

Оптимизация поверки средств измерений способом отбраковки

Л. В. Юров

Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений, Менделеево, Московская обл., Россия, e-mail: lev@vniiftri.ru

Проанализированы методики поверки способом отбраковки с использованием статистической имитационной модели. Предложены показатели достоверности результатов поверки, обоснованы их численные значения. Обоснован способ учёта неопределённости измерений при поверке.

Ключевые слова: поверка, достоверность, подтверждение соответствия, эталон, контрольный допуск, критерий годности.

Наиболее распространённым способом поверки средств измерений (СИ) является поверка способом отбраковки [1], заключающаяся в «определении пригодности СИ к применению с забракованием тех СИ, характеристика погрешности которых превышает по абсолютному значению предел её допускаемых значений, установленный для СИ данного типа» [2]. Таким образом, в качестве контрольного допуска при подтверждении соответствия СИ служит предел погрешности, установленный для СИ данного типа. В настоящее время вопреки рекомендациям [3, 4] такой контрольный допуск используют даже при подтверждении соответствия (поверки) СИ при запасе по точности эталона (отношения метрологической характеристики, например, предела погрешности СИ $\Delta_{СИ}^{пр}$ к пределу погрешности рабочего эталона (РЭ) $\Delta_{РЭ}^{пр}$) менее 3. Например, при измерениях давления в отдельных случаях допускается применение эталонов, лишь в два раза превышающих по точности поверяемое СИ [5].

С помощью разработанной автором настоящей статьи имитационной статистической модели, имитирующей передачу единицы от государственного первичного эталона (ГПЭ) к РЭ, а от РЭ к СИ путём периодической поверки [6], получены основные статистические характеристики погрешности множества поверенных СИ. Поверка выполнена способом отбраковки и при использовании предела погрешности СИ в качестве контрольного допуска.

По результатам моделирования построены зависимости максимальной погрешности $\Delta_{СИ}^{max}$ поверенных СИ, риска заказчика R_z (вероятности признать годным метрологически неисправное СИ [7]) и вероятности P_6 забракования поверенных СИ от коэффициента запаса по точности РЭ (рис. 1, а). Полученные оценки $\Delta_{СИ}^{max}$ согласуются с данными методики [4]. В наиболее распространённом случае, когда для СИ нормируется значение $\Delta_{СИ}^{пр}$ в диапазоне коэффициентов запаса по точности эталона $\Delta_{СИ}^{пр}/\Delta_{РЭ}^{пр} = 1,1 \dots 2,0$ значение погрешности $\Delta_{СИ}^{max}$ множества поверенных СИ существенно превышает $\Delta_{СИ}^{пр}$, а риск заказчика $R_z \gg 5\%$. В то же время вероятность забракования СИ $P_6 \leq 5\%$ практически при любом соотношении точностей эталона и поверяемого СИ. Таким образом, в данном случае будет минимальным риск производителя – условная

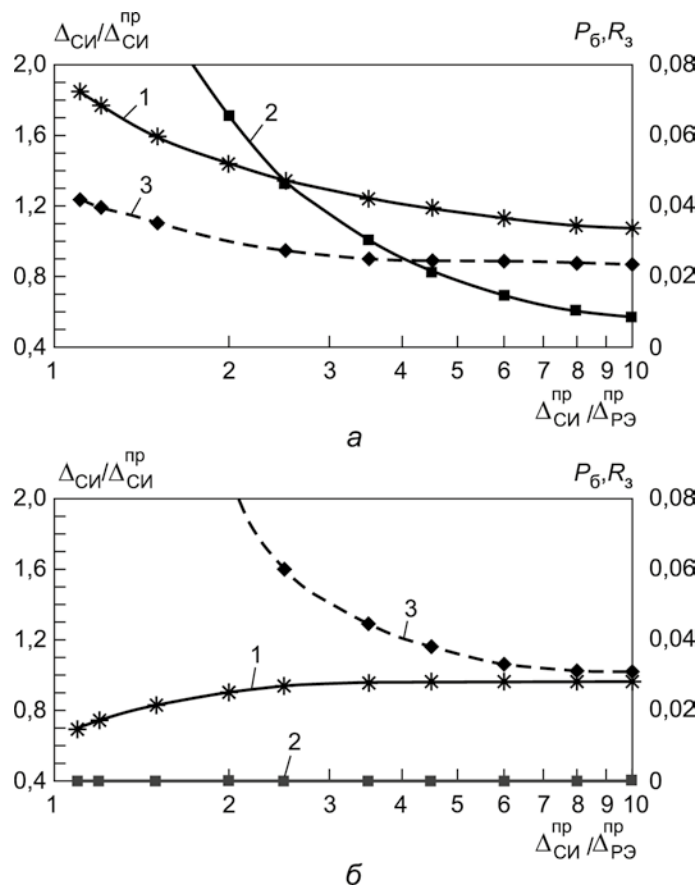


Рис. 1. Зависимости метрологических характеристик поверенных СИ от запаса по точности эталона при поверке способом отбраковки без учёта (а) и с учётом неопределённости измерения при коэффициенте охвата $k=2$ (б): 1 – максимальная погрешность; 2 – риск заказчика R_z ; 3 – вероятность P_6 забракования СИ

вероятность того, что изделие (СИ) является фактически исправным при условии, что оно забраковано – признано негодным по результатам контроля. Этот результат получен для случая многократной поверки СИ на одном и том же РЭ.

Показатели достоверности поверки СИ

Показатель	Значение $\Delta_{СИ}^{пр}/\Delta_{РЭ}^{пр} = 3$	Максимально допустимое значение
Отношение наибольшего возможного модуля контролируемой метрологической характеристики (погрешности $\Delta_{СИ}^{max}$) экземпляра СИ, который может быть ошибочно признан годным, к пределу $\Delta_{СИ}^{пр}$ допускаемых значений погрешности	1,35	1,35
Риск заказчика R_3	0,04	0,05
Вероятность P_6 признания СИ негодным (бракованным)	0,03	0,05

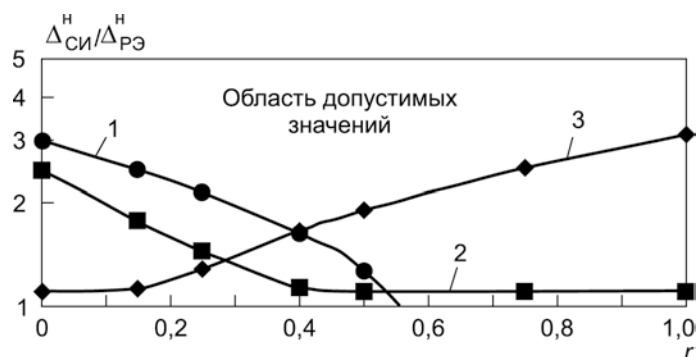


Рис. 2. Область допустимых значений запаса точности РЭ в зависимости от ширины защитной полосы (множителя r):

1 – максимальная погрешность 1,35; 2 – риск заказчика 5 %; 3 – вероятность забракования СИ 5 %

Несмотря на вполне приемлемый уровень забракования СИ при поверке способом отбраковки в широком диапазоне запаса по точности эталона, использовать этот способ при малом (менее 2) таком запасе нецелесообразно из-за низких показателей достоверности поверки (вероятность признать годным метрологически неисправное СИ превышает 5 %, значение погрешности $\Delta_{СИ}^{max}$ множества поверенных СИ существенно превышает $\Delta_{СИ}^{пр}$ (от 1,3 до 2 раз при $\Delta_{СИ}^{пр}/\Delta_{РЭ}^{пр} = 3,0 \dots 1,1$).

В настоящее время приобретает популярность способ повышения достоверности результатов поверки на основе учета неопределённости измерений при поверке [8–11]. Так как при оценке расширенной неопределённости U обычно учитывается коэффициент охвата $k=2$, то в этом случае подход Руководства [8] обеспечивает минимальный (близкий к нулю) риск признать годным метрологически неисправный прибор. Это снижает дальнейшие потери при использовании поверенного таким способом СИ, но приводит к высокой вероятности получить неокончательный результат поверки, а зачастую забраковать метрологически исправный прибор. Результаты моделирования метрологических характеристик поверенных СИ для этого случая представлены на рис. 1, б. При коэффициенте охвата $k=2$ только для отношений $\Delta_{СИ}^{пр}/\Delta_{РЭ}^{пр} > 3$ обеспечиваются следующие значения: $R_3 < 0,01$ %; $P_6 < 5$ %. Для меньших отношений $\Delta_{СИ}^{пр}/\Delta_{РЭ}^{пр}$ такой способ учёта неопределённости измерений при поверке практически неприемлем из-за высокого уровня забракования СИ. Обсуждению близких вопросов посвящены и статьи [12–15].

В большинстве практических случаев вполне допустим риск заказчика $R_3 \leq 5$ %. Такой уровень достоверности поверки для множества поверенных СИ обеспечивается при поверке способом отбраковки для отношений $\Delta_{СИ}^{пр}/\Delta_{РЭ}^{пр} > 2,5$ и без учёта неопределённости измерений. Поэтому целесообразно применять решающее правило, основанное на защитных полосах [8, раздел 8]: осуществлять «соответствующий выбор сдвига пределов принятия относительно допускаемых пределов». В русскоязычной литературе «предел принятия» (acceptance

limit) принято переводить как «приёмочный предел» или «контрольный допуск» [3, 16]. Таким образом, с целью оптимизации процедуры поверки способом отбраковки целесообразно устанавливать контрольный допуск внутри допустимого интервала – меньше, чем значение допускаемого предела погрешности поверяемого СИ (по модулю) на ширину защитной полосы. В соответствии с [8, п.8.3.2.3] ширина w защитной полосы обозначается определяется выражением

$$w = rU, \quad (1)$$

где r – некоторый множитель.

Запишем алгоритм принятия решения о соответствии СИ установленным требованиям при поверке способом отбраковки.

1. Оценивается расширенная неопределённости измерений при поверке $U = ku_C > 0$, где u_C – стандартная неопределённости; $k=2$.

2. Определяется ширина w защитной полосы по формуле (1).

3. Если измеренное значение погрешности $\Delta_{СИ}$ меньше или равно контрольному допуску, то принимается решение о соответствии СИ установленным требованиям (здесь все указанные величины берутся по модулю).

4. В противном случае принимается решение о несоответствии СИ установленным требованиям.

Этот способ оценки соответствия предпочтителен, так как позволяет в широких пределах варьировать значение множителя r с целью оптимизации параметров методики поверки.

Одним из способов определения оптимальности методики поверки является установление её показателей по опорной методике. При запасе по точности эталона от 3 и выше обеспечивается приемлемый уровень достоверности поверки, поэтому в рамках опорной методики поверки можно использовать способ отбраковки при равенстве критерия годности нормируемой характеристике (обычно пределу погрешности) СИ при коэффициенте запаса, равном 3. Найденные в результате моделирования основные показатели множества поверенных по такой методике СИ приведены в таблице. Эти показатели можно считать оптимальными при допустимых (менее 5 %) значениях вероятности P_6 и риска R_3 .

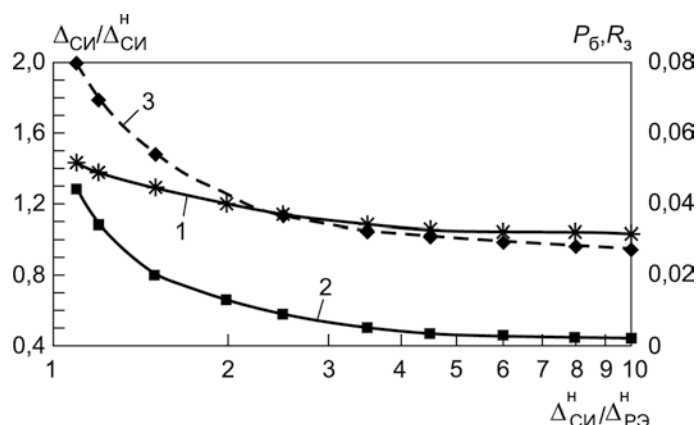


Рис. 3. Зависимости метрологических характеристик поверенных СИ от запаса по точности эталона при $r=0,4$:
1–3 – те же, что на рис. 1

На рис. 2 показаны зависимости метрологических характеристик поверяемых СИ и области допустимых значений запаса точности РЭ от множителя r , определяющего ширину w защитной полосы. Область допустимых сочетаний значений запаса точности рабочего эталона и множителя лежит выше всех зависимостей. Условия, указанные в таблице, для $r=0,4$ выполняются при отношении пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых РЭ более 1,6. При этом получают те же значения показателей достоверности поверки, как и при простом подтверждении соответствия (без учета неопределённости измерений) при отношении $\Delta_{СИ}^{пр} / \Delta_{РЭ}^{пр} = 3$. Таким образом, обеспечивается практически двукратное уменьшение требуемой точности эталона без уменьшения достоверности поверки. Этот вывод подтверждается и результатами моделирования, приведёнными на рис. 3.

Выводы. На основании анализа процесса поверки способом отбраковки с использованием статистической имитационной модели этого процесса предложен набор параметров достоверности результатов поверки и определены их значения для наиболее часто встречающихся на практике случаев. При учёте неопределённости измерений можно выбрать ширину защитной полосы $w=0,4U$ ($r=0,4$). В этом случае даже для отношения пределов погрешностей поверяемых СИ и применяемых эталонов, равного 1,6, обеспечивается такая же достоверность поверки, как и при простом подтверждении соответствия (без учёта неопределённости) для коэффициента запаса по точности эталона, равного 3.

Литература

1. Фридман А. Э. Основы метрологии. Современный курс. СПб.: НПО «Профессионал», 2008. 284с.
2. РМГ 74–2004. ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
3. МИ 187–86. ГСИ. Достоверность и требования к методикам поверки средств измерений.
4. МИ 188–86. ГСИ. Средства измерений. Установление значений параметров методик поверки.
5. МИ 2124–90. ГСИ. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напорометры, тягомеры и тягонапорометры показывающие и самопишущие. Методика поверки.
6. Юров Л. В. Оценка качества методик поверки и поверочных схем // Измерительная техника. 2015. № 1. 27–32.
7. Цибина А. А., Данилевич С. Б. Выбор критериев качества поверки СИ // Измерительная техника. 1983. № 6. 12–14.
8. ISO 10576-1:2003. Statistical methods. Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements. Pt. 1. General principles. (ГОСТ Р ИСО 10576-1–2006. Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям.)
9. РМГ 91–2009. ГСИ. Совместное использование понятий «погрешность измерения» и «неопределённость измерения». Общие принципы.
10. JCGM 106:2012. Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment.
11. ГОСТ 54500.3–2011. Неопределённость измерения. Ч. 3. Руководство по выражению неопределённости измерения.
12. Жагора Н. А. Роль точности измерений в результатах оценки соответствия // Стандартизация. 2015. № 6. С. 48–53.
13. Данилевич С. Б. О легитимизации показателей достоверности результатов контроля и испытаний продукции // Компетентность. 2012. № 6. С. 49–51.
14. Голобоков М. В., Данилевич С. Б. Оценка достоверности результатов поверки средств измерений // Метрология. 2018. № 3. С. 50–60.
15. Beckett S. F., Paim W. S. Critical analysis of the acceptance criteria used in measurement systems evaluation // Intern. J. Metrol. Qual. Eng. 2017. No. 8. P. 23.
16. МИ 1695–87. МУ. Меры электрического сопротивления многозначные, применяемые в цепях постоянного тока. Методика поверки.

Дата принятия: 12.10.2018.

Optimization of the verification of the measuring instrument way of rejection method

L. V. Yurov

All-Russian research Institute of physical-technical and radio engineering measurements, Mendeleevo, Moscow region, Russia,
e-mail: lev@vniiftri.ru

Analyzed the properties of the methods of verification manner of rejection with the use of statistical simulation models. The proposed indicators of validity of verification results, justified by their numerical values. Justified way of accounting for the uncertainty of measurements in calibration.

Key words: verification, conformity acknowledgement, standard, reliability, criterion validity.