

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Чуніхіна Тетяна Віталіївна

УДК 681.2.08:53.088

**ТЕСТО-КАЛІБРУВАЛЬНІ МЕТОДИ
ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ
ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

Спеціальність 05.11.05 – прилади та методи
вимірювання електричних та магнітних величин

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій і систем Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Кондрашов Сергій Іванович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних
технологій і систем

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кошовий Микола Дмитрович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М.Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”,
завідувач кафедри авіаційних приладів та вимірювань

доктор технічних наук, професор
Захаров Ігор Петрович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки,
професор кафедри метрології та вимірювальної техніки

Захист відбудеться “22” квітня 2010 р. о 12-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.09 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21 (електрокорпус, ауд. 92).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “18” березня 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.М. Глоба

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ефективна робота автоматизованих інформаційних систем контролю і керування (АІСКК) значною мірою залежить від вірогідності вимірювальної інформації, яку надають електричні первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП). У той же час, найбільших змін у часі серед структурних елементів вимірювальних каналів (ВК) АІСКК зазнають саме точнісні характеристики ПВП. Особливість технологічних процесів сучасних виробництв, яка вимагає від АІСКК довготривалої безперервної роботи, не дозволяє демонтувати вимірювальні перетворювачі (ВП) для здійснення перевірки. Отже, задача забезпечення метрологічної надійності електричних ВП в процесі експлуатації на об'єкті є надзвичайно важливою і актуальною.

Високий рівень розповсюдження температурних вимірювань у промисловості обумовлює наявність широкого класу первинних електричних параметричних і генераторних температурних вимірювальних перетворювачів, що знаходяться в експлуатації у складі автоматизованих інформаційних систем контролю і керування. Для вимірювання температури широко застосовуються термоелектричні перетворювачі (ТЕП) і термоперетворювачі опору. Точнісні характеристики (ТХ) ПВП температури у значній мірі визначають точність вимірювальних каналів систем контролю та безпеку контрольованих об'єктів.

Особливістю експлуатації термоелектричних перетворювачів є те, що у процесі тривалої експлуатації на об'єкті вони змінюють свої точнісні характеристики внаслідок фізико-хімічних процесів деградації, що відбуваються в їх термоелектродах. Дрейф функції перетворення (ФП) ТЕП і спричинена ним прогресувальна похибка ПВП знижують точність вимірювання температури.

Сьогодні за умови неухильного старіння виробничого обладнання існуючих АІСКК вкрай важливою стає задача продовження терміну експлуатації засобів вимірювання АІСКК на діючих об'єктах без їх демонтажу.

Ці обставини вимагають створення електричних вимірювальних перетворювачів зі здатністю до автоматичного відновлення точнісних характеристик, що визначає актуальність напрямку дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій і систем Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" у рамках завдань фундаментальних держбюджетних НДР МОН України: "Дослідження проблем прикладної метрології при вирішенні задач управління якістю промислової продукції та самоконтролю технічних систем" (ДР № 0100U001647), "Дослідження наукових проблем метрологічного забезпечення динамічного бездемонтажного самоконтролю інтелектуальних інформаційно-керуючих систем" (ДР № 0103U001539), "Підвищення точності інформаційно-вимірювальних та управляючих систем засобами бездемонтажного тестового контролю" (ДР № 0106U001514), в яких здобувач була виконавцем окремих етапів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є обґрунтування і розробка тесто-калібрувального методу, алгоритмів контролю і корекції електричних сенсорів на основі запропонованої теорії узагальнених функціональних реляційно-різницевої моделі (РМ) та реперних реляційно-різницевої моделі (РРМ) операторів корекції похибок електричних ВП при формуванні спряжених тестових впливів.

Для досягнення зазначеної мети поставлені наступні задачі:

- розробка узагальнених метрологічних моделей РМ і РРМ операторів корекції входних значень електричних ВП у задачах тесто-калібрувального контролю метрологічних характеристик (МХ) електричних вимірювальних перетворювачів;
- проведення аналізу метрологічних властивостей узагальнених моделей операторів корекції входних значень електричних вимірювальних перетворювачів;
- розробка методу оцінювання точності результатів тестового контролю для конкретних систем тестового контролю МХ електричних вимірювальних перетворювачів та синтезу систем тестового контролю з урахуванням критерія точності;
- проведення оцінки похибок нелінійності функціональних РРМ через нелінійність ФП та визначення похибки нелінійності ТЕП для реальних ФП ТЕП;
- розрахунок значень динамічних похибок при тестовому контролі ТЕП у робочих режимах експлуатації;
- розробка дослідного зразка термоелектричного перетворювача, мікропроцесорної системи тестового контролю та програмного забезпечення роботи системи;
- проведення експериментальних досліджень процесу контролю ТХ ТЕП з використанням дослідного зразка ТЕП.

Об'єктом дослідження є процеси зміни і корекції похибок електричних вимірювальних перетворювачів з формуванням спряжених електричних тестових і калібрувальних впливів.

Предмет дослідження: тесто-калібрувальні методи і засоби підвищення точності електричних вимірювальних перетворювачів на основі узагальнених реперно-реляційно-різницевої моделі операторів корекції похибок електричних вимірювальних перетворювачів.

Методи дослідження. В основу роботи покладено методи системного аналізу при вирішенні проблеми підвищення точності електричних ВП у складі систем управління довготривалої дії на основі концепції “метрологічного спостерігача”. Для теоретичних узагальнень, аналізу математичних моделей операторів корекції, вирішення задач аналізу і синтезу систем тестових випробувань нелінійних ВП у реальних умовах тестових впливів використовувалися аналітичні методи досліджень, які базувалися на теоріях: лінійних і нелінійних електричних кіл; математичних динамічних моделей у матричній формі; теорії ймовірності і випадкових процесів; математичної статистики і теорії похибок вимірювань, методів оцінки похибок вимірювань;

чисельних методів різницевих рівнянь для аналізу реляційно-різницевих моделей; інтерполяційних і екстраполяційних рядів Тейлора і Ньютона.

Наукова новизна одержаних результатів:

– отримала подальший розвиток теорія реляційно-різницевих операторів корекції вхідних значень електричних вимірювальних перетворювачів – введено визначення узагальнених функціональних операторів корекції для задач вбудованого тесто-калібрувального контролю і відновлення точності електричних сенсорів на прикладі контролю МХ термоелектричних перетворювачів;

– вперше проведено аналіз метрологічних характеристик функціональних операторів корекції; проведено оцінку похибок нелінійності узагальнених функціональних реляційно-різницевих моделей та реперних реляційно-різницевих моделей операторів корекції похибок електричних ВП;

– вперше розроблено метод оцінювання точності результатів тестової корекції для конкретних систем тестового контролю електричних вимірювальних перетворювачів та синтезу тесто-калібрувальних систем контролю ВП з урахуванням критерія точності;

– вперше розраховано похибки нелінійності через нелінійність функції перетворення термоелектричних перетворювачів (для термопар ХА, ХК системи тесто-калібрувального контролю).

Практичне значення одержаних результатів для приладобудівної галузі полягає в розробці мікропроцесорної інтелектуальної системи для здійснення контролю і корекції точнісних характеристик термоелектричних перетворювачів та термоелектричного перетворювача з елементами самотестування (патент 45037 А України). Розроблено інженерний метод розрахунку параметрів систем бездемонтажного тестового контролю метрологічних характеристик електричних вимірювальних перетворювачів.

Результати дисертаційної роботи використано в навчальному процесі кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем в курсах: “Інформаційно-вимірювальні комплекси”, “Інформаційно-вимірювальні системи”, “Контроль динамічних систем”, “ІВС спеціального призначення (системи тестового контролю)”.

Особистий внесок здобувача. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Серед них: теоретичні дослідження функціональних реляційно-різницевих моделей операторів корекції вхідних значень електричних ВП, проведення оцінки їх метрологічних властивостей, розрахунок похибок нелінійності і динамічних похибок у робочих режимах, розробка алгоритмів та програмного забезпечення для системи, що реалізує тестові випробування ТЕП, проведення експериментальних досліджень, обробка та узагальнення результатів.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати роботи доповідалися на: IX, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII МНТК „Информационные технологии: наука, технология, образование” (Харків, 2001, 2003-2009 рр); міжнародній конференції з управління „Автоматика-2000” (Львів, 2000 р); III, IV, V, VI МНТК „Метрологія в електроніці” та „Метрологія

і вимірювальна техніка” (Харків, 2000, 2002, 2004, 2008 рр.); 2-ом Международном радиоэлектронном форуме “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития” МРФ–2005, (Харьков, 2005 г); 5-ій НТК “Удосконалення системи і засобів метрологічного забезпечення озброєння та військової техніки ” (Харків, 2005 р); 10-м юбилейном международном молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», (Харьков, 2006 г); щорічних науково-технічних конференціях викладачів, співробітників і аспірантів НТУ “ХПІ”, (Харків, 2002-2009); 2-ой МНТК “Приборостроение-2009” (Минск, 2009 г.).

Публікації. Основний зміст дисертації відображено у 30 наукових публікаціях, з них: 10 статей у наукових фахових виданнях ВАК України, 2 патенти України.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, 6 додатків, списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 203 сторінки, з них 50 рисунків по тексту; 6 таблиць по тексту; 6 додатків на 34 сторінках; список використаних джерел зі 180 найменувань на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об’єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

Перший розділ присвячено розгляду тенденції розвитку методів підвищення точності електричних вимірювальних перетворювачів у складі АІСКК. Проведено аналіз відомих методів бездемонтажного контролю метрологічних характеристик термоелектричних перетворювачів. Виявлені недоліки методів калібраторів, методів мажоритування та методів прогнозування реального тренду похибок ТЕП залишають задачу бездемонтажного контролю метрологічних характеристик термоелектричних перетворювачів невирішеною. У зв’язку з цим обґрунтована необхідність розробки нових методів бездемонтажного контролю точнісних характеристик електричних вимірювальних перетворювачів (на прикладі термоелектричних перетворювачів), які б дозволили здійснювати поточний контроль точнісних характеристик вимірювальних перетворювачів з нелінійними функціями перетворення у процесі їх експлуатації на об’єкті.

У другому розділі розглянуто структурно-алгоритмічні методи підвищення точності термоелектричних перетворювачів, які базуються на створенні спряжених електричних тестових впливів на термопару за рахунок ефектів Пельтьє і Джоуля, запропоновано спосіб бездемонтажного контролю ТХ ТЕП, проведено аналіз МХ функціональних операторів корекції значень вхідних сигналів електричних ВП.

Результатом синтезу методів калібраторів і тестових впливів став спосіб бездемонтажного контролю ТХ термоелектричних перетворювачів. Суть способу полягає у створенні спряжених електричних тестових впливів на термопару за рахунок ефектів Пельтьє і Джоуля в околах робочої та реперної

точок реальної ФП ТЕП. При цьому реперна точка визначається температурою фазового переходу вбудованого калібратора у складі ТЕП. Запропонований тесто-калібрувальний спосіб дозволив визначити оцінку дійсного значення вимірюваної температури у робочій точці шкали ВП з лінійною та нелінійною функцією перетворення (НФП) у всьому діапазоні вимірювань. Дійсне значення температури у робочій точці при цьому методі визначається через температуру фазового переходу реперного матеріалу і безрозмірний реперний реляційно-різницевий коефіцієнт, який визначається експериментальним шляхом при здійсненні ряду тестових впливів. Було встановлено, що у разі застосування систем тестового контролю для електричних ВП з нелінійними функціями перетворення розрахунок оцінки дійсного значення вимірюваної величини завжди здійснюється через безрозмірні оператори корекції. Структура цього оператора обумовила його назву – реляційно-різницеві моделі (РМ) операторів корекції вхідних значень електричних ВП. Якщо розрахунок оцінки дійсного значення вимірюваної величини здійснюється за допомогою безрозмірного коефіцієнта та деякого номінального значення вимірюваної величини, то такі оператори у роботі отримали назву реперні реляційно-різницеві моделі (РРМ) операторів корекції вхідних значень електричних ВП.

В таблиці 1 представлені оператори корекції ψ_i , які отримані із розрахункових формул для визначення оцінки дійсного значення вимірюваної величини при реалізації різних способів тестового контролю електричних ВП.

Таблиця 1

РМ оператори корекції значень вхідних сигналів ВП

Оператор корекції ψ_1 , який відповідає найпростішому алгоритму тестового контролю, було названо простою тестовою РМ. Використання існуючих РМ та РРМ на практиці є досить складним. Проведення тестового контролю електричних ВП із заданою точністю вимагає попередніх досліджень МХ РМ і РРМ, які самі є функціями значної кількості різниць першого порядку (різниця першого порядку визначається як різниця між значенням вихідного сигналу ВП до тестового впливу та значенням після тестового впливу). Доцільним є побудова на основі існуючих РМ та РРМ функціональних операторів корекції, які б були функціями тільки від тестових РМ.

Таким чином, аналіз МХ РМ та РРМ було зведено до аналізу простої РМ з урахуванням її входження до структури функціонального оператора.

Функціональним оператором корекції вхідних значень електричних вимірювальних перетворювачів називається функціонал від простих тестових РМ ψ_i ; де C_ψ – функціональний оператор, ψ_i – i -ті тестові РМ.

Із РМ та РРМ операторів корекції вхідних значень електричних вимірювальних перетворювачів (таблиця 1) були отримані функціональні оператори корекції.

Функціональний оператор для запропонованого тесто-калібрувального способу контролю термоелектричних перетворювачів має вигляд

$$C_{\psi} = \frac{(\Delta y_2^{\text{II}} + \Delta y_3^{\text{II}})(\Delta y_2^{\text{I}} - \Delta y_3^{\text{I}})^2}{(\Delta y_2^{\text{I}} + \Delta y_3^{\text{I}})(\Delta y_2^{\text{II}} - \Delta y_3^{\text{II}})^2} = \psi_3 \frac{(1 + \psi_1)(1 - \psi_2)^2}{(1 + \psi_2)(1 - \psi_1)^2}, \quad (1)$$

де $\Delta y_2^{\text{I}}, \Delta y_3^{\text{I}}$ – тестові РРМ; $\Delta y_2^{\text{II}}, \Delta y_3^{\text{II}}$ – різниці першого порядку, отримані у разі дії електричних тестів в околі номінальної точки; $\Delta y_2^{\text{I}}, \Delta y_3^{\text{I}}$ – різниці першого порядку, отримані у разі дії електричних тестів в околі робочої точки.

Задача аналізу точності функціональних операторів вирішувалася із застосуванням відомої методики оцінки похибок опосередкованих вимірювань. Як правило, квадратичним членом розкладання функції в ряд Тейлора знехтують. У разі використання систем тестового контролю перевірка виконання умови знехтування квадратичним членом є необхідною процедурою

$$R \leq 0,8\sigma\left(\hat{x}_0\right), \quad (2)$$

де $\hat{x}_0$ – залишковий член ряду Тейлора;

σ – середньоквадратичне відхилення (СКВ) оцінки значення; R – граничне значення випадкової похибки оцінки різниць першого порядку.

Було запропоновано загальний метод визначення дисперсії тестових РМ та похибок тестових РМ. Різниці першого порядку вільні від систематичних похибок засобу вимірювальної техніки, однак, у разі обчислення різниць першого порядку збільшується випадкова похибка, обумовлена похибкою квантування АЦП

де q – крок квантування АЦП.

Для функціонального оператора (1) СКВ різниць першого порядку для багаторазових вимірювань буде

$$\sigma(\Delta y_2^{\text{I}}) = \sigma(\Delta y_2^{\text{II}}) = \sigma(\Delta y_3^{\text{I}}) = \sigma(\Delta y_3^{\text{II}}) = \frac{q}{\sqrt{6k}}, \quad (3)$$

де k – число вимірювань.

З урахуванням (3) дисперсія для ψ_1 набуває вигляд

$$\sigma^2(\psi_1) = \frac{q^2}{6k \cdot (\Delta y_2^{\text{II}})^2} (1 + \psi_1^2). \quad (4)$$

Розрахунок випадкових похибок тестових РМ проводився, виходячи з наступних припущень. Максимальне значення, що може набути ψ_1 з урахуванням того, що граничне значення випадкової похибки різниць першого порядку дорівнює $\pm q$, становить

де D – динамічний діапазон значень тесту по відношенню до кроку квантування.

Тоді гранична максимальна абсолютна похибка ψ_1 визначається виразом

З умови (2) було отримано критичне значення числа розрядів АЦП $n_{\text{кр}}$, за яким можна знехтувати остаточною членом. Граничне значення відносної похибки оцінки за довірчою ймовірністю $P_d = 0,9$ визначається за формулою

$$\delta_p(C_\psi) = 1,6\tilde{\sigma}(C_\psi). \quad (5)$$

Формула (5) дозволяє розраховувати необхідне число розрядів АЦП n . Умова вибору розрядів АЦП: $n = n_{кр}$. З цієї умови визначається константа моделі C :. Константа моделі C представляє собою точність тестового контролю електричних ВП при одноразовому вимірюванні ($k=1$). Приймаючи та, для оператора ψ_2 була визначена константа моделі $C = 0,35$. Для систем тестового контролю. За таких умов формула для розрахунку необхідної розрядності АЦП для функціонального оператора (1) набуде вигляду

$$n = 11,71 + 0,5\log_2 k. \quad (6)$$

Таким чином, запропоновано метод оцінювання точності результатів тестової корекції для конкретних систем тестового контролю електричних вимірювальних перетворювачів та синтезу систем контролю з урахуванням критерія точності, який дозволив отримати уточнені функціональні залежності для розрахунку параметрів систем тестового. На графіках рис. 1 а, б показано алгоритм вирішення задачі визначення параметрів систем тестового контролю електричних ВП. Графіки рис. 1 побудовані для моделі таблиці 1. Так, показано, що для забезпечення точності тестового контролю термоелектричних перетворювачів на рівні 0,1% кількість додаткових вимірювань повинна складати 350 вимірювань, число розрядів АЦП $n = 16$.

$$\text{а) } n = f(k) \qquad \text{б) } k \cdot \delta_p(C_\psi) = C$$

Рис. 1. Функціональні залежності для розрахунку параметрів систем тестового контролю електричних ВП

Третій розділ присвячений дослідженню лінеаризуючих властивостей реперних реляційно-різницевих моделей операторів корекції значень вхідних сигналів електричних ВП з НФП при бездемонтажному тестовому контролі.

Реалізація тестового контролю електричних ВП передбачає лінеаризацію НФП в околі однієї або двох точок шкали. Виникає похибка нелінійності різниць першого порядку через нелінійність ФП. Оскільки різниці першого порядку входять до складу тестової РМ, то і тестова РМ буде мати похибку нелінійності. Ставилася задача аналізу похибки нелінійності функціональних операторів корекції вхідних значень електричних ВП через нелінійність ФП.

Проведено аналіз похибки нелінійності простої тестової РМ з урахуванням її входження до структури функціонального оператора корекції значень вхідних сигналів електричних ВП.

Похибка нелінійності різниці першого порядку (при реалізації тестового контролю термоелектричних перетворювачів) розраховується як

$$\Delta_{нел}(\Delta y_{10}) = \Delta y_{10\text{л.набл.}} - \Delta y_{10\text{нсх}} = y_{1\text{л.набл.}} - y_{1\text{нсх}}, \quad (7)$$

де – значення різниці 1-го порядку, обчислене шляхом лінійного наближення; – значення різниці першого порядку, обчислене за НСХ; – значення вихідного сигналу після тестового впливу, обчислене шляхом лінійного наближення; – значення вихідного сигналу після тестового впливу, визначене за НСХ.

Значення вихідного сигналу після дії тесту за лінійним наближенням визначається першими двома членами розкладання функції в ряд Тейлора в околі точці x

$$y_{1л.набл.} = y(x) + y'(x) \cdot \theta. \quad (8)$$

Значення вихідного сигналу після дії тесту, визначене за НСХ

(9)

У роботі отримана формула для розрахунку похибки нелінійності різниці першого порядку

(10)

Абсолютне значення похибки нелінійності тестової РМ ψ_1

(11)

З (11) було отримано вираз для відносної похибки нелінійності $\psi_{тест}$

(12)

де ψ_1 – похибка нелінійності визначення різниці 1-го порядку; $\psi_{тест}$ – похибка нелінійності визначення різниці 1-го порядку.

Формула (12) вказує на лінеаризуючі властивості тестових РМ операторів корекції значень вхідних сигналів електричних ВП за рахунок того, що при однополярних тестових впливах θ і kx похибки нелінійності мають один знак, і похибка зменшується. При використанні різнополярних тестів ця похибка збільшується.

Для термопар градування ХА і ХК розрахунковим шляхом з використанням математичного редактора “Mathcad 2000 Professional” були розраховані відносні похибки нелінійності різниць першого порядку при лінійній апроксимації ФП. Вказані розрахунки були виконані для трьох точок робочого діапазону: $T_x = 300^\circ C$ (відповідна номінальна точка $T_\phi = 320^\circ C$), $T_x = 500^\circ C$ (номінальна точка $T_\phi = 530^\circ C$), $T_x = 700^\circ C$, (номінальна точка $T_\phi = 740^\circ C$). Було розглянуто 3 варіанти співвідношення електричних тестових впливів на перетворювач: 1) θ і kx (однополярні, різні за значенням); 2) θ і kx (різнополярні, різні за значенням); 3) θ_1 і θ_2 , $|\theta_1| = |\theta_2|$ (різнополярні, однакові за значенням).

Рис. 2. Залежність відносної похибки нелінійності різниці першого порядку від значень електричних тестів, якими випробувалася термопара в околі робочої точки $T_x = 300^\circ C$

Абсолютна похибка нелінійності визначається за формулою

(13)

Для функціональних операторів, які відповідають розрахунковим формулам для визначення оцінки дійсного значення вимірюваної величини (таблиця 1), були отримані вирази для розрахунку абсолютних похибок нелінійності.

Відносна похибка нелінійності оператора (1) обчислюється за формулою

(14)

При розрахунку похибки нелінійності функціонального оператора (1) за таких вихідних даних: $T_x = 300^0 C$, $T_\phi = 320^0 C$, $+\theta = 10^0 C$, $-\theta = -7^0 C$, відносна похибка нелінійності C_ψ склала $\delta_{\text{нел}} C_\psi = 0,14\%$.

Проведені дослідження вказують на залежність похибки нелінійності функціональних операторів корекції значень вхідних сигналів електричних ВП від робочої точки, в околі якої здійснюються тестові впливи, від значень тестів та співвідношення тестів (мінімальне значення похибки нелінійності спостерігається для випадку реалізації різнополярних, однакових за значенням електричних тестів).

Четвертий розділ присвячений питанням практичної реалізації тесто-калібрувального способу бездемонтажного контролю МХ ТЕП. Запропонована конструкція термоелектричного перетворювача з елементами самоконтролю (рис. 3), описана робота функціональної схеми мікропроцесорної системи тестового контролю ТЕП (рис. 4), наведена схема принципова електрична, розроблено програмне забезпечення роботи системи.

Рис. 4. Функціональна схема системи бездемонтажного контролю ТЕП

За допомогою розроблених мікропроцесорної системи тестового контролю термоелектричних перетворювачів та вимірювального перетворювача були проведені експериментальні дослідження. Використовувалася термopара градування ХК з реперним матеріалом свинцем. У якості еталонного засобу вимірювання використовувався платиновий термopеретворювач опору. На рис. 5 та рис. 6 показано моменти фазового переходу свинцю при нагріванні та охолодженні, відповідно.

Рис. 5. Нагрівання реперного матеріалу

Рис. 6. Охолодження реперного матеріалу

Проведені експериментальні дослідження тестового контролю ТЕП за рахунок ефектів Пельтьє та Джоуля довели можливість здійснення бездемонтажного контролю точнісних характеристик ТЕП за запропонованим тесто-калібрувальним методом.

Було проведено розрахунок похибки вимірювального каналу системи контролю МХ ТЕП і динамічної похибки. З'ясовано, що похибка підсилюючого каскаду є основною складовою сумарної похибки вимірювального каналу, відносно значення якої дорівнює $\delta = \pm 1,1 \cdot 10^{-1} \%$.

У **додатках** наведено таблиці розрахованих часткових похідних для функціональних операторів корекції, похибок нелінійності термopар градування ХК та ХА, схему принципову електричну системи контролю ТЕП, копію патента, акт впровадження результатів дисертації в навчальний процес.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено рішення науково-практичної задачі підвищення точності електричних вимірювальних перетворювачів шляхом тестових випробувань при бездемонтажному контролі у робочих режимах на основі реперного реляційно-різницевого оператора корекції, який дозволяє здійснювати “ковзаючий” тестовий контроль ВП одночасно з дією вхідного сигналу. У дисертації подальший розвиток отримала теорія структурно-

алгоритмічних методів підвищення точності, а саме, методів корекції результатів вимірювання ВП без зміни ФП ВП шляхом визначення узагальнених функціональних реляційно-різницевих (ФРМ) та реперних реляційно-різницевих (ФРРМ) моделей операторів корекції вхідних сигналів.

1. Отримала подальший розвиток теорія реляційно-різницевих моделей операторів корекції вхідних значень – введено визначення узагальнених функціональних реляційно-різницевих та узагальнених функціональних реперних реляційно-різницевих моделей операторів адитивно-мультиплікативної корекції похибок ПВП. Функціональні оператори корекції є функціями від простих тестових РМ, які, в свою чергу, визначалися як відношення двох різниць першого порядку (різниця першого порядку розраховувалася як різниця між двома значеннями вихідного сигналу ВП – до та після тестового впливу). Введення функціонального оператора дозволяє розробити узагальнений інженерний метод визначення методичних складових похибки контролю через “прості” оператори та їх метрологічні характеристики.

2. В результаті аналізу метрологічних властивостей узагальнених операторів корекції встановлено, що точність ФРМ та ФРРМ визначається метрологічними характеристиками тестових РМ, що входять до їх складу, і не залежить від точності формування електричних тестових впливів (необхідним є лише забезпечення сталості тестів у часі).

3. Розроблено метод оцінювання точності результатів тестового контролю електричних ВП для конкретних систем тестового контролю з урахуванням нелінійної форми зв'язку оцінки дійсного значення вхідного сигналу і відповідних ФРМ та ФРРМ. Запропонований метод дозволяє вирішувати дві задачі: по-перше, оцінювати точність конкретних систем, по-друге, синтезувати системи тестового контролю з урахуванням критерія точності (так, наприклад, для забезпечення визначення вхідного сигналу з похибкою 0,1% кількість додаткових вимірювань повинна складати 350, число розрядів АЦП $n=16$).

4. Проведен аналіз похибки нелінійності ФРМ та ФРРМ, обумовленої нелінійністю ФП ВП. Показано, що мінімальне значення відносної похибки нелінійності простої тестової РМ буде спостерігатися у разі дії на ВП різнополярних, однакових за значенням тестів. Для термоелектричного перетворювача градування ХК та за заданими значеннями тестів відносна похибка нелінійності розглянутого функціонального оператора склала 0,14%.

5. Запропоновано закінчене технічне рішення проблеми бездемонтажного контролю МХ ТЕП, а саме: розроблено дослідний зразок ТЕП з елементами самоконтролю, мікропроцесорну систему тестового контролю термоелектричних перетворювачів та програмне забезпечення роботи системи.

6. Проведені експериментальні дослідження процесу тестового контролю ТЕП з використанням дослідного зразка ТЕП показали високу ефективність запропонованого реперного реляційно-різницевого тестового методу контролю ТЕП. Застосування цього методу надає можливість суттєво (у 3–4 рази) подовжити строк експлуатації на об'єкті термоелектричних перетворювачів.

7. Проведено розрахунок динамічної похибки при тестовому контролі ТЕП. Визначено допустиму швидкість зміни різниці першого порядку для забезпечення значення динамічної похибки на рівні 0,2%.

8. Результати дисертаційної роботи були впроваджені у навчальний процес кафедри “Інформаційно-вимірювальні технології і системи” для спеціальностей 7.091301 “Інформаційно-вимірювальні системи”, 7.091302 “Метрологія та вимірювальна техніка”, зокрема в курсах: “Інформаційно-вимірювальні комплекси”, “Інформаційно-вимірювальні системи”, “Контроль динамічних систем”, “ІВС спеціального призначення (системи тестового контролю)”.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Чунихина Т.В. Вероятностная модель процессов контроля и восстановления метрологических характеристик / К.И. Диденко, С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина // Вісник Харківського державного політехнічного університету. – Харків: ХДПУ. – 1999. – вип. 71. — С. 74–79.

Здобувачем було визначено математичне сподівання похибки вимірювального каналу для прийнятої моделі метрологічного стану каналу.

2. Чунихина Т.В. Установка для тестовых испытаний термоэлектротеплопреобразователей / К.И. Диденко, С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина // Вестник Национального технического университета “Харьковский политехнический институт”. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2001. – № 4. – С. 67–71.

Здобувачем отримано рівняння, яке пов’язує зміну температури робочого спаю ТЕП та інтенсивність нагріву печі.

3. Чунихина Т.В. Тестовый метод повышения точности термоэлектрических преобразователей / С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2002. – Т. 7, № 9. – С. 107–110.

Здобувачем розв’язана система рівнянь та отримана формула для розрахунку оцінки дійсного значення вимірюваної температури.

4. Чунихина Т.В. Выбор параметров системы тестовых испытаний термопар / С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2003. – Т. 3, № 7. – С. 78–82.

Здобувачем отримано аналітичне співвідношення для розрахунку критичного значення розрядів АЦП, за яким можна знехтувати остаточною членом розкладання функції в ряд Тейлора.

5. Чунихина Т.В. Анализ погрешностей нелинейности реляционно-разностных моделей операторов коррекции входных сигналов термоэлектрических преобразователей / С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПИ”. – 2003. – № 21.2003. – С. 97–102.

Здобувачем отримана формула для розрахунку похибки нелінійності реляційно-різницевої моделі через абсолютні значення похибок нелінійності різницевого значень кодів при здійсненні електричних тестових впливів.

6. Чуніхіна Т.В. Система тестових дослідницьких випробувань термоелектричних перетворювачів / С.І. Кондрашов, Т.В. Чуніхіна // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004. – № 17. – С. 119–122.

Здобувачем була розроблена функціональна схема системи бездемонтажного контролю метрологічних характеристик ТЕП.

7. Чуніхіна Т.В. Аналіз задач підвищення точності нелінійних вимірювальних перетворювачів / С.І. Кондрашов, Т.В. Чуніхіна // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. – № 38. – С. 69–72.

Здобувачем були побудовані функціональні оператори корекції похибок електричних ВП, розрахована похибка нелінійності тестової моделі для термопари градування ХА.

8. Чуніхіна Т.В. Аналіз похибки нелінійності функціональних операторів / С.І. Кондрашов, Т.В. Чуніхіна // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2006. – № 9. – С. 67–73.

Здобувачем було проведено дослідження функціональних операторів корекції похибок електричних ВП як результатів нелінійних опосередкованих вимірювань, розраховані константи моделей для досліджуваних операторів.

9. Чуніхіна Т.В. Дослідження похибки нелінійності узагальнених функціональних операторів / Т.В. Чуніхіна // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2007. – № 36 – С. 110–113.

Здобувачем було отримано розрахункову формулу для визначення похибки нелінійності функціонального оператора корекції, який відповідає тестокалібрувальному способу контролю МХ ТЕП. Побудовані графіки залежності похибки нелінійності цього оператора від робочої точки та співвідношень тестів.

10. Чуніхіна Т.В. Дослідження похибки нелінійності узагальнених функціональних операторів корекції для задач тестового контролю нелінійних вимірювальних перетворювачів / С.І. Кондрашов, Т.В. Чуніхіна // Український метрологічний журнал – Харків: ННЦ “Інститут метрології”. – 2009. – №3 – С. 53–56.

Здобувачем отримані формули для розрахунку абсолютних похибок нелінійності досліджуваних функціональних операторів корекції вхідних значень електричних ВП, проведено дослідження залежності похибки нелінійності тестової РМ від значень тестів та робочої точки.

11. Пат. 45037 А України, МПК³ G 01 K 7/02 Спосіб вимірювання температури термопарою та пристрій для його здійснення / 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.

Здобувачем було проведено патентний пошук за темою, розв'язана система рівнянь та отримана формула для розрахунку оцінки дійсного значення вимірюваної температури.

12. Пат. 54911 А Україна, МПК G 01 K 15/00 Вбудована система калібрування цифрових термометрів / Скрипник Ю.О., Кондрашов С.І., Чунихіна Т.В.; заявник Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”. – № 2002054003, заявл. 16.05.200; опубл. 17.03.2003; Бюл. № 3.

Здобувачем було проведено патентний пошук за темою, отримано вираз для розрахунку оптимального струму охолодження термопари.

13. Чунихина Т.В. Оценка метрологической надежности мажоритированных измерительных каналов / К.И. Диденко, С.И. Кондрашов, З.С. Свищева, Т.В. Чунихина // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: Сб. науч. тр. ХГПУ. Вып. 6. – Харьков: ХГПУ, 1998, Ч.1 – С. 387–390.

Здобувачем отримано вираз для розрахунку середнього часу роботи без відмови надлишкової структури з відновленням.

14. Чунихина Т.В. Энергетическое тестирование первичных преобразователей / К.И. Диденко, С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина // Праці міжнародної конференції з управління “Автоматика-2000”, частина 1, секція 3. – Львів, 2000. – С. 127–130.

Здобувачем накреслені графіки, які пояснюють процес виникнення адитивної та мультиплікативної похибок термопари після експлуатації.

15. Чунихина Т.В. Повышение метрологической надежности первичных преобразователей температуры / К.И. Диденко, С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина // Наук. праці ІІІ МНТК “Метрологія в електроніці” у 2-х томах. Т. 2. – Харків: ХДНДІМ, 2000. – С. 149–151.

Здобувачем графічно показано процес тестування термоелектричного перетворювача.

16. Чунихина Т.В. Экспериментальная проверка основных параметров тестирования термоэлектрических преобразователей / Т.В. Чунихина / Матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф. “Наука і соціальні проблеми суспільства: людина, техніка, технологія, довкілля”, 14-16 травня 2001 р., Харків. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2001. – С. 17.

Здобувачем обґрунтовано оптимальне значення струму та тривалість електричних тестових впливів.

17. Чунихина Т.В. Об одном подходе к решению задачи бездемонтажного контроля МХ ТЕП / С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина // Наук. праці ІІІ МНТК “Метрологія та вимірювальна техніка”, 8-10 жовтня 2002р., Харків: у 2-х томах – Т. 1. – Харків: ХДНДІМ, 2002. – С. 206–208.

Здобувачем детально проаналізовані методи калібраторів, виявлені їх основні недоліки.

18. Чунихина Т.В. Анализ погрешностей и расчет параметров системы тестового контроля термоэлектрических преобразователей / С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина / Матеріали ХІ Міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні

технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", 15-16 травня 2003 р., Харків. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2003. – С. 22.

Здобувачем побудовані графіки, які дозволяють визначати необхідну розрядність АЦП та кількість додаткових вимірювань за заданою точністю результатів тестового контролю.

19. Чунихина Т.В. Система тестовых исследовательских испытаний термоэлектрических преобразователей / Т.В. Чунихина / Матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”, 20-21 травня 2004 р. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2004. – С. 29.

Здобувачем розроблено мікропроцесорну інтелектуальну систему тестового бездемонтажного контролю МХ ТЕП.

20. Чуніхіна Т.В. Визначення похибки вимірювання вхідного сигналу вимірювальних перетворювачів з урахуванням похибок нелінійності РРМ оператора корекції / С.І. Кондрашов, Т.В. Чуніхіна, М.І. Опришкіна / Наукові праці IV Міжнародної науково-технічної конференції “Метрологія та вимірювальна техніка”, 12-14 жовтня 2004 р., Харків: у 2-х томах – Т. 2. – Харків: ННЦ “Інститут метрології”. – 2004. – С. 304-306.

Здобувачем отримано вираз для граничного значення похибки нелінійності вимірювального перетворювача через коефіцієнт співвідношення робочого і реперного значень сигналів.

21. Чунихина Т.В. Метод расчета погрешности нелинейности реперных реляционно-разностных моделей / С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина Т.В. / Сб. научных трудов 2-го Международного радиоэлектронного форума “Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития” (МРФ-2005), 19-23 сентября 2005 г., Харьков. Том VII. Международная конференция “Метрология и измерительная техника”. – Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ. 2005. – С. 160-163.

Здобувачем за допомогою математичного редактора Mathcad 2000 Professional проведено розрахунок похибки нелінійності через нелінійність функції перетворення термопар для різних значень тестів.

22. Чунихина Т.В. Учет влияния погрешности нелинейности на результаты тестового контроля термопар / Т.В. Чунихина / Матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я”, 19-20 травня 2005 р., Харків. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2005. – С. 36.

Здобувачем визначені комбінації тестів, які забезпечують мінімальне значення відносної похибки нелінійності тестової реляційно-різницевої моделі.

23. Чуніхіна Т.В. Дослідження похибки нелінійності при тестовому контролі вимірювальних перетворювачів / С.І. Кондрашов, Т.В. Чуніхіна / Наукові праці V Міжнародної науково-технічної конференції “Метрологія та вимірювальна техніка”, 10-12 жовтня 2006 р., Харків: у 2-х томах – Т. 2. – Харків: ННЦ “Інститут метрології”. – 2006. – С. 364–367.

Здобувачем отримані вирази для розрахунку середньоквадратичного відхилення похибок тестових реляційно-різницевих моделей операторів корекції ТХ електричних ВП.

24. Чуніхіна Т.В. Микропроцессорная измерительно-информационная система тестового контроля термоэлектрических преобразователей / С.И. Кондрашов, Т.В. Чуніхіна, Д.В. Пономаренко/ Матеріали XIV Міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, 18-19 травня, 2006 р. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2006. – С. 32.

Здобувачем розроблено алгоритмічне забезпечення роботи системи, здійснено вибір елементної бази, розраховано похибку підсилюючого каскаду.

25. Чуніхіна Т.В. Метрологічні властивості функціональних операторів корекції / Т.В. Чуніхіна / Матеріали 10-го ювілейного міжнародного молодіжного форуму “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”, 10-12 апреля 2006 г., Харьков. – Харьков: ХНУРЕ, 2006. – С. 435.

Здобувачем проведено порівняння розрахованих параметрів систем тестового контролю електричних вимірювальних перетворювачів.

26. Чуніхіна Т.В. Методика определения результирующей погрешности тестового контроля термодатчиков / Т.В. Чуніхіна, Шматько А.С. / Матеріали XV Міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, 17-18 травня, 2007 р. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2007. – С. 36.

Здобувачем розрахована результуюча похибка тестового контролю термодатчиків з урахування похибки нелінійності, обумовленої нелінійною функцією перетворення.

27. Чуніхіна Т.В. Інформаційно-вимірювальна система тестового контролю ТЕП / Т.В. Чуніхіна, С.І. Кондрашов, В.В. Свистельников / Наукові праці Міжнародної науково-технічної конференції “Метрологія та вимірювальна техніка” (Метрологія-2008), 14-16 жовтня, 2008 р., Харків: у 2-х томах – Т. 2. – Харків: ННЦ “Інститут метрології”. – 2008. – С. 337–341.

Здобувачем розроблено структуру автоматизованої інформаційно-вимірювальної та управляючої системи для бездемонтажного контролю ТЕП.

28. Чуніхіна Т.В. Дослідження похибки нелінійності узагальнених функціональних операторів / Т.В. Чуніхіна / Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автоматика та приладобудування. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2007. – № 36. – С. 110–113.

Здобувачем проведено дослідження функціональних операторів корекції як результатів нелінійних опосередкованих вимірювань. Розроблено метод розрахунку параметрів систем тестового контролю при заданій точності контролю електричних ВП.

29. Чуніхіна Т.В. Дослідження похибки нелінійності функціональних операторів корекції для задач тестового контролю нелінійних вимірювальних перетворювачів / С.І. Кондрашов, Т.В. Чуніхіна / Матеріали XVII Міжнар. наук.-практ. конф. “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я”, 20-22 травня 2009 р., Харків. – Харків : НТУ “ХПІ”, 2009. С. 447.

Здобувачем побудовані графіки залежності похибки нелінійності від значень електричних тестів для термопари градування ХК.

30. Чунихина Т.В. Тестовые бездемонтажные методы повышения точности термоэлектрических преобразователей / С.И. Кондрашов, Т.В. Чунихина / 2-я Международная научно-техническая конференция “Приборостроение – 2009”, 11-13 ноября, 2009 г., Беларусь, Минск. – Минск, БНТУ, 2009. С. 18.

Здобувачем розглянуто основні складники похибки тестових методів контролю метрологічних характеристик термоелектричних перетворювачів.

АНОТАЦІЇ

Чуніхіна Т.В. Тесто-калібрувальні методи підвищення точності електричних вимірювальних перетворювачів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.05 – прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2009.

Дисертація присвячена розробці тесто-калібрувальних методів і засобів бездемонтажного контролю метрологічних характеристик електричних вимірювальних перетворювачів (ВП).

У роботі подальший розвиток отримала теорія реляційно-різницевих моделей операторів корекції вхідних значень електричних вимірювальних перетворювачів – введено визначення реперної реляційно-різницевої моделі та функціонального оператора корекції. Запропоновано єдиний метод визначення метрологічних характеристик функціональних операторів корекції похибок електричних ВП через метрологічні характеристики тестових реляційно-різницевих моделей, які входять до їх структури.

Розроблено метод визначення параметрів систем тестового контролю електричних вимірювальних перетворювачів. Проведено аналіз похибки нелінійності функціональних операторів корекції, обумовленої нелінійністю функції перетворення вимірювального перетворювача. Розраховано похибку вимірювального каналу системи бездемонтажного контролю термоелектричних перетворювачів та динамічну похибку.

Результати дисертаційної роботи були використані у навчальному процесі на кафедрі “Інформаційно-вимірювальні технології і системи”.

Ключові слова: електричні вимірювальні перетворювачі, термоелектричний перетворювач, методи підвищення точності, метрологічні характеристики, реляційно-різницеві моделі операторів корекції, реперні реляційно-різницеві моделі операторів корекції, функціональні оператори корекції.

Чунихина Т.В. Тесто-калибровочные методы повышения точности электрических измерительных преобразователей. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.05 – приборы и методы измерения электрических и

магнитных величин. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2009.

Диссертация посвящена разработке тесто-калибровочных методов и средств бездемонтажного контроля метрологических характеристик (МХ) электрических измерительных преобразователей (ИП). Особенность технологических процессов современных производств, которая требует от автоматизированных информационных систем контроля и управления длительной непрерывной работы, не позволяет демонтировать измерительные преобразователи для осуществления поверки. Невозможность применения традиционных методов обеспечения метрологической надежности ИП в процессе их эксплуатации на объекте предоставляет единственный путь повышения точности электрических ИП, а именно, разработку измерительных преобразователей с возможностью автоматического контроля и восстановления их точностных характеристик.

Для бездемонтажного контроля МХ термоэлектрических преобразователей (ТЭП) был предложен тесто-калибровочный метод контроля характеристик ТЭП. Суть предложенного способа состоит в создании электрических тестовых воздействий на термопару за счет эффектов Пельтье и Джоуля в окрестностях рабочей и реперной точек реальной функции преобразования (ФП) ТЭП. При этом реперная точка ФП ТЭП определяется температурой фазового перехода реперного материала встроенного калибратора в составе ТЭП. Предложенный тесто-калибровочный метод позволил определять оценку действительного значения измеряемой температуры в рабочей точке шкалы ИП с линейной и нелинейной ФП во всем диапазоне измерений.

При анализе известных систем тестового контроля для электрических ИП с нелинейными функциями преобразования было установлено, что определение оценки действительного значения измеряемой величины всегда осуществляется через безразмерные операторы коррекции. Эти операторы получили название реляционно-разностные модели (РМ) операторов коррекции входных значений. РМ операторы коррекции представляют собой отношение двух разностей первого порядка, где разность первого порядка рассчитывается как приращение выходного сигнала ИП после тестового воздействия.

В работе введено понятие реперной реляционно-разностной модели (РРМ) для тех случаев, когда определение оценки действительного значения измеряемой величины осуществляется через безразмерный оператор и некоторое номинальное значение измеряемой величины.

Из известных в теории тестового контроля РМ и РРМ операторов коррекции были получены функциональные операторы коррекции, которые являются функциями лишь тестовых РМ (тестовая РМ представляет собой отношение двух разностей первого порядка). Таким образом, анализ МХ функциональных операторов коррекции был сведен к анализу тестовой РМ.

Проведено исследование функциональных операторов коррекции как результатов нелинейных косвенных измерений. Для каждого функционального оператора коррекции была определена константа модели, представляющая

собой точность тестового контроля при однократном измерении. Предложенный метод позволяет решать две задачи: во-первых, оценивать точность имеющихся систем тестового контроля и, во-вторых, синтезировать системы контроля по заданному критерию точности.

Проведение тестового контроля первичных ИП предполагает линеаризацию нелинейной функции преобразования в окрестностях или одной, или двух точек шкалы. Возникает погрешность нелинейности разностей первого порядка, а, следовательно, и тестовой РМ. Получены расчетные соотношения для определения погрешности нелинейности функциональных операторов, обусловленной нелинейностью функции преобразования. Была рассчитана погрешность нелинейности функционального оператора, соответствующего предлагаемому тесто-калибровочному способу контроля метрологических характеристик термоэлектрических преобразователей.

Предложено законченное техническое решение проблемы бездемонтажного контроля МХ ТЭП – приведены функциональная и принципиальная электрическая схемы микропроцессорной системы тестового контроля ТЭП, разработано программное обеспечение работы системы, сконструирован термоэлектрический преобразователь с элементами самоконтроля. Рассчитаны погрешность измерительного канала и динамическая погрешность.

Проведены экспериментальные исследования процесса тестирования термопары с использованием эффектов Пельтье и Джоуля. Результаты экспериментальных исследований подтвердили достоверность основных научных результатов работы и показали, что использование предлагаемого тесто-калибровочного способа позволяет в 3–4 раза увеличить срок эксплуатации термоэлектрических преобразователей на объекте.

Результаты диссертационной работы были использованы в учебном процессе кафедры “Информационно-измерительные технологии и системы”.

Ключевые слова: электрические измерительные преобразователи, термоэлектрический преобразователь, методы повышения точности, метрологические характеристики, реляционно-разностные модели операторов коррекции, реперные реляционно-разностные модели операторов коррекции, функциональные операторы коррекции.

T.V. Chuniyhina. The test-calibration methods of the increasing of the electrical measuring converters' accuracy. – Manuscript.

The thesis for Tech. Sc. Candidate's degree, speciality 05.11.05 – instruments and methods of electrical and magnetic quantities measurement. The National technical university "Kharkiv polytechnic institute", Kharkiv, 2009.

The thesis is devoted to developing of the test-calibration methods and means of the non-dismantling test check of the electrical measuring converters' metrological characteristics. The theory of the relative-difference models of the correction of the electrical converters' errors was developed. The reper relative-difference models and the functional relative-difference models were proposed. The analysis of the non-linearity error of the measuring converters, which is caused by the non-linearity of the

function of the convert, was done. The errors of the measuring channel and the dynamical errors were defined.

The results of the thesis were used in the educational process at the department “Informational-measuring technologies and systems”.

The key words: electrical measuring converters, thermoelectrical converters, the methods of the increase of the accuracy, the metrological characteristics, the relative-difference models of the corrections’ operators, the reper relative-difference models of the corrections’ operators, the functional operators of the correction.