



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **126403** (13) **U**
(51) МПК (2018.01)
G01D 21/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2017 02899</p> <p>(22) Дата подання заявки: 27.03.2017</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.06.2018</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.06.2018, Бюл.№ 12</p>	<p>(72) Винахідник(и): Полярус Олександр Васильович (UA), Поляков Євген Олександрович (UA), Бровко Яна Сергіївна (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002 (UA), Полярус Олександр Васильович, вул. Наталії Ужвій, 86, кв. 81, м. Харків, 61195 (UA), Поляков Євген Олександрович, вул. Тракторобудівників, 102-а, кв. 57, м. Харків, 61118 (UA), Бровко Яна Сергіївна, вул. Маршала Батицького, 20, кв. 218, м. Харків, 61038 (UA)</p>
--	---

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВХІДНОЇ ДІЇ НЕЛІНІЙНОГО ІНЕРЦІЙНОГО ВИМІРЮВАЛЬНОГО КАНАЛУ

(57) Реферат:

Спосіб визначення вхідної дії нелінійного інерційного вимірювального каналу включає вимірювання вихідного сигналу каналу і мінімізацію функціоналу, що являє собою інтеграл від квадрату різниці між вимірним вихідним сигналом каналу і цим же сигналом, який визначають теоретично як інтеграл згортки імпульсної характеристики каналу і невідомого вхідного сигналу лінійної інерційної ланки, що представляють у вигляді суми добутків ортогональних функцій на невідомі коефіцієнти, а після мінімізації визначають невідомі коефіцієнти, що після перемноження з відомими ортогональними функціями і сумування створюють відновлений вхідний сигнал. Для підвищення точності отриманий в результаті вимірювання сигнал на виході нелінійного вимірювального каналу спочатку відновлюється. Після чого відновлений сигнал вважається вихідним сигналом нелінійної неінерційної ланки, функція перетворення якої описується поліномом деякої визначеної степені з відомими коефіцієнтами, а вхідний сигнал нелінійної неінерційної ланки представляється як сума добутків невідомих коефіцієнтів на ті ж самі ортогональні функції, потім ця сума підставляється в поліном, порівнюється з вже відновленим сигналом, різниця між ними інтегрується з великою межею інтегрування після чого мінімізується з допомогою алгоритму глобального випадкового пошуку, потім отримані в результаті мінімізації невідомі коефіцієнти помножуються на відповідні ортогональні функції і при сумуванні утворюють вхідний сигнал нелінійної неінерційної ланки, можна вважати, що змінюються характеристики вимірювального каналу.

UA 126403 U

Корисна модель належить до галузі точного машинобудування для підвищення точності вимірювальної інформації. Її відносять до обернених задач вимірювання і можуть застосувати при експлуатації технічно складних об'єктів (ТСО), а також є загальною для різних варіантів побудови вимірювальних каналів

5 Прикладом вимірювального каналу є вимірювальний канал тиску (ВКТ), що складається з вимірювальної лінії (ВЛ) та датчика (датчиків) тиску. Вимірювальна лінія являє собою трубопровід, наповнений рідиною або газом. На окремих ТСО довжина ВЛ може досягати сотень метрів. У процесі експлуатації під дією зовнішніх та інших чинників статичні і динамічні характеристики (ДХ) ВКТ змінюються і можуть спотворювати вимірювальну інформацію про тиск технологічного процесу. Це накладає жорсткі вимоги щодо проведення технічного обслуговування ВКТ і, зокрема, ВЛ. Для отримання достовірної інформації про вимірюваний параметр використовують наукові основи функціонування ВКТ у різних режимах роботи ТСО.

10 Вимірювальний канал тиску як технічна система є в загальному випадку нелінійною інерційною системою. Методи аналізу подібних систем є надзвичайно складними і описані в багатьох роботах. У [Тихонов В. И. Нелинейные преобразования случайных процессов / В. И. Тихонов. - М.: Радио и связь, 1986.-296 с.] накреслені підходи до розв'язання задач проходження сигналів по нелінійним інерційним системам і зазначається, що такі підходи є непривабливими для практики. В останні роки істотно збільшився обсяг публікацій за цією проблемою, наприклад, [1. Brouri A. Identification of Nonlinear Systems Structured by Hammerstein Wiener Model / A. Brouri, F. Giri, A. Mkhida, F. Z. Chaoui, A. Elkarkri, M. L. Chhibat// International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering.-2014. - Vol.8. - № 5-Рр. 738-741.; 2. Павленко С. В. Регуляризация процедуры идентификации нелинейных систем в виде моделей Вольтерра / С. В. Павленко, В. Д. Павленко // Труды X Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления" (26-29 января). - М., 2015.- С. 230-237.], але в усіх зазначених наукових працях аналізують проблеми ідентифікації нелінійних інерційних систем без урахування особливостей ВКТ, що обумовлюються змінюванням у часі його динамічних характеристик при наявності на вході каналу нестационарних вхідних дій. У роботах Хашемиана Х. М. [1. Хашемиан Х. М. Техническое обслуживание измерительных устройств на атомных электростанциях/ Х. М. Хашемиан. - М.: Издательство Бином, 2012.-354 с; 2. Хашемиан Х. М. Датчики технологических процессов: характеристики и методы повышения надежности / Х. М. Хашемиан. - М.: Издательство Бином, 2008.-336 с.], навпаки, всебічно аналізується ВКТ, але не враховується мінливість його ДХ. Звідси виникає завдання створення методів аналізу нелінійних інерційних ВКТ, а також інших вимірювальних каналів з урахуванням особливостей його експлуатації.

35 За найближчий аналог обрано [Патент 95482 Україна, МПК GO ID 21/00. Спосіб відновлення сигналу на вході датчика в умовах завад/ О. В. Полярус, Є. О. Поляков, А. О. Коваль; власники: Харк. нац. автомоб.-дор. ун-т, О. В. Полярус, С.О.Поляков, А. О. Коваль. - № 201407577; заявл. 07.07.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24.-4 с]. Даний метод не потребує повної інформації про імпульсну характеристику каналу (або датчика). Для відновлення вхідної дії каналу (в математичному вигляді) достатньо мати уяву про загальний вигляд його імпульсної характеристики, яка описується математичною функцією з деякими невідомими коефіцієнтами.

Недоліком найближчого аналогу є його обмеженість рамками лінійних інерційних систем. Інерційність означає, що система має пам'ять. Багато вимірювальних каналів різних технічних об'єктів і, насамперед, каналів тиску є нелійними інерційними, для яких прості інженерні методи аналізу практично не розроблені. Особливо небезпечними є випадки, коли лінійна функція перетворення вимірювального каналу, наприклад, ВКТ, поступово перетворюється в нелінійну, а остання змінюється неконтрольовано. Звідси впливає можливість прийняття неправильних висновків при експлуатації та діагностиці стану технічного об'єкту, що приведе до небажаних наслідків. Для усунення таких сценаріїв необхідно користуватись достовірними моделями вимірювальних каналів.

50 Найближчим аналогом, що може використовуватись при аналізі ДХ вимірювальних каналів тиску, є модель Гаммерштейна [Бровко Я. С. Метод определения динамических характеристик датчиков давления при избыточном измерении / Я. С. Бровко // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. / М-во образования и науки, молодежи и спорта Украины, Харьк. нац. автомобильно-дор. ун-т; [редкол.: Туренко А. Н. (гл. ред.) и др.]. - Х., 2016 - Вып. 38.- С. 71-75. - ISSN 2219-8342.] (фіг. 1), коли модель каналу представляють у вигляді послідовно з'єднаних моделей нелінійної неінерційної та лінійної інерційної частин. Зазначений найближчий аналог є складовою запропонованого методу відновлення сигналу на вході ВКТ. Високі якісні показники цієї моделі неодноразово перевірені теоретично і експериментально для випадків, коли вхідний сигнал є відомим. Однак, в світі відсутні будь-які наукові роботи, в яких би були розроблені

способи відновлення вхідного сигналу на вході нелінійного інерційного каналу. Для прийняття рішення про стан ТСО необхідно мати інформацію про вхідний сигнал (вхідну дію), а не вихідний, оскільки характеристики останнього в загальному випадку відрізняються від характеристик вхідного сигналу.

5 Задача корисної моделі є підвищення точності відновлення вхідних дій у випадках, коли вимірювальний канал має нелінійну функцію перетворення.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб визначення вхідної дії нелінійного інерційного вимірювального каналу, що математично представляють як послідовне з'єднання нелінійної неінерційної та лінійної інерційної ланок, полягає в тому, що вимірюють вихідний сигнал каналу і мінімізують функціонал, що являє собою інтеграл від квадрату різниці між вимірним вихідним сигналом каналу і цим же сигналом, який визначають теоретично як інтеграл згортки імпульсної характеристики каналу і невідомого вхідного сигналу лінійної інерційної ланки, що представляють у вигляді суми добуток ортогональних функцій на невідомі коефіцієнти, а після мінімізації визначають невідомі коефіцієнти, що після перемноження з відомими ортогональними функціями і сумування створюють відновлений вхідний сигнал, згідно з корисною моделлю, , що з для підвищення точності отриманий в результаті вимірювання сигнал на виході нелінійного вимірювального каналу спочатку відновлюється, після чого відновлений сигнал вважається вихідним сигналом нелінійної неінерційної ланки, функція перетворення якої описується поліномом деякої визначеної степені з відомими коефіцієнтами, а вхідний сигнал нелінійної неінерційної ланки представляється як сума добуток невідомих коефіцієнтів на ті ж самі ортогональні функції, потім ця сума підставляється в поліном, порівнюється з вже відновленим сигналом, різниця між ними інтегрується з великою межею інтегрування після чого мінімізується з допомогою алгоритму глобального випадкового пошуку, потім отримані в результаті мінімізації невідомі коефіцієнти помножуються на відповідні ортогональні функції і при сумуванні утворюють вхідний сигнал нелінійної неінерційної ланки, можна вважати, що змінюються характеристики вимірювального каналу: прибирається ефект нелінійності та інерційності, що приводить до підвищення точності вимірювань.

Суть корисної моделі. Достатньо мати повну інформацію про вихідний сигнал в математичному вигляді та нелінійну функцію перетворення каналу, приклад якої зображений на фіг. 2. На першому етапі визначають сигнал на вході лінійної інерційної ланки. Для цього за допомогою глобальних методів випадкового пошуку мінімізують функціонал, що являє собою інтеграл від квадрату різниці між теоретичним вихідним сигналом лінійної інерційної ланки і вимірним (відомим) вихідним сигналом цієї ланки. Теоретичний вихідний сигнал лінійної інерційної ланки записують як згортку імпульсної характеристики каналу та вхідного сигналу лінійної інерційної ланки. Останній розкладають в ряд Карунена-Лоева, тобто суму добуток випадкових коефіцієнтів на ортогональні функції. У результаті мінімізації зазначеного функціоналу отримують всі коефіцієнти, а, значить, і вхідний сигнал лінійної інерційної ланки [Полярус О. В., Поляков Є. О. Наближене розв'язання оберненої задачі вимірювань та його метрологічне забезпечення: монографія / О. В. Полярус, Є. О. Поляков. - Х.: Видавництво "Лідер", 2014.-120 с.]. Цей сигнал згідно з моделлю Гаммерштейна є вихідним сигналом нелінійної неінерційної ланки.

Суть заявленого способу.

45 Авторами [Полярус О. В., Поляков Є. О. Наближене розв'язання оберненої задачі вимірювань та його метрологічне забезпечення: монографія / О. В. Полярус, Є. О. Поляков. - Х.: Видавництво "Лідер", 2014.-120 с.] розроблений метод розв'язання оберненої задачі вимірювань, який дозволяє по вимірному сигналу $Y(t)$ визначити вхідний сигнал лінійної інерційної ланки $X(t)$ (фіг. 1). Отже, в заявленому способі вважають, що є відомим не тільки сигнал $Y(t)$, що вимірюють, але і сигнал $X(t)$ на виході нелінійної інерційної ланки ВКТ (фіг. 1).

50 Визначають вхідну дію $P(t)$ в математичному вигляді при відомій функції перетворення нелінійної ланки ВКТ, яку описують поліномом

$$x(t) = a_0 + a_1 p(t) + a_2 p^2(t) + \dots + a_{n-1} p^{n-1}(t). \quad (1)$$

В формулі (1) $P(t)$ - вхідна дія в математичному вигляді, наприклад, тиск, $a_i (i = 0, \dots, n-1)$ відомі коефіцієнти функції перетворення ВКТ. Отже, необхідно визначити вхідну дію, тобто тиск $P(t)$ в математичному вигляді. Для ілюстрації роботи способу обмежуються невеликою кількістю коефіцієнтів (два) і тоді

$$x(t) = a_0 + a_1 p(t) + a_2 p^2(t). \quad (2)$$

Розкладають вже відому функцію $x(t)$ в ряд Карунена-Лоева

$$x(t) = \sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \psi_i(t), \quad (3)$$

де ψ_i - вибрані дослідником ортогональні функції,

γ_i - відомі коефіцієнти.

5 Невідому реалізацію вхідної дії $p(t)$ також розкладають в ряд Карунена-Лоева

$$p(t) = \sum_{k=0}^{m-1} \beta_k \psi_k(t), \quad (4)$$

де $\psi_k(t)$ - ті ж самі ортогональні відомі функції, а β_k - невідомі випадкові коефіцієнти (для кожної реалізації вхідної дії $p(t)$ як випадкового процесу вони будуть в загальному випадку відрізнятись).

10 Кількість коефіцієнтів γ_i та β_k залежить від форми функцій $x(t)$ та $p(t)$ і повинна бути однаковою, тобто $m=n$. Вона вибирається дослідником на основі вибраної точності представлення функції.

В формулу (2) підставляють співвідношення (3) і (4)

$$\sum_{i=0}^{n-1} \gamma_i \psi_i(t) = a_0 + a_1 \cdot \sum_{i=0}^{n-1} \beta_i \psi_i(t) + a_2 \cdot \left(\sum_{i=0}^{n-1} \beta_i \psi_i(t) \right)^2$$

15 Співвідношення (5) приводять у розгорнутому вигляді

$$\begin{aligned} \gamma_0 + \gamma_1 \psi_1(t) + \gamma_2 \psi_2(t) + \dots + \gamma_{n-1} \psi_{n-1}(t) &= a_0 + a_1 \beta_0(t) + a_1 \beta_1 \psi_1(t) + \\ &+ a_1 \beta_2 \psi_2(t) + \dots + a_1 \beta_{n-1} \psi_{n-1}(t) + a_2 \beta_0^2 + a_2 \beta_1^2 \psi_1^2(t) + a_2 \beta_2^2 \psi_2^2(t) + \dots \\ &\dots + a_2 \beta_{n-1}^2 + \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{m=0}^{n-1} a_2 \beta_i \beta_k \psi_i(t) \psi_k(t) \end{aligned} \quad (6)$$

Для спрощення виразу (6) проводять інтегрування його на інтервалі спостереження $[0, T]$. В силу ортогональності функції $\psi_i(t)$ та $\psi_k(t)$

$$\int_0^T \psi_k(t) \psi_k(t) dt \approx 0 \quad (i \neq k). \quad (7)$$

20 Знак " \approx " замість знаку " $=$ " записаний тому, що межа інтегралу в (7) становить T , а не " ∞ ". З урахуванням інтегрування вираз (6) трансформують до вигляду

$$\begin{aligned} \int_0^T \gamma_0 dt + \gamma_1 \int_0^T \psi_1(t) dt + \gamma_2 \int_0^T \psi_2(t) dt + \dots + \gamma_{n-1} \int_0^T \psi_{n-1}(t) dt &= \\ = \int_0^T a_0 dt + \int_0^T a_1 \beta_0 dt + a_1 \beta_1 \int_0^T \psi_1(t) dt + a_2 \beta_2 \int_0^T \psi_2(t) dt + \dots \\ a_1 \beta_{n-1} \int_0^T \psi_{n-1}(t) dt + \int_0^T a_2 \beta_0^2 dt + a_2 \beta_1^2 \int_0^T \psi_1^2(t) dt + \\ + a_2 \beta_2^2 \int_0^T \psi_2^2(t) dt + \dots + a_2 \beta_{n-1}^2 \int_0^T \psi_{n-1}^2(t) dt \end{aligned} \quad (8)$$

Вводять позначення:

$$C_i = \int_0^T \psi_i(t) dt,$$

25 $d_i = \int_0^T \psi_i(t) dt$. (9)

Коефіцієнти C_i , d_i після інтегрування по формулам (9) є відомими. З урахуванням (9) співвідношення (8) залишають у вигляді

$$\begin{aligned} \gamma_0 T + \gamma_1 C_1 + \gamma_2 C_2 + \dots + \gamma_{n-1} C_{n-1} &= a_0 T + a_1 \beta_0 T + \\ a_1 \beta_1 C_1 + a_1 \beta_2 C_2 + \dots + a_1 \beta_{n-1} C_{n-1} + a_0 \beta_0 T + \\ a_2 \beta_1^2 d_1 + a_2 \beta_2^2 d_2 + \dots + a_2 \beta_{n-1}^2 d_{n-1} \end{aligned} \quad (10)$$

В співвідношенні (10) невідомими є наступні коефіцієнти:

$$a_0, a_1, a_2, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1}. \quad (11)$$

Ліва частина рівності (10) є повністю відомою. Тоді задача визначення коефіцієнтів (11) зводиться до мінімізації цільової функції багатьох (в даному випадку $n+3$) змінних, тобто різниці між лівою та правою частин рівняння (10)

$$f(a_0, a_1, a_2, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1}) = \gamma_0 T + \sum_{i=1}^{n-1} \gamma_i C_i - (a_0 + a_1 \beta_0) - a_1 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i C_i - a_2 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \beta_i^2 C_i. \quad (12)$$

Мінімізацію (12) проводять за допомогою алгоритму глобального випадкового пошуку (генетичного алгоритму). В результаті визначають всі коефіцієнти (11), а, значить, і вхідний сигнал (4).

Для перевірки достовірності отриманих результатів на вхід системи (фіг. 1) подають характерні вхідні дії: білий шум, синусоїди, прямокутний імпульс, а також реальні реалізації випадкових процесів, які взяті з експериментів (без значних аномальних відхилень, що притаманні технологічним процесам на реальних технічно складних об'єктах).

В результаті моделювання отримуються сигнали $x(t)$ та $y(t)$ для вибраних коефіцієнтів a_0, a_1, a_2 .

Після застосування запропонованого методу здійснюють порівняння отриманих результатів з заданими до моделювання.

Аналогічне моделювання можна провести для вимірювальних систем з кубічною нелінійністю та з нелінійностями з інших порядків.

При моделюванні розраховувався коефіцієнт кореляції між заданим сигналом на вході нелінійної неінерційної ланки і відновленим сигналом на вході цієї ланки запропонованим методом. Об'єм вибірки становив 1000. Середнє значення отриманої вибірки коефіцієнтів кореляції склало 0,90 для простих сигналів, а для реальних експериментальних реалізацій тиску коефіцієнт кореляції був менше.

Спосіб дає можливість відновити частину втраченої вимірювальної інформації, тобто підвищити точність вимірювань і має порівняно з існуючим способом більшу точність щодо нелінійних вимірювальних каналів. Порівняння проводилось з випадком, коли для визначення вхідного сигналу використовувалася найближчий аналог, тобто у вимірювальному каналі не враховувалась нелінійність його функції перетворення. Якщо ця функція має складний характер (описується поліномом високої степені), то виграш у відносній точності відновлення вхідного сигналу досягає десятків відсотків. Якщо нелінійність вимірювального каналу описується простою функцією, наприклад, експоненціальною, то цей виграш коливається в межах від одиниць до десятка відсотків. Одночасно на ці показники впливає інерційність каналу, яка описувалась постійною часу каналу і становила від 0,05 с до 0,3 с. При цьому враховувалось, що при великій постійній часу звужується смуга пропускання каналу, що може приводити до усунення узгодження цієї смуги пропускання з шириною спектру сигналу. При таких умовах якісне відновлення вхідного сигналу стає неможливим.

Для прикладу, на фіг. 3 та фіг. 4 наведений приклад відновлення синусоїдального сигналу (при малій постійній часу каналу $\tau=0.01$ с) за схемою, що представлена на фіг. 1. На фіг. 3 суцільною лінією представлена вхідна дія $p(t)$, а пунктирною - відновлений сигнал $p_0(t)$ нелінійної неінерційної ланки (відносна похибка становить 8.03 %). На фіг. 4 суцільною лінією представлена вхідна дія $x(t)$ (вихідний сигнал нелінійної неінерційної ланки), а пунктирною - відновлений сигнал $x_0(t)$ лінійної інерційної ланки (відносна похибка становить 0.21 %).

Для розуміння важливості запропонованого методу на фіг. 5 показана вхідна дія $p(t)$ (суцільною лінією) та відновлений запропонованим методом сигнал $p_0(t)$. Отримана похибка становить - 6 %. На фіг. 6 представлена вхідна дія $p(t)$ (суцільною лінією) та відновлений існуючим методом сигнал $x_0(t)$, тобто без врахування нелінійності каналу. Отриманий результат значно відрізняється від заданого, як по формі, так і по амплітуді, що дає в результаті некоректну похибку. Ці результати приведені для постійної часу $\tau=0.01$ с.

Щоб розглянути вплив постійної часу, розглянемо той же приклад, що і на фіг. 5 та фіг. 6 тільки для великої постійної часу каналу $\tau=0.3$ с. і представимо результати на фіг. 7 та фіг. 8. Як видно, відновлений сигнал на фіг. 7 (пунктирна лінія) має більшу похибку, а саме 13 %.

Існуючий метод також дав ще менш точні результати. Слід зауважити, що ВКТ з такою великою постійною часу експлуатується не часто.

У процесі моделювання були визначенні також наступні фактори, що впливають на отримання максимально достовірних даних запропонованим способом:

5 1. Бажано мати повну інформацію про вихідний сигнал та нелінійну функцію перетворення каналу в математичному вигляді.

2. Високочастотні вхідні сигнали складніше піддаються відновленню. Для підвищення точності їх відновлення час спостереження таких сигналів повинен зменшуватись.

10 3. Зі збільшенням тривалості сигналу (часу спостереження) точність відновлення зменшується. В типових випадках час спостереження не повинен перевищувати декількох хвилин. Якщо завдання практики потребують більшого часу, то відновлення треба здійснювати на окремих часових інтервалах, що не перевищують вказані значення.

15 4. Точність відновлення зменшується також з ростом інерційності ВКТ (постійної часу) вимірювального каналу. Детальний опис спотворення сигналу внаслідок підвищення інерційності каналу наведено в [Бровко Я. С. Порівняння основних моделей вимірювальних каналів тиску на техногенно небезпечних об'єктах / Я. С. Бровко // Актуальні питання матеріально-технічного забезпечення сил охорони правопорядку: зб. тез доп. наук, практ. конфер., 27 жовтня 2016. - Х.: НАНГУ, 2016. - С 28-30.].

20 Детальніший опис впливу різних факторів та результатів відновлення на їх основі представлений в табл. 1. Дані приведені для часу спостереження сигналу 100 с (зі збільшенням тривалості спостереження - точність відновлення зменшується лише для складних сигналів).

Таблиця 1

Середні значення коефіцієнтів кореляції вхідного та відновленого вхідного сигналів, що отримані запропонованим способом для різних умов експлуатації

1	2	3	4
№ з/п	Умови експлуатації	Постійна часу	Середнє значення коефіцієнта кореляції
1.	Відновлення простого сигналу з апіорною інформацією про коефіцієнти нелінійності	$\tau=0.01$	0,88
		$\tau=0.3$	0,82
2.	Відновлення простого сигналу без апіорної інформації про коефіцієнти нелінійності	$\tau=0.01$	0,69
		$\tau=0.3$	0,59
3.	Відновлення реальної реалізації сигналу з апіорною інформацією про коефіцієнти нелінійності	$\tau=0.01$	0,91
		$\tau=0.3$	0,67
4.	Відновлення реальної реалізації сигналу без апіорної інформації про коефіцієнти нелінійності	$\tau=0.01$	0,71
		$\tau=0.3$	0,47

25 5. Результати моделювання показують високу схожість (великі коефіцієнти кореляції) відновленого і реального вхідних сигналів навіть у випадках невеликої кількості апіорних даних про вид нелінійної функції перетворення каналів. Мінімальне значення цих коефіцієнтів становить близько 0,7. Для підвищення цього значення необхідно використовувати апіорну інформацію, тобто мати математичну формулу загального виду функції перетворення каналу.

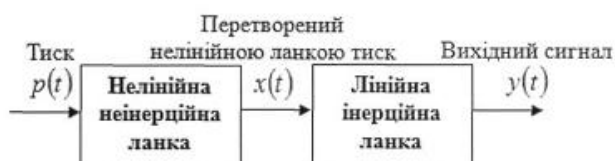
30

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

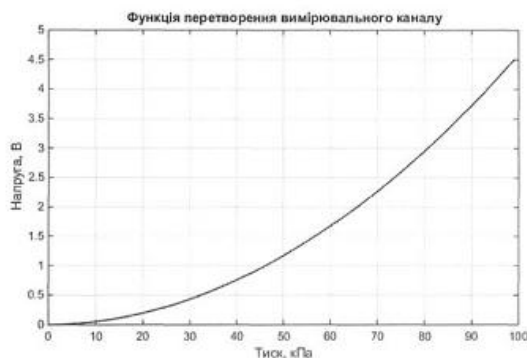
35 Спосіб визначення вхідної дії нелінійного інерційного вимірювального каналу, що математично представляють як послідовне з'єднання нелінійної неінерційної та лінійної інерційної ланок, полягає в тому, що вимірюють вихідний сигнал каналу і мінімізують функціонал, що являє собою інтеграл від квадрату різниці між вимірним вихідним сигналом каналу і цим же сигналом, який визначають теоретично як інтеграл згортки імпульсної характеристики каналу і невідомого вхідного сигналу лінійної інерційної ланки, що представляють у вигляді суми добутків ортогональних функцій на невідомі коефіцієнти, а після мінімізації визначають невідомі

40

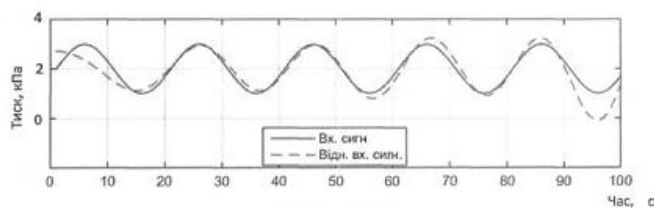
коєфіцієнти, що після перемноження з відомими ортогональними функціями і сумування створюють відновлений вхідний сигнал, який **відрізняється** тим, що для підвищення точності отриманий в результаті вимірювання сигнал на виході нелінійного вимірювального каналу спочатку відновлюється, після чого відновлений сигнал вважається вихідним сигналом нелінійної неінерційної ланки, функція перетворення якої описується поліномом деякої визначеної степені з відомими коєфіцієнтами, а вхідний сигнал нелінійної неінерційної ланки представляється як сума добутків невідомих коєфіцієнтів на ті ж самі ортогональні функції, потім ця сума підставляється в поліном, порівнюється з вже відновленим сигналом, різниця між ними інтегрується з великою межею інтегрування після чого мінімізується з допомогою алгоритму глобального випадкового пошуку, потім отримані в результаті мінімізації невідомі коєфіцієнти помножуються на відповідні ортогональні функції і при сумуванні утворюють вхідний сигнал нелінійної неінерційної ланки, можна вважати, що змінюються характеристики вимірювального каналу: прибирається ефект нелінійності та інерційності, що приводить до підвищення точності вимірювань.



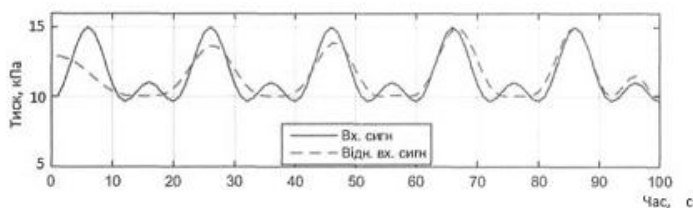
Фіг. 1



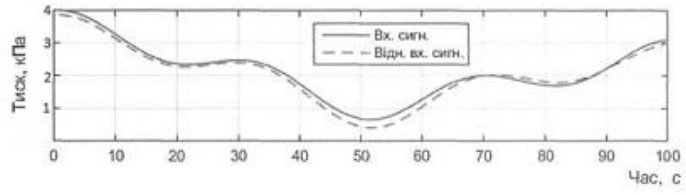
Фіг. 2



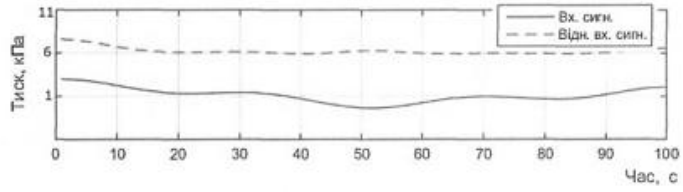
Фіг. 3



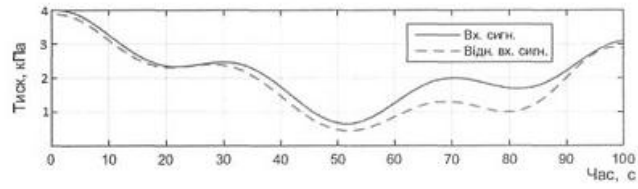
Фіг. 4



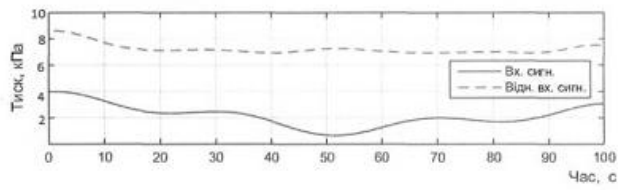
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601