

УДК 510.5

КОРОГОД Г. О., ВОЛІВАЧ А. П.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

### АЛГОРИТМ І КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОКОТОЧНОГО ЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНОЇ ВЕЛИЧИНИ ТА ПАРАМЕТРІВ НЕСТАБІЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ

*Метою* роботи є розробка алгоритму та комп'ютерної програми, які спрямовані на отримання високоточного значення фізичної величини при нестабільній функції перетворення сенсора, визначення поточних значень параметрів функції перетворення та встановлення їх належності до меж допуску.

*Методика:* теорія та методи надлишкових вимірювань фізичних величин для коректного використання методології надлишкових вимірювань, теорія похибок для визначення й оцінки похибок, теорія алгоритмів для структурованої побудови алгоритмів, аналітичні методи аналізу процесів перетворення сигналів, методи математичного моделювання та чисельні методи для розв'язання нелінійних рівнянь величин і систем рівнянь величин, методи комп'ютерного аналізу для логічної побудови програмних компонентів.

*Результати:* запропоновані алгоритм і побудована на її основі комп'ютерна програма для обробки отриманих результатів вимірювань дозволяють: 1) за рівняннями надлишкових вимірювань визначити високоточне значення шуканої фізичної величини, яке не залежить від змін параметрів функції перетворення; 2) визначити поточні значення параметрів нестабільної функції перетворення; 3) встановити якісні показники відхилень кожного з параметрів функції перетворення сенсора.

*Наукова новизна:* розроблений алгоритм роботи надлишкових вимірювань при лінійній і нестабільній функції перетворення і його комп'ютерна реалізація створюють можливості для проведення розрахункового експерименту та подальшого дослідження його результатів.

*Практична значимість:* реалізація алгоритму та комп'ютерної програми з використанням методу надлишкових вимірювань дозволяє безпосередньо проводити ефективні дослідження надлишкових вимірювань при нестабільній функції перетворення сенсора та визначати високоточне значення шуканої фізичної величини. Крім того, завдяки визначенню поточних значень параметрів функції перетворення стає можливим визначення метрологічної надійності сенсора із заданими відхиленнями.

*Ключові слова:* алгоритм; нестабільність функції перетворення; надлишкові вимірювання; комп'ютерна програма; параметри функції перетворення.

**Вступ.** Розвиток сучасної вітчизняної промисловості потребує підвищення якості товарів при одночасному зниженні витрат на їх виробництво. Важливою умовою отримання високоякісної продукції є дотримання встановлених технічних умов, використання високоякісної сировини, а також застосування високоточних засобів і методів вимірювання. Для інженерів особливий інтерес мають засоби та методи вимірювання. Для отримання високоточного результату однією з основних умов є підвищення точності вимірювань сенсора (датчика). Це обумовлено фізичною суттю сенсора, який перетворює вхідну контрольовану фізичну величину у вихідний електричний сигнал сенсора з метою подальшої його обробки. Таким чином, від точності такого перетворення буде залежати точність самого вимірювання. Слід зазначити, що особливу увагу слід приділити питанню підвищення точності в умовах нестабільності параметрів функції перетворення (ФП) сенсора. Це обумовлено тим, що під впливом зовнішніх факторів навколишнього середовища відбуваються зміни параметрів ФП та їх відхилення від номінальних значень, що також призводить до зниження точності вимірювання. Додаткове визначення поточних параметрів ФП сенсора, в свою чергу, дає також можливість здійснення метрологічного контролю сенсора. Отже, при розв'язанні задачі по підвищенню точності при нестабільній ФП сенсора необхідно встановити послідовності дій процесу вимірювання і відповідної їх програмної реалізації. Все це стає передумовою для розрахункового експерименту при дослідженні результатів вимірювання.

Таким чином, актуальними слід вважати дослідження, які направлені на програмну реалізацію алгоритму по визначенню високоточного значення фізичної величини та поточних параметрів нестабільної функції перетворення сенсора.

Питаннями щодо підвищення точності вимірювання займався ряд світових науковців і дослідників. Так в роботі [1] наведено алгоритм обчислювань для досягнення покращення вихідного сигналу сенсора. В роботі [2] для ефективного отримання достовірної інформації від масиву датчиків газу запропоновано застосування апаратної обробки даних (аналоговий інтерфейс). Дослідження, що наведені в роботі [3], вказують на підвищення точності шляхом застосування адитивного та мультиплікативного тестів, які реалізуються, відповідно, за рахунок ведення зразкової міри та зміни чутливості вимірювального каналу. Для підвищення точності за рахунок зменшення впливу адитивної складової похибки на результат вимірювання в роботі [4] запропоновано зменшення впливу темного струму і компенсації власних шумів вимірювального каналу радіометричного вимірювача. Показано, що такий результат було досягнуто за рахунок відповідної обробки сигналів опорного і вимірювального фотодіодів, що призводить до виключення власних шумів фотоприймача і зменшення впливу їх темнових струмів. Однак, в роботі не було розглянуто питання зменшення впливу чутливості фотоприймача. В роботах [5, 6] було розглянуто питання збільшення чутливості фотоприймача. Проте, в даній роботі не враховується вплив зміни параметрів ФП на результат вимірювань. Теоретичні аспекти зменшення систематичної і випадкової складових похибки вимірювань були розглянуті в роботі [7]. В роботі [8] зменшення перехресних завад досягалося шляхом отримання індивідуальних значень опорів резисторів в масиві датчиків. Незважаючи на практичну значущість отриманих результатів в достатній мірі не розглядалися питання, що пов'язані з нестабільністю ФП сенсора при одночасній можливості проведення його метрологічного самоконтролю. Варіантом вирішення даного питання щодо підвищення точності при нестабільній ФП можуть бути рекомендовані методи надлишкових вимірювань. Так, основні теоретичні аспекти надлишкових методів було розглянуто в роботі [9]. Подальше дослідження методів надлишкових вимірювань було наведено в роботах [10–13], де завдяки використанню рівняння надлишкових вимірювань досягається отримання результату вимірювання, яке не залежить від параметрів ФП сенсора та їх відхилень від номінальних значень. Крім того, продемонстрована можливість визначення поточних значень параметрів ФП. Однак, для проведення розрахункових експериментів та подальшого дослідження методу надлишкових вимірювань не була представлена комп'ютерна реалізація алгоритму визначення високоточного значення фізичної величини та параметрів нестабільної ФП.

Таким чином, неможливість для користувача у дослідженні нестабільної ФП сенсора при застосуванні надлишкових вимірювань обумовлюють необхідність у розробці відповідного алгоритму та комп'ютерної програми.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка алгоритму та комп'ютерної програми, що спрямовані на отримання високоточного значення фізичної величини при нестабільній лінійній ФП сенсора, визначення поточних значень параметрів ФП та встановлення їх належності до меж допуску. Це дозволить користувачу при дослідженні ФП сенсора отримувати результат вимірювання фізичної величини, що не залежить від параметрів лінійної ФП та їх відхилень від номінальних значень, робити висновки про метрологічну надійність сенсора і підбирати такі межі допуску кожного параметра, в яких результат буде мати придатні значення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1) використовуючи методи надлишкових вимірювань розробити алгоритм послідовності дій по визначенню:

- шуканої фізичної величини;
- параметрів нестабільної лінійної ФП сенсора;
- встановлення належності параметрів ФП до меж допуску;

2) представити комп'ютерну реалізацію запропонованого алгоритму.

**Результати дослідження.** Розглянемо функціональну залежність на прикладі лінійної та нестабільної функції перетворення сенсора:

$$y_l = S_l x_i + \Delta y \quad (1)$$

де  $y_l$  – сигнал на виході сенсора;

$x_i$  – шукана фізична величина;

$S_l$  – чутливість перетворення лінійної складової ФП;

$\Delta y$  – зміщення ФП з урахуванням адитивної складової похибки.

Однак, з часом під впливом зовнішнього середовища відбувається відхилення параметрів ( $S_l$  та  $\Delta y$ ) від їх номінальних значень, що призводить до зниження точності вимірювань. Тобто отримують значення шуканої фізичної величини із похибкою, що викликана нестабільністю параметрів ФП. Для вирішення задачі з підвищення точності вимірювання при нестабільній ФП з можливістю проведення самоконтролю параметрів ФП датчика були рекомендовані методи надлишкових вимірювань [9–13]. Для своєї реалізації надлишкові вимірювання вимагають проведення додаткових тактів вимірювання, в яких, крім шуканої величини, відбувається вимірювання і нормованої за значенням величини, яка з шуканою є однієї фізичної природи. В результаті таких тактів вимірювань отримують систему рівнянь величин, подальше рішення якої дає можливість вивести рівняння надлишкових вимірювань шуканої величини та параметрів ФП. Причому кількість рівнянь системи залежить від кількості невідомих параметрів ФП. Оскільки, рівняння (1) має три невідомі ( $x_i$ ,  $S_l$ ,  $\Delta y$ ), то необхідно скласти систему з 3х рівнянь величин. Для цього використовують номінальну за значенням величину  $x_1$ . В результаті, система рівнянь величин буде мати вид:

$$\begin{cases} y_{l1} = \Delta y; \\ y_{l2} = S_l x_1 + \Delta y; \\ y_{l3} = S_l x_i + \Delta y. \end{cases} \quad (2)$$

В результаті рішення системи надлишкових вимірювань (2) отримують рівняння шуканої величини

$$x_i = x_1 \frac{(y_{l3} - y_{l1})}{(y_{l2} - y_{l1})} \quad (3)$$

і параметрів ФП:

$$S_l = \frac{(y_{l2} - y_{l1})}{x_1} \quad (4) \quad \text{та} \quad \Delta y = y_{l1} \quad (5)$$

Як видно з рівняння (3), отриманий результат шуканої величини  $x_i$  не залежить від параметрів ФП ( $S_l$  та  $\Delta y$ ) та їх відхилень від номінальних значень. Крім того, завдяки рівнянням надлишкових вимірювань параметрів ФП (4) та (5) стає можливим визначати поточні значення параметрів ФП, що дає передумови для визначення метрологічної надійності сенсора. На основі запропонованої математичної моделі було розроблено алгоритм і відповідна комп'ютерна програма визначення шуканої фізичної величини [14, 15]. Алгоритм, що наведений на (рис. 1) складається з двох блоків таких, як високоточне визначення значення шуканої фізичної величини, визначення поточних значень параметрів нестабільної ФП та блоку перевірки на метрологічну придатність сенсора, що структурований на два підблоки: придатність параметра  $S_l$  і параметра  $\Delta y$ .

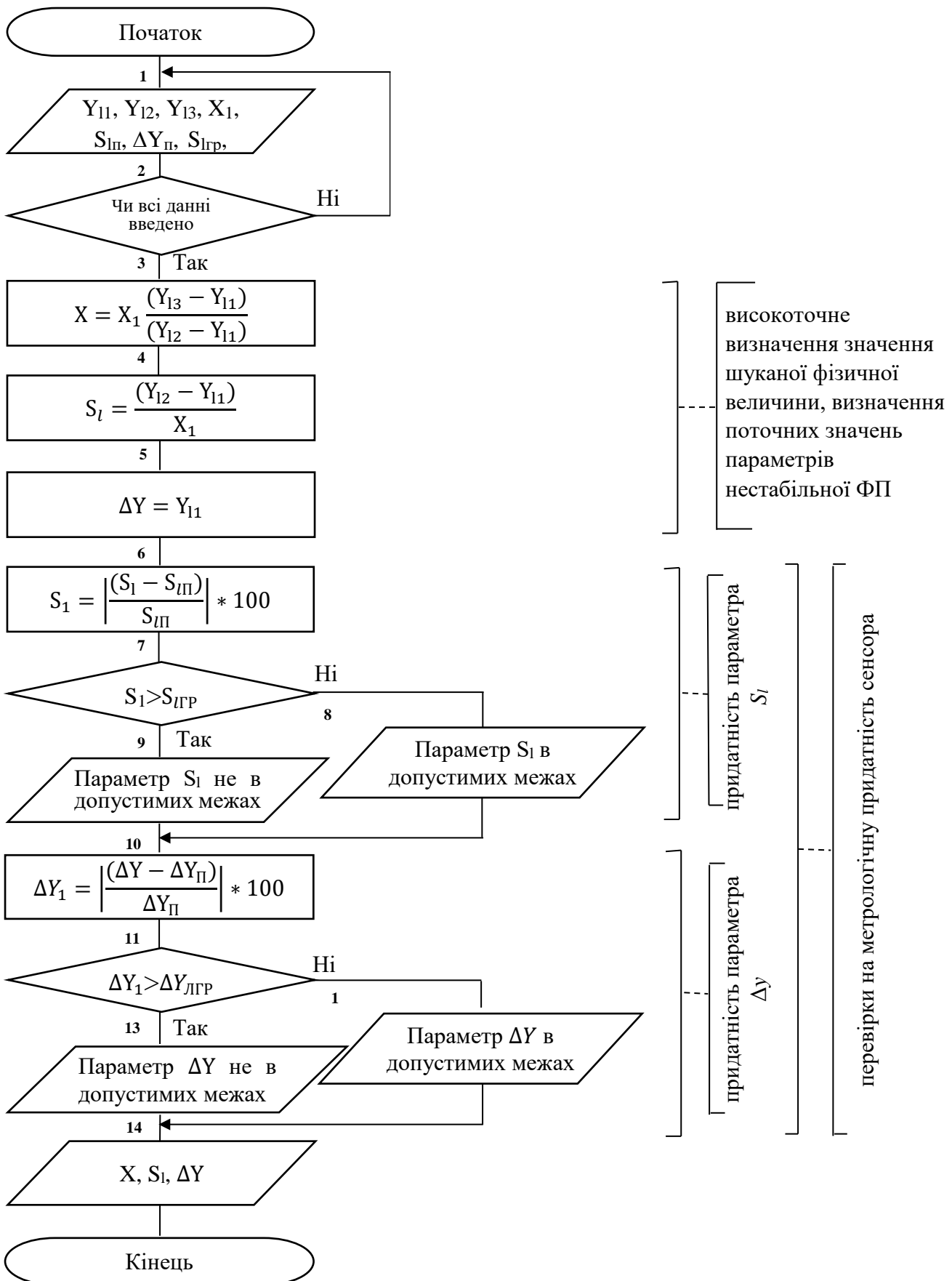


Рис. 1. Алгоритм  
 23

Відомо, що для обробки будь-якої інформації необхідно спочатку провести перевірку щодо внесення всіх необхідних даних, тобто заповнення всіх полів для вводу  $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $x_1$ ,  $S_{ln}$ ,  $\Delta y_n$ . Крім того, користувачу необхідно ввести допустимі відхилення параметрів  $S_{lzp}$  та  $\Delta y_{zrp}$ . Таким чином, згідно з запропонованим алгоритмом на першому та другому кроках передбачено введення даних та процедуру перевірки на введення непустих даних ( $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ,  $x_1$ ,  $S_{ln}$ ,  $\Delta y_n$ ,  $S_{lzp}$ ,  $\Delta y_{zrp}$ ). На другому кроці у випадку пустих полів буде з'являтися відповідне повідомлення системи. Третім кроком, що входить до складу першого блоку алгоритму, є визначення значення шуканої фізичної величини при нестабільній лінійній ФП згідно з рівняння надлишкових вимірювань. Наведене рівняння забезпечує автоматичне виключення систематичних складових похибок результату вимірювання: за рахунок операції віднімання вихідних значень ( $y_{11}$ ,  $y_{12}$ ,  $y_{13}$ ) – виключається адитивна складова похибки, а за рахунок ділення різниць відповідних вихідних сигналів – мультиплікативна складова. В результаті чого отримується значення шуканої ФВ, яке не залежить від змін параметрів функції перетворення. Четвертим та п'ятим кроками є визначення за рівнянням надлишкових вимірювань поточних значень відповідних параметрів нестабільної лінійної ФП –  $S_l$  та  $\Delta y$ . Слід зазначити, що параметр  $S_l$  представляє собою чутливість (крутизну) перетворення лінійної складової ФП, тобто є мультиплікативною складовою похибки, а  $\Delta y_n$  – зміщення ФП з урахуванням адитивної складової похибки.

Блок перевірки на метрологічну придатність сенсора (другий блок алгоритму) складається з перевірки на метрологічну придатність параметра  $S_l$  та параметру  $\Delta y$ . Перевірка на метрологічну придатність параметра  $S_l$  включає в себе наступні процедури: крок шість – введення додаткового параметру  $S_1$ , яке представляє собою відхилення знайденого параметра  $S_l$  (знайденого в кроці три) від його нормованого (паспортного) заданого значення  $S_{ln}$ , і яке виражене у відсотках; крок сім – порівняння отриманого значення параметру  $S_1$  з заданим граничним відхиленням параметра  $S_{lzp}$ , вираженим у відсотках. Далі, на основі порівняння отриманих результатів видається повідомлення про належність даного параметру до допустимих меж (крок вісім) або неналежність (крок дев'ять). Перевірка на метрологічну придатність параметра  $\Delta y$  включає в себе аналогічні попередні процедури: крок десять – введення додаткового параметру  $\Delta y_1$ , яке представляє собою відхилення знайденого параметра  $\Delta y$  (що наведено в кроці три) від його нормованого (паспортного) заданого значення  $\Delta y_n$ , і яке виражене у відсотках; крок одинадцять – порівняння отриманого значення параметру  $\Delta y_1$  з заданим граничним відхиленням параметра  $\Delta y_{zrp}$ , вираженим у відсотках та отримання інформації про належність даного параметру до допустимих меж (крок дванадцять) або неналежність (крок тринадцять). Виконання цих процедур по метрологічній придатності дозволяє визначити, який з параметрів зазнає більшого впливу від оточуючого середовища і який з цих параметрів виходить за зазначені межі допуску. При цьому особливу увагу слід приділити вибору граничних відхилень параметрів  $S_{lzp}$  і  $\Delta y_{zrp}$ . Це пов'язано з тим, що дані процедури безпосередньо впливають на метрологічну придатність сенсора в цілому.

Завершальним кроком алгоритму є отримання високоточного значення шуканої ФВ, яке не залежить від змін параметрів ФП під дією дестабілізуючих факторів, а також поточних значень параметрів ФП ( $S_l$ ,  $\Delta y$ ) (крок чотирнадцять).

Перевагою даного алгоритму є те, що він спрямований на отримання високоточного значення шуканої ФВ при нестабільній лінійній ФП, визначення поточних значень параметрів ФП ( $S_l$ ,  $\Delta y$ ), а також на встановлення належності або не належності параметрів  $S_l$ ,  $\Delta y$  до відповідних граничних меж допуску.

На основі наведеного алгоритму була розроблена відповідна комп'ютерна програма. Програма написана об'єктно-орієнтованою мовою програмування сценаріїв з синтаксисом – JavaScript. У програмному додатку був використаний гіпертекстовий процесор HTML.

Обчислення ЛФП

Файл | D:/КНУТД/АвторСвід/ЛФП/Лін.html

Сервисы Gmail YouTube Карты Editorial Manager® Submissions Новая вкладка

**Обчислення значення шуканої величини при лінійній функції перетворення**  
 $y_i = S_i x_i + \Delta y$

за допомогою методу надлишкових вимірювань:

$$\begin{cases} y_{i1} = \Delta y \\ y_{i2} = S_i x_1 + \Delta y \\ y_{i3} = S_i x_1 + \Delta y \end{cases}$$

Введіть вихідні дані сенсора  $y_{i(i)}$  :

$y_{i1}$ :   
 $y_{i2}$ :   
 $y_{i3}$ :

Введіть значення нормованої за значенням величини  $x_1$ :

$x_1$ :

Введіть паспортні данні сенсора ( $S_{in}$  та  $\Delta y_n$ ):

Значення параметру  $S_{in}$  =   
Значення параметру  $\Delta y_n$  =

Введіть значення допустимого відхилення параметру  $S_{igr}$  у відсотках (%)   
Введіть значення допустимого відхилення параметру  $\Delta y_{gr}$  у відсотках (%)

**Почати обчислення**

Значення шуканої величини дорівнює  $x_i$  =

Значення параметру  $S_i$  дорівнює =

Значення параметру  $\Delta y$  дорівнює =

Чи параметр  $S_i$  в межах допуску?   
Чи параметр  $\Delta y$  в межах допуску?

Рис. 2. Вікно для обчислень

Першим кроком програми є занесення вихідних даних сенсора  $y_{i(i)}$ . Для цього спочатку заносяться результати трьох вимірювань ( $y_{i1}$ ,  $y_{i2}$ ,  $y_{i3}$ ), що описують стан роботи сенсору в дискретні моменти часу та представляють собою систему рівнянь надлишкових вимірювань. Згідно із запропонованою системою рівнянь надлишкових вимірювань кожний такт вимірювання описує перетворення як шуканої фізичної величини (ФВ), так і нормованої за значенням величини. В комп'ютерній програмі нормована величина в лінійній ФП позначена змінною  $x_1$ . Дана нормована величина задається користувачем, а її величина обмежуються

максимальним значенням вхідної характеристики сенсора. Крім того, користувач вносить паспортні данні сенсора: параметр  $S_{ln}$  – чутливість (крутизна) перетворення лінійної складової ФП;  $\Delta y_n$  – зміщення ФП з урахуванням адитивної складової похибки. Далі необхідно ввести граничні значення відхилень заданих параметрів сенсора ( $S_{lep}$ ,  $\Delta y_{ep}$ ) у відсотках. Отримані значення відхилень параметрів сенсора від їх паспортних даних дозволяють оцінити ступінь придатності сенсора, тобто його метрологічну надійність.

Обчислення ЛФП

Файл | D:/КНУТД/АвторСвід/ЛФП/Лін.html

Сервисы Gmail YouTube Карты Editorial Manager® Submissions

**Обчислення значення шуканої величини при лінійній функції перетворення**  
 $y_i = S_i x_i + \Delta y$

за допомогою методу надлишкових вимірювань:

$$\begin{cases} y_{i1} = \Delta y \\ y_{i2} = S_i x_1 + \Delta y \\ y_{i3} = S_i x_i + \Delta y \end{cases}$$

Введіть вихідні дані сенсора  $y_{i(i)}$  :

$y_{i1}$ :

$y_{i2}$ :

$y_{i3}$ :

Введіть значення нормованої за значенням величини  $x_1$ :

$x_1$ :

Введіть паспортні данні сенсора ( $S_{ln}$  та  $\Delta y_n$ ):

Значення параметру  $S_{ln}$  =

Значення параметру  $\Delta y_n$  =

Введіть значення допустимого відхилення параметру  $S_{lep}$  у відсотках (%)

Введіть значення допустимого відхилення параметру  $\Delta y_{ep}$  у відсотках (%)

**Почати обчислення**

Значення шуканої величини дорівнює  $x_i$  =

Значення параметру  $S_i$  дорівнює =

Значення параметру  $\Delta y$  дорівнює =

Чи параметр  $S_i$  в межах допуску?

Чи параметр  $\Delta y$  в межах допуску?

Рис. 3. Результат обчислення

Завдяки обробці результатів за рівнянням надлишкових вимірювань забезпечується автоматичне виключення систематичної складової похибки результату вимірювання, що обумовлена зміною параметрів функції перетворення під дією дестабілізуючих факторів. Цю особливість було покладено в основу програмного коду для визначення значення шуканої фізичної величини.

Після внесення всіх необхідних даних, потрібно натиснути на кнопку «Визначити» (рис. 2).

За результатами обчислення програми отримаємо: 1) значення шуканої ФВ, яке не залежить від змін параметрів функції перетворення; 2) поточні значення параметрів нестабільної лінійної ФП ( $S_l$ ,  $\Delta y$ ); 3) інформацію про попадання або не попадання параметрів  $S_l$  та  $\Delta y$  у відповідні межі допуску.

Результат обчислення наведено на (рис. 3).

В прикладі розрахунку (рис. 3) знайдено: 1) значення шуканої фізичної величини при нестабільній лінійній ФП; 2) поточні значення параметрів нестабільної лінійної ФП ( $S_l$  та  $\Delta y$ ); 3) інформація щодо знаходження в межах допустимих значень параметрів ( $S_l$  та  $\Delta y$ ).

За результатами розрахунку значення параметру  $S_l$  виходить за межі свого допустимого значення, що є сигналом про метрологічну ненадійність сенсора.

Також, в програмі передбачено оновлення форми, що відбувається після натискання на кнопку «Оновити», що знаходиться внизу сторінки (рис. 3).

Фрагмент коду програми наведено нижче:

```
function maxval(obj)
{
var a = Number(obj.num1.value);
var b = Number(obj.num2.value);
var c = Number(obj.num3.value);
var d = Number(obj.num4.value);
var sp = Number(obj.num5.value);
var yp = Number(obj.num6.value);
var sg = Number(obj.num7.value);
var yg = Number(obj.num8.value);
var x;
if (!a) {alert ("Введіть значення ул1"); return a}
if (!b) {alert ("Введіть значення ул2");return b}
if (!c) {alert ("Введіть значення ул3");return c}
if (!d) {alert ("Введіть значення x1");return d}
if (!sp) {alert ("Введіть паспортне значення Sln");return sp}
if (!yp) {alert ("Введіть паспортне значення дуп");return yp}
if (!sg) {alert ("Введіть граничне значення Slrp");return sg}
if (!yg) {alert ("Введіть граничне значення дугр");return yg}
x=d*(c-a)/(b-a);
s=(b-a)/d;
s1=(Math.abs(s-sp)/sp)*100;
if (s1>sg) {s1="параметр НЕ в межах допуску"} else {s1="параметр в межах допуску"};
dy=(Math.abs(a-yp)/yp)*100;
if (dy>yg) {dy="параметр НЕ в межах допуску"} else {dy="параметр в межах допуску"};
obj.res.value=x.toFixed(4);
obj.p1.value=s.toFixed(4);
```



```
obj.sres.value=s1;  
obj.yres.value=dy;  
obj.p3.value=a;  
}
```

**Висновки.** Запропонований алгоритм і відповідна комп'ютерна програма дозволяє підвищити точність вимірювання шуканої фізичної величини при нестабільній лінійній ФП шляхом використання рівняння надлишкових вимірювань, а також визначати поточні значення параметрів лінійної функції перетворення та робити метрологічну оцінку параметрів ФП сенсора. Отримання поточних значень параметрів ФП сенсора та визначення їх належності до встановлених меж допуску, дає підстави для визначення придатності сенсора та планування організаційно-технічних заходів щодо його заміни. Таким чином, запропонований алгоритм і відповідна програма продемонстрували високу ефективність у проведенні розрахункових експериментів та дослідженні методу надлишкових вимірювань при лінійній нестабільній функції перетворення сенсора.

Однак, не зважаючи на практичну доцільність запропонованого алгоритму і комп'ютерної програми, важливо відмітити, що такі високоточні результати отримуються у випадку, коли за час проведення тактів вимірювань зміни параметрів ФП залишаються сталими. Таким чином, вирішення питання по зняттю цих обмежень є перспективним і породжує цікавий напрям подальших досліджень і розробок.

## References

## Література

1. Zhen Su, Xiaolong Liang (2011). Computation and analysis on the Volt-Ampere characteristics of photodiode sensor under the certain conditions. In: *Proc. of the 4th International Congress on Image and Signal Processing*. P. 2593–2597. URL: <http://toc.proceedings.com/13473/webtoc.pdf>.
2. Abbas Rahimi, Pentti Kanerva, Luca Benini, Jan M. Rabaey (2019). Efficient Biosignal Processing Using Hyperdimensional Computing: Network Templates for Combined Learning and Classification of ExG Signals. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 107, No. 1, P. 123–143.
3. Rishan, O. Y., Matvienko, N. V. (2014). Strukturni metody pidvyshchennia tochnosti vymiriuvan v avtomatychnykh systemakh dozuvannia sypkykh materialiv z vykorystanniam mahnitopruzhykh pervynnykh vymiriuvalnykh peretvoriuvachiv zussyllia [Structural methods for improving the accuracy of measurements in automatic dosing systems for bulk materials using magnetoelastic primary measuring transducers of force]. *Nauka tekhnologii innovatsii – Science of innovation technology*, № 4, P. 47–51. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI\\_2014\\_4\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI_2014_4_11) [in Ukrainian].
4. Yanenko, O. P., Mikhailenko, S. V., Lisnichuk, A. S. (2014). Radiometrychnyi moduliatsiynyi vymiriuvach intensyvnosti optychnoho vuprominiuvannia [Radiometric modulation meter of optical radiation intensity]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy «KPI» Serii: Radiotekhnika. Radioaparatabuduvannia – Bulletin*
1. Zhen Su, Xiaolong Liang. Computation and analysis on the Volt-Ampere characteristics of photodiode sensor under the certain conditions. In: *Proc. of the 4th International Congress on Image and Signal Processing*. 2011. P. 2593–2597. URL: <http://toc.proceedings.com/13473/webtoc.pdf>.
2. Abbas Rahimi, Pentti Kanerva, Luca Benini, Jan M. Rabaey. Efficient Biosignal Processing Using Hyperdimensional Computing: Network Templates for Combined Learning and Classification of ExG Signals. *Proceedings of the IEEE*. 2019. Vol. 107, No. 1. P. 123–143.
3. Рішан О. Й., Матвієнко Н. В. Структурні методи підвищення точності вимірювань в автоматичних системах дозування сипких матеріалів з використанням магнітопружних первинних вимірювальних перетворювачів зусилля. *Наука технології інновації*. 2014. № 4. С. 47–51. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI\\_2014\\_4\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI_2014_4_11).
4. Яненко О. П., Михайленко С. В., Лісничук А. С. Радіометричний модуляційний вимірювач інтенсивності оптичного випромінювання. *Вісник Національного технічного університету України «КПІ» Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування*.

- of the National Technical University of Ukraine "KPI" Series: Radio Engineering. Radio engineering, № 56, P. 96–101. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI\\_rr\\_2014\\_56\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2014_56_11) [in Ukrainian].
5. Ana Luz Muñoz Zurita, Joaquín Campos Acosta, Alejandro Ferrero Turrión and Alicia Pons Aglio (2012). Photodiodes as Optical Radiation Measurement Standards. *Intech. Open science | Open minds*. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/51462>.
6. Shi, B., Feng, S., Zhang, Y., Bai, K., Xiao, Y., Shi, L., Guo, C. (2019). Junction Temperature Measurement Method for SiC Bipolar Junction Transistor Using Base–Collector Voltage Drop at Low Current. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(10), 10136. DOI:10.1109/TPEL.2019.2894346.
7. Cherepanskaya, I. Y., Bezvesilna, O. M., Sazonov, A. Y. (2016). Do pytannia pidvyshchennia tochnosti kutovykh vymiriuvan honiometrychnymy systemamy [On the issue of increasing the accuracy of angular measurements by goniometric systems]. *VISNYK ZhDTU – BULLETIN of ZHTU*, № 1 (76), P. 92–99. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu\\_2016\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2016_1_12) [in Ukrainian].
8. Hidalgo-López, J. A., Fernández-Ramos, R., Romero-Sánchez, J., Martín-Canales, J. F., Ríos-Gómez, F. J. (2018). Improving Accuracy in the Readout of Resistive Sensor Arrays. *Journal of Sensors*, Vol. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9735741>.
9. Kondratov, V. T. (2010). Metody izbytochnykh izmerenij: osnovnye opredelenija i klassifikacija [Methods of redundant measurements: basic definitions and classification]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Bulletin of the Khmelnytsky National University. Technical sciences*, № 3, P. 220–232. URL: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010\\_3/47kon.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010_3/47kon.pdf) [in Russian].
10. Shcherban', V., Korogod, G., Chaban, V., Kolysko, O., Shcherban', Yu., Shchutska, G. (2019). Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 98, № 2/5, P. 16–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>.
11. Shcherban', V., Korogod, G., Kolysko, O., Kolysko, M., Shcherban', Yu., Shchutska, G. (2020). Computer simulation of multiple measurements of logarithmic transformation function by two approaches. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(4(108)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218517>.
2014. № 56. С. 96–101. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI\\_rr\\_2014\\_56\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2014_56_11).
5. Ana Luz Muñoz Zurita, Joaquín Campos Acosta, Alejandro Ferrero Turrión and Alicia Pons Aglio. Photodiodes as Optical Radiation Measurement Standards. *Intech. Open science | Open minds*. 2012. URL: <http://dx.doi.org/10.5772/51462>.
6. Shi B., Feng S., Zhang Y., Bai K., Xiao Y., Shi L., Guo C. Junction Temperature Measurement Method for SiC Bipolar Junction Transistor Using Base–Collector Voltage Drop at Low Current. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2019. 34(10). 10136. DOI:10.1109/TPEL.2019.2894346.
7. Черепанська І.Ю., Безвесільна О.М., Сазонов А.Ю. До питання підвищення точності кутових вимірювань гоніометричними системами. *ВІСНИК ЖДТУ*. 2016. № 1 (76). С. 92–99. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu\\_2016\\_1\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2016_1_12).
8. Hidalgo-López J. A., Fernández-Ramos R., Romero-Sánchez J., Martín-Canales J. F., Ríos-Gómez F. J. Improving Accuracy in the Readout of Resistive Sensor Arrays. *Journal of Sensors*. 2018. Vol. 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9735741>.
9. Кондратов В. Т. Методы избыточных измерений: основные определения и классификация. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2010. № 3. С. 220–232. URL: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010\\_3/47kon.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/2010_3/47kon.pdf).
10. Shcherban' V., Korogod G., Chaban V., Kolysko O., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 98. № 2/5. С. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>.
11. Shcherban' V., Korogod G., Kolysko O., Kolysko M., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer simulation of multiple measurements of logarithmic transformation function by two approaches. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020.

12. Shcherban', V., Korogod, G., Kolysko, O., Kolysko, M., Shcherban', Yu., Shchutska, G. (2021). Computer simulation of logarithmic transformation function to expand the range of high-precision measurements. *Eastern-European Journal of Enterprise: Information and controlling system*, Vol. 2, No. 9 (110), P. 27–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227984>.
13. Shcherban', V., Korogod, G., Kolysko, O., Volivach, A., Shcherban', Y., Shchutska, G. (2022). Computer modeling in the study of the effect of normalized quantities on the measurement accuracy of the quadratic transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, Iss. 5 (116), P. 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254337>.
14. A.s. Комп'ютерна програма «Визначення шуканої фізичної величини і контроль параметрів нестабільної лінійної функції перетворення сенсора», скорочена назва «Визначення значення фізичної величини і контроль параметрів LFP» [Computer program "Determination of the desired physical quantity and control of the parameters of the unstable linear transformation function of the sensor", abbreviated name "Determination of the value of the physical quantity and control of the LFP parameters"]. H. O. Korohod, A. P. Volivach. No. 110530; date of registration December 23, 2021 [in Ukrainian].
15. A.s. Літературно письмовий твір наукового характеру з ілюстрацією "Алгоритм визначення шуканої фізичної величини і параметрів нестабільної лінійної функції перетворення сенсора" [Literary written work of a scientific nature with an illustration "Algorithm for determining the desired physical quantity and parameters of the unstable linear function of the transformation of the sensor"]. H. O. Korohod, A. P. Volivach., N. V. Chuprinka. No. 110220; date of registration December 13, 2021 [in Ukrainian].
- No. 6 (4(108), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218517>.
12. Shcherban' V., Korogod G., Kolysko O., Kolysko M., Shcherban' Yu., Shchutska G. Computer simulation of logarithmic transformation function to expand the range of high-precision measurements. *Eastern-European Journal of Enterprise: Information and controlling system*. 2021. Vol. 2, No. 9 (110). P. 27–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227984>.
13. Shcherban' V., Korogod G., Kolysko O., Volivach A., Shcherban' Y., Shchutska G. Computer modeling in the study of the effect of normalized quantities on the measurement accuracy of the quadratic transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 2, No. 5(116). P. 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254337>.
14. А.с. Комп'ютерна програма «Визначення шуканої фізичної величини і контроль параметрів нестабільної лінійної функції перетворення сенсора», скорочена назва «Визначення значення фізичної величини і контроль параметрів ЛФП». Г. О. Корогод, А. П. Волівач. № 110530; дата реєстрації 23 грудня 2021 р.
15. А.с. Літературно письмовий твір наукового характеру з ілюстрацією "Алгоритм визначення шуканої фізичної величини і параметрів нестабільної лінійної функції перетворення сенсора". Г. О. Корогод, А. П. Волівач, Н. В. Чупринка. № 110220; дата реєстрації 13 грудня 2021 р.

**KOROHOD HANNA**

PhD, Associate Professor

Department of Computer Science

Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine

<http://orcid.org/0000-0003-1670-3125>

Scopus Author ID: 6504483409, 57686715700

E-mail: [5618607@ukr.net](mailto:5618607@ukr.net)

**VOLIVACH ANTONINA**

PhD, Senior Lecturer

Department of Computer Science

Kyiv National University of Technologies  
and Design, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-7119-7774>

E-mail: [volivach.ap@knuud.com.ua](mailto:volivach.ap@knuud.com.ua)

**KOROHOD H. O., VOLIVACH A. P.**

*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine*

**ALGORITHM AND COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINATION  
OF HIGH PRECISION VALUE OF PHYSICAL QUANTITY AND PARAMETERS  
OF UNSTABLE TRANSFORMATION FUNCTION**

*The purpose of the work is the development of an algorithm and a computer program aimed at obtaining a high-precision value of a physical quantity with an unstable transformation function of the sensor, determining the current values of the parameters of the transformation function and establishing their compliance with tolerance limits.*

*Methodology: theory and methods of redundant measurements of physical quantities for the correct use of the methodology of redundant measurements, theory of errors for determining and estimating errors, theory of algorithms for the structured construction of algorithms, analytical methods of analysis of signal transformation processes, methods of mathematical modeling and numerical methods for solving nonlinear equations quantities and systems of equations of quantities, methods of computer analysis for the logical construction of software components.*

*Results: the proposed algorithm and the computer program built on its basis for processing the obtained measurement results allow: 1) to determine the high-precision value of the desired physical quantity, which does not depend on changes in the parameters of the transformation function, based on the equations of redundant measurements; 2) determine the current values of the parameters of the unstable transformation function; 3) to set qualitative indicators of deviations of each of the parameters of the sensor transformation function.*

*Scientific novelty: the developed algorithm for the operation of redundant measurements with a linear and unstable transformation function and its computer implementation create opportunities for conducting a calculation experiment and further research of its results.*

*Practical significance: the implementation of the algorithm and computer program using the method of redundant measurements allows to determine the high-precision value of the desired physical quantity and directly carry out effective studies of redundant measurements with an unstable transformation function of the sensor. In addition, due to the determination of the current values of the parameters of the transformation function, it becomes possible to determine the metrological reliability of the sensor with given deviations.*

*Keywords: algorithm; transformation function instability; redundant measurements; computer program; transformation function parameters.*