

ЗАСОБИ НЕПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ ДЕФОРМАЦІЙ КРУПНОГАБАРИТНИХ ОБ'ЄКТІВ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Б.Г. МИЦИК, Л.І. МУРАВСЬКИЙ, Н.М. ДЕМ'ЯНИШИН, Ю.М. КАРПЛЮК

Розроблено методику виготовлення елементів «ємність–кераміка–метал», на базі якої створено компактні деформометри дистанційної дії класу точності 0,01 для діапазонів переміщень від 0–0,1 до 0–5,0 мм. Пропоновані деформометри за точністю і температурною стабільністю більші як на порядок переважають кращі світові аналоги.

A procedure was developed for manufacturing "capacitance-ceramics-metal" elements, which was the basis for making compact remote strain meters of 0.01 accuracy class for displacement ranges from 0.01 up to 0.50 mm. Proposed strain meters are more than by an order of magnitude superior to the best world analogs in terms of accuracy and temperature stability.

Сучасні методи оцінки експлуатаційного ресурсу об'єктів тривалої експлуатації на основі моніторингу деформацій цих об'єктів вимагають створення засобів вимірювання з підвищеною точністю. До таких об'єктів слід віднести корпуси морських суден; турбогенератори ТЕС; крупногабаритні промислові будівельні конструкції; геофізичні станції; гідротехнічні споруди та ін.

Існуючі засоби вимірювання деформації мають надто низьку точність. Так, типові похибки плівкових вимірювачів деформації, так званих тензометрів, складають близько 3 %. Крім того, ці похибки зростають при тривалій дії експлуатаційних факторів, що обмежує застосування таких вимірювачів для вирішення промислових задач. Високою точністю характеризуються лазерні інтерферометричні деформометри [1, 2] (близько 0,1 % діапазону вимірювання), однак неконтрольовані похибки довгочасової експлуатації та температурна і вібраційна нестабільність роблять такі деформометри також непридатними для довгочасового моніторингу народно-господарських об'єктів. Кращі світові аналоги деформометрів, придатних для такого моніторингу (наприклад, вимірювачі поздовжньої деформації УПТ-1, ДДИ, ДДН; Росія), мають надто низьку точність (основна похибка 0,5–1,0 %) при ціні близько \$ 3000.

Пропоновані в роботі особливо точні ємнісні деформометри дистанційної дії характеризуються похибкою 0,01 % в діапазонах вимірювання від 0–0,1 до 0–5 мм, мають високу температурну і часову стабільність, і саме вони можуть бути базою для створення ефективної методики оцінки ресурсу безпечного функціонування дорогих об'єктів тривалої експлуатації. Новий якісний результат деформаційного моніторингу можна отримати також за допомогою цифрового спекл-корелятора (ЦСК), оскільки ЦСК-деформометри дозволяють визначати поверхневі переміщення ви-

браних ділянок об'єкта з абсолютними похибками порядку десятків нанометрів і будувати відповідні поля деформацій. Об'єктивна оцінка ресурсу безпечної експлуатації важливих народно-господарських об'єктів на основі еволюції їх одномірних і поверхневих деформацій, в тому числі передбачення їх руйнування при дії на них несприятливих експлуатаційних і природних факторів, має важливе економічне і соціальне значення.

Деформометри високого класу точності: оптичний і ємнісний. Принцип побудови оптичного деформометра є таким, як і вимірювача тиску класу точності 0,01, описаного в роботі [3]. Тиск деформує мембрану первинного перетворювача, шторка якої перебиває однорідний світловий пучок. Пріоритетна схема автокалібрування фотоелектричного каналу, який сформований оптоелектронною парою світлодіод–фотоприймач, зводить температурну похибку оптопарі практично до нуля. Розробка деформометра звелась до заміни жорсткої мембрани на м'яку, сильфоноподібну і приєднання до неї штока, який передає переміщення об'єкта. При високих технічних характеристиках первинні перетворювачі (ПП) такого типу деформометрів мають два суттєві недоліки: по перше, механічне збурення об'єкта і первинного перетворювача, що погіршує такі метрологічні показники як точність і додаткова температурна похибка; по друге, малий діапазон переміщень ($\pm 0,5$ мм). Другий аргумент є вирішальним, оскільки більшість відомих задач точного вимірювання переміщень передбачають роботу в діапазонах від 0–1 до 0–5 мм.

Ці задачі можуть успішно вирішуватись при використанні пропонованих ємнісних деформометрів дистанційної дії. Їх робота базується на тому, що при наближенні металу чи діелектрика до неекранованої ємності C_x , створеної двома провідниками чи металевими пластинами, C_x змінює



(зменшує) свою величину. Цей принцип використаний в роботах [4, 5] при створенні пристроїв сигналізації, а в [6, 7] — при створенні деформометрів. Однак в цих роботах не йдеться про високий клас точності, описуються лише технічні рішення вимірювачів переміщення. Заслужує на увагу серійний прилад безконтактного вимірювання переміщень в діапазонах від 0–0,2 до 0–5 мм (тип VT5200/5700, фірма «ONO SOKKI», Японія). Але низький клас точності приладу (0,25) та велика температурна похибка (0,5 % на 10°) обмежують його застосування для вирішення задач точного моніторингу деформацій крупногабаритних об'єктів тривалої експлуатації.

Мета даної роботи — створити ємнісні особливо точні деформометри дистанційної дії на діапазони переміщень від 0–0,1 до 0–5 мм з наступними основними характеристиками: основна похибка 0,01 %; роздільна здатність (шкала приладу) 0,001 % (10⁵); додаткова температурна похибка близько 0,02 % на 100°; діапазон робочих температур від –30 до +200 °С; ефекти старіння в межах 0,01 % відсутні.

Вибір матеріалів для первинних перетворювачів (ПП). При виготовленні ПП ємнісних деформометрів використані вузли титан–кераміка (рис. 1). Титан і титанові сплави мають коефіцієнт термічного розширення $\alpha = 8\text{--}9 \cdot 10^{-6}$ 1/град [8], співмірний з коефіцієнтом α глиноземної кераміки 22ХС. Тому вплив температури на жорсткі вузли титан–кераміка зумовлює відносно невеликі напруження на межі взаємодії двох таких матеріалів. З'єднання вказаних матеріалів здійснено за допомогою склокристалічного матеріалу, спеціально розробленого для виготовлення вузлів титан–кераміка [9]. Такий матеріал має коефіцієнт α , співмірний з титаном і керамікою, а також невелику текучість при дії механічних напружень, зумовлених впливом температури на

вузол титан–склокомпозит–кераміка. Тому вказані напруження мінімізуються і не призводять до таких негативних ефектів, як велика температурна похибка дрейфу, похибка гістерезису термоциклу, похибка старіння, в тому числі під час дії десятків термоциклів в експлуатаційному діапазоні зміни температури T (в місцях кріплення первинних перетворювачів на Добротвірській ТЕС, на якій заплановано натурні випробовування деформометрів, зміна температури відбувається в діапазоні 10–80 °С). Крім того, розроблений склокристалічний матеріал [9] має високу адгезію як до вибраного титанового сплаву, так і до кераміки 22ХС, що забезпечує високу механічну надійність виготовлених вузлів.

Вибрана кераміка має наступні важливі характеристики [10]: малу вагу (густина $\rho = 3,6$ г/см³), високу механічну міцність на стиск і розтяг ($\sigma_c = 2500$ МПа, $\sigma_b = 1900$ МПа; за цими параметрами кераміка 22ХС переважає більшість марок високоякісних сталей і титанових сплавів [8]), високу міцність на згин ($\sigma_{ii} = 300$ МПа), великий питомий опір ($10^{13}\text{--}10^{16}$ Ом·см). Останній параметр має особливо важливе значення, оскільки саме провідність керамічних елементів ПП, а особливо температурна залежність провідності є причиною неконтрольованої нестабільності вихідного сигналу ємність–напруга, в тому числі причиною неповторюваності характеру температурної залежності робочої характеристики ПП. Така неповторюваність виключає можливість точної компенсації температурних похибок ПП на основі сигналу термодавача. Зовнішній вигляд керамічних і титанових деталей для первинних перетворювачів деформометра приведено на рис. 2.

Основні технологічні операції, використані для створення ПП ємнісних деформометрів, зводяться до наступного: пресування деталей із глиноземного (корундового) матеріалу; обпалювання (близько 1450–1600 °С) і спікання (близько 1800 °С) деталей; шліфування, полірування, глазурування керамічних циліндрів і пластин; нанесення електродів із високотемпературної (750 °С)

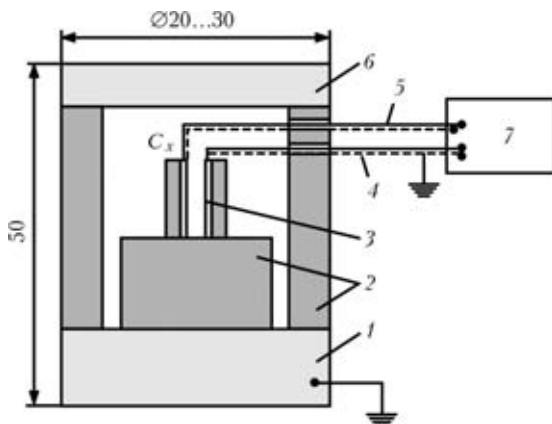


Рис. 1. Схема ПП ємнісного дистанційного деформометра: 1 — титанова основа, зв'язана з екраном вимірювача C_x ; 2 — керамічні циліндри; 3 — впалені електроди зі срібної пасти; 4 — екран блока електроніки (БЕ); 5 — екрановані провідники; 6 — захисна титанова пластина; 7 — БЕ



Рис. 2. Зовнішній вигляд основних деталей корпусів ПП (діаметр керамічних циліндрів 30 мм)



Рис. 3. Зовнішній вигляд ПП

срібної пасти; виготовлення склокристалічного матеріалу для з'єднання вузлів кераміка-титановий сплав; розробка температурно-часових режимів для з'єднання вузлів кераміка-титан. Зовнішній вигляд ПП ємнісних деформометрів наведено на рис. 3.

Характеристика власної ємності деформометра. Важливе значення має вибір кераміки для створення власної ємності ПП. Головною вимогою до такої кераміки є висока температурна стабільність діелектричної проникності ϵ , відповідно, стабільність ємності C_x конденсатора, створеного на керамічній пластині. В таблиці подані значення ємності двох ідентичних пластин, виготовлених із глиноземної кераміки «Полікор», при різних температурах. Відносна температурна зміна ємності розрахована як $\beta = \delta C_x(T)/C_x(T_0)$, де T_0 — кімнатна температура. Можна відзначити наступне: температурна залежність C_x незначна і не перевищує величини $\beta = 1,25\%$ на 100° ; нелінійність залежності $C_x(T)$ (рис. 4) складає $\beta_n = 4\%$ величини температурної зміни C_x , тому компенсаційним методом на основі сигналу термодавача можна зменшити температурну похибку β в $N = 100\% : 4\% = 25$ разів (де 100% — повна зміна C_x від температури, а 4% — величина нелінійності C_x від T , рис. 4) і звести температурний дрейф вихідного сигналу до величини близько $0,05\%$ на 100° . Такий результат є відмінною ха-

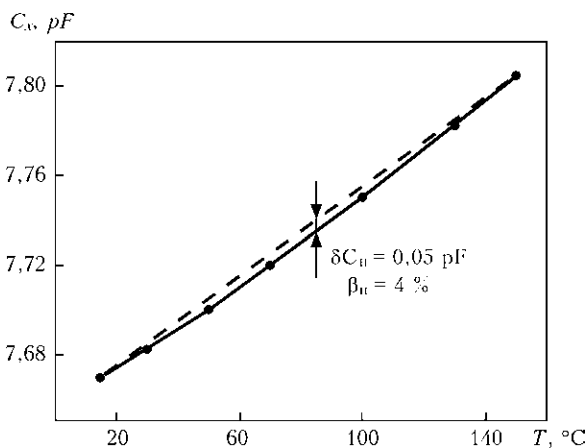


Рис. 4. Температурна залежність ємності полікорової пластини № 2

рактеристикою кераміки «Полікор» і тому дозволяє використовувати її для створення власної ємності деформометра. Крім того, вказана кераміка має малі діелектричні втрати ($\text{tg}\delta \leq 1 \cdot 10^{-5}$ в межах точності використаного вимірювального приладу). Більше того, до температур близько 100°C величина $\text{tg}\delta$ не змінюється (див. таблицю). Така стабільність діелектричних втрат забезпечує повторюваність характеру T -залежності вихідного сигналу деформометра, відсутність температурного гістерезису для температур до 100°C , що дозволяє з високою точністю компенсувати похибки температурного дрейфу вихідного сигналу до вказаної вище величини (близько $0,05\%$ на 100° зміни T). На високу діелектричну якість кераміки «Полікор» вказує також те, що температурні характеристики C_x і $\text{tg}\delta$ для двох довільно вибраних пластин із партії близько 30 штук є практично тотожними (див. таблицю). Що стосується кераміки 22ХС, то її відповідні характеристики дещо поступаються кераміці «Полікор», тож перевагу при створенні власної ємності ПП деформометра слід віддати останній.

На основі даних таблиці можна розрахувати температурний коефіцієнт зміни діелектричної проникності вибраної кераміки. Для цього визначимо зміну C_x за рахунок термічного розширення керамічної пластини, скориставшись очевидним співвідношенням для температурної зміни ємності плоского конденсатора

$$\delta C_x = C_x(T) - C_x(T_0) = \frac{\epsilon \epsilon_0 S_0 \alpha \Delta T}{d_0}, \quad (1)$$

де S_0 і d_0 — відповідно площа і товщина керамічної пластини при кімнатній температурі T_0 ; ϵ_0 — електрична стала; α — коефіцієнт термічного розширення; ΔT — зміна температури.

Із (1) і виразу $C_x(T_0) = \epsilon \epsilon_0 S_0 / d_0$ знаходимо відносну зміну ємності, зумовлену температурною зміною розмірів пластини $\beta_p = \delta C_x / C_x(T_0) = \alpha \Delta T$. Оцінку β_p проведемо, виходячи із наступних вихідних даних: $\Delta T = 100^\circ$, $\alpha = 7,5 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$ [10]. Отримаємо: $\beta_p = 0,075\%$ на 100° . Це мізерна величина зміни C_x . Все інше зумовлене T -залежністю діелектричної проникності ϵ . Віднявши від ϵ величину β_p , отримаємо величину

Ємність, її відносна температурна зміна та діелектричні втрати двох полікорових пластин розмірами $10 \times 11 \times 1$ мм при різних температурах T

$T, ^\circ\text{C}$	$C_{x1}, \text{пФ}$	$\beta, \%$	$\text{tg}\delta, \cdot 10^{-5}$	$C_{x2}, \text{пФ}$	$\beta, \%$	$\text{tg}\delta, \cdot 10^{-5}$
15	7,758	0	0	7,670	0	0
30	7,771	0,17	0	7,683	0,17	0
50	7,788	0,39	0	7,700	0,39	0
70	7,809	0,66	0	7,720	0,65	0
100	7,839	1,04	0	7,750	1,04	0

відносної температурної зміни C_x за рахунок T -залежності ϵ : $\beta_\epsilon = 1,25\% - 0,075\% \approx 1,18\%$ на 100° зміни T .

Відзначимо, що при $T \gg 100^\circ \text{C}$ швидкість зміни ϵ і C_x при зміні T набагато збільшується, суттєво проявляються нелінійні ефекти як щодо C_x , так і щодо діелектричних втрат (див. таблицю). Тому отримати ємнісний ПП з хорошими метрологічними характеристиками для вказаних температур є, звичайно, проблемною задачею. В рамках даного проекту діапазон експлуатаційних температур є таким ($10\text{--}80^\circ \text{C}$), що дозволяє на основі полікорової кераміки створити високостабільну власну ємність ПП і досягти в цьому діапазоні температур високих метрологічних характеристик деформометра.

Температурна стабільність оптимізованих ПП. При розміщенні власної ємності C_x деформометра в корпусі первинного перетворювача вона зменшується на близько 25 % за рахунок взаємодії з металевими і діелектричними деталями ПП. Однак така взаємодія дає і позитивний ефект: зменшується величина і нелінійність температурного дрейфу C_x (рис. 5). Зміна ємності в температурному інтервалі $20\text{--}100^\circ \text{C}$ складає $\Delta C_x(T) = 0,004 \text{ пФ}$ або у відносних одиницях $\beta = 0,004/5,274 \equiv 0,075\%$ на 80° , що тотожне величині $\beta = 0,095\%$ на 100° зміни T . Корисна модуляція ємності в діапазоні переміщення $0\text{--}2 \text{ мм}$ складає $\Delta C_x^k = 2,0 \text{ пФ}$. Відповідно, відносно ΔC_x^k отримаємо температурний коефіцієнт зміни ємності $\beta^k = 0,004/2,0 \equiv 0,2\%$ на 80° або $0,25\%$ на 100° зміни T . Лінійність залежностей $C_x(T)$ (рис. 5) і $\Delta C_x^k(T)$ дозволяє на основі сигналу термодавача звести відповідну похибку вихідного сигналу деформометра до величини $\sim 0,01\%$ на 100° . Слід звернути увагу й на те, що амплітуда і характер залежності $C_x(T)$ не змінюються при дії кількох десятків термоциклів в температурному інтервалі $20\text{--}120^\circ \text{C}$, в тому числі при дії термоударів (зміна T на 100° за час близько 5 хв). Це додатково підтверджує високу температурну стабільність ПП, а також малу імовірність старіння ПП при тривалій дії експлуатаційних температур.

Робочі характеристики ємнісних ПП. На рис. 6 подана робоча характеристика (РХ) первинного перетворювача в координатах C_x (пФ) – l (мм) та $l^{BE} - l$, де l — віддаль до об'єкта, а l^{BE} — індикація віддалі на дисплеї блока електроніки (БЕ). Бачимо, що РХ має велику нелінійність ($\beta_n = 35\%$), яка є недоліком створених ємнісних деформометрів, однак не принциповим. В роботі використано два способи лінеаризації РХ, які дозволяють звести β_n до значення $0,01\%$. Спершу лінеаризація проводиться аналітичним мікропроцесорним методом за допомогою функції $y =$

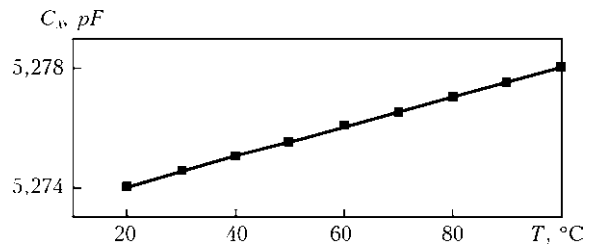


Рис. 5. Приклад температурної залежності ємності ПП

$f(x)$, де y — вихідний сигнал блока електроніки в мм ($y \equiv l^{BE}$), $x = l$ — реальне переміщення, яке вводиться у мікропроцесор. Останній подає вихідний сигнал $y = f(x) = l^{BE}$ на індикатор чи у канал вихідного інтерфейсу. На рис. 6 подано приклад лінеаризації РХ за допомогою степеневі функції

$$y = 0,11x^{1,74}e^{0,84x} \quad (2)$$

Основним недоліком цієї функції є велика сумарна нелінійність виправленої РХ, яка складає 5,9 % діапазону переміщення. Тому первинна лінеаризація здійснена за допомогою складного поліному 6-ї степені:

$$y = 6,29006 \cdot 10^{-5} - 2,73821 \cdot 10^{-4}x + 1,34759x^2 - 2,64747x^3 + 2,64073x^4 - 1,23716x^5 + 0,23631x^6 \quad (3)$$

Використання поліному (3) дозволяє зменшити похибку нелінійності до величини $\beta_n = 0,1\%$. В цьому випадку подальша лінеаризація РХ методом кусково-лінійної апроксимації до величини $\beta_n = 0,01\%$ передбачає введення в процесор лише восьми метрологічних точок. Підкреслимо, що в межах точності $0,01\%$ первинні РХ (графік 1 на рис. 6) є індивідуальними для кожного деформометра. Тому поліноми типу (3) є теж індивідуальними. Їх вигляд легко встановити, використовуючи стандартне програмне забезпечення і таблиці експериментальних даних, на основі яких побудована РХ.

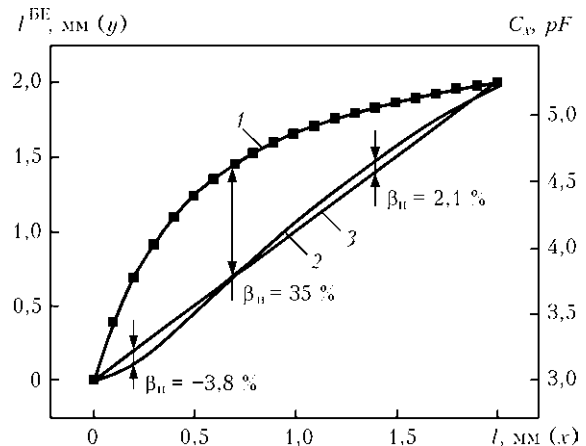


Рис. 6. Робочі характеристики деформометра: 1 — нелінеаризована РХ (стосується осей C_x і l^{BE}); 2, 3 — відповідно РХ, лінеаризовані функцією (2) і поліномом (3) (стосується осі l^{BE})



Рис. 7. Зовнішній вигляд БЕ

Основні функції блока електроніки. Головним вузлом БЕ є його аналогова частина — перетворювач «ємність–напруга», який виконано на основі пріоритетних технічних рішень. З цього перетворювача напруга, пропорційна ємності C_x , поступає на аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Кодовий сигнал, пропорційний C_x , поступає з АЦП на контролер, виконаний на базі сучасного мікропроцесора. Контролер здійснює такі стандартні операції: перетворює код АЦП в одиниці переміщення; лінеаризує РХ на основі полінома (3); проводить вторинну лінеаризацію РХ методом кусково-лінійної апроксимації; забезпечує індикацію переміщення l і температури T на рідкокристалічному дисплеї; забезпечує введення у мікропроцесор службової і метрологічної інформації за допомогою вмонтованої у корпус БЕ клавіатури; передає інформацію про l і T у вихідні інтерфейси RS 232 (для зв'язку з ПК) і RS 422 (для передачі даних на відстань близько 100 м). Зовнішній вигляд БЕ наведено на рис. 7.

Важливою функцією БЕ є компенсація температурних похибок дрейфу вихідного сигналу і калібрування (зміни нахилу) РХ. Дані про температурну похибку поступають від термодавача первинного перетворювача до АЦП і далі до процесора, який коректує вихідний сигнал на основі виразу

$$l_{BE} = l_{ш} \frac{A_x - A_{\min}(T_0) \left[1 + \alpha_1 \frac{T_x - T_0}{T_{\max} - T_0} \right]}{A_{\max}(T_0) - A_{\min}(T_0) \left[1 + \alpha_2 \frac{T_x - T_0}{T_{\max} - T_0} \right]}, \quad (4)$$

де l_{BE} — віддаль до об'єкта; $l_{ш} = 2,0$ мм — шкала приладу (максимальне переміщення); A_x — поточне значення коду АЦП, що відповідає ємності C_x при поточній температурі T_x ; $A_{\min}(T_0)$ — мінімальне значення коду при кімнатній температурі T_0 ; $A_{\max}(T_0)$ — максимальне значення коду при кімнатній температурі T_0 ; T_{\max} — максимальна робоча температура; α_1 і α_2 — відповідно коефіцієнти температурного дрейфу нуля та темпе-

ратурної зміни нахилу РХ. Останні коефіцієнти задаються виразами:

$$\alpha_1 = \frac{A_{\min}(T_{\max}) - A_{\min}(T_0)}{A_{\min}}, \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \frac{[A_{\max}(T_{\max}) - A_{\max}(T_0)] - [A_{\min}(T_{\max}) - A_{\min}(T_0)]}{A_{\max}(T_0) - A_{\min}(T_0)}. \quad (6)$$

Використовуючи алгоритм (4), на всіх п'яти створених експериментальних зразках вдалось отримати сумарну температурну похибку $\alpha \leq \pm 0,02$ % на 100° зміни T .

Висновки

1. Розроблено методику виготовлення елементів «ємність–кераміка–метал», на базі якої створено високоточні (клас точності 0,01) деформометри дистанційної дії для діапазонів переміщень від 0–0,1 до 0–5,0 мм. Деталі вузлів кераміка–метал первинних перетворювачів з'єднані склокристалічним композитом, внаслідок чого — висока часова і температурна стабільність вихідного сигналу. Габарити ПП $\varnothing 30 \times 55(85)$ мм, блока обробки і передачі інформації $180 \times 140 \times 40$ мм. Основна похибка 0,01 %, температурна похибка $\pm 0,02$ % на 100° , роздільна здатність (шкала) 0,001 % (10^5).

Для метрологічного забезпечення деформометрів за класом точності не гіршим, ніж 0,01, розроблено еталонний деформометр на основі лазерного інтерферометра.

2. На базі ємнісних деформометрів дистанційної дії та інтерфейсного блока, побудованого на інтерфейсі RS 422, створено цифрову чотирьохканалну систему моніторингу мікропереміщень платформ циліндрів високого і низького тисків перегрітої пари турбогенератора К-160-130 Доброутвірської ТЕС. Вказані мікропереміщення (особливо в напрямках, перпендикулярних до осі турбіни) зумовлюють при зміні режимів роботи турбогенератора перекося осі турбіни і швидке руйнування її підшипників. Проводиться монтаж та підготовка системи для натурних випробовувань, за результатами яких буде прийняте рішення про доцільність застосування системи в проблемних місцях Доброутвірської ТЕС. До них відносяться, крім згаданих платформ циліндрів високого і низького тисків, ротори турбогенератора. Сумарна потреба на один турбогенератор — 17 деформометрів (підтверджено протоколом технічної наради). Крім турбогенераторів ТЕС та АЕС, пропонувані деформометри будуть ефективними при моніторингу деформацій корпусів морських суден, крупногабаритних промислових будівельних конструкцій, гідротехнічних споруд та ін.



3. Завдяки високим метрологічним показникам створені деформометри можуть мати також вторинне застосування: реєстрація рівня сипучих та гранульованих матеріалів, в тому числі рівня гарячого (до 300 °С) цементу; визначення вологості таких матеріалів.

1. Dubrov M. N., Alyoshin V. A. Precise laser interferometry with 1 pm resolution // Журнал радиоэлектроники. — 2004. — № 5. — С. 2–7.
2. Латынина Л.А. Изучение современных движений земной коры по данным подземных деформационных станций // Геодинамика. — 2007. — № 1(6). — С.26–31.
3. Mytsyk B., Haskevych H. Pressure sensors of especially high accuracy class // 13th intern. conf. SENSOR'2007, 22–24 May 2007: Proceedings. — Nürnberg (Germany), 2007. — Vol. 2. — P. 289–294.
4. Христов И. Устройство за сигнализация при приближоване и докосване // Радио, телевизия, електроника. — 1997. — № 10. — С. 12–13. болг.

5. ГОСТ Р50030.5.2–99. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Ч. 5.2. Аппараты и коммутационные элементы цепей управления. Бесконтактные датчики. — Введ. 1.01.2002 г.
6. Пат. №2272298 РФ. Емкостный измеритель перемещений // Вавилов В.Д., Долгов А.Н., Вавилов И.В. — Оpubл. 20.03.2006; Бюл. № 8.
7. Способ повышения точности прецизионных емкостных измерителей перемещений / Ф.Б. Гриневич, М.Н. Сурду, А.С.Левицкий и др. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2005. — № 1. — С. 68–72.
8. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов // Под ред. Г.С. Писаренко. — Киев: Наук. думка, 1988. — 736 с.
9. Пат. України 59563 А. Склокристалічний матеріал // Мицик Б.Г., Бучинський П.П., Гаськевич Г.І. — Оpubл. 15.09.2003; Бюл. № 9.
10. Материалы в приборостроении и автоматике / Ю.М. Пятин, А.М. Чернявская, Р.А. Владимирский и др. // Под ред. Пятин Ю.М. — М.: Машиностроение, 1982. — 528 с.

Фіз.-мех. ін-т ім. Карпенка НАН України,
Львів

Надійшла до редакції
06.10.2010



16-я Международная научно-техническая конференция и выставка «ЛЕОТЕСТ – 2011»

Электромагнитные и акустические методы неразрушающего контроля материалов и изделий

Приглашаем Вас принять участие в 16-й Международной научно-технической конференции и выставке «ЛЕОТЕСТ – 2011», которая состоится 21–26 февраля 2011 г. в пгт. Славское (Львовская обл.) на базе пансионата «Бойкивщина».

Организаторы конференции

Украинское общество неразрушающего контроля и технической диагностики, Физико-механический институт им. Г.В. Карпенко НАНУ, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, НПФ «Ультракон-Сервис», НПФ «Специальные Научные Разработки» (г. Харьков) и Центр «ЛЕОТЕСТ-МЕДИУМ» (организационное бюро конференции).

Тематика конференции

- теория и практика электромагнитных и акустических методов неразрушающего контроля материалов и изделий;
- диагностические аспекты применения электромагнитных и акустических методов контроля ответственных конструкций в эксплуатации;
- электромагнитные и акустические первичные преобразователи, методы обработки сигналов, вопросы метрологического обеспечения в электромагнитных и акустических методах контроля;
- автоматизированные системы и приборы контроля качества изделий;
- научно-организационные и экономические проблемы, вопросы аккредитации лабораторий, сертификации продукции, подготовки и аттестации персонала.

Тел.: (032)2750869, моб.: 067-9998834 (Учанин Валентин Николаевич)
(032)2296166, моб.: 096-5942401 (Кириченко Ирина Ивановна)
E-mail: uchanin@ipm.lviv.ua или leotest@org.lviv.net