

УДК 621.3.089

О.В. Полярус, А.О. Коваль

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

## ВПЛИВ "СТАРІННЯ" ДАТЧИКІВ ТЕМПЕРАТУРИ НА ЇХ ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*Приведені результати експериментальних досліджень впливу деградаційних процесів при експлуатації датчиків температури на їх динамічні характеристики. Визначені та проаналізовані найбільш критичні до "старіння" параметри динамічних характеристик датчиків.*

**Ключові слова:** динамічні вимірювання, датчик температури, перехідна характеристика, динамічні характеристики датчика, "старіння" датчиків.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Важливим у вивченні динамічних властивостей датчиків є дослідження впливових факторів, що погіршують динамічні характеристики (ДХ) датчиків. Одним з таких факторів є "старіння" датчика в процесі експлуатації.

Конструктивно датчик складається з декількох елементів, деградаційні процеси в яких внаслідок "старіння" датчика протікають по різному. Це може призвести до змінювання індивідуальної для кожного датчика функції перетворення (ФП) і перехідної характеристики (ПХ). Функцію перетворення коректують на спеціалізованих стендах. Датчик при цьому демонтується, що може приводити до значних матеріальних затрат. Перехідна характеристика в процесі експлуатації найчастіше не оцінюється. Поряд з цим до датчика як до елемента замкненої системи автоматичного управління (діагностики) висуваються вимоги щодо швидкодії (постійної часу). Таким чином, виникає актуальне завдання дослідження впливу процесу "старіння" датчиків на їх динамічні характеристики в процесі їх експлуатації без демонтажу.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Значний вклад в розвиток теорії бездемонтажного контролю внесли такі вчені як Р.Г. Armour, J.H. Pollard, Е.М. Бромберг, В.П. Малайчук, Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Поджаренко, Г.Б. Сердюк, С.І. Кондрашов, П.Ф. Щапов, Ю.М. Туз, В.І. Губар та інші. Аналіз проведених наукових досліджень показав наступне.

В роботі П.Ф. Щапова та ін. [1] розроблений прилад для вимірювання температури, що вбудований в датчик, дає можливість визначити аварійне відхилення ФП первинного перетворювача датчика температури від номінальної при бездемонтажному контролі. Такий підхід не дозволяє прогнозувати та оцінювати ДХ однотипних датчиків як на одному об'єкті, так і в однакових точках вимірювання на різних об'єктах. В роботах С.І. Кондрашова та ін. [2, 3] розроблено спосіб формування тестового сиг-

налу для контролю динамічних характеристик вимірювальних каналів. Але даний спосіб може бути реалізований лише на випробовувальних стендах.

Отже, розглянуті методи бездемонтажного контролю не дозволяють повністю контролювати процес "старіння" вимірювальних блоків та датчиків в процесі експлуатації їх на технічних об'єктах.

**Постановка завдання.** Провести дослідження впливу "старіння" термодатчиків на їх динамічні характеристики з використанням методу бездемонтажного контролю.

### Основна частина

Час реакції є важливим параметром при вимірюваннях температури в перехідних режимах, коли на вхід датчика температури діє східчаста зміна температури. Для оцінки впливу "старіння" датчиків температури на їх ДХ нами був використаний метод "внутрішнього" розігріву [4] на основі розробленого трьохканального вимірювального комплексу (рис. 1). Досліджувались датчики температури, які експлуатуються 1 рік, 5 років та 10 років. При цьому однотипні три датчики встановлювались у вимірювальну рамку і на них одночасно подавалась одна і та ж східчаста дія струму для внутрішнього розігріву датчика. Всі вимірювання проводились синхронно в єдиному масштабі часу. Періодичність вимірювань в кожній з 50 серій становила 30 хв., а тривалість часової вибірки кожної серії – 5 хв. Дискретність вимірювань всередині однієї часової вибірки становила 1 мс.

Отже, отриманий масив даних розмірністю  $3 \times 300000 \times 50$  записувався на жорсткий диск для подальшої обробки.

Результати експериментальних досліджень ПХ приведені на рис. 2. Вони свідчать про те, що чим довше датчик знаходився в експлуатації, тим значніше проявляються випадкові спотворення переднього фронту його ПХ. Певної закономірності не було виявлено. Поряд з цим оцінювалась лінійність ФП датчиків температури за результатами їх калібрування.

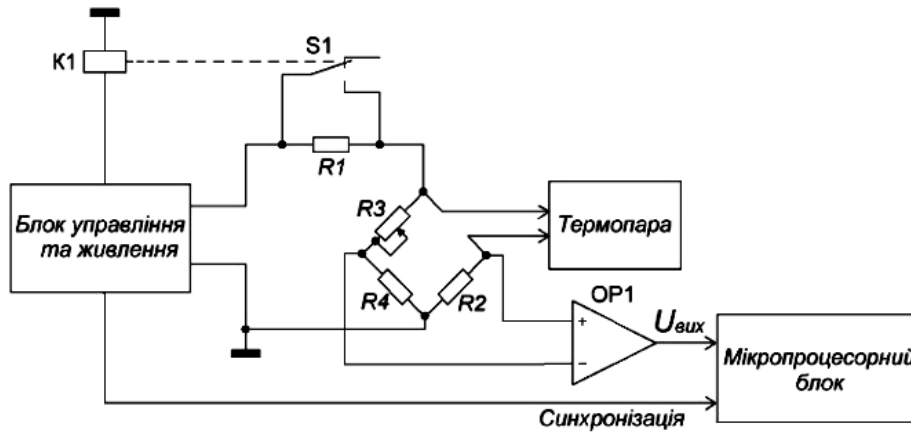


Рис. 1. Структурна схема вимірювального комплексу

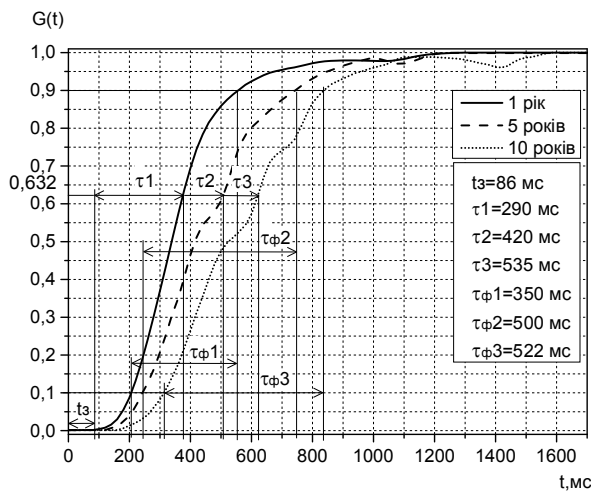


Рис. 2. Усереднені перехідні характеристики датчиків температури

На рис. 3 приведені ФП досліджуваних датчиків, що отримані при їх калібруванні.

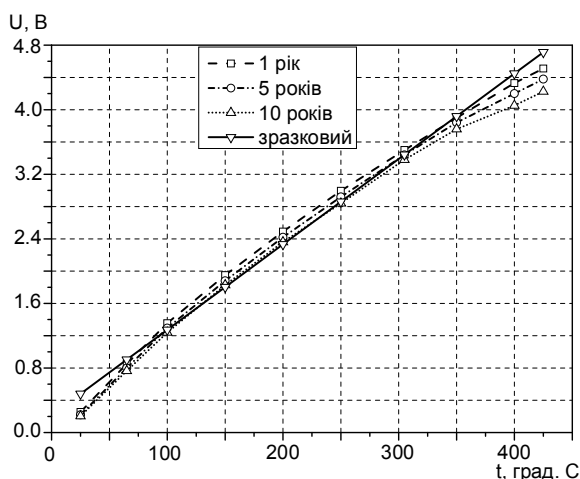


Рис. 3. Усереднені функції перетворення датчиків температури

Так у всіх датчиків незалежно від терміну їх експлуатації функція перетворення на робочій ділянці (150...350 °C) має лінійний характер. Слід від-

значити, що за рахунок "старіння" датчиків їх ФП зміщується вниз. На початку та в кінці динамічного діапазону вимірювань (рис. 3) ці відхилення найбільші, але цілком піддаються коректуванню. Таким чином, можна зробити висновок, що "старіння" датчиків майже не впливає на їх лінійність.

Для більш повного аналізу ДХ датчиків оцінювались також час затримки  $t_3$  датчика, постійна часу  $\tau$ , та тривалість переднього фронту  $\tau_{\phi}$  ПХ  $G(t)$  на рівнях 0,1 та 0,9.

Як видно з рис. 2, сумарний час затримки  $t_3 = 86$  мс. При  $t_3 = t_{cy} + t_{K1} + t_d$  (де  $t_{cy} = 10$  нс - час затримки системи управління;  $t_{K1} = 2$  мс - час затримки виконавчого механізму) середній час затримки датчика становив  $\tau_d = 84$  мс.

Постійні часу  $\tau$  та  $\tau_{\phi}$  визначались згідно з методикою, що запропонована в [4]. Так постійні часу  $\tau$  та  $\tau_{\phi}$  для датчиків з термінами експлуатації 1, 5 та 10 років відповідно становили  $\tau_1 = 290$  мс,  $\tau_{\phi 1} = 350$  мс,  $\tau_2 = 420$  мс,  $\tau_{\phi 2} = 500$  мс,  $\tau_3 = 535$  мс,  $\tau_{\phi 3} = 522$  мс. За отриманими експериментальними даними була встановлена залежність  $\tau$  та  $\tau_{\phi}$  від терміну експлуатації  $t$ :

$$\tau(t) = 524 - 281 \cdot \exp\left(\frac{-t}{2.12}\right), \quad (1)$$

$$\tau_{\phi}(t) = 781 - 530 \cdot \exp\left(\frac{-t}{13}\right). \quad (2)$$

Ці залежності приведені на рис. 4. Встановлено, що зростання  $\tau_{\phi}$  в найбільшій мірі проходить в перші 5 років експлуатації, в подальшому воно не є значним. Постійна часу датчика  $\tau$  має властивість змінюватись при експлуатації і потребує постійного контролю по кожному типу датчика для кожного місяця установки.

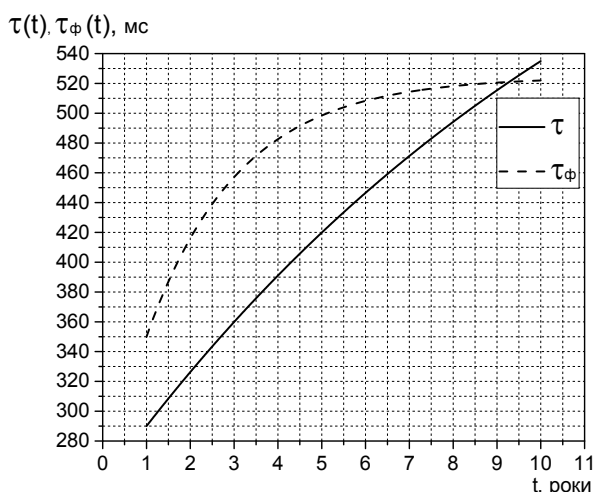


Рис. 4. Вплив "старіння" датчика на постійну часу та тривалість переднього фронту ПХ датчика

Вона входить до постійної часу системи автоматичного управління (САУ), елементами якої є датчики. Постійна часу замкнутої системи управління визначається як:

$$\tau_{САУ} = \tau + \tau_{СУ} + \tau_{ВМ} \quad (3)$$

Вивчення об'єктових САУ показало, що  $\tau_{САУ} \leq 700$  мс,  $\tau_{СУ} \approx 1$  мс,  $\tau_{ВМ} \approx 300$  мс. Тоді з виразу (3) отримуємо, що  $\tau \leq 400$  мс.

Наступним етапом дослідження був аналіз імпульсних характеристик температурних датчиків. З ростом терміну експлуатації імпульсна характеристика спотворюється (рис. 5): вона розширюється і деформується, а її амплітуда зменшується.

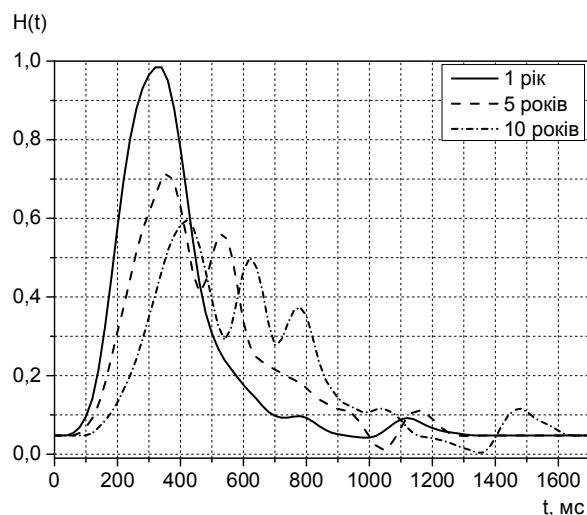


Рис. 5. Вплив "старіння" датчика на імпульсну характеристику датчика температури

В метрологічній практиці при відновленні спотворених датчиком сигналів для оцінки амплітудно-частотної (АЧХ) та фазо-частотної характеристик (ФЧХ) частіше використовується імпульсна ніж перехідна характеристика датчика. Найбільш прийнятним за критерієм мінімуму залишкової похибки

апроксимації став метод екстраполяції імпульсної характеристики з використанням кривих Лоренца (рис. 6).

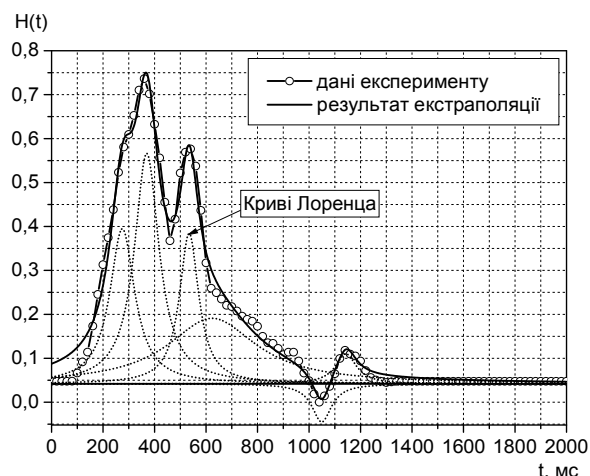


Рис. 6. Екстраполяція імпульсної характеристики кривими Лоренца

Кількість кривих Лоренца необхідних для досягти точної апроксимації імпульсної характеристики залежить від терміну експлуатації датчика, що коливається в межах від одного до 8 – 10 років експлуатації. В якості прикладу приведений аналітичний вираз (4) для імпульсної характеристики датчика температури, який експлуатується 10 років:

$$H(t) = 0.8 + \frac{81}{(t - 189)^2 + 3538} + \frac{22948}{(t - 406)^2 + 4000} + \frac{957}{(t - 627)^2 + 2000} + \frac{3223}{(t - 774)^2 + 8649} + \frac{446}{(t - 913)^2 + 10000} + \frac{2004}{(t - 1100)^2 + 34295} + \frac{1093}{(t - 1414)^2 + 13110} \quad (4)$$

В виразі (4)  $t$  має розмірність мс.

На рис. 7, а зображена екстрапольована імпульсна характеристика 10-річного датчика температури, а на рис. 7, б - відносна залишкова похибка екстраполяції, яка знаходиться в межах від -0.07 до 0.05 ( $-7\% < \delta < 5\%$ ).

Відновлені за експериментальними імпульсними характеристиками АЧХ датчиків приведені на рис. 8. Внаслідок "старіння" датчиків зменшується максимум їх АЧХ. Суттєвим є те, що за аналогією з тривалістю переднього фронту ПХ датчика це зменшення від  $A_{\text{макс}}$  до  $0.62 \cdot A_{\text{макс}}$  проходить в перші 5 років експлуатації. Ширина смуги пропускання АЧХ датчика  $\Delta f_{0.7} = 1.6$  Гц на протязі досліджуваного терміну експлуатації залишається незмінною, а рівень бічних пелюстків АЧХ зменшується.

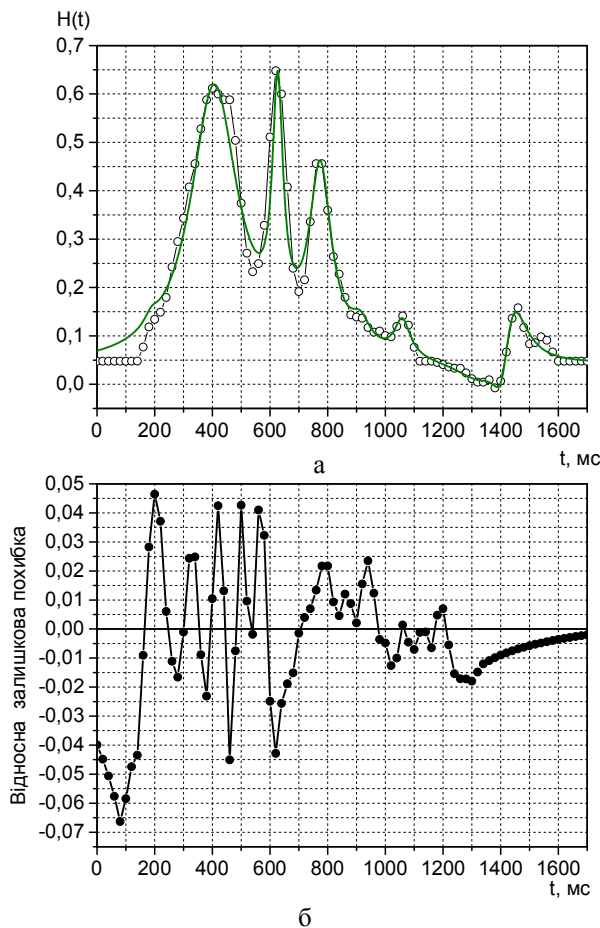


Рис. 7. Результати екстраполяції імпульсної характеристики кривими Лоренца (а) та величина залишкової похибки (б)

## ВИСНОВКИ

Отже, проведені дослідження впливу "старіння" датчиків температури на їх динамічні характеристики свідчать про те що:

1. Внаслідок деградаційних процесів в процесі експлуатації датчиків температури змінюються їх характеристики: перехідна, імпульсна та амплітудно-частотна.

2. Найбільш критичними з точки зору змінювання динамічних характеристик датчиків температури є перші 5 років експлуатації.

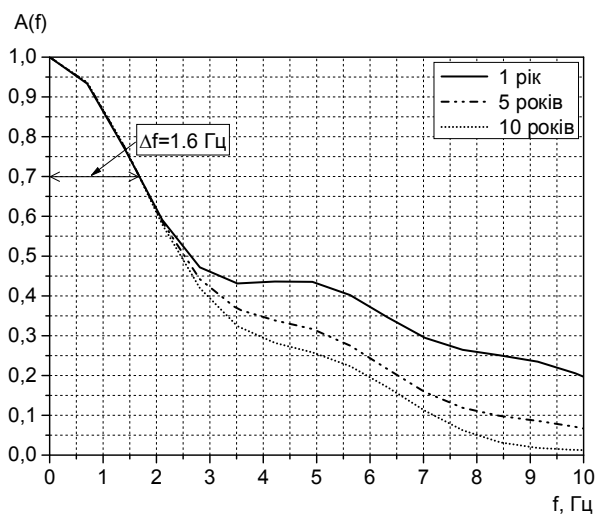


Рис. 8. Амплітудно-частотні характеристики датчиків температури

3. "Старіння" датчика в найбільшій мірі впливає на його постійну часу, яка може зрости майже в 2 рази.

## Список літератури

1. Шапов П.Ф. Прилад бездемонтажного контролю метрологічних характеристик термоперетворювачів / П.Ф. Шапов В.В. Муляров, О.В. Гусельніков // Методи та прилади контролю якості. – Х.: НТУ "ХПІ", 2010. – № 25. – С. 20-30.
2. Пат. UA 31487, Україна, Спосіб формування тестового сигналу для контролю динамічних характеристик вимірювальних каналів / Кондрашов С.І., Діденко К.І., Балев В.М., Новіков Ю.О., заявка від 15.12.2000.
3. Кондрашов С.І. Методи підвищення точності систем тестових випробовувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах / С.І. Кондрашов. – Х.: НТУ "ХПІ", 2004. – 224 с.
4. Хашеміан Х.М. Техническое обслуживание измерительных устройств на атомных электростанциях / Х.М. Хашеміан [перев.] В.Б. Фортак. – М.: Бином, 2012. - ISBN 978-5-9518-0418-5. – 350 с.

Надійшла до редколегії 23.03.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.І. Нефьодов, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків.

## ВЛИЯНИЕ "СТАРЕНИЯ" ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИХ ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

А.В. Полярус, А.А. Коваль

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния деградационных процессов в процессе эксплуатации датчиков температуры на их динамические характеристики. Определены и проанализированы наиболее критичные к "старению" параметры динамических характеристик датчиков.

**Ключевые слова:** динамические измерения, датчик температуры, переходная характеристика, динамические характеристики датчика, "старение" датчиков.

## INFLUENCE OF "AGING" OF TEMPERATURE SENSORS ON THEIR DYNAMIC CHARACTERISTICS

A.V. Polyarus, A.A. Koval

The results of experimental research of degradation process influence on the dynamic characteristics of the temperature sensors during their exploitation are represented in the article. The most critical to sensor "aging" parameters of dynamic characteristics are determined and analyzed.

**Keywords:** dynamic measurement, the temperature sensor, the transient response, the dynamic characteristics of the sensor, "aging" of sensors.