

УДК 389.6:006.354

Л.В. Юров

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Московская область, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОХВАТА РАСШИРЕННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ПОВЕРКЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Рассмотрена модель поверки с учетом нестабильности поверяемого средства измерений. Даны рекомендации для разработки процедур поверки с учетом неопределенности и определению оптимального коэффициента охвата, обеспечивающего требуемые результаты поверки.

Ключевые слова: поверка, подтверждение соответствия, эталон, неопределенность измерений, коэффициент охвата.

Введение

В работе [1] предлагается коэффициент охвата k , при использовании неопределенности измерений (с учетом положений [2] и части 8 [3]) при поверке средств измерений (СИ) выбирать из интервала:

$$2\Delta_{PЭн} / \Delta_{СИн} < k < (2\Delta_{PЭн} / \Delta_{СИн} + 0,5).$$

Приведенное соотношение было получено в результате статистического моделирования с использованием традиционной модели поверки, обычно применяемой при анализе процессов допускового контроля качества промышленной продукции. При этом предполагается, что для множества эталонов и поверяемых СИ их погрешности распределены симметрично вокруг истинного значения, а сам процесс поверки однократен, то есть результат поверки не зависит от предыдущих поверок (один и тот же как для первичной поверки, так и для любой из последующих). Даная модель легла в основу таких основных рекомендаций, как МИ 187-86 и МИ 188-86. В соответствии с этими документами возможно определить следующие «критерии достоверности поверки» [4]:

- наибольшая вероятность ошибочного признания годным любого в действительности дефектного экземпляра СИ;
- отношение наибольшего возможного модуля контролируемой характеристики погрешности экземпляра СИ, который может быть ошибочно признан годным, к пределу ее допускаемых значений.
- наибольшая средняя для совокупности годных экземпляров СИ вероятность ошибочного признания дефектным в действительности годных экземпляров СИ.

К факторами, не учитывавшимся в ранее известных моделях процесса поверки, но существенно влияющим на процесс поверки можно отнести следующее:

- передача размера единицы (шкалы) всегда осуществляется по иерархической поверочной схеме

– от единственного государственного первичного эталона через вторичный и (или) рабочий эталон к рабочему СИ;

– процесс поверки не только принципиально циклический, но и обычно одно и то же рабочее СИ периодически (через межповерочные интервалы) проходит поверку на одном и том же эталоне;

– основным фактором, приводящим к возникновению метрологической неисправности СИ, является нестабильность СИ – изменение метрологических характеристик (МХ) СИ за установленный интервал времени. Моделью нестабильности СИ принято считать случайное изменение основных метрологических характеристик СИ в известных пределах [5];

– невозможность сделать корректное предположение о статистических характеристиках погрешности множества СИ, поступающих на первичную поверку.

Описание модели процесса поверки

Для учета всех вышеуказанных факторов предлагается рассматривать процесс поверки как марковский случайный процесс с дискретным временем и непрерывным множеством возможных значений погрешности как первичного эталона (ГЭТ), так и рабочего эталона (РЭ) и СИ. Процесс заключается в многократно повторяющихся через межповерочные интервалы процедурах поверки РЭ с использованием ГЭТ и поверки СИ с использованием РЭ. В процессе эксплуатации как ГЭТ, так РЭ и СИ (в течении межповерочного интервала) их погрешности могут изменяться.

Начинается процесс поверки с аттестации ГЭТ, изготовления и первичной поверки РЭ и СИ (рис. 1).

Моделирование процесса передачи размера единицы (шкалы) может быть выполнено следующим образом.

На первом этапе (аттестация ГЭТ, изготовление РЭ и изготовление СИ) происходит формирование

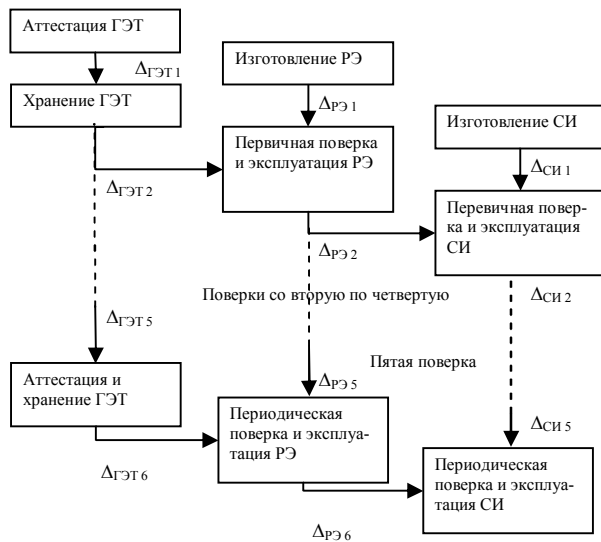


Рис. 1. Укрупненная блок-схема процесса передачи размера единицы (шкалы) от ГЭТ к РЭ и к СИ

погрешностей государственного первичного эталона $\Delta_{ГЭТ1}$, рабочего эталона $\Delta_{РЭ1}$ и средства измерения $\Delta_{СИ1}$, как случайных величин, равномерно распределенных в интервалах, ограниченных соответствующими границами нормированных метрологических характеристик (Δ_n). То есть справедливо следующее:

$$\begin{aligned} \Delta_{ГЭТ1} &\in (-\Delta_{ГЭТн}; \Delta_{ГЭТн}), \\ \Delta_{РЭ1} &\in (-\Delta_{РЭн}; \Delta_{РЭн}), \\ \Delta_{СИ1} &\in (-\Delta_{СИн}; \Delta_{СИн}). \end{aligned}$$

Процедура содержания ГЭТ может быть смоделирована изменением его погрешности в течение межаттестационного интервала за счет влияния на погрешность ГЭТ его нестабильности. В [5] показано, что нестабильность средства измерений (в том числе и ГЭТ) можно представить в виде случайной величины, которая суммируется с его погрешностью.

То есть погрешность ГЭТ в конце межаттестационного интервала будет равна:

$$\Delta_{ГЭТ2} = \Delta_{ГЭТ1} + v_{ГЭТ},$$

где $v_{ГЭТ}$ – нестабильность МХ ГЭТ за межаттестационный интервал.

При первичной поверке РЭ предлагается учитывать погрешность ГЭТ в конце его межаттестационного интервала – то есть $\Delta_{ГЭТ2}$. Это позволяет учесть влияние нестабильности ГЭТ на результаты поверки РЭ. Соответственно при поверке СИ следует учитывать погрешность РЭ в конце его межповерочного (межаттестационного) интервала - $\Delta_{РЭ2}$. Детальная блок-схема алгоритма первичной поверки СИ представлены на рис. 2.

Блок-схема алгоритма поверки РЭ аналогична приведенной на рис. 2.

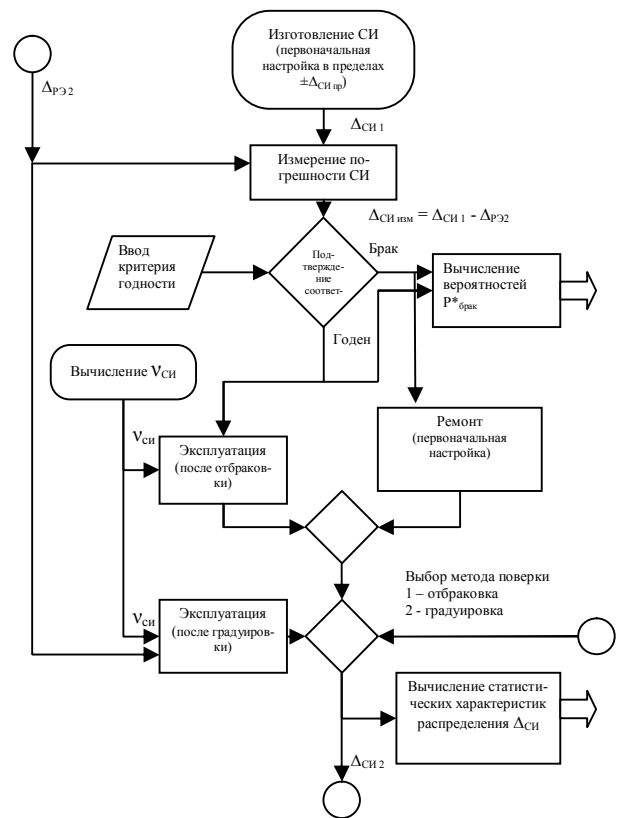


Рис. 2. Блок-схема алгоритма первичной поверки СИ

Первичная поверка СИ включает следующие операции:

– измерение погрешности СИ выполняется с помощью РЭ. Результат измерения погрешности СИ является вычисляется в соответствии с выражением:

$$\Delta_{СИ\text{ изм}} = X_{СИ\text{ изм}} - X_{РЭ\text{ изм}}. \quad (1)$$

Учитывая, что при этом происходит измерение одной и той же величины, характеризуемой своим истинным значением $X_{ист}$, выражение 1 можно представить в виде:

$$\Delta_{СИ\text{ изм}} = (X_{ист} + \Delta_{СИ}) - (X_{ист} + \Delta_{РЭ}) = \Delta_{СИ} - \Delta_{РЭ}. \quad (2)$$

Полагая, что при первичной поверке СИ имеет погрешность $\Delta_{СИ1}$, а РЭ может быть использован и в конце своего межповерочного интервала, то есть в наихудшем случае может иметь погрешность $\Delta_{РЭ2} = \Delta_{РЭ1} + v_{РЭ}$, то выражение 2 может быть представлено в виде:

$$\Delta_{СИ\text{ изм}} = \Delta_{СИ1} - \Delta_{РЭ2}; \quad (3)$$

– на этапе подтверждения соответствия выполняется сравнение $\Delta_{СИ\text{ изм}}$ с критерием годности. Так как в качестве критерия годности могут быть использованы различные комбинации $\Delta_{СИн}$ и $\Delta_{РЭн}$, в алгоритме поверки предусмотрен блок ввода критерия годности, отличного от $\Delta_{СИн}$.

– в случае, если СИ признается годным, присписанная ему погрешность $\Delta_{СИ1}$ может изменяться в

течении межповерочного інтервала за счет нестабильности МХ СИ и в конце межповерочного интервала СИ будет равняться:

$$\Delta_{СИ2} = \Delta_{СИ1} + v_{СИ};$$

– если СИ бракуется, оно может подвергаться ремонту, после которого пройдет процедуру первоначальной настройки с характеристиками, аналогичными настройке после изготовления СИ. В этом случае:

$$\Delta_{СИ2} \in (-\Delta_{СИн}; \Delta_{СИн})$$

– алгоритм поверки содержит операции, характерные для поверки метом градуировки, то есть возможен выбор варианта, когда:

$$\Delta_{СИ2} = \Delta_{РЭ2} + v_{СИ}.$$

С целью упрощения модели приняты следующие ограничения:

- случайная составляющая как погрешности ГЭТ, РЭ, СИ, так и результата измерений при поверке пренебрежимо малы.
- погрешности и нестабильности равномерно распределены в интервалах, ограниченных своими границами.
- границы нестабильности меньше соответствующих границ погрешности.

На основании массива значений результатов поверки рассчитываются статистические характеристики процесса поверки, такие как:

$\Delta_{СИм}$ - максимальная погрешность СИ после их поверки на множестве СИ, признанных годными;

$\Delta_{СИ}(0,95)$ - границ доверительного интервала при вероятности 0,95 погрешности СИ после их поверки на множестве СИ, признанных годными;

$P^*_{брак}$ - статистическая вероятность признания СИ негодными (бракованными) по результатам поверки (частота забракования СИ).

Результаты моделирования

По результатам моделирования построены зависимости максимальной погрешности ($\Delta_{СИм}$) и границ доверительного интервала для вероятности 0,95 ($\Delta_{СИ}(0,95)$) на множестве поверенных СИ от коэффициента запаса по точности эталона ($K_{ст}$). Под $K_{ст}$ понимается отношение МХ СИ (например, предела погрешности или границ доверительного интервала) к аналогичной характеристике эталона. Зависимости для случая, когда частота забракования СИ по результатам поверки $P^*_{брак}$ примерно равна 5 % и поверка осуществляется методом отбраковки без учета неопределенности измерения погрешности представлены на рис. 3. Из графиков видно, что в случае, когда для СИ нормируется предел погрешности ($\Delta_{СИпр}$), максимальное значение погрешности на множестве поверенных СИ существенно превышает $\Delta_{СИпр}$. В результате расчетов с использованием

предложенной модели получено оптимальное значение коэффициента охвата $k = 1,5$ (рис. 4).

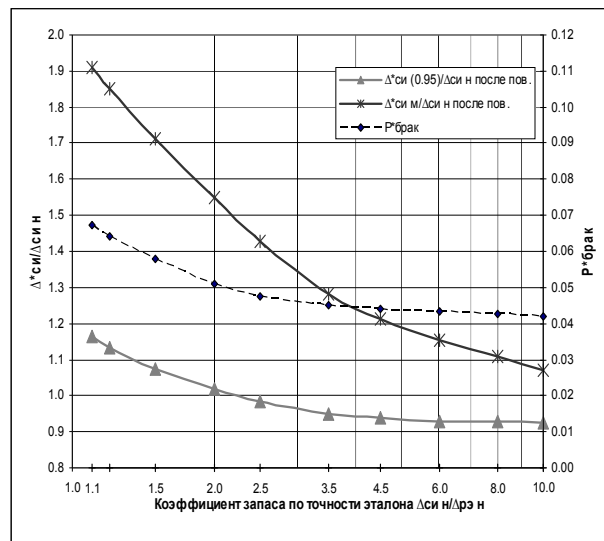


Рис. 3. Зависимости МХ поверенных СИ от коэффициента запаса по точности эталона для случая подтверждения соответствия при поверке методом отбраковки без учета неопределенности измерения погрешности

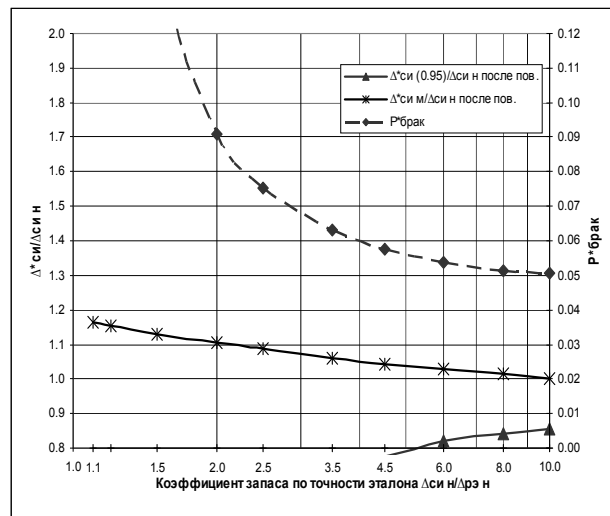


Рис. 4. Зависимости МХ поверенных СИ от коэффициента запаса по точности эталона при $k = 1,5$

Следует отметить, что при $k = 1,5$ возрастает вероятность забракования СИ, что может оказаться неприемлемым по экономическим соображениям. Поэтому данный способ при запасе по точности эталона менее 2 практически неприемлем.

Если для СИ нормируются границы доверительного интервала для вероятности 0.95 ($\Delta_{СИ}(0,95)$), оптимальное значение коэффициента охвата $k = 0,3$, (рис. 5).

В этом случае (при $k = 0,3$) вероятность забракования СИ приемлема при запасе по точности эталона более 1,2.

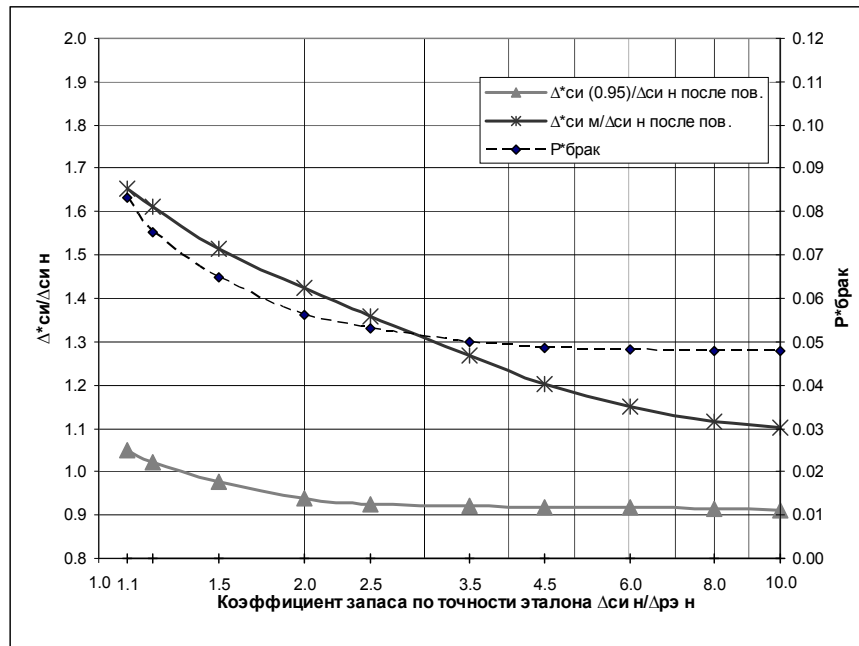


Рис. 5. Зависимости МХ поверенных СИ от коэффициента запаса по точности эталона при $k = 0,3$

Выводы

Рекомендации по выбору коэффициента охвата при расчете неопределенности измерений погрешности представлены в табл. 1

Таблица 1

Рекомендации по выбору коэффициента охвата

Коеффициент запаса по точности эталона $\Delta_{СИ} n / \Delta_{рэ} n$	Способ нормирования МХ СИ	
	Границы доверительного интервала для вероятности 0.95 $\Delta_{СИ} (0,95)$	Предел погрешности $\Delta_{СИ} пр$
Менее или равно 2	$k = 0,3$	Не рекомендуется
Более 2	$k = 0$	$k = 1,5$

Список литературы

1. Дойников А.С., Юров Л.В. Использование неопределенности измерений при поверке средств измерений // Системи обробки інформації. Вип. 5 (79), 2009, с. 5-8.
2. ISO 10576-1:2003. Statistical methods. Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements. Part 1. General principles. (ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006. Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям).
3. ГОСТ Р 54500.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009. «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководство по неопределенности измерения».
4. МИ 187-86. ГСИ. Достоверность и требования к методикам поверки средств измерений.
5. Фридман А.Э. Основы метрологии. Современный курс. – СПб.: НПО «Профессионал», 2008. – 284 с.
6. МИ 188-86 ГСИ. Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки.

Поступила в редколлегию 28.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.П. Мачехин, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КОЕФІЦІЕНТУ ПОКРИТТЯ РОЗШИРЕНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПІД ЧАС ПОВІРКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ

Л.В. Юров

Розглянуто модель повірки з урахуванням нестабільності засобу вимірювань, що повіряється. Надано рекомендацій щодо розробки процедур повірки з урахуванням невизначеності та визначенню оптимального коефіцієнта покриття, що забезпечує потрібні результати повірки.

Ключові слова: повірка, підтвердження відповідності, еталон, невизначеність вимірювань, коефіцієнт покриття.

DETERMINATION OF THE OPTIMUM FACTOR OF COVERAGE EXPANDED UNCERTAINTY IN VERIFICATION OF MEASURING INSTRUMENTS

L.V. Yurov

The model verification, taking into account the instability of verification of measuring instruments are considered. Recommendations for the development of procedures for verification given the uncertainties and the determination of optimal coverage factor, providing the required verification results.

Keywords: verification, conformity acknowledgement, the standard, uncertainty of measurements, coverage factor.