

Погрешности поверки цифровых измерительных приборов

Достоверность результатов поверки как процесса контроля погрешности существенно зависит от методики выполнения измерений. В статье проведен анализ наиболее распространенных методов выполнения измерений, применяемых при поверке цифровых измерительных устройств, с точки зрения обеспечения выполнения регламентированных требований к достоверности поверки. Говорится о необходимости применять только корректную универсальную методику контроля погрешности

В

Н.Н. Вострокнутов

старший научный сотрудник,
и.о. доцента кафедры
«Электрические измерения»
ФГАОУ ДПО «Академия
стандартизации, метрологии
и сертификации (учебная)»,
Москва, vostrkit@mail.ru,
канд. техн. наук

лабораторной практике и на производстве цифровые измерительные приборы (ЦИП) и аналого-цифровые преобразователи (АЦП) получают все большее распространение. Загрузка метрологических лабораторий поверкой ЦИП и АЦП возрастает. В документации на эти виды средств измерений описаны различные методы проверки их погрешностей, которые не всегда правильно учитывают особенности цифровых измерительных устройств как объекта поверки. Достоверность результатов поверки как процесса контроля погрешности существенно зависит от того, по какой методике выполняются измерения при поверке.

В соответствии с [1] показание N цифрового измерительного прибора ЦИП или аналого-цифрового преобразователя АЦП, выраженное **целым** числом единиц номинальной ступени квантования q , равно:

$$N = \text{Int} \left[\frac{X + \Delta_{\text{ins}}(N)}{q} + 0,5 \right], \quad (1)$$

где q — номинальная ступень квантования (цена единицы младшего разряда показания); считается, что знак q совпадает со знаком измеряемой величины;

X — истинное значение измеряемой величины;

$\Delta_{\text{ins}}(N)$ — приведенное ко входу значение инструментальной погрешности ЦИП или АЦП при показании N .

Для упрощения изложения ниже будет применяться только одно сокращение — ЦИП. Единственная разница между ЦИП и АЦП в том, что ЦИП обязательно имеет отсчетное устройство, а АЦП может его не иметь. Такое различие никак не сказывается

на свойствах погрешности рассматриваемых измерительных устройств.

В единицах измеряемой величины показание Y ЦИП равно:

$$Y = qN = q \cdot \text{Int} \left[\frac{X + \Delta_{\text{ins}}(X)}{q} + 0,5 \right]. \quad (2)$$

В дальнейшем будем предполагать, что зависимость $\Delta_{\text{ins}}(X)$ плавная, не имеет разрывов и ее изменения, вызванные изменением X в пределах зоны допускаемых погрешностей, пренебрежимо малы по сравнению с q . Эти допущения практически оправдываются для всех видов ЦИП, кроме некоторых, построенных с использованием дискретных делителей. Например, кодо-импульсные ЦИП (принцип поразрядного уравновешивания), которые могут иметь дифференциальную нелинейность, проявляющуюся в том, что интервалы возможных значений X для соседних показаний (например, Y и $Y + q$) могут иметь существенно разные размеры, отличающиеся от номинального значения q . Особые вопросы проверки погрешности таких ЦИП рассмотрены в [1].

На рис. 1 показаны функции преобразования идеального и реального ЦИП. По определению при поверке любого измерительного устройства должно контролироваться максимальное по модулю значение погрешности при проверяемом показании Y_0 .

Из рис. 1 следуют три важнейших вывода:

► при проверяемом показании Y_0 максимальное по модулю значение погрешности $|\Delta_{\text{MAX}}(Y_0)|$ равно:

$$\begin{aligned} & |\Delta_{\text{MAX}}(Y_0)| = \\ & = |\Delta_{\text{ins}}(Y_0)| + R + 0,5q \cdot \text{sign}[\Delta_{\text{MAX}}(Y_0)], \end{aligned} \quad (3)$$

ключевые слова

цифровые измерительные приборы, аналого-цифровые преобразователи, достоверность поверки, методы поверки

где R — полуразмах случайной составляющей погрешности;

► значение измеряемой величины X_E , при котором существует показание Y_0 , может быть любым в отмеченном интервале q ;

► при поверке должна определяться (контролироваться) и сравниваться с пределом допускаемых значений погрешности величина $\Delta_{\text{MAX}}(Y_0)$.

Под погрешностью поверки принимают отличие оценки величины от ее фактического значения. Погрешность поверки в общем случае имеет две составляющие: первая обусловлена погрешностями измерений при поверке (в простейшем случае — погрешностью используемого эталона), вторая — свойствами методики выполнения измерений при поверке. Поэтому в настоящее время регламентируют как погрешность эталона (погрешность измерений при поверке), так и показатели достоверности результатов поверки.

Для средств измерения электрических и магнитных величин, в том числе ЦИП, в стандарте общих технических условий [2] регламентированы показатели достоверности поверки, основанные на положениях [3], реализованных в документах [4]. Достоверность поверки по [3, 4] описывается с помощью оперативной характеристики рис. 2 — зависимости вероятности P признания ЦИП годным от отношения текущего значения Δ погрешности ЦИП к пределу допускаемых значений погрешности Δ_{0P} .

Форма и расположение оперативной характеристики зависят от вида закона распределения погрешности эталона по генеральной совокупности эталонов, отношения пределов допускаемых погрешностей эталона и поверяемого ЦИП и др.

В соответствии с требованиями [2] оперативная характеристика методики поверки не должна выходить за пределы заштрихованной области (рис. 2), там же показаны оперативная характеристика идеальной (безошибочной) методики поверки и пример возможной оперативной характеристики, удовлетворяющей требованиям [2].

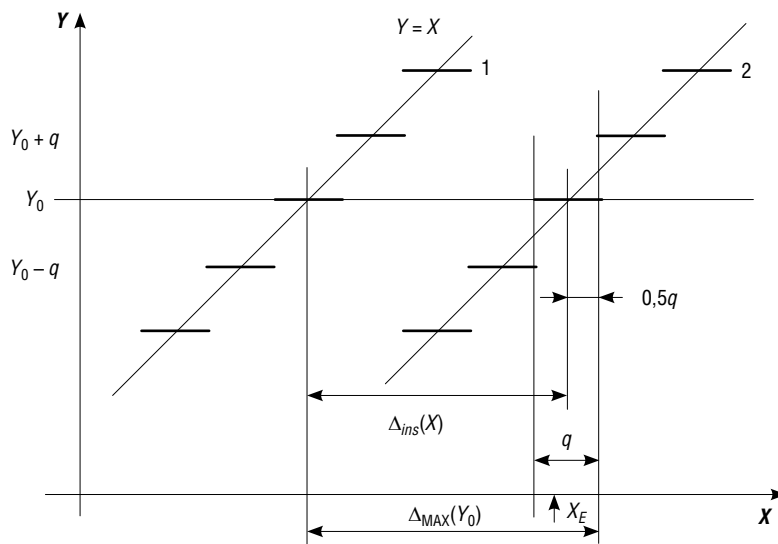


Рис. 1. Функции преобразования идеального и реального ЦИП

В работе [5] показано, что при поверке ЦИП может иметь место методическая составляющая погрешности поверки, иными словами, погрешность поверки и, следовательно, ее достоверность определяются не только погрешностью эталона, но и особенностями методики выполнения измерений.

В настоящее время используются четыре разновидности методик выполнения измерений при поверке ЦИП. В единственном документе [6], регламентирующем методику поверки ЦИП (очень устаревшем!), рекомендованы к применению только две из четырех возможных методик:

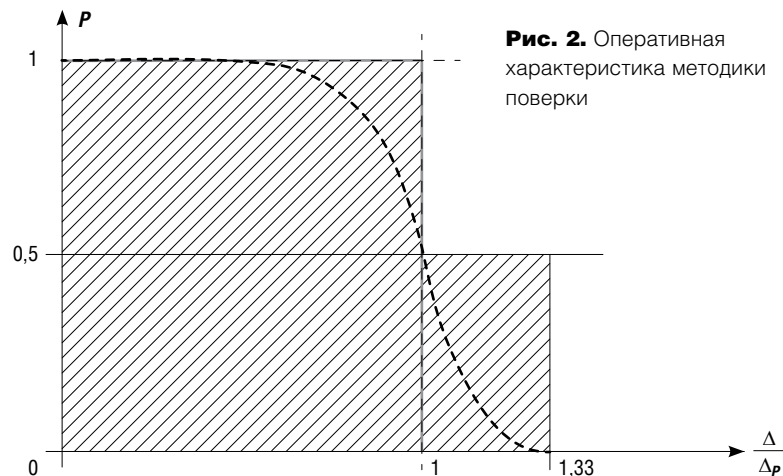


Рис. 2. Оперативная характеристика методики поверки

- ▶ универсальная методика по [6];
- ▶ упрощенная методика по [6], применима не во всех случаях;
- ▶ методика с наводкой на проверяемое показание, подобная применяемой при поверке приборов прямого действия в соответствии с [7]; погрешности этой методики при поверке ЦИП рассмотрены в [5];
- ▶ методика с вычислением диапазона допускаемых показаний (например, [8]).

Рассмотрим свойства этих методик с точки зрения выполнения требований [2] к достоверности методики поверки средств измерений электрических величин.

Универсальная методика контроля погрешности по МИ 1202–86

Сущность методики заключается в том, что для каждого проверяемого показания Y_0 рассчитывают два контрольных значения измеряемой величины:

$$X_{k1} = Y_0 - \Delta_{0P} = q \cdot N_0 - \Delta_{0P} \quad (4)$$

$$\text{и } X_{k2} = Y_0 + \Delta_{0P} = q \cdot N_0 + \Delta_{0P}.$$

Снимают и записывают показание Y_1 , получающееся при подаче на вход поверяемого ЦИП контрольной величины X_{k1} , которое на основании (1, 2, 4)

и полагая, что $\Delta_{ins}(Y_0) = \Delta_{ins}(X_{k1}) \approx \Delta_{ins}(X_{k2})$, выражается как:

$$Y_1 = q \cdot \text{Int} \left[\frac{Y_0 - \Delta_P + \Delta_{ins}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] = q \cdot \text{Int} \left[N_0 + \frac{-\Delta_P + \Delta_{ins}(Y_0)}{q} + 0,5 \right]. \quad (5)$$

Снимают и записывают показание Y_2 , получающееся при подаче на вход поверяемого ЦИП контрольной величины X_{k2} :

$$Y_2 = q \cdot \text{Int} \left[\frac{Y_0 + \Delta_P + \Delta_{ins}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] = q \cdot \text{Int} \left[N_0 + \frac{\Delta_P + \Delta_{ins}(Y_0)}{q} + 0,5 \right]. \quad (6)$$

Считают, что погрешность $\Delta_{MAX}(Y_0)$ ЦИП при показании Y_0 не превышает по модулю допускаемого значения, если выполняются два неравенства:

$$Y_1 < Y_0. \quad (7)$$

$$Y_2 > Y_0. \quad (8)$$

Докажем это.

Если выполняется (7), то

$$Y_1 = q \cdot \text{Int} \left[N_0 + \frac{-\Delta_P + \Delta_{ins}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] = Y_0 + q \cdot \text{Int} \left[\frac{-\Delta_P + \Delta_{ins}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] < Y_0. \quad (9)$$

Отсюда

$$q \cdot \text{Int} \left[\frac{-\Delta_P + \Delta_{ins}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] < 0. \quad (10)$$

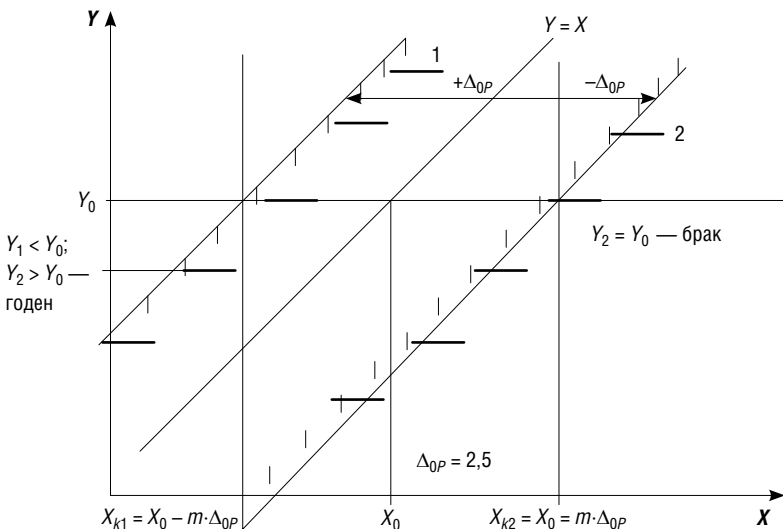
Прибавим и вычтем из левой части (10) дробную часть числа, заключенного в квадратные скобки. После преобразований получим:

$$-\Delta_P + \Delta_{ins}(Y_0) + 0,5 \cdot q - q \cdot \text{Fr} \left[\frac{-\Delta_P + \Delta_{ins}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] < 0 \quad (11)$$

$$\text{или } \Delta_{ins}(Y_0) \pm 0,5 \cdot q < \Delta_P.$$

Неравенство (11) выполняется всегда при $\Delta_{ins}(Y_0) \leq 0$. При $\Delta_{ins}(Y_0) \geq 0$ это неравенство в соответствии с (3)

Рис. 3. Метод контроля погрешности по МИ 1202–86



выполняется только тогда, когда $\Delta_{\text{MAX}}(Y_0) \leq \Delta_{0P}$.

Если выполняется (8), то

$$Y_2 = q \cdot \text{Int} \left[N_0 + \frac{\Delta_P + \Delta_{\text{ins}}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] =$$

$$= Y_0 + q \cdot \text{Int} \left[\frac{\Delta_P + \Delta_{\text{ins}}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] > Y_0. \quad (12)$$

Отсюда

$$q \cdot \text{Int} \left[\frac{\Delta_P + \Delta_{\text{ins}}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] > 0. \quad (13)$$

Прибавим и вычтем из левой части (13) дробную часть числа, заключенного в квадратные скобки. После преобразований получим:

$$\Delta_P + \Delta_{\text{ins}}(Y_0) + 0,5 \cdot q -$$

$$- q \cdot \text{Fr} \left[\frac{\Delta_P + \Delta_{\text{ins}}(Y_0)}{q} + 0,5 \right] > 0 \quad (14)$$

$$\text{или } \Delta_{\text{ins}}(Y_0) \pm 0,5 \cdot q > -\Delta_P.$$

Неравенство (14) выполняется всегда при $\Delta_{\text{ins}}(Y_0) > 0$. При $\Delta_{\text{ins}}(Y_0) \geq 0$ это неравенство в соответствии с (3) выполняется только тогда, когда $-\Delta_{\text{MAX}}(Y_0) \geq -\Delta_{0P}$.

Отсюда следует, что, если выполняются оба неравенства (7) и (8), максимальная погрешность при показании Y_0 не превышает предела допускаемых значений, что и требовалось доказать.

На рис. 3 показана графическая интерпретация этого метода.

У исправного прибора (кривая 1, рис. 3) погрешность находится в допуске при любых показаниях. Выполняются неравенства (7, 8): при $X = X_{k1}$ показание $Y_1 < Y_0$, и при $X = X_{k2}$ показание $Y_2 > Y_0$ (за пределами графика). У неисправного прибора (кривая 2) погрешность выходит за пределы допуска в отдельных интервалах измеряемой величины. При $X = X_{k1}$ показание $Y_1 < Y_0$ (за пределами графика) неравенство (7) выполняется, а при $X = X_{k2}$ показание $Y_2 = Y_0$ не выполняется неравенство (8). Прибор 2 должен быть забракован.

Неравенства (7, 8) — строгие!

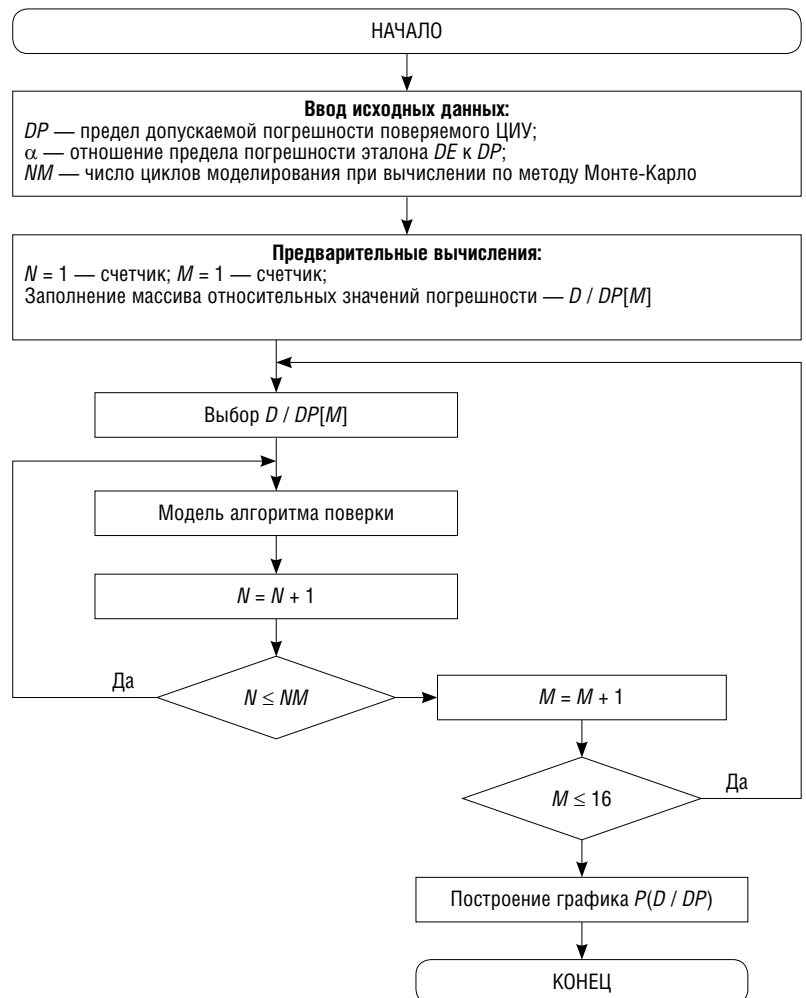
В документации на методику поверки некоторых типов ЦИП эти неравенства записывают с преднамеренной или случайной (не нам судить) ошибкой, а именно:

$$Y_1 \leq Y_0. \quad (7 \text{ ош.})$$

$$Y_2 \geq Y_0. \quad (8 \text{ ош.})$$

Из показанного на рис. 3 примера «кривая 2» наглядно видно, что в случае принятия решения о годности при выполнении, например, ошибочного неравенства (8 ош.), $Y_2 = Y_0$, погрешность прибора, признанного годным, может превышать предел допускаемых погрешностей в пределе на размер q . Аналогичная ошибка получится, если

Рис. 4. Алгоритм расчета оперативной характеристики по методу Монте-Карло. Модель алгоритма поверки — сменный блок программы



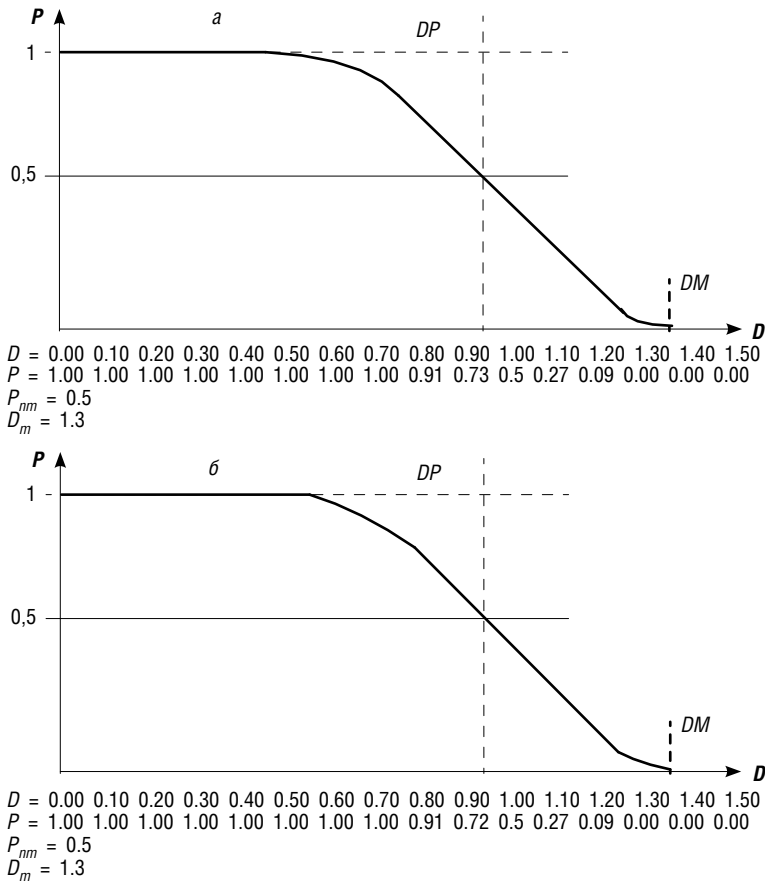


Рис. 5. Оперативная характеристика. Универсальная методика контроля погрешности по [6]: а — для $\beta = 2,5$; б — для $\beta = 5,3$

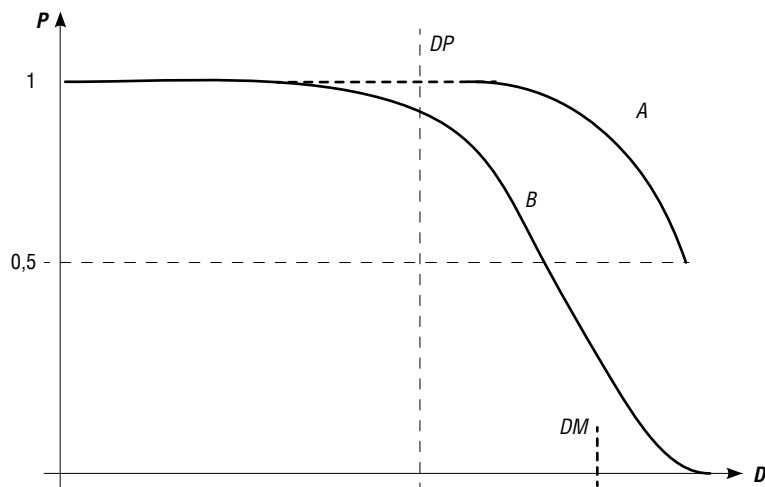


Рис. 6. Оперативные характеристики универсальной методики контроля погрешности по [6] при использовании ошибочных неравенств (7 ош., 8 ош.): А — для $\beta = 2,5$; В — для $\beta = 5,3$

признать прибор годным при выполнении ошибочного неравенства (7 ош.) $Y_1 = Y_0$.

Используя метод Монте-Карло [9], построим оперативные характеристики рассмотренной методики. Алгоритм расчета приведен на рис. 4.

При расчете оперативных характеристик принято:

- ▶ в соответствии с [2] отношение α погрешностей эталона и поверяемого ЦИП равно 0,33;
- ▶ число циклов моделирования для каждого значения погрешности поверяемого ЦИП равно 10000, что обеспечивает статистическую абсолютную погрешность оценки вероятности признания прибора годным не более 0,007;
- ▶ закон распределения погрешности эталона для генеральной совокупности эталонов — трапецидальный по аналогии с [4];
- ▶ для каждой рассматриваемой методики строятся две оперативные характеристики: 1 — для случая $\beta = 2,5$ (типичный при проверке приборов ВК7-10), когда применение универсальной методики из [6] обязательно; 2 — для случая $\beta = 5,3$, когда по [6] допускается применение упрощенной методики (встречается при проверке приборов АРРА).

Результаты расчета для универсальной методики при $\beta = 2,5$ представлены на рис. 5а, а при $\beta = 5,3$ — на рис. 5б.

На рис. 5 и последующих приняты следующие обозначения: P — вероятность признания прибора годным; D — отношение текущего значения погрешности к пределу ее допускаемых значений; $DP(D = 1)$ — предел допускаемых значений погрешности; DM — допускаемое по [2] значение параметра $\delta_m = 1,33$; 0,5 — допускаемое (максимальное) по [2] значение параметра P_{nm} . Под графиком дается распечатка рассчитанных точек оперативной характеристики и вычисленные значения параметров $\delta_m = D_m$ и P_{nm} .

Очевидно, что при применении универсальной методики требования [2] к достоверности поверки выполняются при любом значении β , рис. 5 и 6 практически одинаковы.

На рис. 6 представлены оперативные характеристики: *A* для $\beta = 2,5$ и *B* для $\beta = 5,3$ и прочих тех же исходных данных, но принятие решения о годности ЦИП выполняется по ошибочным неравенствам (7 ош.), (8 ош.). Легко видеть, что в этом случае требования [2] к достоверности поверки не выполняются в любом случае. Для кривой «*A*» параметр $\delta_m > 1,5$ и $P_{nm} = 1$, для кривой «*B*» параметр $\delta_m = 1,5$ и $P_{nm} = 0,89$.

Данные рис. 6 подтверждают недопустимость использования неравенств (7 ош., 8 ош.).

Упрощенная методика определения погрешности по МИ 1202–86

При использовании упрощенной методики по эталону устанавливаются значение измеряемой величины X_E равным проверяемому показанию Y_0 . В этом случае показание Y_E поверяемого ЦИП получится равным:

$$Y_E = q \cdot \text{Int} \left[\frac{X_E + \Delta_{ins}(X_E)}{q} + 0,5 \right]. \quad (15)$$

Оценка погрешности ЦИП равна:

$$\begin{aligned} \Delta_E &= Y_E - Y_0 = \\ &= q \cdot \text{Int} \left[\frac{Y_0 + \Delta_{ins}(X_E)}{q} + 0,5 \right] - Y_0. \end{aligned} \quad (16)$$

К правой части (16) прибавим и вычтем дробную часть числа в квадратных скобках, получим после преобразований:

$$\begin{aligned} \Delta_E &= +\Delta_{ins}(X_E) + 0,5 \cdot q - \\ &- q \cdot \text{Fr} \left[\frac{\Delta_{ins}(X_E)}{q} + 0,5 \right] = \\ &= |\Delta_{\text{MAX}}(Y_0)| - q \cdot \text{Fr} \left[\frac{\Delta_{ins}(X_E)}{q} + 0,5 \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Из (17) следует, что при прочих равных условиях оценка погрешности по модулю может отличаться от максимального значения погрешности при показании Y_0 в меньшую сторону в пределах на ступень квантования! Отсюда при малых значениях β ($\beta \leq 5$ по документу [6]) погрешность повер-

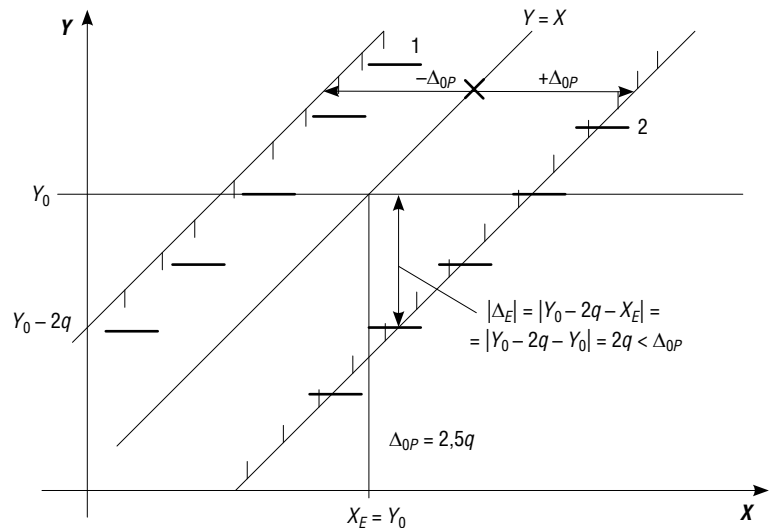


Рис. 7. Проверка по упрощенной методике в соответствии с [6]

ки может быть недопустимо велика по сравнению с пределом допускаемой погрешности поверяемого ЦИП. Именно поэтому в [6] допускается применять упрощенную методику только при $\beta > 5$.

Графическая интерпретация рассмотренной методики представлена на рис. 7.

Результаты расчета показателей достоверности поверки по упрощенной методике при $\beta = 2,5$ представлены на рис. 8а (по [6] применение упрощенной методики в этом случае не допустимо), а при $\beta = 5,3$ — на рис. 8б (по [6] применение упрощенной методики при $\beta > 5$ допускается).

Из рис. 8а видно, что требования [2] к достоверности поверки не выполняются ($\delta_m = 1,5$ и $P_{nm} = 0,91$)! Применение упрощенной методики в этом случае не допустимо.

На рис. 8б представлены оперативные характеристики поверки по упрощенной методике для случая $\beta = 5,3 > 5$. В этом случае в [6] допускается применять упрощенную методику. Из рис. 8б следует, что требования [2] к достоверности поверки в этом случае тоже не выполняются! Получается $\delta_m = 1,5$, и $P_{nm} = 0,8$. При дальнейшем увеличении β эти показатели улучшаются.

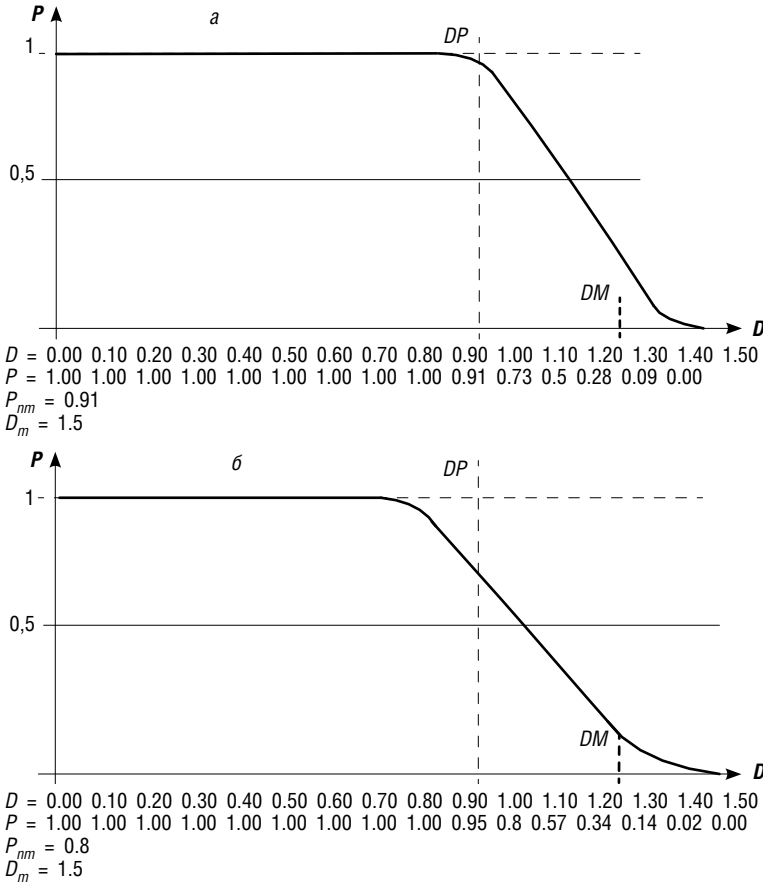


Рис. 8. Оперативная характеристика. Упрощенная методика проверки погрешности: а — для $\beta = 2,5$; б — для $\beta = 5,3$

Однако при разработке [6] было решено получившимися отклонениями от требований [2] пренебречь. Можно существенно улучшить показатели достоверности, применив более точный эталон. Если взять эталон с $\alpha = 0,2$, то при прочих равных условиях будет получено $\delta_m = 1,3$ и $P_{nm} = 0,71$, тем самым требования [2] выполнены по параметру — δ_m . Учитывая изложенное, упрощенная методика в [6] допускается, но рекомендовать ее применение нельзя!

Метод с наводкой на проверяемое показание

В первых документах по проверке ЦИП применялась методика проверки погрешности, основанная на старом привычном принципе, применяемом вполне обоснованно до настоящего времени при проверке приборов прямого действия [7] и ряда

других измерительных устройств. Это — методика с наводкой на заданное проверяемое показание. Ее сущность заключается в том, что:

- ▶ изменяют значение измеряемой величины до тех пор, пока будет получено заранее заданное проверяемое показание Y_0 ;
- ▶ измеряют с помощью эталона значение величины X_E , при котором получено проверяемое показание;
- ▶ вычисляют оценку Δ_E погрешности ЦИП или ЦИП по формуле:

$$\Delta_E = Y_0 - X_E \quad (18)$$

В соответствии с (6) после настройки на проверяемое показание получим:

$$Y_0 = q \cdot \text{Int} \left[\frac{X_E + \Delta_{ins}(X)}{q} + 0,5 \right] \quad (19)$$

Отсюда оценка погрешности ЦИП по результатам поверки равна:

$$\Delta_E = q \cdot \text{Int} \left[\frac{X_E + \Delta_{ins}(X)}{q} + 0,5 \right] - X_E = \Delta_{ins}(X) + 0,5 \cdot q - q \cdot \text{Fr} \left[\frac{X_E + \Delta_{ins}(X)}{q} + 0,5 \right] \quad (20)$$

Слагаемое $q \cdot \text{Fr} \left[\frac{X_E + \Delta_{ins}(X)}{q} + 0,5 \right]$

в зависимости от значения $X_E + \Delta_{ins}(X)$ может принимать любое значение в пределах от 0 до q, следовательно:

$$\Delta_E = \Delta_{ins}(X) + 0,5q - r(X_E)_0^q = \Delta_{MAX}(Y_0) - r(X_E)_0^q \quad (21)$$

где $r(X_E)_0^q$ — величина, которая может принимать любое значение в пределах от 0 до q в зависимости от значения X_E .

При проверке значение $\Delta_{MAX}(Y_0)$ должно определяться и сравниваться с допуском. Из (21) следует, что оценка Δ_E всегда меньше, чем $\Delta_{MAX}(Y_0)$ (в единственном частном случае при $r(X_E)_0^q$ эти оценки равны).

Отсюда, если выполняется неравенство:

$$|\Delta_E| \leq \Delta_{0P}, \quad (22)$$

где Δ_{0P} — предел допускаемой основной абсолютной погрешности при проверяемом показании, ЦИП может быть признан годным к дальнейшей эксплуатации ошибочно, так как значение Δ_E в предельном случае может быть меньше $\Delta_{MAX}(Y_0)$ на величину ступени квантования q . Графическая интерпретация рассмотренной методики представлена на рис. 9.

У современных ЦИП электрических величин Δ_{0P} составляет от 1,2 до 5 единиц q , поэтому рассмотренный вариант методики проверки погрешности в общем случае не должен применяться при поверке ЦИП. Его применение допустимо, если можно считать, что q пренебрежимо мало по сравнению с пределом допускаемых погрешностей, например по аналогии с упрощенной методикой по [6], при $\beta > 5$.

У ЦИП, который должен быть признан годным по результатам поверки, функция преобразования (кривая 1, рис. 9) должна лежать внутри заштрихованной области. Если функция преобразования выходит из этой области даже частично (кривая 2), ЦИП должен быть забракован, так как при каждом показании имеется участок значений измеряемой величины, в котором погрешность превышает допускаемое значение. При наводке на проверяемое показание Y_0 вручную можно считать, что значение X_E может быть любым в пределах от X_1 до X_2 (рис. 9). При моделировании методики будем считать, что положение X_E — случайно и распределено в пределах от X_1 до X_2 по закону равной плотности. Если остановка произошла при показанном на рис. 10а значении X_E , прибор будет признан годным ошибочно. Легко видеть, что ошибка в оценке погрешности может достигать размера ступени квантования q .

Результаты расчета показателей достоверности поверки по методике с наводкой на проверяемое показание при $\beta = 2,5$ представлены на рис. 10а (по [6] применение упрощенной методики в этом случае недопустимо), а при $\beta = 5,3$ — на рис. 10б (по [6] применение упрощенной методики при $\beta > 5$ допускается).

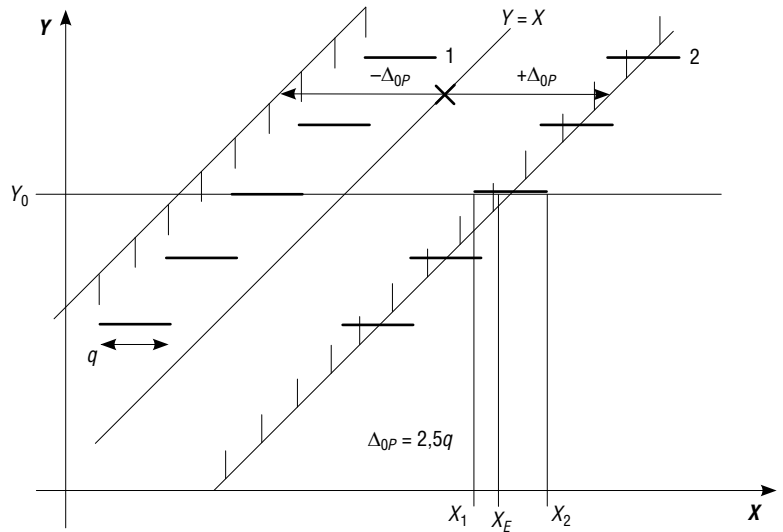


Рис. 9. Поверка с наводкой на проверяемое показание

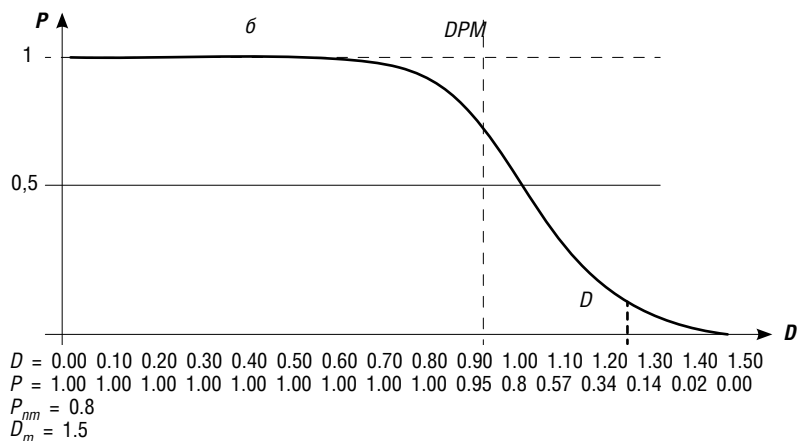
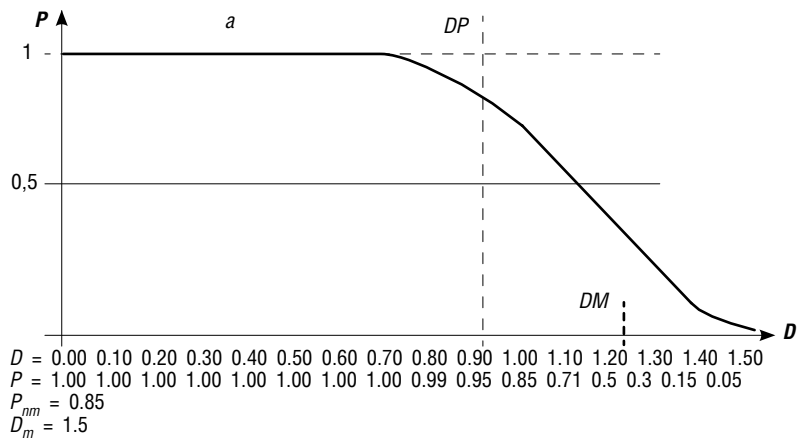


Рис. 10. Оперативная характеристика. Методика с наводкой на проверяемое показание: а — для $\beta = 2,5$; б — для $\beta = 5,3$

Из рис. 10а следует, что показатели достоверности получились существенно хуже $\delta_m \geq 1,5$ и $P_{nm} = 0,85$, чем требуется по [2]. Рис.10а похож на рис. 8а. Отсюда следует, что рассмотренная методика неприменима при малых значениях β , например при $\beta \leq 5$.

Из рис. 10б видно, что показатели достоверности $\delta_m = 1,5$ и $P_{nm} = 0,8$ хуже, чем требуется по [2]. Рис. 10б похож на рис. 8б. Полученные показатели достоверности одинаковы с полученными на рис. 8б. На этом основании можно считать допустимым применение методики с наводкой на проверяемое показание при $\beta > 5$. Однако рекомендовать использование этой методики нельзя. Показатели достоверности получаются такими же, что и при применении упрощенной методики по [6], а трудоемкость – выше.

Метод контроля погрешности ЦИП при заданном значении измеряемой величины

В последние годы в технической документации на некоторые типы ЦИП, например [8], в качестве альтернативы методу контроля из [6] стал применяться описанный ниже метод контроля погрешности

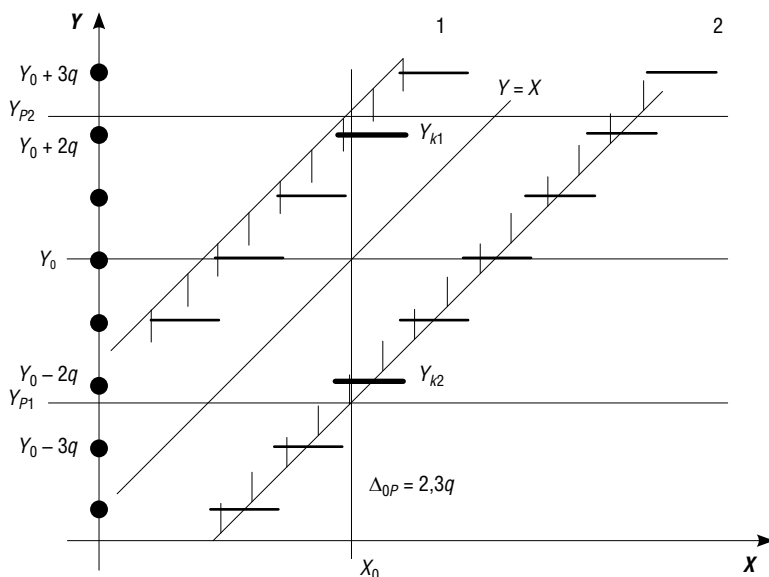


Рис. 11. Метод контроля погрешности при заданном значении измеряемой величины

На входверяемого ЦИП подается контрольный сигнал

$$X_0 = Y_0. \quad (23)$$

Рассчитывают допускаемые показания Y_{P1} , Y_{P2} для исправноговеряемого ЦИП при контрольном сигнале X_0 :

$$Y_{P1} = Y_0 - \Delta_{0P} = q \cdot N_0 - \Delta_{0P} \quad (24)$$

$$\text{и } Y_{P2} = Y_0 + \Delta_{0P} = q \cdot N_0 + \Delta_{0P}.$$

Считают, что погрешностьверяемого ЦИП при показании Y_0 не превышает предела допускаемых значений, если одновременно выполняются два неравенства:

$$Y_k \geq Y_{P1}, \quad (25)$$

$$Y_k \leq Y_{P2}, \quad (26)$$

где Y_k – показаниеверяемого прибора при подаче на его вход измеряемой величины X_0 .

Практически у всех ЦИП значение предела допускаемой погрешности зависит от значения измеряемой величины (показания), далеко не во всех случаях предел допускаемой погрешности может быть выражен целым числом ступеней квантованияверяемого прибора. Поэтому при расчетах по (24) необходимо или «округлять» полученные при вычислениях значения Y_{P1} , Y_{P2} до целого числа ступеней квантования q , или пользоваться результатами расчета без «округления», выражая значения Y_{P1} , Y_{P2} с десятичными долями единицы младшего разряда. В последнем случае выполнение равенств $Y_k = Y_{P1}$, $Y_k = Y_{P2}$ в подавляющем большинстве случаев невозможно, Y_k выражается только целым числом единиц младшего разряда.

Округление может производиться по-разному: округлением получившегося значения Y_{Pi} до целого числа единиц младшего разряда по правилам вычислений с ограниченной точностью или отбрасыванием дробной части результата расчета. К сожалению, от того, округляется результат или нет, и от того, как выполняется округление, зависит достоверность результата контроля. Рассмотрим этот вопрос

подробнее. На рис. 11 приведена графическая интерпретация описанного метода. На этом рисунке рассчитанные уровни Y_{P1} , Y_{P2} показаны без округления, точнее, округлены до десятых долей единицы младшего разряда.

Показание Y_{k1} исправного прибора (кривая 1) находится внутри интервала $[Y_{P1}, Y_{P2}]$, такой прибор будет правильно признан годным к эксплуатации.

Показание Y_{k2} неисправного прибора (кривая 2) тоже находится внутри интервала $[Y_{P1}, Y_{P2}]$, такой прибор будет ошибочно признан годным к эксплуатации. В зависимости от отношения предела допускаемой погрешности к ступени квантования погрешность такого прибора может превышать допускаемую не более чем на ступень квантования q .

На рис. 11 принято, что предел допускаемой погрешности поверяемого прибора равен $2,3q$. Округлим результат вычисления Y_{P1} , Y_{P2} по правилам вычислений с ограниченной точностью. В этом случае получим: $Y_{P1} = Y_0 - 2q$, $Y_{P2} = Y_0 + 2q$. Из того же рисунка следует, что в этом случае результат контроля получится тот же самый: исправный прибор (кривая 1) будет признан годным правильно, а неисправный прибор (кривая 2) будет признан годным к эксплуатации ошибочно. В зависимости от отношения предела допускаемой погрешности к ступени квантования погрешность такого прибора может превышать допускаемую не более чем на ступень квантования q .

Если дробная часть результата вычислений Y_{P1} , Y_{P2} превысит 0,5, округленные значения получатся равными: $Y_{P1} = Y_0 - 3q$, $Y_{P2} = Y_0 + 3q$. Из рис. 11 следует, что в этом случае результат контроля получится тот же самый: исправный прибор (кривая 1) будет признан годным правильно, а неисправный прибор (кривая 2) будет признан годным к эксплуатации ошибочно. В зависимости от отношения предела допускаемой погрешности к ступени квантования погрешность такого прибора может превышать допускаемую не более чем на ступень квантования q .

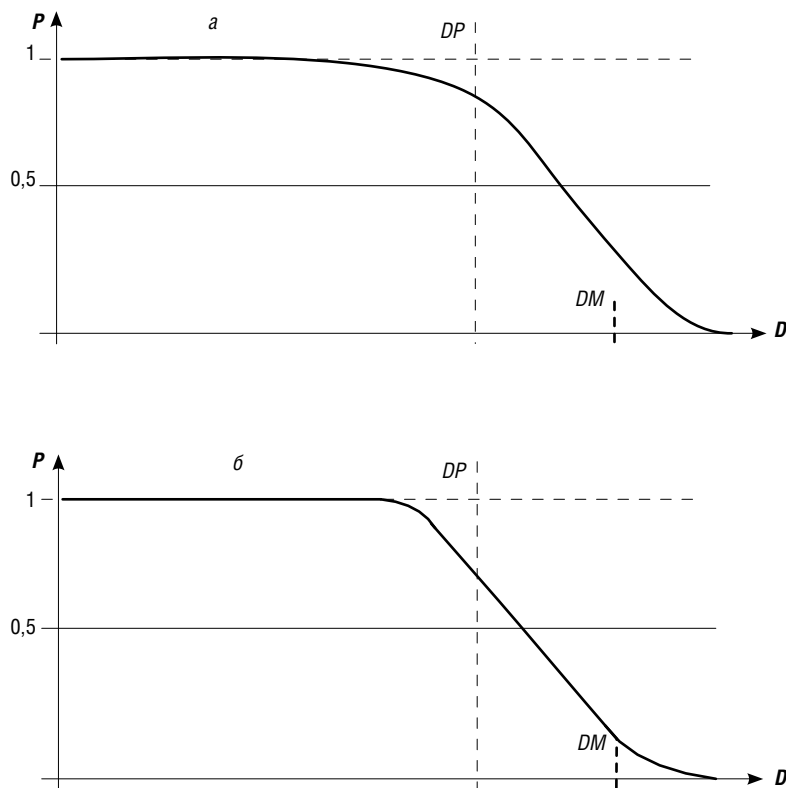


Рис. 12. Контроль погрешности при заданном значении измеряемой величины: а — для $\beta = 2,5$; б — для $\beta = 5,3$

Тот же самый результат получится, если «округление» будет вполне простым отбрасыванием дробной части результата вычислений, в этом случае после округления $Y_{P1} = Y_0 - 2q$, $Y_{P2} = Y_0 + 2q$, как в одном из рассмотренных выше случаев.

Отсюда следует, что при применении рассмотренного метода оценка погрешности может получаться меньше (по модулю!) значения максимальной погрешности при проверяемом показании ЦИП в пределе на размер ступени квантования.

Все, что было сказано об использовании методики с наводкой на проверяемое показание, справедливо и к упрощенной [6], и к рассмотренной методикам. Ее можно применять только при $\Delta_{0P} > 5q$.

На рис. 12 а, б приведены результаты расчета оперативных характеристик достоверности рассматриваемой

методики контроля по аналогии с рассмотренными выше методиками. Нетрудно видеть, что как рис. 12 а, б, так и результаты расчетов полностью совпадают с полученными результатами для упрощенной методики по [6] (сравните с рис. 8 а, б).

Кажущееся упрощение универсальной методики [6], когда при каждом проверяемом показании подается только одно, а не два значения контрольного сигнала, привело к тому, что были ликвидированы все преимущества универсальной методики, позволяющие получать достоверные результаты поверки при любых значениях отношения $\frac{\Delta_{0P}}{q}$.

Вместо заключения

Автор будет считать цель публикации настоящей статьи достигнутой, если метрологи, проводящие испытания типов, анализ документации на ЦИП, приложат силы для исключения из документации на эти измерительные устройства недостоверных методик поверки. Метрологам, выполняющим поверку ЦИП, хотелось бы пожелать, чтобы они применяли только корректную универсальную методику контроля погрешности в соответствии с [6] и правильным написанием неравенств (7, 8) независимо от того, что написано в документации на прибор. ■

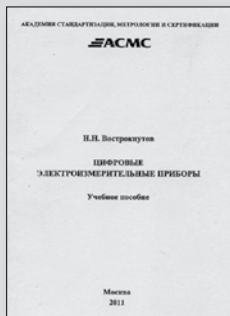
Список литературы

1. Вострокнутов Н.Н. Цифровые измерительные устройства. Теория погрешностей, испытания, поверка. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. ГОСТ 22261–94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.
3. Карташева А.Н. Достоверность измерений и критерии качества испытаний приборов. — М.: Изд-во стандартов, 1967.
4. МИ 187–86, МИ 188–86. ГСИ. Достоверность и требования к методикам поверки средств измерений.
5. Вострокнутов Н.Н., Земельман М.А. Влияние методики поверки на качество цифровых вольтметров // Измерительная техника. — 1971. — № 8.
6. МИ 1202–86. Приборы и преобразователи измерительные напряжения, тока, сопротивления цифровые. Общие требования к методике поверки. — М.: Изд-во стандартов, 1986.
7. ГОСТ 8.497–83. Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки.
8. Мультиметры цифровые АРРА-301, АРРА-303, АРРА-305. Руководство по эксплуатации. — Москва, 2006.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Перевод И.Г. Абрамовича и др. со 2-го американского издания под общ. редакцией И.Г. Абрамовича. — М.: Наука, 1974.

НОВАЯ КНИГА

Вострокнутов Н.Н.

Цифровые электроизмерительные приборы



Учебное пособие. — М.: АСМС, 2011

В последнее время в цифровой измерительной технике произошли большие изменения, особенно с появлением ЦИП, действующих на основе использования микропроцессорной техники. Учебное пособие по вопросам поверки ЦИП учитывает научно-технический прогресс в этой области. Описываются принципы действия, состав погрешности, поверка цифровых электроизмерительных приборов. Кроме того, в пособие включен раздел «Калибровка ЦИП» с описанием методики универсального применения для оценки погрешности ЦИП и изменений погрешности ЦИП, обусловленных изменениями влияющих величин.

Учебное пособие предназначено для слушателей, обучающихся в АСМС по дисциплине «Поверка и калибровка средств электрических измерений» на кафедре «Электрические измерения».

По вопросам приобретения обращайтесь по адресу: Академия стандартизации, метрологии и сертификации (АСМС), 109443, Москва, Волгоградский пр-т, 90, корп. 1. Тел. / факс: 8 (499) 742 4643. Факс: 8 (499) 742 5241. E-mail: info@asms.ru