

УДК 621.317

С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина, И.В. Григоренко

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

## ТЕСТОВЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИСТЕМ В РАБОЧИХ РЕЖИМАХ

*Использование тестового контроля является единственно возможным методом решения задачи бездемонстрационного контроля точности и коррекции погрешностей измерительных преобразователей. В статье рассмотрена иерархическая структура системы контроля и управления. Показано, что задача повышения точности системы решается введением системы “метрологического наблюдателя” на первом и втором уровне, который обеспечивает необходимую точность за счет применения методов тестового контроля первичных измерительных преобразователей в рабочих режимах без демонтажа и остановки системы.*

**Ключевые слова:** тестовый контроль, измерительный преобразователь, точность, статика, динамика, теория нечетких множеств.

### Введение

Разнообразные современные технологии, охрана здоровья и окружающей среды требуют значительного увеличения текущей измерительной информации о состоянии технических объектов и систем. Оценка точности проведенных измерений имеет важное значение [1] с учетом существенного ухудшения условий измерений. Современные системы автоматизации технологических процессов и управления требуют всё более высокой точности измерений, а автоматизация технологических процессов или научных экспериментов неэффективна без точного знания действительных значений физических величин. Обеспечение высокой точности измерений и оценка их результатов усложняется в случае нелинейных функций преобразования средств измерений (СИ) и динамических режимах получения информации [2].

Традиционные методы метрологического обеспечения первичных измерительных преобразователей (ПИП) в составе измерительных каналов (ИК) не могут быть применены в ходе непрерывного технологического процесса, поскольку требуют по сути демонтажа ИК и ПИП. Именно поэтому в существующих системах промышленного назначения метрологическое обслуживание проводится на электропреобразовательной части ИК с помощью калибровочных сигналов или образцовых СИ.

При эксплуатации современных автоматизированных информационных систем контроля и управления (АИСКУ), которые обеспечивают долгосрочную, непрерывную автоматизацию ответственных производств возникает проблема утраты информации, снижения ее достоверности вследствие неизбежного постепенного изменения метрологических характеристик самой управляющей системы. Потери информации на этом этапе компенсировать или вос-

становить не представляется возможным. Таким образом, СИ должны иметь в своем составе встроенные средства самоконтроля. А значит, необходимо разработать новую концепцию тестовых систем. В современной литературе [2] эта концепция получила название “метрологического наблюдателя” (МН).

В докладе рассматриваются так называемые реляционно-разностные модели (РМ) и реперные реляционно-разностные модели (РРМ) операторов коррекции погрешностей первичных измерительных преобразователей в статических и динамических режимах. Понятие реляционно-разностной модели было введено в [2]. Под простой тестовой реляционно-разностной моделью понимается отношение двух разностей первого порядка, где разность первого порядка вычислялась как разница между значением выходного сигнала первичного преобразователя до и после тестовых воздействий.

### 1. Тестовый контроль термоэлектрических преобразователей

Высокий уровень распространения температурных измерений в промышленности (до 40% общего объема измерений) обуславливает нахождение в эксплуатации широкой номенклатуры СИ температуры. Наиболее широко для измерения температуры используются термоэлектрические преобразователи (ТЭП) и термопреобразователи сопротивления.

Особенностью эксплуатации термоэлектрических преобразователей является то, что в процессе длительной эксплуатации на объекте в составе автоматизированных информационных систем контроля и управления они изменяют свои точностные характеристики вследствие физико-химических деградиационных процессов, протекающих в термоэлектродах термопар. Дрейф функции преобразова-

ния (ФП) ТЭП, то есть изменение параметров номинальной функции преобразования, и обусловленная им прогрессирующая погрешность снижают точность измерения температуры.

Применительно к термоэлектрическим преобразователям можно выделить конструктивно-технологические методы, методы калибраторов и тестовые методы повышения точности. Применение конструктивно-технологических методов, которые базируются, в частности, в использовании материалов, имеющих относительно стабильные физико-химические характеристики, не гарантирует обеспечения необходимой точности измерения входных сигналов. Новым является применение одновременно двух методов: метода калибраторов [3, 4] и тестовых методов контроля [5]. Это позволило определять погрешность измерения сигнала температуры на уровне погрешности определения температуры плавления реперного материала. Предложенный способ [6] получил название тесто-калибровочного способа контроля метрологических характеристик ТЭП. Его суть состоит в создании сопряженных электрических воздействий на термопару за счет эффектов Пельтье и Джоуля в окрестностях рабочей и реперной точек реальной ФП ТЭП. При этом реперная точка определяется температурой фазового перехода встроенного калибратора в составе ТЭП. Оценка действительного значения измеряемой температуры рассчитывается по формуле

$$T_X = \frac{(E_X^{\text{III}} - E_X^{\text{II}})(E_{\text{Ф}}^{\text{III}} + E_{\text{Ф}}^{\text{II}} - 2E_{\text{Ф}}^{\text{I}})^2}{(E_{\text{Ф}}^{\text{III}} - E_{\text{Ф}}^{\text{II}})(E_X^{\text{III}} + E_X^{\text{II}} - 2E_X^{\text{I}})^2} \cdot T_{\text{Ф}}, \quad (1)$$

где  $T_X$  – измеряемая температура;

$T_{\text{Ф}}$  – температура фазового перехода реперного материала;

$E_X^{\text{I}}, E_X^{\text{II}}, E_X^{\text{III}}$  – термоЭДС, которые соответствуют начальной температуре рабочего спая термопары и температурам после охлаждения и нагрева термопары после пропускания тока соответствующей полярности (в окрестности температуры  $T_X$ );

$E_{\text{Ф}}^{\text{I}}, E_{\text{Ф}}^{\text{II}}, E_{\text{Ф}}^{\text{III}}$  – термоЭДС, которые соответствуют начальной температуре рабочего спая термопары и температурам после охлаждения и нагрева термопары после пропускания тока соответствующей полярности (в окрестности температуры  $T_{\text{Ф}}$ ).

Предложенный тесто-калибровочный способ позволил определять оценку действительного значения измеряемой температуры в рабочей точке шкалы измерительного преобразователя с нелинейной ФП во всем диапазоне измерения. Система контроля термопар в рабочих условиях имеет измерительную подсистему и систему формирования те-

стовых воздействий. Авторами получено аналитическое соотношение для расчета числа многократных измерений, числа разрядов аналого-цифрового преобразователя для обеспечения необходимой точности контроля.

При этом рассматривается задача коррекции как систематических аддитивных и мультипликативных погрешностей, так и погрешностей нелинейности. Погрешности нелинейности обуславливаются нелинейностью функций преобразования ТЭП в статическом режиме. В работе [7] проведен анализ погрешности нелинейности так называемых функциональных реляционно-разностных и функциональных реперных реляционно-разностных моделей, обусловленной нелинейностью ФП ПИП. Проведенные исследования указывают на зависимость погрешности нелинейности функциональных операторов коррекции от рабочей точки, в окрестности которой проводятся тестовые воздействия, от значений тестов и от соотношения тестов. Показано, что минимальное значение относительной погрешности нелинейности простой тестовой РМ будет наблюдаться при воздействии на преобразователь разнополярных, одинаковых по значению тестов. Для термоэлектрического преобразователя градуировки хромель-капель при выбранных значениях тестов относительная погрешность нелинейности рассмотренного функционального оператора составила 0,14%.

## 2. Динамический тестовый контроль

В динамических моделях операторов коррекции возникает необходимость определения и коррекции нелинейной динамической составляющей погрешности. Динамический режим тестового контроля был рассмотрен для линейной, параболической и экспоненциальной моделей изменения входного сигнала. Построение интерполяционного полинома позволяет уменьшить динамическую составляющую погрешности. Интегральное значение погрешности определяется методами теории нечетких множеств с учетом погрешностей коэффициента передачи и погрешности определения постоянной времени.

Проблема обеспечения системной метрологической совместимости разных уровней автоматизированной информационной системы контроля и управление для достижения цели ее функционирования включает три взаимосвязанных комплекса задач [2]. На первом уровне АИСКУ – это задачи назначения соответствующих допусков для каждого параметра, который контролируется. Это дает возможность определить необходимые средства измерений и значения их предельных погрешностей, которые необходимо контролировать в рабочих режимах. На этом уровне возможно решать задачу прогноза состояния каждого измерительного преобра-

зователя (ИП). На втором уровне становится возможным сформировать как технологический, так и метрологический “образ” объекта контроля с учетом действия внешних и внутренних факторов. Метрологический образ объекта является комплексным и многомерным [2]. Это означает, что ИП АИСКУ рассматривается как “простой” объект, который достаточно полно описывается математическими статистическими методами. Система ИП, блок управления и координации метрологического состояния рассматриваются как “сложная” система, в которой значительную часть информации, необходимой для осуществления задач метрологической координации [8], представлено в виде рекомендаций специалистов-технологов и метрологов. Такой подход позволяет соединить теории статистических методов оценки состояния астатических компенсационных преобразователей с теорией нечетких размытых множеств (системы FUZZY logic) [9] для построения системы ситуационного реагирования, которая следит за метрологической ситуацией.

Рассмотрим линейную инвариантную во времени систему со следующей передаточной функцией

$$H(p; T, k) = \frac{k}{Tp + 1}, \quad (2)$$

где  $T$  – постоянная времени звена;

$k$  – коэффициент преобразования звена.

Было установлено [9], что на динамическую погрешность астатической замкнутой системы влияют два параметра: нестабильность постоянной времени  $\Delta T$  и нестабильность коэффициента преобразования звеньев  $\Delta k$ . При анализе динамических характеристик астатических систем целесообразно использовать интегральный критерий ошибки, который в свою очередь удобно представить с помощью аппарата теории нечетких множеств. Нечеткий анализ определяется во временной области и не имеет никаких ограничений, в то время как традиционный анализ пригоден только в пределах определенных частотных границ.

Для того чтобы характеризовать величину отклонения от желаемого значения при моделировании разброса параметра системы введем функцию принадлежности. Отклонение параметров  $k$  – коэффициент преобразования и  $T$  – постоянная времени характеризуется соответственно функциями принадлежности  $\mu_k(k)$  и  $\mu_T(T)$ , которые образуют векторную функцию принадлежности. Нечеткая переменная на выходе  $y(t)$  характеризуется функцией принадлежности  $\mu_y(y, t)$ , которая может быть функцией от  $t$ , интервалом или просто скалярной функцией [10].

Для определения минимума динамической погрешности необходимо создать на втором уровне АИСКУ ситуационную модель системы метрологического контроля измерительного канала на базе задания метрологических ситуаций в терминах тео-

рии нечетких множеств. В работе [11] предложен метод описания метрологических ситуаций на уровне отдельного астатического электрического компенсационного измерительного преобразователя (ЭКИП). Обосновано, что наиболее целесообразно задавать три опорные ситуации для значений погрешностей “малая”, “средняя” и “большая”. Разработаны модели фаззификации и дефаззификации сигналов, которые позволяют учитывать как систематическую, так и случайную составные погрешности определения входных сигналов ЭКИП.

Предложенный подход приводит на втором уровне АИСКУ к понятию “метрологического образа”, который необходимо анализировать согласно состоянию ЭКИП на базе оценок отклонений реальных технологических параметров от их номинальных, заданных значений. Изменения МХ ЭКИП могут иметь значительное влияние на процесс принятия решения и координации именно для предельных значений параметров.

## Заключение

Рассмотренная в докладе концепция “метрологического наблюдателя” на первом уровне системы охватывает устройства получения информации и методы повышения точности измерений. Это, так называемые, тестовые методы контроля. Они обеспечивают метрологическую надежность первичных измерительных преобразователей. Задача координации на втором уровне системы должна решаться с учетом принятого метода координации, например, координации по времени выполнения измерения и контроля. Дальнейшие исследования тестовых методов видятся в анализе измерительных преобразователей с иными моделями функций преобразования и алгоритмами интегрирования и дифференцирования для построения новых классов реляционно-разностных и реперных реляционно-разностных моделей операторов коррекции.

## Список литературы

1. Земельман М.А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств [Текст] / М.А. Земельман. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 199 с.
2. Кондрашов С.И. Методи підвищення точності систем тестових випробувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах [Текст]: моногр. / С.И. Кондрашов. – Х.: НТУ “ХПИ”, 2004. – 224 с.
3. А.с. 1796919 А1 СССР, МКП<sup>3</sup> G 01 K 7/02. Способ определения температуры / Ю.В. Поздняков, В.Н. Учинин, Ю.М. Мирош, В.Р. Фесенко (СССР). – № 4866630/10; заявл. 21.06.90; опубл. 23.02.93, Бюл. № 7. – 5 с.: ил.
4. Поверка датчиков температуры на объекте (бездемонтажная поверка). Термопара со встроенной реперной точкой [Электронный ресурс]. – Режим доступа ресурсу: <http://www.temperatures.ru>.
5. Головки Д.Б. Структурно-алгоритмічні методи

підвищення точності вимірювання температури [Текст] / Д.Б. Головка, Ю.О. Скрипник, Г.І. Хімічева. – К.: ФАДА ЛТД, 1999, – 206 с.

6. Пат. 45037 А Україна, МПК G 01 K 7/02 Спосіб вимірювання температури та пристрій для його здійснення [Текст] / Діденко К.І., Кондрашов С.І., Чуніхіна Т.В.; заявник та патентовласник Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. – № 2001031746; заявл. 15.03.2001; опубл. 15.03.2002, Бюл. № 3. – 9 с.: іл.

7. Чуніхіна Т.В. Тесто-калібрувальні методи підвищення точності електричних вимірвальних перетворювачів [Текст]: дисс. ... кандидата техн. наук: 05.11.05 / Чуніхіна Тетяна Віталіївна. – Х., 2010. – 203 с.

8. Діденко К.І. Метрологический наблюдатель в системах контроля и управления [Текст] / К.И. Диденко, С.И. Кондрашов // Украинський метрологічний журнал. – 1997. – №. 2. – С. 44-47.

9. Кофман А. Введение в теорию нечётких множеств [Текст]. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

10. Рональд Р. Ягер. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / под ред. Рональда Р. Ягера [Текст]. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

11. Григоренко І.В. Розвиток тестових методів підвищення точності електричних компенсаційних вимірвальних перетворювачів у динамічних режимах [Текст]: дис. ... кандидата техн. наук: 05.11.05 / Григоренко Ігор Володимирович. – Х., 2010. – 224 с.

Поступила в редколлегию 19.08.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.Ф. Павленко, Національний научний центр «Інститут метрології», Харків, Україна.

### **ТЕСТОВІ МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СИСТЕМ У РОБОЧИХ РЕЖИМАХ**

С.І. Кондрашов, Т.В. Чуніхіна, І.В. Григоренко

*Тестовий контроль є єдиним можливим методом для вирішення задачі бездемонтажного контролю точності і корекції похибок вимірвальних перетворювачів. У статті розглянуто ієрархічну структуру системи контролю і керування. Показано, що задача підвищення точності системи вирішується введенням системи “метрологічного спостерігача” на першому та другому рівнях, який забезпечує необхідну точність за рахунок використання методів тестового контролю первинних вимірвальних перетворювачів у робочих режимах без демонтажу та зупинення системи.*

**Ключові слова:** тестовий контроль, вимірвальний перетворювач, точність, статика, динаміка, теорія нечітких множин.

### **THE TEST METHODS OF THE INCREASING OF THE ACCURACY OF THE SYSTEMS' MEASURING CONVERTERS AT THE WORKING REGIME**

S.I. Kondrashov, T.V. Chuniyhina, I.V. Grigorenko

*The one of the probable methods for the solve of the problem of the non-dismantling check of the accuracy and correction of the measuring converters' errors is the test check. The hierarchical structure of the control system was considered. The problem of the increasing of the system's accuracy was decided by including the system of the “metrological inspector” on the first and second level, which supports the required accuracy, using the method of the test check of the sensors without their dismantling and stopping the system.*

**Keywords:** test check, measuring converter, accuracy, static, dynamics, fuzzy logic.