.

Нормируются метрологические характеристики измерительных каналов ИИС, которые содержат аналоговые инерционные преобразователи и заканчиваются аналого-цифровым преобразованием. Для цифровых приборов и измерительных каналов ИИС обычно достаточно нормировать частные динамические характеристики, такие, как время реакции или границы частотной полосы.