

УДК 006.91

В.У. Игнаткин<sup>1</sup>, Л.М. Виткин<sup>2</sup>, В.А. Литвиненко<sup>1</sup>, О.И. Белый<sup>1</sup><sup>1</sup>Днепродзержинский государственный технический университет, Днепродзержинск<sup>2</sup>Госпотребстандарт Украины, Киев, Украина

## ОЦЕНИВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КЛАССА ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В работе рассмотрено состояние проблемы выбора класса точности средств измерительной техники при техническом контроле параметров качества продукции. Проведен краткий анализ и оценка отечественной и зарубежной нормативно технической документации и рекомендаций по выбору средств измерительной техники. Рассмотрена процедура оценки неопределенности возникающей при выборе оптимального количества измерений и класса точности средств контроля. В качестве критериев оптимизации предложены показатель информационной эффективности и целевая функция стоимости выполнения измерений. Результаты могут быть использованы в работе метрологических служб предприятий при планировании и организации контрольно-измерительных операций.

**Ключевые слова:** класс точности, неопределенность, энтропия, информационный критерий, целевая функция, технический контроль.

### Введение

**Постановка проблемы.** Одной из наиболее важных и сложных задач метрологического обеспечения производства является выбор средств измерительной техники (СИТ). Поскольку СИТ используются для решения очень широкого круга разнообразных задач, невозможно указать единые приемы их выбора, и в зависимости от целей, ради которых производят измерения, и условий в которых они осуществляются, возможны и различные подходы (методики).

Совершенствование систем технического контроля качества продукции, который по разным оценкам составляет около 50% измерительных операций выполняемых на производстве [1], требует разработки и внедрения методик выбора средств получения измерительной информации о контролируемом объекте.

**Анализ последних достижений и публикаций.** В общем случае процедура выбора СИТ состоит из двух этапов. Сначала устанавливаются необходимые метрологические характеристики СИТ, обеспечивающие заданную достоверность контроля, после чего, используя различные источники технической информации выбирают конкретный тип прибора. Обычно руководствуются правилами установления пределов допускаемых погрешностей показаний по классам точности СИТ, регламентируемые ГОСТ 8.401-80 и выбором метрологических характеристик из числа перечисленных в ГОСТ 8.009-84, а также дополнительно включенных в стандарты на виды и технические условия на типы СИТ.

Анализ разработанных различными предприятиями, организациями и учреждениями рекомендаций выбора по точности средств получения измерительной информации показывает, что использование этих материалов на промышленных предприятиях при разработке методик контроля качества продук-

ции (кроме ГОСТ 8.051-81 для линейных размеров) не представляется возможным ввиду необходимости располагать сведениями о характеристиках продукции, получение которых в условиях производства далеко не всегда возможно [2 – 6]. Кроме того процесс выбора средств контроля по этим рекомендациям сложен и трудоемок.

ГОСТ 8.051-81 разрабатывался применительно к измерениям только линейных размеров, привязан к единой системе допусков и посадок и не может быть распространен на контроль других величин. Порядок выбора СИТ геометрических величин рассмотрен в методических указаниях РДМУ 98-77. Кроме того, здесь достоверность контроля характеризуется рисками потребителя и поставщика. В определенной степени эти положения могут быть использованы и при выборе СИТ иных величин (электрических, радиотехнических, механических и т.п.), но следует учитывать, что в каждом виде измерения есть свои специфические особенности. Например, в работе [7] детально рассматривается влияние погрешности измерения на достоверность результата контроля. Материал больше приспособлен для определения рисков контроля и не носит нормативного характера.

В последнее время наряду с понятием «погрешность измерения» в метрологической практике используют понятие «неопределенность измерения». С 1993 года в новой и ныне действующей редакции международного словаря главных и основных терминов метрологии (VIM) [8] неопределенность (измерения) – это параметр, связанный с результатом измерения, характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обосновано приписаны измеряемой величине. В концепции неопределенности исходят из того, что результат измерения полностью известен, а сочетание его с неопределенностью дает знания об измеряемой величине после измерения, а не о самом результате. Поэтому приводимое в GUM (Guide to expression of

uncertainty in measurement)[9] словосочетание «неопределенность измерений» можно представить как «недостаточность знаний об измеряемой величине», или как это делают коллеги ряда европейских национальных метрологических институтов – «неопределенности в измерениях».

ДСТУ 3921.1-1999 и ДСТУ 3921.2-2000 разработанные в соответствии с ISO 10012-1:1992 и ISO 10012-2:1997 также не содержат научно обоснованных алгоритмов выбора СИТ по точности, а лишь общие указания обеспечения качества средствами измерений[10-11].

В работе[12] приведена классификация видов неопределенностей измерений:

- неопределенности измеряемой величины (неопределенность моделирования, спецификации, естественные неопределенности);
- неопределенности измерительного эксперимента (методические, инструментальные, личные неопределенности).

**Формулирование цели статьи.** Таким образом, представляет интерес определения неопределенностей, возникающих при выборе оптимального количества измерений и класса точности СИТ, как элемента неопределенностей измерительного эксперимента, при выполнении технического контроля.

### Изложение основного материала

Будем использовать понятие энтропии случайной величины, как меру неопределенности (множественной совокупности ее возможных значений). Чем больше диапазон непрерывной случайной величины, тем больше энтропия.

В соответствии с общими положениями теории информации, предложенными и обоснованными К.Шенноном [13], количество информации  $I$  получаемое при измерении  $X$ , равно разности априорной  $H(X)$  и апостериорной  $H(X/X_p)$  ( $X_p$  – результат измерения) энтропий этой (измеряемой) величины.

$$I = H(X) - H(X/X_p); \quad (1)$$

$$H(X) = - \int_{X_H}^{X_B} p(X) \cdot \log_2 p(X) dX, \quad (2)$$

где  $X_H$  и  $X_B$  – нижняя и верхняя границы диапазона значений  $X$ ;  $p(X)$  – плотность распределения случайной величины  $X$ .

Учитывая выше сказанное, математически процесс измерения можно описать следующим образом. Пусть проводится  $Z$  измерений одного и того же контролируемого параметра  $\beta$ , в результате чего получается ряд значений  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_Z$ . Действительное значение параметра  $\beta$  лежит в интервале  $\beta_{cp} - \Delta \leq \beta \leq \beta_{cp} + \Delta$  с доверительной вероятностью  $P'$ . Доверительный интервал  $\Delta$  связан с количеством измерений  $Z$  и доверительной вероятностью  $P'$  следующим образом

$$\Delta = \sigma' \cdot t_p / \sqrt{Z-1}, \quad (3)$$

где  $\sigma'$  – среднее квадратическое отклонение погрешности измерения;  $t_p$  – параметр, зависящий от вида закона распределения погрешности измерения,  $P'$ ,  $Z$ .

Таким образом, по результатам измерений невозможно определить действительное значение параметра  $\beta$ , а можно лишь указать интервал, в котором с определенной вероятностью  $P'$  оно находится.

Представляет интерес определить класс точности СИТ, удовлетворяющий этим требованиям  $\Delta, P'$  (расширенная неопределенность и вероятность охвата в соответствии с теорией неопределенности) некоторым оптимальным образом.

Положим, что в качестве критерия оптимальности измерений принята удельная информация

$$h_1 = I/Z \text{ [бит / измерений]}, \quad (4)$$

$$\text{где } I = - \int_{-\infty}^{+\infty} \log_2 [f(t)] \cdot f(t) dt - \log_2 \Delta \quad (5)$$

количество информации при измерении параметра  $\beta$ ;  $f(t)$  – плотность распределения погрешности. В данном случае будем предполагать нормальный закон распределения погрешности. Можно также использовать модели равномерного, треугольного, Релея(усеченная функция) и даже некоторых бимодальных распределений[14].

Показатель  $h_1$  является информационной эффективностью измерений. Оптимальному классу точности СИТ будет соответствовать максимальное значение информационной эффективности. Для заданных значений  $t_p, Z, P'$  можно рассчитать с помощью ЭВМ значения функции  $h_1$  и построить графики, представленные на рис. 1, 2, которые позволяют выбирать оптимальные по  $h_1$  количества измерений  $Z_{\text{опт}}$  и относительный доверительный интервал  $\Delta/\sigma'$  для заданных значений  $P'$  [15].

Эффективное (в смысле  $h_1$ ) использование СИТ приводит к увеличению длительности измерений и неэффективной работе операторов. Поэтому для определения оптимального числа измерений следует минимизировать целевую функцию:

$$C = C_{\text{изм}} Z + C_{\text{СИТ}} (100 - h_1), \quad (5)$$

а также решить уравнение:

$$\frac{dh_1}{dZ} = \frac{C_{\text{изм}}}{C_{\text{СИТ}}}, \quad (6)$$

где  $C_{\text{изм}}$  – стоимость измерений без стоимости СИТ;  $C_{\text{СИТ}}$  – стоимость СИТ.

На рис. 3 показан алгоритм выбора оптимального количества измерений и класса точности СИТ по информационному и экономическому критерию. Однако, следует заметить что класс точности однозначно не определяет точность измерений, которая зависит и от метода измерений и от условий их выполнения.

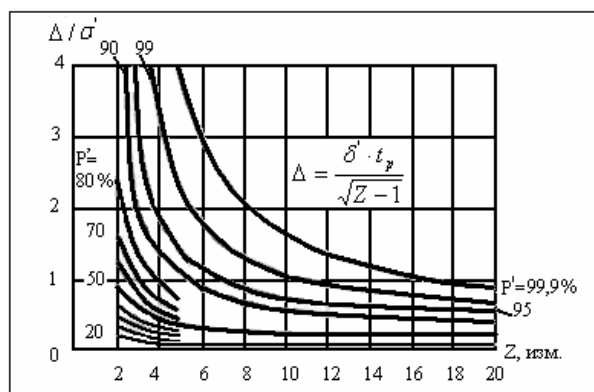


Рис. 1. Зависимость относительной точности измерений  $\Delta / \sigma'$  от количества измерений  $Z$  при различных значениях доверительной вероятности  $P'$

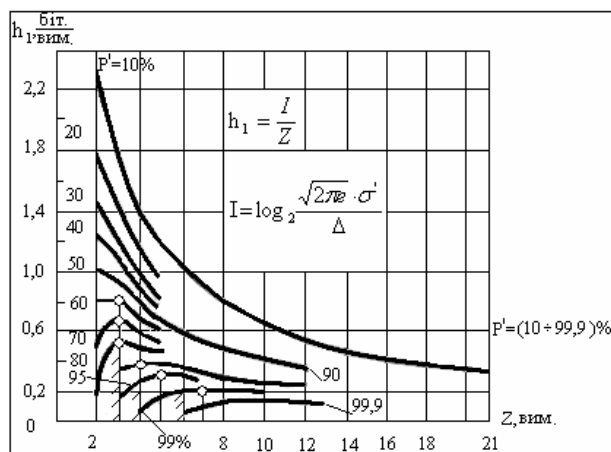


Рис. 2. Зависимость  $h_1$  от количества измерений  $Z$

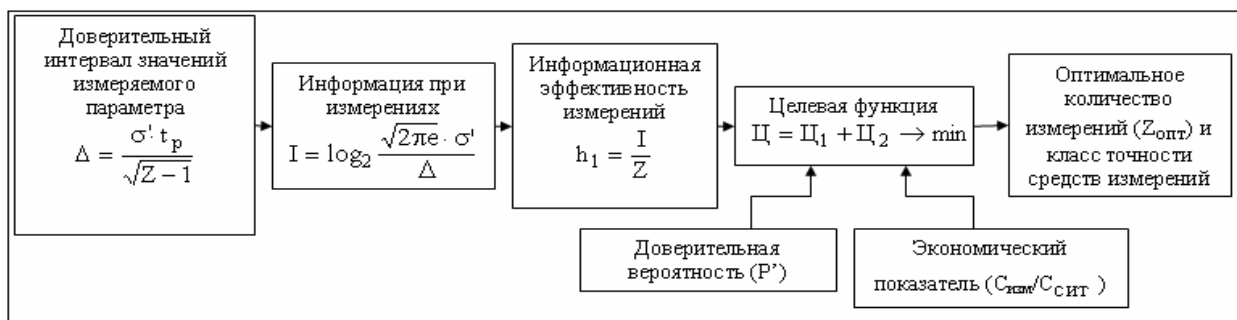


Рис. 3. Алгоритм выбора оптимального количества измерений и класса точности средств измерений

### Выводы

Проведенные исследования показали возможность использования информационного подхода при синтезе математической модели процесса измерения. Разработан алгоритм позволяющий осуществлять выбор оптимального количества измерений и класса точности СИТ по информационному и экономическому критериям. Полученные результаты могут быть использованы при выборе СИТ, которые применяются при техническом контроле.

### Список литературы

1. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / В.А. Кузнецов и др. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
2. Черноярский А.А. Разработка методических указаний “Критерии качества периодической поверки средств измерений” / А.А. Черноярский, М.А. Земельман, В.М. Кашлаков // Отчет по НИР. ВНИИМС. – М., 1988. – 130 с.
3. Черноярский А.А. Разработка методических указаний (МИ) “Установление допустимой погрешности поверки средств измерений” / А.А. Черноярский, М.А. Земельман, В.М. Кашлаков // Отчет по НИР. ВНИИМС. – М.: ВНИИЦентр, 1988. – 120 с.
4. МИ 187-79. Методика. Критерии качества поверки средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
5. МИ 188-79. Методика установления допустимой погрешности. – М.: Издательство стандартов, 1980.
6. МИ 2233-2000. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. – М.: ВНИИМС, 2000.
7. Метрологическое обеспечение производства. Конспект лекций. Госстандарт. ВИСМ / Н.Н. Рейх, Н.Я. Ме-

довикова, Ю.Н. Яковлев, О.Г. Глушкова, Н.Я. Столярова; под ред. А.А. Тупиченкова. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 248 с.

8. International vocabulary of basis and general terms in metrology: международный словарь основных и общих терминов в метрологии / пер. с англ.: И.В. Руженуев, В.Д. Кукуш. – 2-е издание. – Х.: Международная организация по стандартизации, 1999. – 52 с.

9. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement / First Edition – ISO / Switzerland. 1993: Руководство по выражению неопределенности измерения / Русский перевод. Научный редактор В.А. Слаев. – СПб.: НПО ВНИИМ им. Менделеева, 1999. – 134 с.

10. ДСТУ 3921.1-1999. Вимоги до забезпечення якості засобів вимірювальної техніки. Ч. 1. – К.: Держстандарт України, 2000. – 15 с.

11. ДСТУ 3921.2-2000. Забезпечення якості засобами вимірювальної техніки. Ч. 2. – К.: Держстандарт України, 2000. – 10 с.

12. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях: учебное пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.

13. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 824 с.

14. ГОСТ 8.011-72. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений. – М.: Издательство стандартов, 1972.

15. Автоматизация метрологического обслуживания средств измерений промышленного предприятия / В.У. Игнаткин и др. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 208 с.

Поступила в редколлегию 20.07.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.И. Губарь, Национальный технический университет «КПИ», Киев.

**ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ПРИ ВИБОРІ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ ВИМІРЮВАНЬ І КЛАСУ ТОЧНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

В.У. Ігнаткін, Л.М. Віткін, В.А. Литвіненко, О.І. Бєлий

*В роботі розглянуто стан проблеми вибору класу точності засобів вимірювальної техніки при технічному контролі параметрів якості продукції. Проведений короткий аналіз і оцінка вітчизняної і зарубіжної нормативно технічної документації та рекомендацій по вибору засобів вимірювальної техніки. Розглянута процедура оцінки невизначеності виникаючої при виборі оптимальної кількості вимірювань і класу точності засобів контролю. В якості критеріїв оптимізації запропоновані показник інформаційної ефективності і цільова функція вартості виконання вимірювань. Результати можуть бути використані в роботі метрологічних служб підприємств при плануванні і організації контрольовано-вимірювальних операцій*

**Ключові слова:** клас точності, невизначеність, ентропія, інформаційний критерій, цільова функція, технічний контроль.

**MEASUREMENT UNCERTAINTY EVALUATION AT THE CHOICE OF OPTIMUM AMOUNT OF MEASURING AND CLASS OF EXACTNESS OF FACILITIES OF MEASURING**

V.U. Ignatkin, L.M. Vitkin, V.A. Litvinenko, O.I. Belyi

*In work the states of problem of choice of class exactness of facilities of measuring technique are considered at the technical control of parameters of quality of products. The short analysis and estimation of domestic and foreign normatively technical document and recommendations on choice is conducted facilities of measuring. Procedure of estimation of uncertainty of arising up is considered at the choice of optimum amount of measuring and class of exactness of controls. As the criteria of optimization offered index of informative efficiency and having a special purpose function of cost of implementation of measuring. Results can be uses in the work of metrological services of enterprises at planning and organization of control and measuring operations.*

**Keywords:** class of exactness, uncertainty, entropy, informative criterion, having a special purpose function, technical control.