

УДК 681-2-5

О. В. ПОЛЯРУС, О. А. КОВАЛЬ, А. О. КОВАЛЬ**ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ШУМІВ ТА ONLINE ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ
МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ТЕХНОГЕННО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ**

Методи шумів та online діагностики пропонуються використовувати для оцінки метрологічних характеристик датчиків при бездемонтажному контролі на техногенно небезпечних об'єктах. Експрес-аналіз цих характеристик з урахуванням їх змінювання з часом ґрунтується на єдиній для всіх об'єктів базі знань опорних динамічних характеристик по кожному типу датчика, яка періодично поповнюється.

Ключові слова: метод шумів, online діагностика, модель датчика, експертна база знань, метрологічне забезпечення.

Вступ. В процесі експлуатації вимірювальних систем на техногенно-небезпечних об'єктах важливо знати плинні метрологічні характеристики датчиків тиску та температури, які використовуються в системах технічної діагностики і автоматичного управління технологічними процесами. Одним із перспективних напрямів постійного бездемонтажного контролю елементів об'єктових вимірювальних систем є online діагностика. Основою online діагностики є постійний збір вимірювальної інформації, її метрологічний аналіз та прийняття рішень щодо змісту метрологічного забезпечення експлуатації об'єктових вимірювальних систем з врахуванням їх фактичного стану. Експрес-аналіз плинних метрологічних характеристик датчиків вимірювальних систем ґрунтується на єдиній для

всіх техногенно небезпечних об'єктів базі знань опорних динамічних характеристик по кожному типу датчика. Експертна база знань поповнюється та оновлюється як за рахунок метрологічних випробовувань датчиків і математичного моделювання їх динамічних характеристик, так і за результатами online контролю метрологічних характеристик датчиків. Такий підхід дозволяє враховувати "старіння" датчиків в процесі їх експлуатації. Від повноти наповнення та достовірності змісту єдиної експертної бази знань залежить ефективність прийнятих рішень на метрологічне забезпечення об'єктових вимірювальних систем. Тому для забезпечення мінімуму ризику при прийнятті таких рішень з врахуванням фактичного стану об'єктових вимірювальних систем і їх елементів необхідно мати як

© Полярус О. В., Коваль О. А., Коваль А. О. 2015

можна повну і достовірну інформацію про їх технічний стан та метрологічну надійність. Поряд з цим слід відмітити що сьогодні не існує єдиного підходу до побудови автоматизованої системи оцінки стану метрологічного забезпечення на всіх техногенно небезпечних об'єктах країни та прийняття рішення щодо його покращення в умовах обмеженого ресурсу, яка б працювала в масштабі часу близькому до реального.

Аналіз останніх публікацій та постановка завдання. Аналіз останніх публікацій показав наступне. В роботі П. Ф. Щапова та ін. [1] розглянуті питання використання статистичних інформаційних технологій обробки априорі нестационарних вимірювальних сигналів, що дозволяє контролювати метрологічні характеристики термоперетворювачів. Наведена схемна реалізація приладу бездемонтажного контролю метрологічних характеристик термоперетворювачів та принцип його роботи. Даний прилад вбудовується в датчик. Такий підхід не дозволяє прогнозувати та оцінювати метрологічну надійність та динамічні характеристики (ДХ) однотипних датчиків як всередині одного техногенно небезпечного об'єкту, так і на однакових точках вимірювання на різних техногенно небезпечних об'єктах.

В роботах С. І. Кондрашова та ін. [2, 3] розроблено спосіб формування тестового сигналу для контролю динамічних характеристик вимірювальних каналів. Але даний спосіб може бути реалізований лише на випробувальних стендах.

У 2008 році Х. М. Хашеміан [5] для діагностування справності вимірювальних інформаційних систем та систем управління технологічними процесами техногенно небезпечних об'єктів запропонував використовувати метод online діагностики. За результатами аналізу online діагностики для кожного датчика розробляються рекомендації щодо доцільності перевірки датчика та дається прогноз його метрологічної надійності. Але це робиться тільки для одного техногенно небезпечного об'єкту. Аналіз метрологічної надійності однотипних датчиків в різних точках вимірів як стосовно одного, так різних об'єктів не проводиться. Слід також відмітити, що аналіз та обробка інформації проводиться протягом місяця [5].

Отже, розглянуті методи бездемонтажного контролю та застосування online діагностики не дозволяють оцінити стан метрологічного забезпечення в цілому на одному та на всіх техногенно небезпечних об'єктах країни, або галузі, та прийняти рішення щодо його покращення.

На основі аналізу результатів експериментальних досліджень використання методу шумів та online діагностики обґрунтувати структуру експертної бази знань для системи прийняття рішень на метрологічне забезпечення техногенно небезпечних об'єктів.

Метою досліджень є обґрунтування використання методу шумів та online діагностики в метрологічних експертних базах знань.

Визначення метрологічного забезпечення на техногенно небезпечних об'єктах. Основним завданням системи метрологічного забезпечення на техногенно небезпечних об'єктах є забезпечення заданої точності та єдності вимірювань і видача достовірної вимірювальної інформації для систем автоматичного

управління та технічної діагностики. Особливістю організації метрологічного забезпечення на техногенно небезпечних об'єктах є жорстка її регламентація згідно нормативних та експлуатаційних документів як на окремому об'єкті так і в галузі в цілому. Одна вимірювальна система може мати у своєму складі біля тисячі різноманітних датчиків. Всі вони працюють в досить жорстких умовах. Перевірка та калібрування датчиків, технічне обслуговування елементів вимірювальних систем проводиться згідно з затвердженим регламентом та мережевими графіками. Оцінка якості проведених робіт здійснюється тільки за статистичними даними після ремонту або технічного обслуговування системи. Комплексних показників оцінки якості системи поточного метрологічного забезпечення експлуатації всієї вимірювальної системи (вимірювальна лінія, вимірювальний блок, датчики, система живлення та збору і передачі вимірювальної інформації) на сьогодні немає.

Вимірювальні системи таких об'єктів працюють цілодобово з документуванням вимірювальної інформації на об'єкті. Аналіз показав, що в більшості випадків найбільш критичними вимірюваними величинами, які суттєво впливають на технологічний процес є температура та тиск. Виходячи з цього авторами на протязі п'яти років були детально досліджені метрологічні характеристики датчиків тиску і температури в статичному та динамічному режимі як в лабораторних умовах лінійним методом, так і на техногенно небезпечних об'єктах в процесі їх експлуатації з використанням методів бездемонтажного контролю, шумів та online діагностики [6]. Було встановлено, що в процесі експлуатації в результаті дії деградаційних процесів змінюються як похибки вимірювань так і динамічні характеристики датчиків.

Результати експериментальних досліджень датчиків температури [6] 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 функції перетворення датчиків температури за результатами їх калібрування. Так у всіх датчиків незалежно від терміну їх експлуатації функція перетворення на робочій ділянці ($150 \dots 350$ °C) має лінійний характер. Слід відзначити, що за рахунок "старіння" датчиків їх функція перетворення зміщується вниз. На початку та в кінці динамічного діапазону 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 динамічних характеристик датчиків оцінювались також час затримки t_3 і постійна часу τ_0 датчика та тривалість переднього фронту τ_ϕ перехідної функції $H(t)$ на рівнях 0.1 та 0.9. Так сумарний час затримки $t_3=86$ мс. При $t_3=t_{cy}+t_{K1}+t_0$ (де $t_{cy}=10$ нс - час затримки системи управління; $t_{K1}=2$ мс - час затримки виконавчого механізму К1) середній час затримки датчика становив $t_0=84$ мс. Постійні часу τ_0 та τ_ϕ визначались

згідно з методикою, що запропонована в [5]. Так постійні часу τ_θ та τ_ϕ для датчиків з термінами експлуатації 1, 5 та 10 років відповідно становили $\tau_{\theta 1} = 290$ мс, $\tau_{\phi 1} = 350$ мс, $\tau_{\theta 2} = 420$ мс, $\tau_{\phi 2} = 500$ мс, $\tau_{\theta 3} = 535$ мс, $\tau_{\phi 3} = 522$ мс.

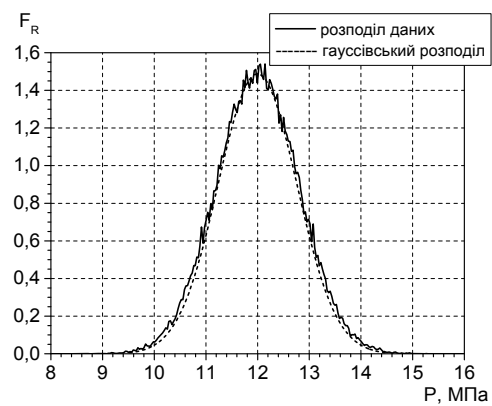
Постійна часу датчика τ_θ має властивість змінюватись при експлуатації і потребує постійного контролю по кожному типу датчика для кожного місця установки. Вона є складовою постійної часу системи автоматичного управління (САУ), елементами якої є датчики. Але наскільки критична зміна τ_θ за рахунок "старіння" датчика на τ_{CAV} і чи потрібно її оцінювати та враховувати в подальшому?

Для відповіді на це питання проведемо наступний мініаналіз. Постійна часу замкнутої системи управління τ_{CAV} визначається як:

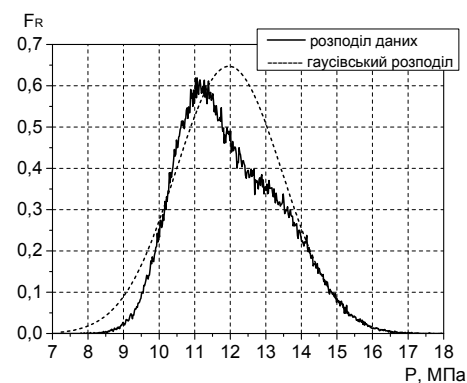
$$\tau_{CAV} = \tau + \tau_{CV} + \tau_{BM}, \quad (1)$$

де τ - постійна часу датчика; τ_{CV} - сумарна постійна часу елементів системи управління; τ_{BM} - сумарна постійна часу виконавчих механізмів системи управління. Вивчення об'єктових САУ показало, що згідно з технічними умовами постійна часу САУ повинна бути не більше $\tau_{CAV} \leq 700$ мс, а $\tau_{CV} \approx 1$ мс і $\tau_{BM} \approx 300$ мс. Враховуючи ці вимоги з виразу (1) отримуємо, що $\tau_\theta \leq 400$ мс. Тобто 400 мс є пороговим (максимально допустимим) для досліджуваних датчиків температури. Але експериментальні дослідження показали що в результаті "старіння" постійні часу датчиків температури з термінами експлуатації 1, 5 та 10 років відповідно становили $\tau_{\theta 1} = 290$ мс, $\tau_{\theta 2} = 420$ мс, $\tau_{\theta 3} = 535$ мс. Тобто вже через п'ять років безперервної експлуатації датчик втрачає свою швидкодію і його постійна часу не відповідає встановленим вимогам. Кількість датчиків тиску і температури з термінами експлуатації від чотирьох до шести років на техногенно небезпечних об'єктах становить близько 60%. Таким чином контролювати постійні часу датчиків тиску та температури та їх дрейф на техногенно небезпечних об'єктах необхідно.

При бездемонтажному контролі для оцінки постійних часу датчиків пропонується використовувати метод шумів та online діагностику. Будемо розглядати використання методу шумів при віддалених (online) з використанням локальної мережі або мережі Internet вимірюваннях. Пропонується проводити одночасно паралельно оцінку лінійності системи у складі вимірювальної лінії та вимірювального блоку разом з датчиком і визначення постійної часу датчика за спектром шумів на його виході. В якості шуму використовуються шуми вимірюваного технологічного середовища. Лінійність вимірювальної системи оцінюється за результатами асиметрії розподілу ймовірності амплітуди на виході датчика отриманої за статистичною обробкою часової вибірки шуму на виході датчика.



а



б

Рис. 1– Розподіл ймовірності амплітуди сигналу шуму від датчика тиску: а - лінійна система; б - нелінійна система

У лінійній вимірювальній системі розподіл ймовірності амплітуди зображений на рис. 1, а симетричний по відношенню до середнього значення даних шуму і точно відповідає розподілу Гаусса (або нормальному розподілу, дзвоноподібної кривої), яке нанесено на графік розподілу ймовірності амплітуди. Асиметрія розподілу ймовірності амплітуди (рис. 1, б) свідчить про наявність аномалій в зібраних даних, включаючи нелінійність випробуваного датчика, застосування вимірювальної лінії або наявності в ній повітря, поганим станом з'єднувальних кабелів (поганий контакт, погіршення ізоляції, збільшення опору заземлення і т. д.). Крім визначення функції розподілу ймовірності амплітуди, для класифікації даних обчислюють і вивчають такі параметри, як середнє значення, дисперсія, асиметрія і згладженість для кожної частини вихідного масиву даних, щоб переконатися, що там відсутні насичення, вплив зовнішніх факторів, відсутні не бажані аномалії. За результатами оцінки застосовності вихідних даних датчика приймається рішення про лінійність датчика. Таким чином використання методу шумів, дозволяє оцінити лінійність датчиків і виключити з подальшого аналізу будь-яку частину масиву даних, в якій виявлена аномалія.

В основу методики оцінки постійної часу датчика тиску при online діагностиці покладено метод аналізу шумів та спектральний метод, в блоці обробки, який реалізований в комплексі алгоритмів програмного середовища LabView. Обробка проводилась в чотирьох етапах:

- згладжування ковзаючим вікном розмірність в 30 дискретних вимірів;
- реалізація 1024 точечного перетворення Фур'є;
- знаходження середнього значення вершини спектру $P_{сер}$;
- знаходження власної частоти датчика тиску f_0 за результатами порогової обробки $P \leq P_{сер} - 3дБ$ та розрахунок постійної часу датчика - $\tau_0 = 1/f_0$ (рис. 2).

В процесі досліджень було встановлено, що результати отримані методом шуму і прямим методом майже співпадають [7]. Результати досліджень проведених протягом трьох років свідчать про те що метод шумів може з успіхом використовуватись при прогнозуванні метрологічної надійності як однотипних датчиків одного виробника так і різних виробників. А також досліджувати вплив "старіння" датчиків тиску на їх постійну часу безперервно без їх демонтажу.

Даний підхід з використання online діагностики та методу шумів для

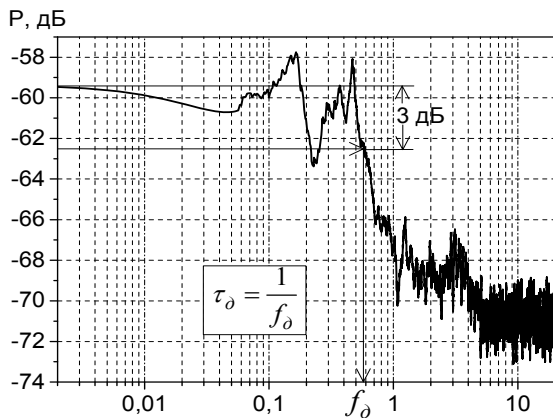


Рис. 2 – До визначення постійної часу датчика тиску методом шуму

визначення постійної часу датчика при бездемонтажному контролі пропонується покласти в основу побудови та функціонування системи online діагностики об'єктових вимірювальних інформаційних систем

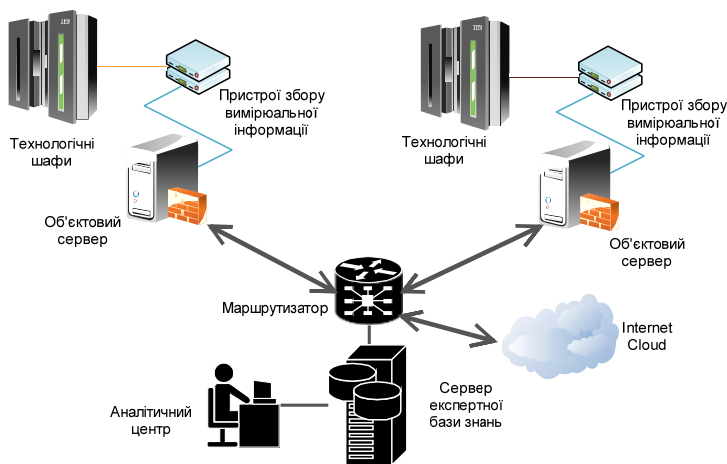


Рис. 3 – Система online діагностики об'єктових вимірювальних інформаційних систем

тем яка приведена на рис. 3.

Основним завданням, на наш погляд, єдиної системи online діагностики вимірювальних інформаційних систем техногенно небезпечних об'єктів є постійна безперервна оцінка стану метрологічного забезпечення з метою своєчасного прийняття рішення на його покращення шляхом гнучкого адаптивного технічного обслуговування агрегатів та вузлів вимірювальних систем, своєчасним перерозподілом запасних комплектуючих та датчиків в умовах обмеженого ресурсу.

Вимірювальна інформація з технологічних шкафів збирається пристроями збору вимірювальної інформації і передається на об'єктовий сервер на кожному техногенно небезпечному об'єкті (рис. 3). На об'єктовому сервері можуть бути реалізовані: алгоритми попередньої обробки вимірювальної інформації, алгоритми визначення законів розподілу шумів на виході датчиків, алгоритми визначення постійних часу датчиків методом шумів, алгоритми визначення трендів похибок вимірювань та постійних часу датчиків. Склад програмно-алгоритмічного забезпечення визначається насамперед ступінем небезпечності самого техногенно небезпечного об'єкта. Від об'єктових серверів вимірювальна інформація з заданим темпом обміну в зашифрованому виді через вхідний маршрутизатор передається на єдиний центр контролю метрологічного забезпечення галузі. В аналітичному центрі (відділі) центру контролю метрологічного забезпечення експерти постійно контролюють основні плинні метрологічні характеристики об'єктових вимірювальних систем. Робота всієї системи здійснюється в автоматичному режимі.

Серцевиною такої системи є експертна база знань структура якої приведена на рис. 4. Експертна база знань виконує наступні завдання: ідентифікація та класифікація вхідної інформації відповідно за техногенно небезпечними об'єктами та типами і видами датчиків; об'єднання інформації для однотипних датчиків від різних об'єктів (або точок вимірювань всередині одного об'єкту); визначення постійних часу датчиків методом шумів та статистичне оцінювання часових масивів виміряних даних і перевірка лінійності датчиків, (при відсутності такої обробки на об'єктовому сервері); визначення трендів метрологічних характеристик датчиків; накопичення та архівація плинних метрологічних характеристик по кожному датчику для кожного техногенно небезпечного об'єкта.

Отримані в результаті online діагностики та вимірювань з використанням методу шумів постійні часу датчиків, їх тренд та тренд похибок вимірювань поступають в базу знань метрологічних характеристик датчиків. В цій же базі знань зберігаються динамічні характеристики датчиків отримані в результаті експериментальних випробовувань нових датчиків. Плинні виміряні метрологічні характеристики постійно порівнюються з опорними в базі знань метрологічних характе-

ристик. При перевищенні заданого порогового рівня (в нашому випадку 400 мс) формується сигнал попередження який через систему управління базою знань і блок статистичного оцінювання та архівації (де він документується) разом із сукупністю інших інформа-

тивних параметрів датчиків по яких сформовано попередження таких як: масив типів датчиків \bar{n} , масиви трендів $\Delta\bar{I}$, $\bar{\tau}_\phi$, інтервали часу вимірів t .

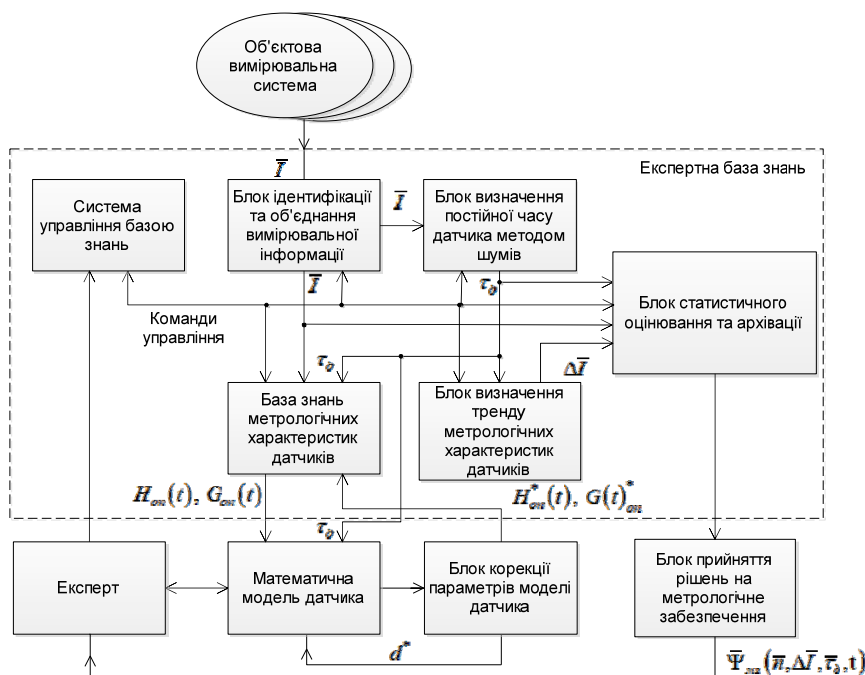


Рис. 4 – Структурна схема експертної бази знань системи online діагностики об'єктових вимірювальних інформаційних систем

При отриманні сигналу попередження експерт в діалоговому режимі в режимі часу близькому до реального може оцінити причину формування попередження – хто винен датчик, вимірювальна лінія чи вимірювальний блок. Оцінювання проводиться з використанням динамічних моделей датчиків побудованих за схемою розв'язання оберненої задачі метрології [8], з використанням методу внутрішнього контролю [8, 9] та нейронних алгоритмів [10-12]. За результатами оцінювання та за даними системи прийняття рішень експерт приймає рішення і формує рекомендації на покращення метрологічного забезпечення. Це може бути перехід на резервну групу датчиків, позапланове технічне обслуговування, зменшення міжповітрочного інтервалу, рішення на ремонт системи або вузла, перерозподіл запасних датчиків між об'єктами та ін.

Висновки. Використання методу шумів та online діагностики дозволяє вирішити задачу адаптації змісту технічного забезпечення вимірювальних систем техногенно небезпечних об'єктів до їх технічного і метрологічного стану.

Запропонована єдина система online діагностики об'єктових вимірювальних інформаційних систем може бути використана при розробці національної системи оцінки та прогнозування метрологічного забезпечення техногенно небезпечних об'єктів.

Список літератури: 1. Щапов, П. Ф. Прилад бездемонтажного контролю метрологічних характеристик термоперетворювачів [Текст] / П. Ф. Щапов, О. В. Гусельніков, В. В. Муляров // Методи та

прилади контролю якості. НТУ "ХПІ", 2010. - № 25. - С. 20-30. 2. Кондрашов С. І. Спосіб формування тестового сигналу для контролю динамічних характеристик вимірювальних каналів [Текст] / С. І. Кондрашов, К. І. Діденко, В. М. Балев, Ю. О. Новіков // UA 31487 А Україна, 15 12 2000 р. 3. Кондрашов, С. І. Методи підвищення точності систем тестових випробовувань електричних вимірювальних перетворювачів у робочих режимах [Текст] / С. І. Кондрашов // Харків: НТУ "ХПІ", 2004. - С. 224-4. Александров, А. Г. Адаптивное управление с эталонной моделью при внешних возмущениях. [Текст] / А. Г. Александров // Автоматика и телемеханика, 2004. - №5 - С. 77-91. 5. Хашеміан, Х. М. Техническое обслуживание измерительных устройств на атомных электростанциях. [Текст] / Х. М. Хашеміан. [перев.] В. Б. Фортаков. Москва: Бином, 2012. - С. 350. 6. Коваль, А. О. Вплив "старіння" датчиків температури на їх динамічні характеристики. [Текст] / А. О. Коваль, О. В. Полярус // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2015. - №6 (131). - С. 123-126. 7. Коваль, А. О. Метрологічне забезпечення ате-стації робочих місць за умовами праці. [Текст] / А. О. Коваль // Вестник ХНАДУ, 2012. - № 59. 8. Коваль, А. О. Визначення постійної часу датчика при розв'язанні оберненої задачі вимірювань [Текст] / А. О. Коваль, А. І. Котова, Є. О. Поляков, О. В. Полярус // Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал, 2014. - № 1(45). 9. Коваль, А. О. Використання методу внутрішнього контролю для досліджень перехідних функцій давачів тиску. [Текст] / А. О. Коваль // Український метрологічний журнал, 2015. - № 1. - С. 64-68. 10. Коваль, А. О. Динамічна нейронна модель первинного перетворювача. [Текст] / О. А. Коваль, О. В. Полярус, А. О. Подорожняк // Вісник Національного технічного університету "ХПІ", 2014. - №35 (1078), - 201 с. 11. Коваль, А. О. Критерій та схема навчання нейронної моделі вимірювального датчика. [Текст] / А. О. Коваль // Вісник Національного технічного університету "ХПІ", - 2012. - № 68 (974) - С. 94-100. 12. Коваль, А. О. Лінійна нейронна динамічна вимірювальна система з послідовним відновленням і фільтрацією вхідного сигналу датчика. [Текст] / А. О. Коваль // Вісник національного технічного університету "ХПІ", 2011. - №53. - С. 84-89.

- Bibliography (transliterated):** 1. Shhapov, P. F., Guselnikov, O. V., Mulyarov, V. V. (2010). Prilad bezdemontazhnogo kontrolyu metrologichnix karakteristik termoperetvoryuvachiv. Metodi ta priladi kontrolyu yakosti. NTU "XPI", 25, 20-30. 2. Kondrashov, S. I., Didenko, K. I., Balev, V. M., Novikov, Yu. O. (2000). Sposib formuvannya testovogo signalu dlya kontrolyu dinamichnix karakteristik vimiryuvalnix kanaliv. UA 31487 A Ukraina. 3. Kondrashov, S. I. (2004). Metodi pidvishhennya tochnosti sistem testovix viprobuvuvan elektrichnix vimiryuvalnix peretvoryuvachiv u robochix rezhimakh. Kharkov: NTU "KhPI", 224. 4. Aleksandrov, A. G. (2004). Adaptivnoe upravlenie s etalonom modelyu pri vneshnix vozmushheniyax. Avtomatika i telexemika, 5, 77-91. 5. Xashemian, X. M. (2012). Texnicheskoe obsluzhivanie izmeritelnyx ustrojstv na atomnyx elektrostanciyax. V. B. Fortakov. Moskva : Binom, 350. 6. Koval, A. O., Polyarus, O. V.. (2015). Vpliv "starinnyya" datchikov temperaturi na ix dinamichni karakteristiki. Xarkiv : Sistemi obrobki informacii : zbirnik naukovix prac. Xarkivskij universitet Povitryanix Sil imeni Ivana Kozheduba, №6 (131), 123-126. 7. Koval, A. O. (2012). Metrologichne zabezpechennya atestacii robochix misc za umovami prac. Xarkiv : Vestnik XNADU, 59.8. Koval, A. O., Kotova, A. I., Polyakov, E. O., Polyarus, O. V. (2014). Vznachennya postijnoi chasu datchika pri rozv'yazanni obrbenoi zadachi vimiryuvan. Metrologiya ta priladi. Naukovo-virobnichij zhurnal, 1(45). 9. Koval, A. O. (2015). Viktoristannya metodu vnutrishnogo kontrolyu dlya doslidzhen perexidnix funkcij davachiv tisku. Ukraïnskij metrologichnij zhurnal, 1, 64-68. 10. Koval, O. A., Polyarus, O. V., Podorozhnyak, A. O. (2014). Dinamichna nejromerezheva model pervinnogo peretvoryuvacha. Visnik Nacionalnogo texnichnogo universitetu "XPI", №35 (1078), 201. 11. Koval, A. O. (2012). Kriterij ta sxema navchannya nejromerezhevoi modeli vimiryuvalnogo datchika. Xarkiv : Visnik Nacionalnogo texnichnogo universitetu "XPI", № 68 (974), 94-100. 12. Koval, A. O. (2011). Linijna nejromerezheva dinamichna vimiryuvalna sistema z poslidovnim vidnovlennjam i filtraciyu vxidnogo signalu datchika. Visnik nacionalnogo texnichnogo universitetu "XPI", 53, 84-89.

Надійшла (received) 27.05.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Полярус Олександр Васильович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Харківський національний автомобільно-дорожній університет; професор кафедри метрології та безпеки життєдіяльності.

Полярус Олександр Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет; профессор кафедры метрологии и безопасности жизнедеятельности.

Polyarus Alexander – PhD, Head of Department, Kharkiv National Automobile and Highway University; Professor Department of Metrology and life safety.

Коваль Олександр Андрійович – кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет; доцент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності.

Коваль Олександр Андреевич – кандидат технических наук, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет; доцент кафедры метрологии и безопасности жизнедеятельности.

Koval Alexander – Ph.D., Kharkiv National Automobile and Highway University; Associate Professor of metrology and life safety.

Коваль Андрій Олександрович – Харківський національний автомобільно-дорожній університет; асистент кафедри метрології та безпеки життєдіяльності; e-mail: koval_al@ukr.net.

Коваль Андрей Александрович – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет; асистент кафедры метрологии и безопасности жизнедеятельности; e-mail: koval_al@ukr.net.

Koval Andrey – Kharkiv National Automobile and Highway University; Assistant of metrology and life safety; e-mail: koval_al@ukr.net.