

6. Ниворожжина, Л. И. Теория вероятностей и математическая статистика [Текст] / Л. И. Ниворожжина, З. А. Морозова. – М.: Эксмо, 2008. – 432 с.
7. Иглин, С. П. Теория вероятностей и математическая статистика на базе MATLAB [Текст]: Учебное пособие / С. П. Иглин. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2006. – 612 с.
8. Box, G. E. P. A Note on the Generation of Random Normal Deviates [Текст] / G. E. P. Box and Mervin E. Muller // The Annals of Mathematical Statistics. – 1958. – Vol. 29, No. 2. – pp. 610-611.
9. Bell, J. 'Algorithm 334: Normal random deviates' [Текст] / J. Bell Communications of the ACM. – vol. 11, No. 7. – 1968.
10. Knopp, R. 'Remark on algorithm 334 [G5]: normal random deviates' [Текст] / R. Knopp // Communications of the ACM. – vol. 12, No. 5. – 1969.

*Розглянуто дві структурні моделі інформаційних перетворень вихідних сигналів дубльованих вимірювальних перетворювачів. Теоретично обґрунтовано диференційний метод бездемонтажного контролю похибок перетворювачів по різниці залишкових дисперсій структурних моделей. Представлено результати статистичного моделювання інформаційних перетворень при контролі похибок по випадковим вимірювальним сигналам*

*Ключові слова: вірогідність, інформація, контроль, модель, дисперсія, фактор, вимірювальний перетворювач, невизначеність*

*Рассмотрены две структурные модели информационных преобразований выходных сигналов дублированных измерительных преобразователей. Теоретически обоснован дифференциальный метод бездемонтажного контроля погрешностей преобразователей по разности остаточных дисперсий структурных моделей. Представлены результаты статистического моделирования информационных преобразований при контроле погрешностей по случайным измерительным сигналам*

*Ключевые слова: достоверность, информация, контроль, модель, дисперсия, фактор, измерительный преобразователь, неопределенность*

УДК 621.317

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**П. Ф. Шапов**

Доктор технических наук, профессор\*

E-mail: shapov.p.f@gmail.com

**И. И. Камбаев**

Аспирант\*

\*Кафедра «Информационно-измерительные технологии и системы»

Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: vanadiy2311@ukr.net

**И. В. Тищенко**

Кафедра искусственного интеллекта

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 16, г. Харьков, Украина, 61166

E-mail: Ivanstud91@gmail.com

### 1. Введение

Основой повышения эффективности промышленного производства, качества продукции, надежности промышленного оборудования является совершенствование методов неразрушающего контроля и функциональной диагностики объектов и параметров контроля [1]. В данной статье обсуждается применение статистических методов анализа информационных систем, используемых для контроля нарушений точности первичных измерительных преобразователей.

### 2. Постановка проблемы

Контроль точности измерительных преобразований, осуществляемый традиционными методами практической метрологии, наиболее эффективен в условиях лабораторного метрологического эксперимента [2]. При этом поверка или калибровка средств измерений проводится по эталонным входным сигналам, режим измерений – статистический, а само средство измерения с эксплуатации, фактически, снимается. Если для контроля точности используют структурно-алгоритмические методы [3], то для

коррекции и обнаружения погрешностей эксплуатируемых средств измерений необходимо обеспечивать присутствие, в составе средств контроля, образцов или физических реализуемых моделей измерительных величин.

Отсутствие таких образцов делает задачу контроля точности эксплуатируемых средств измерений проблематичной.

Эта проблема наиболее актуальна для таких средств измерений, как первичные измерительные преобразователи, особенно преобразователи нестандартные.

### 3. Анализ литературы

Эксплуатационный бездемонстрационный контроль точности первичных измерительных преобразователей, используемых в действующих ИИС, предполагает применение как структурной [3 – 5], так и информационной избыточности [6, 7]. Общее достоинство структурно-алгоритмических методов, основанных на такой избыточности, – это возможность контроля точности непосредственно в процессе работы преобразователей.

Недостаток – наличие в системе контроля образцов и физических моделей контролируемых или измеряемых величин.

### 4. Цель и задачи исследования

Цель статьи – раскрытие возможностей новых информационных технологий измерительных преобразований для контроля точности структурно избыточных первичных преобразователей при отсутствии образцов измеряемых величин.

### 5. Структурная модель информационных преобразований

Рассмотрим два идентичных измерительных преобразователя  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , на входы которых подается одна и та же измеряемая величина  $x(t)$ , зависящая от времени наблюдений  $t$  по линейному закону [8]:

$$x(t_i) = A + B \cdot t_i + g_i, \tag{1}$$

где  $A, B$  – постоянные коэффициенты;

$g_i$  – случайное отклонение сигнала  $x(t)$  от линейной функции  $\hat{x}(t_i) = A + B \cdot t_i$  ( $g_i$  от времени  $t$  не зависит).

Угловой коэффициент  $B$  задает линейную корреляцию величины  $x$  на время  $t$ , нормированный коэффициент которой  $\rho$  определяется выражением:

$$\rho = B \cdot \frac{\sigma_x}{\sigma_t}, \tag{2}$$

где  $\sigma_x, \sigma_t$  – средние квадратические отклонения величины  $x$  и времени  $t$ .

Пусть  $\rho_1$  и  $\rho_2$  – оценки нормированных коэффициентов корреляции выходных сигналов  $y_1(t_i)$  и

$y_2(t_i)$  преобразователей  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ , а  $\sigma_1^2$  и  $\sigma_2^2$  – оценки полных дисперсий выходных сигналов этих же преобразователей.

Рассмотрим две структурные модели обработки выходных сигналов  $y_1(t_i)$  и  $y_2(t_i)$  преобразователей, которые изображены на рис. 1.

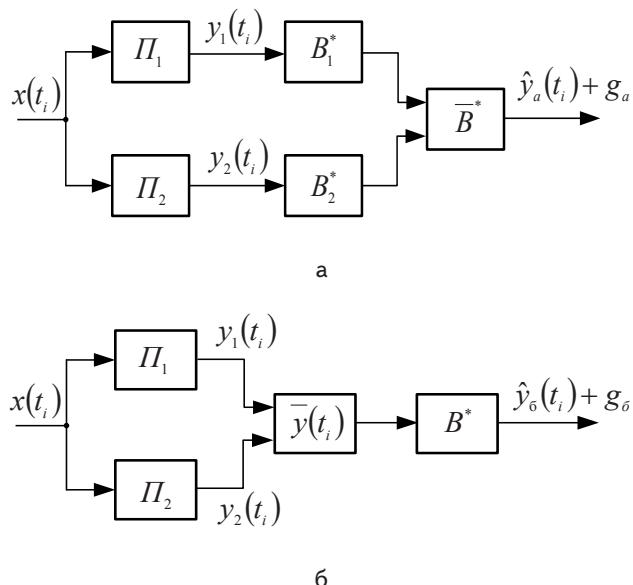


Рис. 1. Структурные модели информационных преобразований: а - с отдельными сигналами; б - с усредненными сигналами

На рис. 1, а выходные сигналы преобразователей используют отдельно, для получения двух оценок  $B_1^*$  и  $B_2^*$  углового коэффициента  $B$  и последующего усреднения этих оценок:

$$\bar{B}^* = 0,5(B_1^* + B_2^*).$$

На рис. 1, б выходные сигналы преобразователей усредняют и находят оценку  $B^*$  углового коэффициента по усредненному сигналу:

$$\bar{y}(t_i) = 0,5[y_1(t_i) + y_2(t_i)].$$

Значения выходных сигналов первой и второй структурных моделей будут определяться суммами соответствующих регрессий  $\hat{y}_a(t_i), \hat{y}_b(t_i)$  и остаточных отклонений  $g_a$  и  $g_b$ , причем дисперсии  $\sigma_a^2$  и  $\sigma_b^2$  последних от времени зависеть не будут. Остаточные дисперсии выходных сигналов структурных моделей определяются выражениями [9]:

$$\begin{cases} \sigma_a^2 = \frac{1}{2}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - (\sigma_1^2 \rho_1^2 + \sigma_2^2 \rho_2^2)] \\ \sigma_b^2 = \frac{1}{4}[2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2) - (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)(\rho_1^2 + \rho_2^2)]. \end{cases} \tag{3}$$

Разность  $\Delta = \sigma_a^2 - \sigma_b^2$  остаточных дисперсий равна нулю, если точностные характеристики преобразователей – идентичны, т.е.  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  и  $\rho_1^2 = \rho_2^2$ :

$$\Delta = \frac{1}{4}(\rho_2^2 - \rho_1^2)(\sigma_1^2 - \sigma_2^2). \tag{4}$$

Любое нарушение идентичности точности преобразований сигнала  $x(t_i)$  приведет к увеличению разности  $\Delta$ . Следует отметить, что разность  $\Delta$  всегда положительна [9] и тем больше, чем сильнее различаются точностные характеристики преобразователей  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ .

**6. Статистическое моделирование информационных преобразований**

Для оценки вероятностных свойств статистики  $\Delta$  первая и вторая структурные модели (рис. 1) были объединены и полученная структура использовалась как блок-схема процедуры статистического моделирования, которая изображена на рис. 2.

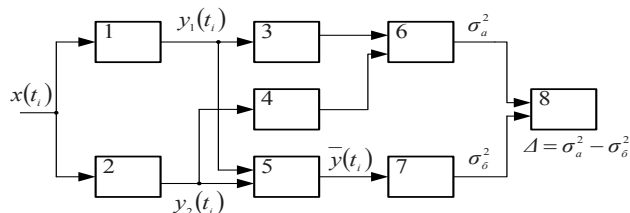


Рис. 2. Блок-схема процедуры статистического моделирования

Блоки 1, 2 – преобразователи  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$ ; блоки 3, 4 – определители остаточной дисперсии сигналов  $y_1(t_i)$  и  $y_2(t_i)$  соответственно; блок 5 – усреднитель сигналов  $y_1(t_i)$  и  $y_2(t_i)$ ; блок 6 – определитель остаточной дисперсии  $\sigma_a^2$ ; блок 7 – определитель остаточной дисперсии  $\sigma_b^2$ ; блок 8 – определитель статистики  $\Delta$ .

Значения измеряемой динамической величины  $x=x(t)$  задавались последовательностью псевдослучайных чисел  $x_i = x(t_i)$ , где  $i=0,(M-1)$ . Для каждого из чисел  $x_i$  вычислялось значение  $\Delta_i$  статистики  $\Delta$ , с последующим определением оценок ее числовых характеристик [10]. Также задавались  $k$  разных чувствительностей 1-го ( $S_{1k}$ ) и 2-го ( $S_{2k}$ ) преобразователей. Чувствительность  $S_{1k}$  – всегда равна 1, а  $S_{2k}$  – изменяется от 0.7 до 1.3 с шагом в 0.1. Средние значения статистики  $\Delta$  для объема генерируемых выборок  $M=20$  и  $M=40$  представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Средние значения статистики  $\Delta$**

Объем выборки	$S_{1k}$	1	1	1	1	1	1	1
	$S_{2k}$	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3
$M=20$	$\Delta \cdot 10^4$	8.19	7.30	6.74	6.51	6.70	7.01	7.75
$M=40$	$\Delta \cdot 10^4$	9.26	8.25	7.68	7.5	7.91	8.72	9.98

**7. Выводы**

В результате работы было установлено, что статистика контроля  $\Delta$  всегда положительна, а также она тем больше чем больше разность между чувствительностями 1-го и 2-го преобразователей, что позволяет контролировать изменения точности любого из преобразователей, без отключения последнего на поверку или калибровку.

**Литература**

1. Малайчук, В. П. Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю: [Текст] / В. П. Малайчук, О. В. Мозговой, О. М. Петренко. – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2001. – 240 с.
2. Чинков, В. М. Основи метрології та вимірювальної техніки: [Текст] / В. М. Чинков. – 2-е вид., перероб. і доп. – Х.: НТУ «ХПІ», 2005. – 524 с.
3. Володарський, Є. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: [Текст] / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с.
4. Орнатский, П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники [Текст] / П. П. Орнатский. – К.: Вища школа, 1983. – 455 с.
5. Бромберг, Э. М. Тестовые методы повышения точности измерений [Текст] / Э. М. Бромберг, К. Л. Куликовский. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.: ил.
6. Ціделко, В. Д. Обробка даних і подання результату вимірювання: Монографія [Текст] / В. Д. Ціделко, Н. А. Яремчук. – К.: ІВЦ «Видавництво Політехніка», 2002. – 176 с.
7. Дибенко, К. И. Контроль статических и динамических параметров одного типа измерительных каналов [Текст] / К. И. Дибенко, С. И. Кондрашов, В. Н. Балев // Український метрологічний журнал. Випуск 2. – 2000. – С. 59–62.
8. Шефе, Г. Дисперсионный анализ [Текст] / Г. Шефе; пер. с англ. Б. А. Севостьянов. – 2-е изд. – М.: Наука, 1980. – 512 с.
9. Щапов, П. Ф. Прилад бездемонтажного контролю метрологічних характеристик термоперетворювачів [Текст] / П. Ф. Щапов, В. В. Муляров, О. В. Гусельников. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – № 25 – С. 101–103.
10. Джонсон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных [Текст] / Н. Джонсон, Ф. Лион; пер. с англ. под ред. Э. К. Лецкого. – М.: Мир, 1980. – 610 с.