

УДК 389.14:53.083

С.Ф. Левин, д-р техн. наук

ОЦЕНИВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕШЕНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ

Проведен анализ нормативных документов, посвященных оцениванию точности измерений. Рассмотрены статистические аспекты оценивания точности в измерительных задачах. Даны рекомендации по получению достоверных оценок характеристик погрешности и неопределенности измерений.

Ключевые слова: измерительная задача, доверительная вероятность, композиция распределений.

S.F. Levin, ScD.

THE ACCURACY ESTIMATION FOR SOLUTION OF MEASURING PROBLEMS

The analysis of the normative documents devoted to an accuracy estimation of measurements is carried out. Statistical aspects of accuracy estimation for measuring problems are considered. Recommendations about deriving of authentic estimations of performances of an error and uncertainty of measurements are made.

Keywords: measuring problem, confidence probability, composition of distributions.

С.Ф. Левін, д-р техн. наук

ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Проведено аналіз нормативних документів, що присвячені оцінюванню точності вимірювань. Розглянуті статистичні аспекти оцінювання точності у вимірювальних задачах. Дани рекомендації з одержання достовірних оцінок характеристик похибок та невизначеності вимірювань.

Ключові слова: вимірювальна задача, довірна ймовірність, композиція розподілів.

В 2006 г. «Законодательная и прикладная метрология» опубликовала статью [35] специалистов ВНИИФТРИ со словами: «формулы, рекомендуемые в МИ 1552–86 и МИ 2083–90 для вычисления доверительной границы погрешности результата измерения, являются неверными». Авторы сравнивали МИ 2083–90 [23] с ГОСТ 8.207–76 [1] и цитировали [32]: «Для нахождения погрешности результата измерения надо построить композицию распределения случайных и неисклѳенных систематических погрешностей. Но построение композиции затруднено, поэтому используют эмпирическую формулу расчѳта доверительной погрешности результата... Вычисление доверительной погрешности результата измерения по формуле (6.17) даѳт пренебрежимо малую погрешность, не превышающую 12 %. Однако это вычисление довольно громоздко».

Претензии к формулам дополняет п.2.2.1 МИ 2091–90 [24]: «погрешность, обусловленная несоответствием модели объекту измерений, не должна превышать 10 % от предела допускаемой погрешности измерений».

Композиция составляющих погрешности должна учитывать погрешность неадекватности [26] распределений вероятностей, а правила построения композиций для функций случайных величин были определены еще во времена К. Якоби.

В ходе дискуссии 1970–1980-х годов по проблемам математической статистики [34, 20, 33, 12, 13] в связи с вопросом А.Н. Колмогорова об объективном смысле вероятности [9] было указано на последствия нарушений предпосылок применимости и правил применения теории вероятностей, а также на неизбежность перехода к непараметрической статистике. Основой перехода стала схема перекрѳстного наблюдения или cross validation scheme, использующая при статистической проверке непараметрических гипотез [28] в качестве критерия максимум воспроизводимости распределений вероятностей на статистическом распределении [26].

Появление «Руководства по выражению неопределенности измерения» (GUM) [31] вопреки его фактическому содержанию породило иллюзию нового «большого скачка» в развитии обеспечения единства измерений. Попытки усилить эту иллюзию «дополнениями» и «пояснениями» дают только новые примеры непоследовательного применения в концепции неопределенности вероятностно-статистических методов [8, 14–16].

Это привело к проблеме «вероятностно-статистического тупика» на принятом направлении «перестройки» метрологии с обеспечения единства измерений на прослеживаемость [36], для осознания которой потребовалось целое десятилетие.

© Левин С.Ф., 2012

В 2005 г. место МИ 1552–86 [22] заняли Р 50.2.038–2004 [27], где было изъято Приложение Б по расчету неопределенности измерения. В 2010 г. в РМГ 29–99 [30] были внесены «революционные» изменения, РОССТАНДАРТ ввёл в действие программу повышения квалификации для специалистов метрологической службы и преподавателей кафедр метрологии по статистическим методам решения измерительных задач.

И, самое главное, стало формироваться правильное представление о нормах доверительной вероятности, устанавливаемых государственными поверочными схемами [2].

Что же, в свете итогов упомянутой выше дискуссии 1970–1980-х годов, длительное время оставалось незамеченным для метрологов и на что они просто не обращали внимание?

1. Противоречивость постановки измерительной задачи п.2.2 ГОСТ 8.207-76 [1]: «За результат измерения принимают среднее арифметическое результатов наблюдений».

Так ГОСТ 8.207–76 [1] и GUM [31] «потеряли» случайную составляющую между «измерением» и «измерениями», средним квадратическим отклонением (СКО) «результата измерения» и СКО «результата наблюдения». Ведь теперь согласно РМГ 29–99 [30] «наблюдения» – это «измерения», а среднее арифметическое всегда было результатом вычисления. Правила же действий с приближенными числами, в том числе и данными измерений, вычислительная математика давно установила.

2. Согласно п.5.1 ГОСТ 8.207–76 [1] «погрешность, возникающая из-за пренебрежения одной из составляющих погрешности результата измерения при выполнении указанных неравенств ($8 < \Theta(P)/S(\tilde{A}) < 0,8$), не превышает 15 %». А в п.3.1.5.3 РД 50–453–84 [29] табулированы наибольшие относительные погрешности формул границ интервала, содержащего погрешность измерения с вероятностью 0,90...0,98: от 7 до 65 %.

В этом отношении «реалистические» оценки GUM стандартной неопределенности типа А, т.е. СКО, ничуть не лучше. В GUM указано, что расширенная неопределенность не является доверительным интервалом и есть таблица, где дано «стандартное отклонение экспериментального стандартного отклонения

среднего \bar{q} из n независимых наблюдений нормально распределенной случайной переменной q относительно стандартного отклонения этого среднего». При $n \leq 10$ оно составляет 24...76 %, и для перехода от расширенной неопределенности к доверительному интервалу коэффициент охвата нужно дополнить коэффициентом верхней доверительной границы оценки параметра рассеяния, а именно 2,87...5,29.

3. Термины 9.14 и 9.15 в РМГ 29–99 [30] ранее определялись так:

«9.14 Средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряду измерений (средняя квадратическая погрешность измерений; средняя квадратическая погрешность; СКП) – Оценка S рассеяния единичных результатов измерений в ряду равноточных измерений одной и той же физической величины около среднего их значения, вычисляемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (9.6)$$

где x_i – результат i -го единичного измерения; \bar{x} – среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов»;

«9.15 Средняя квадратическая погрешность результата измерений среднего арифметического (средняя квадратическая погрешность среднего арифметического; средняя квадратическая погрешность; СКП) – Оценка $S_{\bar{x}}$ случайной погрешности среднего арифметического значения результата измерений одной и той же величины в данном ряду измерений, вычисляемая по формуле

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{n(n - 1)}}, \quad (9.7)$$

где S – средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений, полученная из ряда равноточных измерений вычисляемая по формуле (9.6); n – число единичных измерений в ряду».

В отзыве на проект РМГ была отмечена некорректность этих определений и обозначений, но тогда, в прошлом веке, это замечание, как и другие, было просто отклонено.

Но на это, же замечание в 2007 г. в отношении расширенной неопределенности в бра-

ковочном условии новой методики поверки термометров сопротивления [11], наши «ведущие специалисты по внедрению неопределенности в отечественные измерения» обвинили автора в «поверхностном знакомстве с предметом» и «самодеятельных ухищрениях». Они посоветовали не переписывать «с экрана компьютера по двенадцать значащих цифр после запятой при погрешности средства измерений на уровне второго знака после запятой». И не критиковать «проекты государственных стандартов по поверке конкретных видов средств измерений, выполненные в соответствии с основополагающими метрологическими документами».

Через год один из упомянутых выше специалистов предложил «нарушить» правила округления результатов измерений в сторону увеличения числа значащих цифр. Ещё через год были внесены и изменения в определения терминов 9.14 и 9.15 [30]:

«9.14 Среднее квадратическое отклонение результатов единичных измерений в ряду измерений (среднее квадратическое отклонение, СКО) – Характеристика S рассеяния результатов измерений в ряду равноточных измерений одной и той же физической величины, вычисляемая по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (9.6)$$

где x_i – результат i -го единичного измерения; \bar{x} – среднее арифметическое значение n единичных результатов измерений величины»;

«9.15 Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического значения результатов измерений (среднее квадратическое отклонение среднего арифметического; СКО среднего арифметического) – Характеристика $S_{\bar{x}}$ рассеяния среднего арифметического значения результатов измерений одной и той же величины, вычисляемая по формуле

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (9.7)$$

где S – СКО результатов измерений, вычисляемое по формуле (9.6); n – число единичных измерений в ряду».

А «самодеятельное ухищрение» по ис-

пользованию равномерного распределения при отсутствии достоверной информации о виде распределения вероятностей было рекомендовано ещё в МИ 83–76 (ныне заменены на Р 50.2.038–2004 [27]) и РД 50–453–84 [29] в качестве «наихудшего случая» [25].

4. Устанавливаемая государственными поверочными схемами норма доверительной вероятности для специалистов, излишне уверенных в своей компетентности по вопросам математической статистики, стала казусом.

Известно, что доверительная вероятность присуща всем видам интервальных оценок, в том числе доверительным [4], толерантным [5] и предикационным [6] интервалам, имеющим различные области применения. И доверительная вероятность, по определению, не должна быть менее доли соответствующего распределения вероятностей в доверительных границах. И вопрос в том, распределение чего должно быть в этих границах.

Доверительный интервал характеризует точность оценивания параметра распределения вероятностей величины, представленной статистическим рядом, а не самой величины.

Можно сказать, что «цель измерения – нахождение действительного значения измеряемой величины», а его оценкой при наличии статистического разброса данных многократных измерений одной и той же величины в одних и тех же условиях полагать среднее арифметическое.

Но даже в условиях поверки средств измерений статистический разброс показаний того же термометра сопротивления в серии измерений может быть вызван нестационарностью и неоднородностью или градиентом теплового поля термостата при неидентичности глубин погружения в него термометра.

Точность оценивания собственно величины характеризует не доверительный, а толерантный интервал, который с доверительной вероятностью P содержит заданную долю γ распределения величины [5].

Последствия этой путаницы и иллюстрируют изменения терминов 9.14 и 9.15 [30].

А доля распределения, построенного по точечным оценкам его параметров, как это сделано в GUM [31], по доверительной вероятности находится на уровне 50 %.

5. Рациональное зерно GUM могло бы составить понимание для результата решения измерительной задачи неопределенности в двух смыслах – широком и узком.

Неопределенность измерения в узком смысле – это параметр рассеяния распределения вероятностей, приписанного возможным значениям измеряемой величины на основании располагаемой априорной информации. Это – интерпретация GUM.

Неопределенность в широком смысле для искомой в измерительной задаче величины – распределение вероятностей, параметром рассеяния которого и является неопределенность измерения в узком смысле. О такой интерпретации неопределенности с коллегами из Физико-технического института Германии и ВНИИМС долго спорить не пришлось [17]. Правда, специалисты, упомянутые выше, при этом не присутствовали.

Важно подчеркнуть, что вычислительные схемы оценивания «неопределенности измерения» GUM не согласуются с отечественными и международными стандартами по статистическим методам [3–6], а стандарт ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006 [7] даже содержит специальное указание: «4.1.4 Устанавливаемые предельные значения не должны включать в себя (в явном или неявном виде) неопределенность измерений».

6. И ещё об одном «самодеятельном ухищрении». Дело в том, ГОСТ 8.207-76 [1] проверку гипотезы о принадлежности результатов «наблюдений» распределению Гаусса рекомендует проводить «с уровнем значимости q от 10 до 2 %», а выбор конкретного значения этого уровня не регламентирован. И если гипотеза принимается, то дальше в расчётах фигурирует только принятое распределение. Но расхождение между распределениями, принятым и статистическим, остаётся. Это – погрешность неадекватности принятого распределения вероятностей. В измерительных задачах поверки эта составляющая погрешности используемых по умолчанию распределений, Гаусса или равномерного, как правило, больше погрешности рабочего эталона. Для её оценивания используют контурные оценки на основе теоремы П. Леви [10, 18], когда композиция $\Delta(\delta)$ представляет собой сумму $\delta = \xi_* + \psi_R$ наблюдаемой случайной составляющей Ξ_*

с распределением вида «*» и суммарной ненаблюдаемой составляющей Ψ_R с эквивалентным равномерным распределением

$$f_{\Delta}(\delta) = \frac{F_*(\delta - a) - F_*(\delta - b)}{b - a},$$

где $F_*(\xi)$ – функция распределения вероятностей наблюдаемой составляющей, $[a, b]$ – интервал для равномерного распределения.

В измерительных задачах идентификации случаи, когда погрешностями неадекватности модели объекта измерений действительно можно пренебречь, очень редки. Так, в задаче идентификации шкалы космологических расстояний [19] погрешность неадекватности оказалась в пределах $\pm 10^{-13}$.

Качественный результат поверки, как правило, определяется наибольшей по модулю разностью показаний поверяемого средства измерений и рабочего эталона, что в методе максимального правдоподобия означает использование для случайной составляющей основной погрешности равномерного распределения. Тогда распределение $f_{\Delta}(\delta)$ принимает вид трапеции, а схема расчета, оставаясь строгой, упрощается. Проверка в классе усечённых распределений [21] подтвердила её высокую точность.

Применение не «безопасного», а «реалистического» оценивания в GUM оправдывается стремлением давать наилучшую оценку измеряемой величины, так как при уменьшении неопределенности её измерения может иметь катастрофические последствия, а завышение может вынудить пользователей покупать приборы более дорогие, чем им нужно.

Но «ориентация на наилучшее» несовместима с главной нормой государственных поверочных схем – доверительной вероятностью, защищающей права потребителя.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
2. ГОСТ 8.061-80. ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение.
3. ГОСТ Р ИСО 5479-2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения.
4. ГОСТ Р 50779.21-2004. Статистические

методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Ч. 1. Нормальное распределение.

5. ГОСТ Р ИСО 16269-6-2005. Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение статистических толерантных интервалов.

6. ГОСТ Р ИСО 16269-8-2005. Статистические методы. Статистическое представление данных. Определение предикционных интервалов.

7. ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006. Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы.

8. Кокс М. Основные положения Приложения 1 к Руководству по выражению неопределенности в измерении / М. Кокс, П. Харрис // Измерительная техника. – 2005. – № 4. – С. 17–24.

9. Колмогоров А. Н. Реальный смысл результатов анализа / А. Н. Колмогоров // Труды 2-го Всесоюзного совещания по математической статистике. – Ташкент: 1949. – С. 240–268.

10. Крамер Г. Методы математической статистики / Г. Крамер. – М.: Мир, 1975. – 648 с.

11. Левин С. Ф. Неопределенность в узком и широком смыслах результатов поверки средств измерений / С. Ф. Левин // Измерительная техника. – 2007. – № 9. – С. 15–19.

12. Левин С. Ф. Проблемы несоответствий в метрологии / С. Ф. Левин // Системы обработки информации. – 2007. – № 6 (64). – С. 56–62.

13. Левин С. Ф. Статистические методы и метрологическая аттестация программного обеспечения измерительных систем / С. Ф. Левин. – Измерительная техника. – 2008. – № 11. – С. 14–19.

14. Левин С. Ф. Нерешенные проблемы «Руководства по выражению неопределенности измерения» / С. Ф. Левин // Метрология. – 2009. – № 7. – С. 3–21.

15. Левин С. Ф. Неопределенность как параметр распределения погрешности / С. Ф. Левин // Системы обработки информации. – 2010. – № 4 (85). – С. 13–19.

16. Левин С. Ф. «Новые» «Пояснения по оценке результатов измерений» к «Руковод-

дству по выражению неопределенности измерения» / С. Ф. Левин // Системы обработки информации. – 2011. – № 1(91). – С. 15–19.

17. Левин С. Ф. «Руководство по выражению неопределенности измерения» и измерительные задачи обеспечения единства измерений / С. Ф. Левин // Системы обработки информации. – 2011. – № 6 (96). – С. 9–14.

18. Левин С. Ф. Статистические методы теории измерительных задач и классическая неопределенность / С. Ф. Левин // Системы обработки информации. – 2011. – № 6 (96). – С. 26–36.

19. Левин С. Ф. Измерительная задача статистической идентификации шкалы космологических расстояний / С. Ф. Левин // Системы обработки информации. – 2012. – № 1(99). – С. 165–169.

20. Левин С. Ф. Научно-методическое обеспечение гарантированности решения метрологических задач вероятностно статистическими методами / С. Ф. Левин, А. П. Блинов // Измерительная техника. – 1988. – № 12. – С. 5–8.

21. Левин С. Ф. Автоматизация обработки данных многократных измерений по программе «ММИ-поверка 2.0» / С. Ф. Левин, И. А. Сулейман. // Системы обработки информации. – 2011. – № 1(91). – С. 38–42.

22. МИ 1552-86. МУ ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей результатов измерений.

23. МИ 2083-89. ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

24. МИ 2091-90. ГСИ. Измерения физических величин. Общие требования.

25. МИ 1317-2004. ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.

26. Р 50.2.004-2000. ГСИ. Определение характеристик математических моделей зависимостей между физическими величинами при решении измерительных задач. Основные положения.

27. Р 50.2.038-2004 ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений.

28. Р 50.1.037-2002. Прикладная статисти-

ка. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть II. Непараметрические критерии.

29. РД 50–453–84 МУ. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета.

30. РМГ 29–99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

31. Руководство по выражению неопределенности измерения / Пер. с англ. – СПб: ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999. – 135 с.

32. Селиванов М. Н. Качество измерений / М. Н. Селиванов, А. Э. Фридман, Ж. Ф. Кудряшова. – Л.: Лениздат, 1987. – 295 с.

33. Статистическая идентификация, прогнозирование и контроль: сб. тезисов докладов 2-го Всесоюзного НТС. – Севастополь: Знание, 1991. – 80 с.

34. Статистические методы в теории обеспечения эксплуатации: сб. информационных материалов НСК АН СССР. – Вопросы кибернетики. – 1982. – Вып. 94. – 152 с.

35. Тищенко В. А. Комментарии к метрологическим документам, регламентирующим обработку результатов измерений / В. А. Тищенко, В. И. Токатлы, В. И. Лукьянов // Законодательная и прикладная метрология. – 2006. – № 4. – С. 7–12.

36. Чуйко В. Г. Поверочная схема как инструмент контроля прослеживаемости измерений / В. Г. Чуйко // Математическая, статистическая и компьютерная поддержка качества измерений: Материалы международного НТС. – СПб: КОOMET, ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, 2006. – С. 84–87.

Получено 15.05.2012

References

1. GOST 8.207–76. State system for assurance of uniformity of measurements. Direct measurements with multiple observations. Processing methods for results of observation. Fundamentals [in Russian].

2. GOST 8.061–80. State system for assurance of uniformity of measurements. Verifying schemes. Maintenance and construction [in Russian].

3. GOST R ISO 5479:1997. Statistical inter-

pretation of data. – Check of deviation for probabilities distribution from normal distribution [in Russian].

4. GOST R ISO 2854:1976. Statistical interpretation of data – Rules of determination and calculation methods for statistical characteristics of selective data. Part 1: Normal distribution [in Russian].

5. GOST R ISO 16269-6:2003. Statistical interpretation of data. Part 6: Determination of statistical tolerance intervals [in Russian].

6. GOST R ISO 16269-8:2004. Statistical interpretation of data. Part 8: Determination of prediction intervals [in Russian].

7. GOST R ISO 10576–1:2003 Statistical methods. Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements – Part 1: General principles [in Russian].

8. Cox M. Basic principles of Supplement 1 to Guide to the expression of uncertainty in measurement / M. Cox, P. Harris // Measurement techniques. – 2005. – V. 48. – N 4. – P. 336–343 [in Russian].

9. Kolmogorov A. N. Real sense of results of the analysis / A. N. Kolmogorov. // Proceedings 2nd All-Union meeting on the mathematical statistics. – Tashkent: 1949. – P. 240–268 [in Russian].

10. Kramer G. Methods of the mathematical statistics / G. Kramer. – Moscow: Mir, 1975. – 648 p. [in Russian].

11. Levin S. F. Uncertainty in wide and narrow meanings of verification results of measurement instruments / S. F. Levin // Measurement Techniques. – 2007. – V. 50. – N 9. – P. 921–928 [in Russian].

12. Levin S. F. Problems of discrepancies in metrology / S. F. Levin // Information processing system. – 2007. – N 6 (64). – P. 56–62 [in Russian].

13. Levin S. F. Statistical methods and metrological validation of measurement system software / S. F. Levin // Measurement Techniques. – 2008. – V. 51. – N 11. – P. 1162–1170 [in Russian].

14. Levin S. F. Unresolved of a problem «Guide to the expression of uncertainty in measurement» / S. F. Levin // Metrology. – 2009. – N 7. – P. 3–21 [in Russian].

15. Levin S. F. Uncertainty as parameter of distribution of the error / S. F. Levin // Information processing system. – 2010. – N 4 (85). – P.

13–19 [in Russian].

16. Levin S. F. «New» «Explaining by estimation of results of measurements» to «Guide to the expression of uncertainty in measurement» / S. F. Levin // Information processing system. – 2011. – N 1 (91). – P. 15–19 [in Russian].

17. Levin S. F. «Guide to the expression of uncertainty in measurement» and measuring problems of support of measurements unity / S. F. Levin // Information processing system. – 2011. – N 6 (96). – P. 9–14 [in Russian].

18. Levin S. F. Statistical methods of the theory of measuring problems and classical uncertainty / S. F. Levin // Information processing system. – 2011. – N 6 (96). – P. 26–36 [in Russian].

19. Levin S. F. Measuring problem of statistical identification for scale of cosmological distances / S. F. Levin // Information processing system. – 2012. – N 1 (99). – P. 165–169 [in Russian].

20. Levin S. F. Theoretical foundations of guaranteed error bounds for the solution of metrological problems by statistical methods / S. F. Levin, A. P. Blinov. // Measurement Techniques. – 1988. – N 12. – P. 5–8 [in Russian].

21. Levin S. F., Suleyman I. A. Data processing automation for multiple measurements on program «ММИ–Поверка 2.0» / S. F. Levin, I. A. Suleyman // Information processing system. – 2011. – N 1 (91). – P. 38–42 [in Russian].

22. MI 1552–86. State system for assurance of uniformity of measurements. Direct unitary measurements. Estimation for errors results of measurements [in Russian].

23. MI 2083–89. State system for assurance of uniformity of measurements. Indirect measurements. Determination of measurement results and estimation their errors [in Russian].

24. MI 2091–90. State system for assurance of uniformity of measurements. Measurements of physical quantities. General requirements [in Russian].

25. MI 1317–2004. State system for assurance of uniformity of measurements. Results and characteristics of an error of measurements. Representation forms. Ways of use at tests of product samples and the control of their parameters [in Russian].

26. R 50.2.004–2000. State system for assurance of uniformity of measurements. Determination of characteristics of mathematical models of dependences between physical quantities when

solving measurement problems. Fundamentals [in Russian].

27. R 50.2.038–2004. State system for assurance of uniformity of measurements. Direct unitary measurements. Estimation of errors and uncertainty of measurement results [in Russian].

28. R 50.1.037–2002. Applied Statistics. Rules for Validation of the Agreement between a Trial Distribution and a Theoretical Distribution. Part II. Nonparametric Tests [in Russian].

29. RD 50–453–84. Characteristics of measuring instrument errors in real conditions of operation. Calculation methods [in Russian].

30. RMG 29–99 State system for assurance of uniformity of measurements. Metrology. Basic terms and definitions [in Russian].

31. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Sec. Ed. – Geneva: BIMP, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1995. – 101 p. [in Russian].

32. Selivanov M. N. The Quality of Measurements: Metrological Handbook / M. N. Selivanov, A. É., Fridman, Zh. F. Kudryashova. – Leningrad: Lenizdat, 1987. – 295 p. [in Russian].

33. Statistical identification, forecasting and checking: Theses of reports for 2nd All-Union STS. – Sevastopol: Znanie, 1991. – 80 p. [in Russian].

34. Statistical methods in the theory of Technical support of exploitation: Materials of Scientific council on cybernetics of Academy of sciences the USSR. – Cybernetics questions. – 1982. – N 94. – 152 p. [in Russian].

35. Tishchenko V. A. Comments to the metrological documents regulating processing of measurement results / V. A. Tishchenko, V. I. Tokatly, V. I. Luk'yanov. // Legislative and applied metrology. – 2006. – N 4. – P. 7–12 [in Russian].

36. Chuiko V.G. Calibration chain as a tool of traceability control / V.G. Chuiko // Mathematical, statistical and computer support of quality of measurements: Materials of international science meeting. – St.Petersburg: Mendeleev Institute for Metrology, 2006. – P. 84–87 [in Russian].



Левин Сергей Федорович,
д.т.н., проф. зав. каф. метрологии
и метрологического обеспечения
Московского института экспертизы
и испытаний.
Тел. +7 495 668 28 14.
E-mail: AntoninaEL@rostest.ru