

характеристик элементов схем. Криві модулів і аргументів провідностей і опорів відбивають хвильовий характер полів, випромінених диполем Герца.

*Література:* 1. Петров Б. М. *Электродинамика и распространение радиоволн. Учебник для вузов.* – 2-е изд., испр.– М.: Горячая линия – Телеком. 2003.– 558 с. 2. Collin R. E., *Field Theory of Guided Waves, Second Edition*, 1991. 3. Laybros S., Combes P. F., and Mamesta H. J. The “Very-Near-Field” Region of Equiphase Radiating Apertures. *IEEE Antennas @ Propagation Magazine*, V. 47, N 4, 2005, p. 50 – 66. 4. Вихлянцев П. С., Петров В. В., Симонов М. В. *Определение границ ближней и дальней зоны при измерениях ПЭМИ. Защита информации. Конфидент. Июль-октябрь 2002 (№ 4–5). С. 36–39.* 5. W. Scott Bennet “Basic sources of electric and Magnetic Fields Newly Examined”. *Antennas and Propagation Magazine*. V. 43. No. 1, February 2001. pp. 31 – 35. 6. Kai Li and Yilong Lu. *Electromagnetic Field Generated by a Horizontal Electric Dipole Near the Surface of a Planar Perfect Conductor Coated With a Uniaxial Layer.* *IEEE Trans. On AP*, vol. 53, No. 10, October 2005, pp.3191 – 3200. 7. H. Q. Zhang and W. Y. Pan. *Electromagnetic Field of a Vertical Electric Dipole on Perfect Conductor Coated With a Dielectric Layer.* *Radio Sci.*, vol. 37, No. 4, pp. 131 – 137, 2002. 8. R.E.Collin *Hertzian Dipole Radiating Over a Lossy Earth or Sea: Some Early and Late 20th-century Controversies.* *IEEE Antennas and Propagation Magazine*. Vol. 46, No. 2, April 2004, pp. 64 – 79. 9. Sadiku Maeda and Paul Diament. *Power Flow Between Adjacent Electric Dipoles.* Vol. 44, No. 6, December 2002, pp. 68 – 76. 10. Shantz F. G. *Electromagnetic Energy Around Hertzian Dipoles.* *IEEE Transactions on Antennas and Propagation Magazine*, v. 43, No. 2, April 2001, pp. 50 – 62. 11. *Основы теории цепей: Учебник для вузов/Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов.–5-е изд., перераб.–М.: Энергоатомиздат, 1989.– 528 с.* 12. Бессонов Л. А. *Линейные электрические цепи. Изд. 2-е, перераб. и доп. Учеб пособие для электротехнич. и радиотехнич. специальностей вузов. М.: «Высш. Школа», 1974.* 13. Карни Ш. *Теория цепей. Анализ и синтез. Пер. с англ. Э. П. Горюнова, Е. А. Петрова, В. Г. Раутиана, под ред. С. Е. Лондона. М., «Связь», 1973.– 368 с.*

УДК 006.86(045)

## ОБ УНИФИКАЦИИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ (ИСПЫТАНИЙ)

*Лариса Кошова*

*Національний авіаційний університет*

*Анотація:* Наведено аналіз показників точності результатів вимірювань (випробувань), що регламентовані діючою нормативною документацією в галузі випробувань. Аналіз показав відсутність однаковості показників точності результатів, що суперечить концепції єдності випробувань. Показана доцільність використання як уніфікованих показників точності оцінок правильності і прецизійності, на основі яких знаходиться невизначеність кінцевого результату випробувань.

*Summary:* An analysis of the accuracy of measurements (tests), regulated by the existing normative documentation of test lines, which showed a lack of uniformity in measures of accuracy of results, contrary to the concept of the unity of the tests. Expediency of the use of a uniform indicator of accuracy – trueness and precision evaluations, are on the basis of which is uncertain final results of the tests.

*Ключевые слова:* Погрешность, среднее квадратическое отклонение, неопределенность, правильность, прецизионность.

### І Введение

Анализ свойств объекта испытаний связан с определением точности полученных оценок параметров, которая, в свою очередь, связана с методом обработки экспериментальных данных, позволяющих оценить требуемые свойства объекта. На основе анализа свойств объекта принимается решение о его состоянии или необходимости некоторых изменений его свойств. Особое значение при обработке данных приобретает оценивание точности полученного результата как окончательной процедуры, которая может оказать влияние на качество измерения при испытаниях.

Цель статьи – проанализировать методы определения и формы представления показателей точности результатов испытаний, регламентируемых нормативной документацией в сфере испытаний, и обосновать целесообразность использования унифицированных показателей точности, полученных на основании совместных межлабораторных экспериментов.

### II Основной материал

Качество испытаний характеризуется точностью полученных результатов. В отечественных и зарубежных стандартах используется широкая номенклатура [1] показателей точности результатов испытаний: погрешность определения результата, иногда с указанием доверительной вероятности [2,

3]; средняя квадратическая погрешность  $\sigma_{\hat{A}}$  [4, 5, 6]; доверительная погрешность или интервал суммарной погрешности [7]; требуемая  $\sigma_T$  и гарантируемая  $\sigma_G$  точность [6]; коэффициент точности метода контроля [8]

$$K_{\Sigma} = z_{\alpha} s_{\hat{A}} (2\Delta A)^{-1}, \quad (1)$$

где  $z_{\alpha}$  — квантиль нормального распределения;  $\Delta A$  — допуск на величину  $A$ .

Широко используется также коэффициент вариации [9, 10]:

$$V_A = s_{\hat{A}} \hat{A}^{-1} = 100 s_{\hat{A}} \hat{A}^{-1}, \quad (2)$$

где  $s_{\hat{A}}$  — оценка  $\sigma_{\hat{A}}$ ,  $\hat{A}$  — точечная оценка  $A$ .

В [11]  $s_{\hat{A}}$ , входящая в (1), названа погрешностью метода измерений и характеризует повторяемость измерений, а в [12] — точностью метода анализа.

Характеристика, описываемая выражением (1) в документе [8] называется коэффициентом отклонения, а в [13 – 17] — относительной допустимой погрешностью  $\Delta\alpha$  определения  $\hat{A}$ . Этими же стандартами вводится относительная доверительная ошибка:

$$\delta_A = (\hat{A} - A_{в(н)}) / \hat{A}, \quad (3)$$

где  $A_{в(н)}$  — верхняя (нижняя) доверительная граница  $A$ , соответствующая определенной доверительной вероятности  $P_{\Delta}$ .

Выражение (3) в соответствии с [18] представляется в виде

$$\delta_A = z_{\alpha} s_{\hat{A}} (\hat{A} \sqrt{n})^{-1}, \quad (4)$$

откуда следует, что  $\delta_A$  — это относительный доверительный интервал для выборочного среднего значения. При этом предполагается отсутствие систематических погрешностей.

В настоящее время действующей нормативной документацией, регламентирующей показатели точности результатов измерений (испытаний) [19 – 24], допускается использование существенно различных характеристик.

Так, рекомендация [19] оперирует понятием и термином «погрешность», который определен как «отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины», определенным в [25]. В [24] нет понятия «истинного значения», а за наилучшее значение результата принят единичный результат измерения. В стандарте [20] в качестве «согласованного для сравнения» введено понятие «принятое опорное значение», представляющее собой результат соглашения, а понятие «погрешность» вообще не используется (см. табл.).

В документах [19] и [24] метод оценивания характеристик качества измерений основан на профессиональном анализе источников (причин), влияющих на результат измерения, в [25] единственным методом получения количественной информации о характеристиках качества является статистический анализ рядов наблюдений. В этих условиях, когда в одном случае имеет место субъективный подход, а во втором — объективный, сопоставимое описание характеристик качества результатов измерений, выполняемых по методикам выполнения измерений, становится действительно затруднительным, а иногда и невозможным.

Таблица 1 – Допускаемые к применению показатели точности результатов измерений

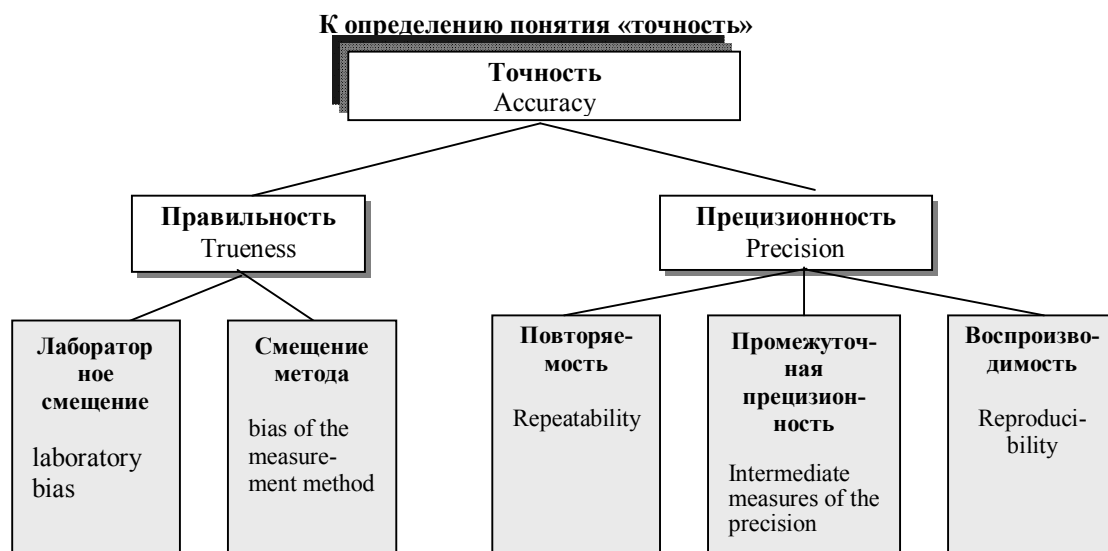
Документ	Показатели точности измерений		
	Характеристики рассеяния	Характеристики смещения	Характеристики суммарной погрешности
МИ 1317	Характеристики случайной составляющей погрешности (СКО)	Характеристики неисключенной систематической составляющей погрешности (СКО или границы – метод оценки: анализ причин и способов их учета)	Характеристики погрешности (СКО или границы: разные методы сложения)
Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК, ДСТУ Н-43	Стандартная неопределенность, оцененная по типу А (метод оценки – статистический анализ)	Стандартная неопределенность, оцененная по типу В (метод оценки – анализ причин и способов их)	Суммарная стандартная или расширенная неопределенность (разные методы сложения)

	рядов наблюдений)	учета)	
ДСТУ 5725, ДСТУ РМГ- 61, ДСТУ <b>РМГ-76</b>	Показатели <b>прецизионности</b> : СКО или пределы повторяемости, воспроизводимости, промежуточной прецизионности	Показатели <b>правильности</b> : смещение лабораторное, смещение метода (метод оценки – статистический анализ рядов наблюдений)	ДСТУ 5725:показатели точности не установлены РМГ- 61, <b>РМГ-76</b> : показатели точности в виде погрешности метода
ДСТУ РМГ- 61 <b>ДСТУ РМГ-76</b>	Характеристики случайной составляющей <b>погрешности</b> (СКО). Показатели <b>прецизионности</b> : СКО или пределы повторяемости, воспроизводимости, внутрिलाбораторной прецизионности	Характеристики неисключенной систематической составляющей <b>погрешности</b> , СКО или границы. Показатели <b>правильности</b> .	Показатели точности в виде погрешности метода

Как следует из приведенного анализа, в настоящее время действующие нормативные документы не только регламентируют применение *не унифицированных* показателей точности результатов измерений (испытаний), которые опираются на разные методы их оценивания, но и отражают разные подходы к решению измерительных задач и плохо согласуются друг с другом, что не способствует обеспечению единства испытаний.

При описании характеристик свойств объекта измерений (испытаний), по мнению автора, целесообразно использовать показатели точности результатов, рекомендованные стандартом [20], а также ISO/IEC Guide 99-12:2007, известным как Международный словарь метрологических терминов VIM-3, который является понятийно-терминологической основой метрологии на международном уровне [26].

В соответствии с этими документами **точность** – это степень близости результата измерений к принятому опорному значению. При этом *принятое опорное* значение используют в качестве действительного значения (согласованного эталона для сравнения) в условиях отсутствия эталонов [20]. Здесь точность выступает как интегральный качественный показатель, который включает в себя *правильность* и *прецизионность*, полученные на основании совместно проведенного эксперимента. Составляющие правильности и прецизионности приведены на рисунке.



В свою очередь правильность характеризуется *лабораторным смещением* и *смещением метода*, а понятие прецизионности дифференцируется для различных условий выполнения эксперимента и называется в соответствии с ними либо *повторяемостью*, либо *промежуточной прецизионностью*, либо *воспроизводимостью*.

**Правильность результатов измерений (испытаний)** характеризуется смещением, обусловленным следующими причинами:

- несовершенством метода, его селективностью, чувствительностью и т. п;

- возможным отклонением в допустимых (заданных) пределах значений параметров условий испытаний;
- конструктивными особенностями средств измерительной техники и испытательного оборудования;
- квалификацией оператора.

Правильность измерений имеет смысл и ее можно оценить в тех случаях, когда можно получить представление о принятом опорном (истинном) значении измеряемой величины. Правильность измерений характеризует *методическую составляющую* точности.

На необходимость использования такой характеристики при аттестации методов измерений и испытаний с использованием эталонных средств измерений (в частности, стандартных образцов веществ и материалов) указывается в [27, 21].

**Прецизионность** характеризует близость независимых результатов измерений (испытаний), полученных в конкретных установленных условиях. Прецизионность – новый для отечественной метрологии термин, не имеющий прямого аналога. Прецизионность зависит только от случайных факторов и не связана, ни с истинным значением, ни с заданным. Она характеризует *экспериментальную составляющую* точности. При этом особое внимание уделяется условиям испытаний, которые влияют на *изменчивость* [20] результатов.

*Показатель прецизионности* вычисляется как стандартное (среднеквадратическое) отклонение результатов измерений (испытаний), выполненных в определенных условиях.

*Повторяемость* (сходимость) (repeatability) и *воспроизводимость* представляют собой два крайних случая прецизионности, где первый характеризует минимальную, а второй – максимальную изменчивость результатов.

В некоторых документах повторяемость называется сходимостью. По мнению автора, термин «сходимость» – это результат ошибочного перевода и в используемом смысле применение этого термина не корректно. Кроме того, этот термин в математике и статистике имеет совершенно другой смысл.

Для крайних условий выполнения измерений (испытаний) введено понятие пределов, в частности *предела повторяемости* и *предела воспроизводимости* как значений, которые на множестве возможных пар результатов измерений, полученных в условиях соответственно повторяемости и воспроизводимости, с доверительной вероятностью 95% не превышаются абсолютной величиной разности результатов двух измерений, входящих в пару.

Очевидно, между условиями повторяемости и воспроизводимости существует целый ряд условий, когда некоторые требования, предполагаемые этими условиями, не выполняются. В этом случае имеют место *промежуточные условия прецизионности*. Количество видов промежуточной прецизионности равно общему количеству сочетаний, которое можно образовать из четырех элементов: время, калибровка, оператор, оборудование. В качестве мер промежуточной прецизионности используются стандартные отклонения  $s_I$ , а также дисперсии результатов измерений (испытаний), полученных экспериментально в соответствующих условиях. При записи этих величин рекомендуется указывать, какие именно факторы изменяются: время  $T$ , калибровка  $C$ , оператор  $O$ , оборудование  $E$  ( $s_{I(T)}$ ,  $s_{I(C)}$ ,  $s_{I(O)}$ ,  $s_{I(E)}$ ). Использование значений некоторых видов промежуточной прецизионности возможно, например, при сравнительной оценке лабораторий, выполняющих измерения (испытания) по одной и той же методике, а также при контроле качества работы лаборатории, оценки квалификации оператора и т. п.

Если показатели промежуточной прецизионности оцениваются не на основании совместного межлабораторного эксперимента, а в одной лаборатории, то в этом случае можно говорить о внутрилабораторной воспроизводимости.

Особое значение среди видов прецизионности имеет *воспроизводимость*: максимально разнообразные условия проведения измерений (испытаний) соответствуют многочисленным ситуациям товарообмена, при которых важную роль играет установление согласованных, обоснованных и контролируемых допусков как на характеристики продукции, так и на характеристики профессионального уровня лаборатории.

Такой подход в трактовке понятия «точность» соответствует экспериментальному методу [29] оценки неопределенности результата, основанному на значении возможного смещения и рассеяния результата измерения выходной величины объекта испытаний. При этом смещение результата учитывается в суммарной стандартной неопределенности как стандартная неопределенность по типу В, а прецизионность, оцениваемая на основании экспериментальных данных, неопределенностью по типу А или же по типу В, если дисперсия воспроизводимости была оценена ранее и нормирована.

Экспериментальный метод оценки неопределенности результата в отличие от подхода, изложенного в [28], не требует знания модельного уравнения, что является существенным при оценивании неопределенности результата испытаний, так как в практике испытаний, как правило, модельное уравнение не известно. При этом учитываются все влияющие факторы без субъективного установления их причинно-следственной связи.

### III Заключение

1. Анализ нормативной документации в области испытаний показал отсутствие единообразия методов оценки и форм представления показателей точности их результатов, что не способствует обеспечению единства испытаний.

2. Показана целесообразность оценивания точности результатов с помощью показателей правильности и дисперсии воспроизводимости, которые являются исходными при нахождении неопределенности результата испытаний экспериментальным методом.

*Литература:* 1. Теоретические основы испытаний и экспериментальная обработка сложных технических систем: учеб. пособие / Л. Н. Александровская, В. И. Круглов, А. Г. Кузнецов и др. – М.: Логос, 2003.– 736 с. 2. ГОСТ 16504:81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. 3. ДСТУ 2046:92. Папір конденсаторний. Метод визначення тангенса кута діелектричних втрат та діелектричної проникності при промисловій частоті 50 Гц. 4. ГОСТ 8.207:76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. 5. ASTM E 177:2006. Standard Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods. 6. МИ 23-74. Методика экспертизы нормативов точности в проектах стандартов на сырье и материалы и методы испытаний их химического состава и физико-химических свойств; сопоставление нормативов и интерпретация результатов. 7. МИ 2177-91. Рекомендация. Измерения и измерительный контроль. Сведения о погрешностях измерений в конструкторской и технологической документации МИ. 8. ASTM E246:2001. Standard Test Methods for Determination of Iron in Iron Ores and Related Materials by Dichromate Titration. 9. ДСТУ 2045:92. Папір конденсаторний. Метод визначення пробивної напруги та електричної міцності при змінній (промислової частоти) та постійній напрузі. 10. ГОСТ 20522:96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. 11. ГОСТ 16123:88. Микрофоны. Методы измерений электроакустических параметров. 12. ДСТУ ГОСТ ISO 2591-1:2004. Ситовий аналіз. Частина 1. Методи з використанням контрольних сит з дротяної тканини і перфорованих металевих листів. 13. ГОСТ 13216:74. Планирование испытаний на надежность. 14. ГОСТ 17510:79. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений. 15. ГОСТ 12997:84. Изделия ГСП. Общие технические условия. 16. ГОСТ 17638:83. Аппараты факсимильные. Методы испытаний на надежность. 17. ГОСТ 19489:74. Система технического обслуживания и ремонта техники. Испытания на ремонтпригодность. Основные положения. 18. ГОСТ 11.004:74 (СТ СЭВ 876-78). Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. 19. МИ 1317–2004. ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. 20. ДСТУ ГОСТ ISO 5725-1:2005. Точність (правильність і прецизійність) методів та результатів вимірювання. Частина 1. Основні положення та визначення. 21. ДСТУ-Н РМГ 61:2006. Показники точності, правильності, внутрішнього контролю кількісного хімічного аналізу. Методи оцінювання. 22. ДСТУ-Н РМГ 76:2008. Метрологія. Внутрішній контроль якості результатів кількісного хімічного аналізу. 23. ДСТУ ГОСТ 8.010:99. ГСИ. Методики виконання вимірювань. 24. ДСТУ-Н РМГ 43:2006. Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений». 25. РМГ 29-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные Термины и определения. 26. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM). ISO, Geneva, 1993. 27. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК «Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях», II изд./пер. с англ./под ред. Л.А. Конопелько. 28. Руководство по выражению неопределенности измерения/пер. с англ./под. ред. Слаева. 29. ISO/TS 21748:2004. Guidance for the use of repeatability, reproducibility and trueness estimates in measurement uncertainty estimation.

УДК 681.3.01.389

## ОСОБЛИВОСТІ АТЕСТАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ У ДЕРЖАВНІЙ МЕТРОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ НА ПРОВЕДЕННЯ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ З ТЗІ

*Володимир Бібіка*

*Державне підприємство НДІ "СИСТЕМА"*

*Анотація:* Розглянуто особливості, порядок та зміст робіт з атестації вимірювальних лабораторій у державній метрологічній системі, що виконують роботи з технічного захисту