

**С. І. КОНДРАШОВ**, док. техн. наук, проф. НТУ «ХП»  
**Р.П. МИГУЩЕНКО**, док. техн. наук, проф. НТУ «ХП»  
**М. І. ОПРИШКІНА**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»  
**О. В. МАЦАК**, студент НТУ «ХП»

## **СИСТЕМА ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ**

У роботі розглянуті актуальні питання підвищення точності первинних вимірювальних перетворювачів з нелінійною дробово-раціональною функцією перетворення. Розроблена система тестового контролю метрологічних характеристик вимірювальних каналів дозволила підвищити якість продукції та заощадити технічні і матеріальні ресурси. Підвищення точності ємнісного каналу вимірювання у автоматичній ливарній машині після застосування системи становить 15%. Впровадження системи дозволило контролювати стан первинних перетворювачів без переривання технологічного процесу.

**Ключові слова:** тестовий контроль, ємнісний давач, реляційно-різницева модель.

**Вступ.** На сьогоднішній день у багатьох галузях промисловості виникає необхідність контролювати параметри первинних вимірювальних перетворювачів(ПВП). Більшість технологічних процесів не можуть бути зупинені для перевірки метрологічних характеристик ПВП, а самі давачі є вбудованими у технологічний процес і не можуть бути виключеними для проведення контролю їх характеристик. Так, у металургійному виробництві, на ливарній машині, проводиться початковий контроль працездатності ємнісних давачів. Під час роботи первинні вимірювальні перетворювачі змінюють свої характеристики, а зупинити технологічний процес розливу металу та виконати перевірку давачів немає можливості. Виникає задача проведення бездемонтажного тестового контролю ПВП з метою підвищення точності давачів, що мають дробово-раціональну функцію перетворення [1].

Наукові результати, отримані у роботі [2], та результати комп'ютерної обробки багаторазових вимірів вихідних сигналів ємнісного перетворювача дозволили розробити системі тестового контролю характеристик вимірювальних каналів, які у якості первинних перетворювачів мають ємнісний вимірювач рівня металу (сплав ЦАМ 4-1) у автоматичній ливарній машині. Від точності роботи ємнісного давача залежить якість виробленої деталі. При недоливі металу у прес-форму виникають порожнини (брак деталі), а перелив металу призводить до зайвих матеріальних витрат. Контроль рівня металу дає можливість підвищити кількість якісних деталей. Проведення своєчасного тестового контролю ПВП з дробово-раціональною функцією перетворення є актуальною задачею, що не вирішена для даного класу перетворювачів.

При вимірюванні рівня рідких та сипких матеріалів знаходять

застосування циліндричні конденсатори (рис. 1), ємність яких характеризується рівнем  $x$  та залежить від діелектричних проникностей рідини  $\epsilon_1$ , ізоляції  $\epsilon_2$  та повітря  $\epsilon_3$ .

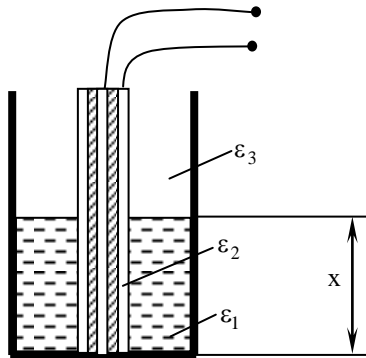


Рис. 1 – Циліндричний ємнісний датчик рівня

На рис. 1 наведено пристрій ємнісного перетворювача для вимірювання рівня металу у тигелі. Перетворювач складається з двох паралельно з'єднаних конденсаторів: конденсатор  $C_1$  утворений частиною електродів та діелектриком – рідиною, рівень якої вимірюється; конденсатор  $C_0$  – іншою частиною електродів та діелектриком – повітрям. Ємність перетворювача

$$C = C_1 + C_0 = \left[ \ell \cdot \epsilon + (\ell_0 - \ell) \epsilon_0 \right] \frac{2\pi}{\ln(R_1/R_2)} \quad (1)$$

де  $\ell_0$  – повна довжина циліндра;

$\ell$  – довжина, на яку циліндр заповнений рідиною;

$\epsilon$  – діелектрична проникність рідини;

$R_1$  та  $R_2$  – радіуси зовнішнього та внутрішнього циліндрів.

Ємнісний ПВП фіксує рівень рідкого металу в стакані через показники ємності.

Система тестового контролю ємнісного вимірювального перетворювача рівню металу працює наступним чином.

#### Алгоритм тестового контролю ємнісного давача.

Алгоритм тестового контролю потребує одне основне вимірювання та два вимірювання після проведення тестів. У якості тесту  $\theta$  використано готову деталь, яку поміщають у тигель та вимірюють значення ємності  $(\ell + \theta)$ :

$$C_1(\theta) = C_1 + C_0 = \left[ (\ell + \theta) \cdot \epsilon + (\ell_0 - (\ell + \theta)) \epsilon_0 \right] \frac{2\pi}{\ln(R_1/R_2)} \quad (2)$$

Для отримання значення другого тесту  $(\ell - \theta)$  проводять послідовно від-

лив двох деталей.

$$C_2(\theta) = C_1 + C_0 = [(\ell - \theta) \cdot \varepsilon + (\ell_0 - (\ell - \theta))\varepsilon_0] \frac{2\pi}{\ln(R_1/R_2)} \quad (3)$$

де  $y_0 = C$  – результат основного вимірювання;

$y_1 = C_1(\theta)$ ,  $y_2 = C_2(\theta)$  – результати вимірювання після тестових впливів.

Розрахункова оцінка вимірюваної величини  $\hat{x}$  знаходиться за формулою

$$\hat{x} = \frac{y_2 - y_0}{y_0 - y_1} \cdot \theta, \quad \hat{x} = \frac{\Delta y_{20}}{\Delta y_{01}} \theta = \psi \cdot \theta \quad (4)$$

де  $\psi$  – реляційно-різницева модель оператора корекції.

На підприємстві для перевірки рівню металу у тигелі проводилися виміри напруги з емісійного моста у трьох точках шкали: на мініальному, середньому та максимальному рівні металу. У кожній точці шкали проводилося 30 вимірів, що достатньо для проведення статистичної обробки результатів вимірів. Для перевірки відповідності отриманих результатів нормальному закону розподілу було використано складений критерій помилки. На підставі отриманих експериментальних даних було побудовано графіки щільності ймовірності розподілу випадкової похибки (рис. 2-4, відповідно). Математичний вираз нормального закону розподілу випадкових похибок результатів виміру напруги має вигляд

$$P(\Delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\Delta U^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення похибок ряду з  $n$  вимірів.

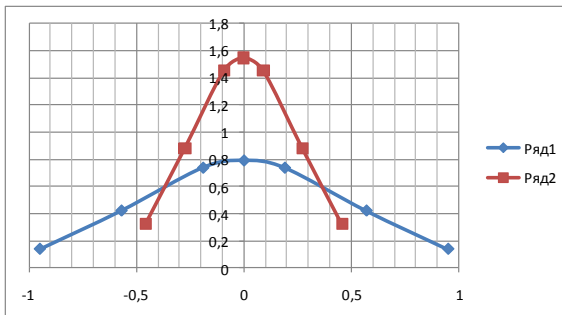


Рис. 2 – Порівняльні характеристики закону розподілу випадкових складових похибки результатів вимірювань до (ряд 1) та після (ряд 2) впровадження системи тестового контролю для максимального рівню металу у тигелі

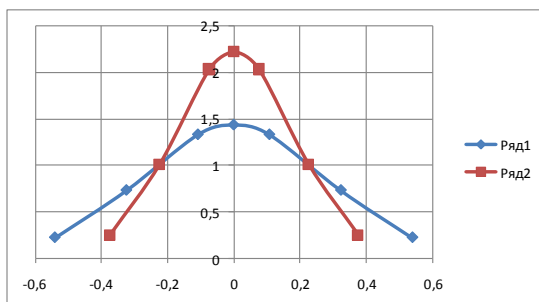


Рис. 3 – Похибки результатів вимірювань до (ряд 1) та після (ряд 2) впровадження системи тестового контролю для середнього рівню металу у тигелі

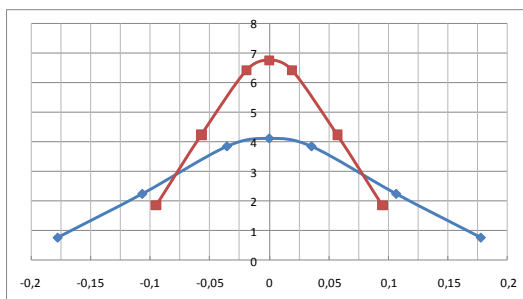


Рис. 4 – Похибки результатів вимірювань до (ряд 1) та після (ряд 2) впровадження системи тестового контролю для початкового рівню металу у тигелі

**Висновки.** По результатам тестового контролю робиться висновок про придатність давача до подальшої експлуатації і при необхідності вводиться корекція у вхідний сигнал. Процедуру контролю виконує центральний процесор. Виходячи з особливостей технологічного процесу необхідно проводити тестовий контроль один раз за виробничий цикл (24 години). Впровадження системи тестового контролю дозволило підвищити точність вимірів по ємнісному каналу на 15%.

**Список літератури:** 1. *Опрышкина М. И.* Повышение точности измерений преобразователей с дробно-рациональными функциями преобразования. Матриали міжнародної наук.-техн. конференції "Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення" СевНТУ – 2011. – 188 с 2. *Опрышкина М. И.* Методика аналізу похибок нелінійності операторів корекції /С. I. Кондрашов, М. I. Опришкина // VIII Міжнар. наук.-тех. конф. "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія – 2012)". Тези доповідей. Харків: ННЦ "Інститут метрології" – 2012. – 624-627 с.3. *Опрышкина М. И.* Реперные реля-

ционно-разностные модели в задачах коррекции систематических погрешностей / С. И. Кондрашов, М. И. Опришкіна // Сборник научных трудов по материалам 2-го международного форума "Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития МРФ-2005" Т. VII МК МИТ. – Харьков. : АНПРЭ, ХНУРЕ. – 2005. – 102-105 **4.** Опришкіна М. И. Лінеаризуючі та стабілізуючі властивості реляційно-різницевих шкал / С. И. Кондрашов, М. И. Опришкіна // Збірник наукових праць за матеріалами 10-го молодіжного форуму "Радиоэлектроника і молодь в XXI ст." – Харків. : ХНУРЕ. – 2006. – 434 с. **5.** Опришкіна М. И. Функціональний аналіз РРМ оператора корекції похибок ВП з нелінійною дробово-раціональною функцією перетворення / С. И. Кондрашов, М. И. Опришкіна // Наук. праці V МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка" (Метрологія-2006) у 2-х томах. Т.2. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології". – 2006. – С. 368-371. **6.** Опришкіна М. И. Лінеаризація оператора корекції похибок вимірювального перетворювача методом гіпербол / С. И. Кондрашов, Ю. О. Скрипник, М. И. Опришкіна // VI МНТК "Метрологія та вимірювальна техніка (Метрологія-2008)" Праці конференції у 2-х томах. – Харків. : ННЦ "Інститут метрології". – 2008. Т.2. – с. 297-300. **7.** Опришкіна М. И. Тестовий контроль вимірювальних перетворювачів з дробово-раціональною функцією перетворення / М. И. Опришкіна, Є. В. Шоломії // XIX МНТК "Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я". Тези доповідей. – Харків, НТУ "ХПІ". – 2011р. – с. 123.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Opryshkina M. I. Povyshenie tochnosti izmerenij preobrazovatelej s drobovo-racional'nymi funktsijami preobrazovanija. Matriali mizhnarodnoi nauk.-tehn. konferencii "Avtomatizacija: problemi, idej, rishennja" SevNTU – 2011. – p. 188. **2.** Opryshkina M. I. Repernye reljacionno-raznostnye modeli v zadachah korekcii sistematiceskikh pogreshnostej / S. I. Kondrashov, M. I. Opryshkina // Sbornik nauchnyh trudov po materialam 2-go mezhdunarodnogo foruma "Prikladnaja radioelektronika. Sostojanie i perspektivy razvitija MRF-2005" T.VII MK MIT. – Kharkov. : ANPRJe, KhNURE. – 2005. – p. 102-105. **3.** Opryshkina M. I. Linearyzuyuchi ta stabilizuyuchi vlastyvostry relyacijno-ryznyeuyv shkal / S. I. Kondrashov, M. I. Opryshkina // Zbirnyk naukovykh prac za materialamy 10-go molodizhnogo forumu "Radioelektronika i molod v XXI st." – Kharkiv. : KhNURE. – 2006. – p. 434. **4.** Opryshkina M. I. Funkcional'nyj analiz RRM operatora korekciji poxy' bok VP z nelinejnyou drobovo-racional'noy funkciyeu peretvorennja / S. I. Kondrashov, M. I. Opryshkina // Nauk. pracj V MNTK "Metrologiya ta vy'miryuval'na texnika" (Metrologiya-2006) in 2 volumes. Vol.2. – Kharkiv. : NNCz "Insty't metrologiyi". – 2006. – p. 368-371. **5.** Opryshkina M. I. Linearyzacija operatora korekciji poxy' bok vy'miryuval'nogo peretvoryuvacha metodom giperbol / S. I. Kondrashov, Y. O. Skrypnyk, M. I. Opryshkina // VI MNTK "Metrologiya ta vy'miryuval'na texnika (Metrologiya-2008)" Praci konferenciyi in 2 volumes. – Kharkiv. : NNCz "Insty't metrologiyi". – 2008. Vol.2. – p. 297-300. **6.** Opryshkina M. I. Testovij kontrol vymiryuvalnyx peretvoryuvachiv z drobovo-racionalnoy funkciyeu peretvorennja / M. I. Opryshkina, Y. V. Sholomij // XIX MNTK "Informacijni tehnologiyi: nauka, texnika, tehnologiyi, osvita, zdorovya". Tezy dopovidej. – Kharkiv, NTU "KhPI". – 2011. – p. 123. **7.** Opryshkina M. I. Metodyka analizu poxy' bok nelinejnosti operatoriv korekciji / S. I. Kondrashov, M. I. Opryshkina // VIII Mizhnar. nauk.-tex. konf. "Metrologiya ta vy'miryuvalna texnika (Metrologiya – 2012)". Tezy dopovidej. Kharkiv: NNCz "Insty't metrologiyi" – 2012. – p. 624-627

Надійшла (received) 07.04.2015