

УДК 510.5

КОРОГОД Г. О., ЯХНО В. М.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

АЛГОРИТМ ТА КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОКОТОЧНОГО ЗНАЧЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ВЕЛИЧИНИ ТА МЕТРОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ

Мета. Розбити алгоритм та відповідну комп'ютерну програму для визначення високоточного значення величини, що вимірюється сенсором з квадратичною функцією перетворення, а також для проведення метрологічного контролю поточних значень параметрів сенсора.

Методика. Для коректного представлення процесу перетворення сигналів в сенсорі та оцінки похибок були застосовані методи надлишкових вимірювань фізичних величин, аналітичні методи аналізу, методи математичного моделювання. При побудові алгоритму застосовувався метод частинних цілей. При програмуванні застосовувався статичний метод (метод класу).

Результати. Запропоновані алгоритм та розроблена на його основі комп'ютерна програма дозволяють: 1) визначити високоточне значення шуканої фізичної величини, яке не залежить від змін параметрів функції перетворення (за цикл вимірювання); 2) визначити поточні значення параметрів нестабільної функції перетворення; 3) встановити наявність відхилень параметрів функції перетворення сенсора від їх нормованих значень з заданою похибкою.

Наукова новизна. Розроблений алгоритм надлишкових вимірювань при квадратичній функції перетворення сенсора і його комп'ютерна реалізація моделюють вимірювальний експеримент з можливістю метрологічного контролю сенсора.

Практична значимість. Розроблений алгоритм та комп'ютерна програма дозволяють отримувати високоточне значення шуканої фізичної величини при нелінійній функції перетворення без додаткових заходів по її лінеаризації. Крім того, отримане значення шукане величини, що не залежить від змін параметрів квадратичної функції перетворення сенсора, дає можливість застосовувати даний підхід до недорогих сенсорів. Також, стає можливим визначення метрологічної надійності сенсора із заданими відхиленнями параметрів що забезпечує безпосередній метрологічний контроль сенсора без додаткових заходів по його повірці.

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

Вступ. Отримання високоякісних товарів та виробів є на сьогодні основним критерієм розвитку сучасних технологій і виробництва. Важливою передумовою в цього виступає достовірність отриманої інформації і точність вимірювання. Тож перед науковцями і інженерами стоять задачі по вдосконаленню засобів та методів вимірювання при одночасному зниженні витрат на їх реалізацію. Оскільки сенсор є першим елементом вимірювального каналу, який перетворює вхідну вимірювальну фізичну величину у вихідний електричний сигнал, то від точності такого перетворення буде залежати точність подальшого вимірювання. Тож питання підвищення точності сенсора є основною умовою підвищення точності вимірювань. Основними чинниками, які знижують точність сенсора є нелінійність його функції перетворення і відхилення параметрів від номінальних значень під впливом оточуючого середовища.

Таким чином, актуальними слід вважати дослідження, які направлені на визначення високоточного значення вимірювальної величини сенсором з нелінійною функцією перетворення та визначення поточних параметрів сенсора.

Питанням підвищення точності присвячено ряд світових наукових досліджень. Так в роботі [1] було запропоновано певний алгоритм обчислювань для покращення вихідного сигналу сенсора. Для підвищення точності за рахунок зменшення впливу адитивної складової похибки на результат вимірювання В роботі [2] підвищення точності відбувалося за рахунок

відповідної обробки сигналів опорного і вимірювального фотодіодів, що призводить до зменшення впливу їх темнових струмів. Незважаючи на практичну значущість отриманих результатів в достатній мірі не розглядалися питання, що пов'язані з нестабільністю параметрів функції перетворення сенсора. Для вирішення задачі щодо зменшення похибки від нестабільності функції перетворення можуть бути рекомендовані методи надлишкових вимірювань, теоретичні аспекти яких було розглянуто в роботі [3]. Дослідження методів надлишкових вимірювань було наведено в роботах [4–7], в яких продемонстровано отримання результату вимірювання, яке не залежить від параметрів функції перетворення сенсора та їх відхилень від номінальних значень. В роботах [8, 9] можливість моделювання сенсора з лінійною функцією перетворення при застосуванні надлишкових вимірювань була реалізована в комп'ютерній програмі по відповідному алгоритму. Однак, науковий інтерес представляє підвищення точності сенсора саме з нелінійною функцією перетворення і можливістю визначення поточних значень його параметрів.

Таким чином, необхідність у моделюванні надлишкових вимірювань при нелінійній функції перетворення з можливістю метрологічного контролю сенсора потребує подальших досліджень.

Постановка завдання. Метою роботи є розробка алгоритму та комп'ютерної програми для визначення високоточного значення вимірювальної величини та поточних значень параметрів нелінійної функції перетворення сенсора та встановлення їх належності до меж допуску. Це дозволить користувачу моделювати вимірювальний експеримент при квадратичній функції перетворення сенсора по визначенню значення вимірювання фізичної величини, яке не залежить від параметрів функції перетворення та їх відхилень від номінальних значень. Також, в програмі передбачається можливість для встановлення метрологічної надійності сенсора в залежності від встановлених меж допуску кожного із параметрів функції перетворення.

Результати дослідження. В якості нелінійної функції перетворення сенсора в даній роботі було обрано квадратичний її вид. Як відомо, процес перетворення вхідного сигналу від об'єкта дослідження на аналоговий, який відбувається в сенсорі з квадратичною функцією перетворення, описується наступним рівнянням величин:

$$y'_H = S'_H x_i^2 + S'_L x_i + \Delta y', \quad (1)$$

де y'_{Hj} – вихідний сигнал сенсора;

x_i – шукана фізична величина величини;

S'_H, S'_L – крутість перетворення відповідно нелінійної і лінійної складової функції перетворення;

$\Delta y'$ – адитивна складової похибки (зміщення функції перетворення).

Оскільки функція перетворення (ФП) є нелінійною, то при класичному підході необхідно проходити додаткові заходи по її лінеаризації, що спричиняю появу додаткових похибок. Крім того, з часом відбувається відхилення параметрів (S'_H, S'_L та Δy) від їх номінальних значень, що також призводить до зниження точності вимірювань, а іноді і до недостовірності отриманих результатів вимірювання.

Тому, для вирішення комплексної задачі по підвищенню точності при нелінійній ФП сенсора з можливістю проведення метрологічного контролю були використані методи надлишкових вимірювань. В основі цих методів лежить формування додаткових тактів вимірювання, в яких порід з шуканою величиною вимірюються декілька нормованих величин, однієї фізичної природи з шуканою. Всі такти вимірювання описуються відповідними рівняннями величин, які складають відповідну систему. Причому кількість таких тактів вимірювання повинна бути не меншою від кількості невідомих параметрів в функції

перетворення сенсора. В результаті рішення такої систем величин отримують рівняння надлишкових вимірювань, яке не залежить від параметрів ФП.

Таким чином, оскільки ФП (1) має 4 параметри ($x_i, S'_H, S'_L, \Delta y$), то формується система, що має 5 рівнянь. Для формування додаткових тактів були використані нормовані величини x_1 та x_2 . В результаті була отримана система нелінійних рівнянь величин, яка має вид:

$$\begin{cases} y_{H1} = \Delta y; \\ y_{H2} = S_H x_1^2 + S_L x_1 + \Delta y; \\ y_{H3} = S_H x_2^2 + S_L x_2 + \Delta y; \\ y_{H4} = S_H (x_i + x_1)^2 + S_L (x_i + x_1) + \Delta y; \\ y_{H5} = S_H (x_i + x_2)^2 + S_L (x_i + x_2) + \Delta y. \end{cases} \quad (2)$$

В результаті рішення системи (2) отримують рівняння шуканої величини

$$x_i = x_1 x_2 \frac{(y_{H5} - y_{H4}) - (y_{H3} - y_{H2})}{(x_2 + x_1)(y_{H3} - y_{H2}) - (x_2 - x_1)(y_{H2} + y_{H3} - 2y_{H1})} \quad (3)$$

та параметрів ФП:

$$S_H = \frac{x_2 (y_{H2} - y_{H1}) - x_1 (y_{H3} - y_{H1})}{x_1 x_2 (x_1 - x_2)}, \quad (4)$$

$$S_L = \frac{x_2^2 (y_{H1} - y_{H2}) - x_1^3 (y_{H3} - y_{H1})}{x_1 x_2 (x_1 - x_2)}, \quad (5)$$

$$\Delta y = y_{H1}. \quad (6)$$

Як видно з рівняння (3), отриманий результат шуканої величини x_i не містить параметрів (S'_H, S'_L та Δy), тобто результат не залежить від цих параметрів та їх відхилень від номінальних значень. На основі рівнянь (4)–(6) стає можливим визначати поточні значення параметрів ФП, що дає підстави для проведення подальшого метрологічного контролю.

Для представлення можливості моделювання представленого підходу було розроблено алгоритм і відповідна комп'ютерна програма визначення шуканої фізичної величини [10, 11].

Запропонований алгоритм (рис. 1) складається з двох основних блоків: першого блоку, в якому здійснюється високоточне визначення значення шуканої фізичної величини при нелінійній і нестабільній ФП, визначення поточних значень параметрів нестабільної ФП та другого блоку перевірки на метрологічну придатність сенсора, що складається з трьох підблоків: визначення придатності параметра S'_H , параметра S'_L і параметра ΔY .

Для обробки введеної інформації необхідно провести перевірку на непусти поля. Таким чином, згідно з запропонованим алгоритмом на першому та другому кроках передбачено введення даних та процедуру перевірки на введення непустих даних ($Y_{Л1}, Y_{Л2}, Y_{Л3}, Y_{Л4}, Y_{Л5}, X_1, X_2, S_{НП}, S_{ЛП}, \Delta Y_{П}, S_{НГР}, S_{ЛГР}, \Delta Y_{ГР}$). На другому кроці (у випадку наявності пустих полів) буде з'являтися відповідне повідомлення системи. Крім того, особливу увагу слід приділити вибору граничних відхилень параметрів $S_{НГР}, S_{ЛГР}$ і $\Delta Y_{ГР}$, оскільки ці параметри безпосередньо впливають на метрологічну придатність сенсора. Третім кроком, що входить до складу першого блоку алгоритму, є визначення значення шуканої фізичної величини при нестабільній квадратичній ФП згідно з рівняння надлишкових вимірювань. Обробка результатів за наведеним рівняннями надлишкових вимірювань дозволяє отримати значення шуканої фізичної величини, яка приведене до входу сенсора, що забезпечує лінійну залежність результату вимірювання від шуканої величини та усуває необхідність у проведенні

додаткових заходів по лінеаризації нелінійної функції. Крім того, отриманий результат шуканої величини не залежить від параметрів S_H , S_L і ΔY функції перетворення: завдяки операції віднімання у чисельнику та знаменнику виключається адитивна складова похибки вимірювання (ΔY), а завдяки операції ділення виключається мультиплікативна складова систематичної похибки (S_H , S_L). Кроком чотири, п'ять і шість є визначення за рівнянням надлишкових вимірювань поточних значень відповідних параметрів нестабільної лінійної ФП (S_H , S_L та ΔY). Результати цих кроків дозволяють контролювати стан сенсору й тим підвищувати точність вимірювання.

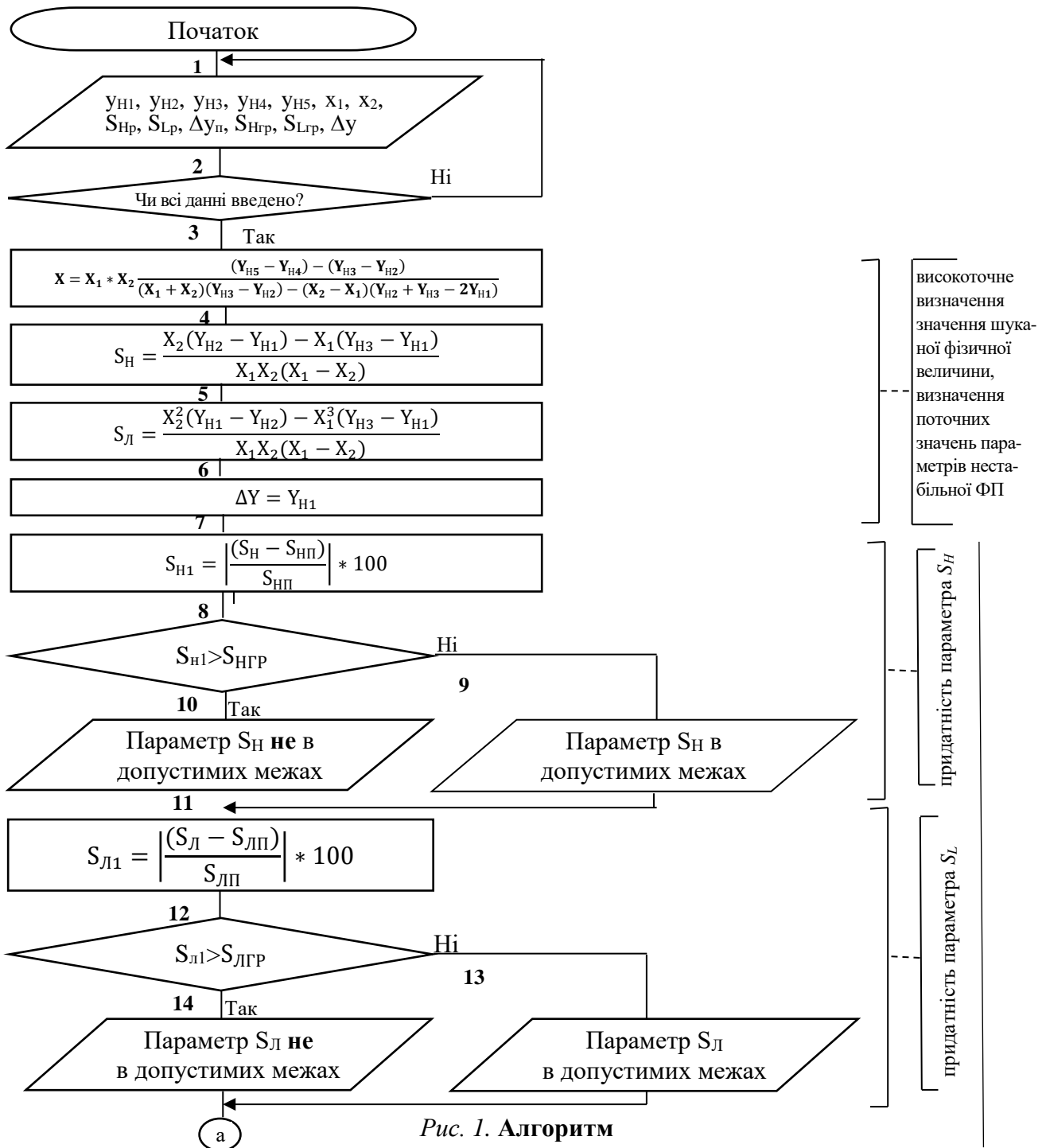


Рис. 1. Алгоритм

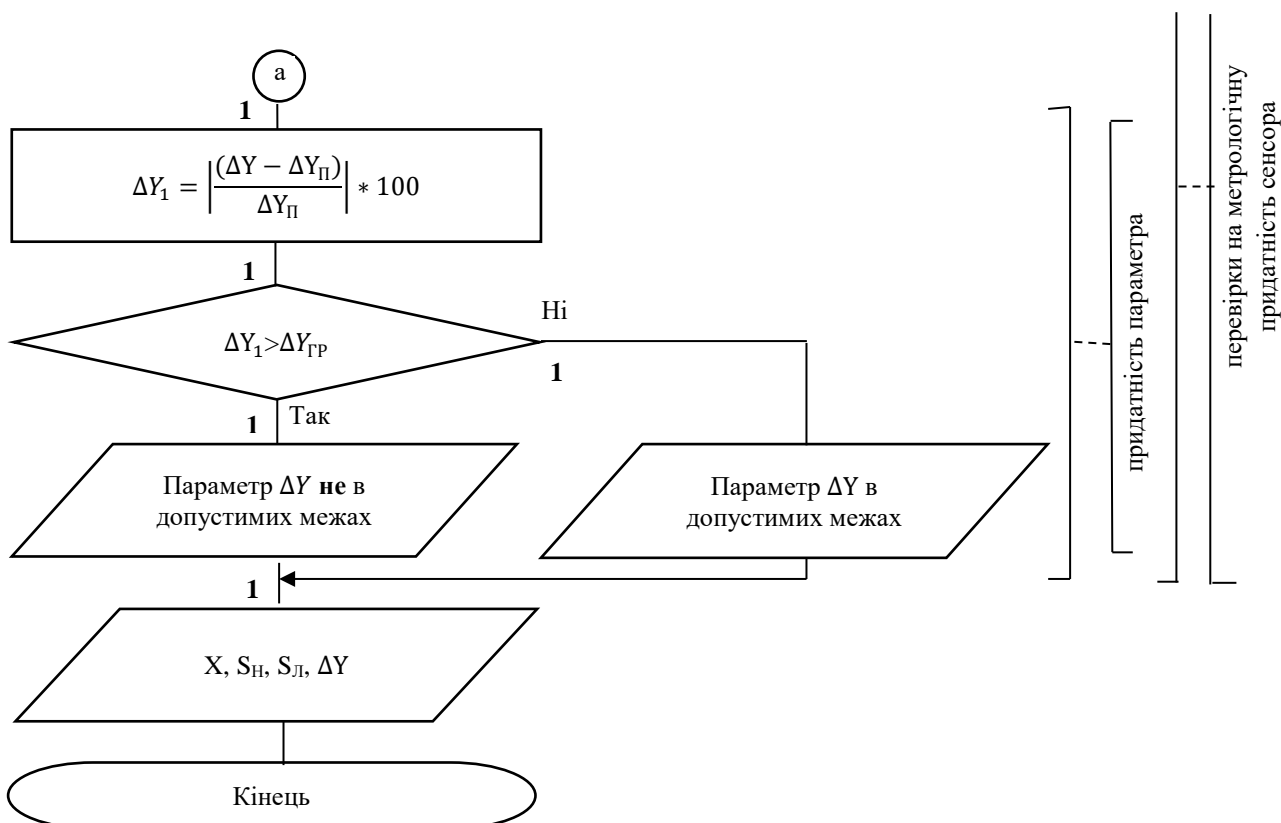


Рис. 1. Алгоритм (продовження)

Блок перевірки на метрологічну придатність сенсора (другий блок алгоритму) складається з перевірки на метрологічну придатність знайдених за рівняннями надлишкових вимірювань параметрів S_H , S_L і ΔY .

Перевірка на метрологічну придатність параметра S_H включає в себе декілька процедур. Спочатку (крок сім) вводиться додатковий параметр S_{H1} , який представляє собою відхилення знайденого параметра S_H (знайденого в кроці чотири) від його нормованого (паспортного) заданого значення $S_{Hп}$ і яке виражене у відсотках. На восьмому кроці здійснюється порівняння отриманого значення параметру S_{H1} з заданим граничним відхиленням параметра $S_{Hгр}$, вираженим у відсотках. У результаті порівняння цих значень (S_H та $S_{Hгр}$) видається повідомлення про належність даного параметру до допустимих меж (крок дев'ять) або неналежність (крок десять).

Перевірка на метрологічну придатність параметра S_L аналогічна попереднім процедурам: вводиться додатковий параметр S_{L1} (крок одинадцять), який представляє собою відхилення знайденого параметра S_L (що наведено в кроці п'ять) від його нормованого (паспортного) заданого значення $S_{Lп}$, і яке виражене у відсотках. Далі (крок дванадцять) здійснюється порівняння отриманого значення параметру S_{L1} з заданим граничним відхиленням параметра $S_{Lгр}$, вираженим у відсотках. Після порівняння отриманих значень (S_{L1} та $S_{Lгр}$) видається інформації про належність даного параметру до допустимих меж (крок тринадцять) або неналежність (крок чотирнадцять).

Перевірка на метрологічну придатність параметра ΔY включає в себе аналогічні попереднім процедури. Крок п'ятнадцять – введення додаткового параметру ΔY_1 , яке представляє собою відхилення знайденого параметра ΔY (що наведено в кроці шість) від його нормованого (паспортного) заданого значення $\Delta Y_п$, і яке виражене у відсотках. Крок шістнадцять – порівняння отриманого значення параметру ΔY_1 з заданим граничним

відхиленням параметра $\Delta Y_{гр}$, вираженим у відсотках, та отримання інформації про належність даного параметру до допустимих меж (крок сімнадцять) або неналежність (крок вісімнадцять). В результаті виконання кроків в блоці два (блок перевірки на метрологічну придатність сенсора) визначається який з цих параметрів виходить за зазначені межі допуску.

Завершальним кроком алгоритму є отримання високоточного значення шуканої ФВ, яке приведене до входу і не залежить від змін параметрів ФП під дією дестабілізуючих факторів. Крім того, виводяться поточні значення параметрів квадратичної ФП ($S_H, S_L, \Delta Y$) (крок дев'ятнадцять).

Перевагою даного алгоритму є те, що він спрямований на отримання високоточного значення шуканої ФВ при нестабільній квадратичній ФП, приведеного до входу і не залежить від параметрів ФП. Також, алгоритм дозволяє визначити поточні значення параметрів ФП ($S_H, S_L, \Delta Y$) і встановити належність або не належність знайдених параметрів ($S_H, S_L, \Delta Y$) до відповідних граничних меж допуску. Це є підставою для метрологічної оцінки сенсора.

Застосування даного алгоритму дозволяє підвищити точність вимірювання шуканої фізичної величини при нестабільній квадратичній ФП без використання додаткових заходів по її лінеаризації за рахунок використання рівняння надлишкових вимірювань. Крім того, результати вимірювання дозволяють планувати і розробляти організаційно-технічні заходи щодо заміни сенсора.

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

В програмі для обчислення як шуканої фізичної величини (ФВ) так і параметрів квадратичної ФП спочатку заносяться результати п'яти вимірювань, що представляють собою систему рівнянь надлишкових вимірювань, розділених в часі. Кожне з вимірювань описує стан і роботу сенсора в дискретні моменти часу. Згідно із запропонованою системою рівнянь надлишкових вимірювань кожний такт вимірювання описує перетворення як шуканої фізичної величини (ФВ), так і нормованих за значенням величин, значення яких пов'язані між собою за законом арифметичної прогресії.

У вікні програми, що відкривається, необхідно занести значення вихідних даних сенсора $u_{(i)}$: $u_{11}, u_{12}, \dots, u_{15}$. Далі заповнити нормовані за значенням величини x_1 та x_2 і паспортні данні сенсора ($S_{Hn}, S_{Ln}, \Delta u_n$), а також значення граничних відхилень параметрів ($S_{Hгр}, S_{Lгр}, \Delta u_{гр}$) у відсотках.

Отримані значення відхилень параметрів сенсора від їх паспортних даних дозволяють оцінити метрологічну надійність сенсора, тобто ступінь його придатності.

Обробка результатів за рівнянням надлишкових вимірювань дозволяє отримати значення шуканої ФВ, яке приведене до входу сенсора, та забезпечити лінійну залежність результату вимірювання від шуканої величини. Такий підхід забезпечить автоматичне виключення систематичних складових похибок результату вимірювання, що обумовлені зміною параметрів функції перетворення під дією дестабілізуючих факторів. Тобто, за рахунок операції віднімання вихідних значень сенсора – виключається адитивна складова похибки, а за рахунок ділення різниць відповідних вихідних сигналів – мультиплікативна складова. Зазначені особливості було покладено в основу програмного коду для визначення значення шуканої фізичної величини при нестабільній квадратичній ФП.

Результатом програми є отримання високоточного значення шуканої ФВ, яке не залежить від змін параметрів ФП під дією дестабілізуючих факторів. Крім того, запропонований програмний код дозволяє визначити поточні значення параметрів ФП ($S_H, S_L, \Delta u$), а також зробити користувачу висновок про придатність сенсора. Результат обчислення наведено на (рис. 2).

Обчислення квадратичної ФП

Файл | D:\... /КвадрФП/Квадратична.html

Сервисы Gmail YouTube Карты Editorial Manager® Submissions

Обчислення значення шуканої величини при квадратичній функції перетворення (ФП)

$$y_n = S_n x_i^2 + S_l x_i + \Delta y$$

за допомогою методу надлишкових вимірювань:

$$\begin{cases} y_{n1} = \Delta y, \\ y_{n2} = S_n x_1^2 + S_l x_1 + \Delta y, \\ y_{n3} = S_n x_2^2 + S_l x_2 + \Delta y, \\ y_{n4} = S_n (x_1 + x_2)^2 + S_l (x_1 + x_2) + \Delta y, \\ y_{n5} = S_n (x_1 + x_2)^2 + S_l (x_1 + x_2) + \Delta y, \end{cases}$$

Введіть вихідні дані сенсора y_n :

y_{n1} :
 y_{n2} :
 y_{n3} :
 y_{n4} :
 y_{n5} :

Введіть значення нормованих за значенням величин x_1 і x_2 :

x_1 :
 x_2 :

Введіть паспортні дані сенсора (S_{nl} , S_{ll} та Δy):

Значення нелінійної складової квадратичної ФП, тобто значення параметру $S_{nl} =$
 Значення лінійної складової квадратичної ФП, тобто значення параметру $S_{ll} =$
 Значення параметру $\Delta y =$

Введіть допустиме відхилення параметру S_{nl} у відсотках (%)
 Введіть допустиме відхилення параметру S_{ll} у відсотках (%)
 Введіть допустиме відхилення параметру Δy у відсотках (%)

Почати обчислення

Значення шуканої величини x_i дорівнює=
 Значення параметру S_n дорівнює=
 Значення параметру S_l дорівнює=
 Значення параметру Δy дорівнює=

Чи параметр S_n в межах допуску?
 Чи параметр S_l в межах допуску?
 Чи параметр Δy в межах допуску?

Рис. 2. Результат обчислення

За результатами обчислення програми буде отримано:

- 1) значення шуканої ФВ при квадратичній ФП, яке не залежить від змін параметрів функції перетворення;
- 2) поточні значення параметрів нестабільної квадратичної ФП (S_n , S_l , Δy);
- 3) інформацію про попадання або не попадання параметрів (S_n , S_l , Δy) у відповідні межі допуску.

В прикладі, що наведено на рис. 2, за результатами розрахунку при заданих вихідних даних всі значення параметрів (S_n , S_l , Δy) не виходять за межі свого допустимого значення, що дає можливість зробити висновок про метрологічну надійність сенсора.

Фрагмент коду програми наведено нижче:

```
<script language="JavaScript">
<!-- //
function maxval(obj)
{
var a = Number(obj.y1.value);
var b = Number(obj.y2.value);
var c = Number(obj.y3.value);
var d = Number(obj.x1.value);
var e = Number(obj.y4.value);
var f = Number(obj.y5.value);
var g = Number(obj.x2.value);
var slp = Number(obj.sl.value);
var yp = Number(obj.dy.value);
var snp = Number(obj.num12.value);
var slg = Number(obj.num7.value);
var yg = Number(obj.num8.value);
var sng = Number(obj.num13.value);
var x;
if (!a) {alert ("Введіть значення ун1"); return a}
if (!b) {alert ("Введіть значення ун2");return b}
if (!c) {alert ("Введіть значення ун3");return c}
if (!d) {alert ("Введіть значення x1");return d}
if (!e) {alert ("Введіть значення ун4");return e}
if (!f) {alert ("Введіть значення ун5");return f}
if (!g) {alert ("Введіть значення x2");return g}
if (!snp) {alert ("Введіть паспортне значення нелінійної складової квадратичної ФП (Снп)");return snp}
if (!slp) {alert ("Введіть паспортне значення лінійної складової квадратичної ФП Слп");return slp}
if (!yp) {alert ("Введіть паспортне значення зміщення ФП, тобто параметру дуп");return yp}
if (!sng) {alert ("Введіть граничне значення відхилення параметру Снгр");return sng}
if (!slg) {alert ("Введіть граничне значення відхилення параметру Слгр");return slg}
if (!yg) {alert ("Введіть граничне значення відхилення параметру дугр");return yg}
x=d*g*(((f-e)-(c-b))/((d+g)*(c-b)-(g-d)*(b+c-2*a)));
snr=(g*(b-a)-d*(c-a))/(d*g*(d-g));
sn1=(Math.abs(snr-snp)/snp)*100;
if (sn1>sng) {sn1="параметр НЕ в межах допуску"} else {sn1="параметр в межах допуску"};
slr=((a-b)*g*g+(c-a)*d*d)/(d*g*(d-g));
sl1=(Math.abs(slr-slp)/slp)*100;
if (sl1>slg) {sl1="параметр НЕ в межах допуску"} else {sl1="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;
obj.p1.value=snr.toFixed(4);
obj.p2.value=slr.toFixed(4);
obj.p3.value=a;
obj.snres.value=sn1;
obj.slres.value=sl1;
obj.yres.value=dy;
}
//-->
</script>
```


Висновки. Запропоновані в роботі алгоритм і комп'ютерна програма дозволяють отримати значення шуканої величини, яке не залежить від параметрів нелінійної функції перетворення без додаткових заходів по її лінеаризації. Крім того, представлена можливість визначення поточних значень параметрів сенсора та визначення їх належності до встановлених меж допуску. Це дає підстави для визначення метрологічної надійності сенсора без додаткових заходів по його повірці.

Таким чином, запропонований алгоритм і відповідна програма продемонстрували високу ефективність у моделюванні та дослідженні методу надлишкових вимірювань при квадратичній функції перетворення сенсора.

Однак, не зважаючи на практичну корисність запропонованого алгоритму і відповідної комп'ютерної програми, слід зауважити, що такі результати були отримані за умови, що зміна параметрів квадратичної функції перетворення за час проведення п'яти тактів вимірювань залишається сталою. Таким чином, вирішення питання по зняттю цих обмежень є перспективним у подальших дослідженнях.

References

1. Su, Z., Liang, X. (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/13473webtoc.pdf>.
2. Yanenko, O. P., Mikhailenko, S. V., Lisnichuk, A. S. (2014). Radiometrychnyi moduliatsiinyi vymiriuвач intensyvnosti optychnoho vyprominiuvannia [Radiometric modulation meter of optical radiation intensity]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy "KPI". Seriya: Radiotekhnika. Radioaparobuduvannia = Bulletin of the National Technical University of Ukraine "KPI". Series: Radio Engineering. Radio Equipment Construction*, № 56, P. 96–101. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2014_56_11 [in Ukrainian].
3. Kondratov, V. T. (2022). Predicting and Determining the Time Between Metrological Failures of Smart Systems for Precision Farming. *Cybernetics and Computers Technologies*, № 1, P. 72–95, DOI: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.22.1.8>.
4. 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*, Vol. 98, Iss. 2/5, P. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>.
5. 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*, Vol. 108,

Література

1. Su Z., Liang X. 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/13473webtoc.pdf>.
2. Яненко О. П., Михайленко С. В., Лісничук А. С. Радіометричний модуляційний вимірювач інтенсивності оптичного випромінювання. *Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Серія: Радіотехніка. Радіоапаробудування*. 2014. № 56. С. 96–101. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_rr_2014_56_11.
3. Кондратов В. Т. Прогнозування та визначення часу напрацювання на метрологічну відмову смарт-систем для прецизійного землеробства. *Кібернетика та комп'ютерні технології*. 2022. № 1. С. 72–95. DOI: <https://doi.org/10.34229/2707-451X.22.1.8>.
4. 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. Vol. 98, Iss. 2/5. P. 16–22. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>.
5. 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.

Iss. 6(4), P. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218517>.

6. 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. 110, Iss. 2(9), P. 27–36. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227984.

7. 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. 116, Iss. 2(5), P. 6–16, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254337>.

8. A.S. No. 110530 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" [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. Date of registration December 23, 2021 [in Ukrainian].

9. A.S. No. 110220 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" [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. Date of registration December 13, 2021 [in Ukrainian].

10. A.S. No. 110219 Literary written work of a scientific nature with an illustration "Algorithm for high-precision determination of the desired physical quantity and parameters of the unstable quadratic transformation function of the sensor" [Literary written work of a scientific nature with an illustration "Algorithm for high-precision determination of the desired physical quantity and parameters of the unstable quadratic transformation function of the sensor"]. H. O. Korohod, A. P. Volivach, N. V. Chuprinka. Date of registration December 13, 2021 [in Ukrainian].

Vol. 108, Iss. 6 (4). P. 6–13. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218517>.

6. 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. 110, No. 2 (9). P. 27–36. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.227984.

7. 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. 116, Iss. 2(5). P. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254337>.

8. А.С. № 110530 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. Дата реєстрації 23 грудня 2021 р.

9. А.С. № 110220 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. Дата реєстрації 13 грудня 2021 р.

10. А.С. № 110219 Літературно письмовий твір наукового характеру з ілюстрацією "Алгоритм високоточного визначення шуканої фізичної величини і параметрів нестабільної квадратичної функції перетворення сенсора". Г. О. Корогод, А. П. Волівач, Н. В. Чупринка. Дата реєстрації 13 грудня 2021 р.

11. A.S. No. 110529 Computer program "Determination of the value of the desired physical quantity and parameters of the unstable quadratic transformation function of the sensor", abbreviated name "Determination of the value of the physical quantity and parameters of the quadratic TF" [Computer program "Determining the value of the desired physical quantity and parameters of the unstable quadratic transformation function of the sensor", abbreviated name "Determining the value of the physical quantity and parameters of the quadratic FP"]. H. O. Korohod, A. P. Volivach. Date of registration December 23, 2021 [in Ukrainian].

11. А.С. твір № 110529 Комп'ютерна програма "Визначення значення шуканої фізичної величини і параметрів нестабільної квадратичної функції перетворення сенсора", скорочена назва "Визначення значення фізичної величини і параметрів квадратичної ФП". Г. О. Корогод, А. П. Волівач. Дата реєстрації 23 грудня 2021 р.

KOROHOD HANNA

PhD, Associate Professor

Department of Computer Science

Kyiv National University of Technology and Design

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

Scopus Author ID: 6504483409, 57686715700

E-mail: korogod.go@knuud.com.ua

YAKHNO VOLODYMYR

PhD, Senior Lecturer

Department of Computer Science

Kyiv National University of Technologies and Design

<https://orcid.org/0000-0001-6129-4178>

Scopus Author ID: 16479353000

E-mail: yakhno.vm@knuud.com.ua

KOROHOD H. O., YAKHNO V. M.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

ALGORITHM AND COMPUTER PROGRAM FOR DETERMINATION OF HIGH PRECISION VALUE OF MEASUREMENT AND METROLOGICAL CONTROL

Purpose. Break down the algorithm and the corresponding computer program for determining the high-precision value of the value measured by the sensor with a quadratic transformation function, as well as for metrological control of the current values of the sensor parameters.

Methodology. For the correct representation of the signal conversion process in the sensor and error estimation, the methods of redundant measurements of physical quantities, analytical methods of analysis, and methods of mathematical modeling were applied. The method of partial goals was used in the construction of the algorithm. When programming, a static method (class method) was used.

Findings. The proposed algorithm and the computer program developed on its basis allow: 1) to determine a high-precision value of the desired physical quantity, which does not depend on changes in the parameters of the transformation function (per measurement cycle); 2) determine the current values of the parameters of the unstable transformation function; 3) establish the presence of deviations of the parameters of the sensor conversion function from their normalized values with a given error.

Scientific novelty. The developed algorithm of redundant measurements with a quadratic sensor transformation function and its computer implementation simulate a measurement experiment with the possibility of metrological control of the sensor.

Practical value. The developed algorithm and computer program make it possible to obtain a highly accurate value of the desired physical quantity with a nonlinear transformation function without additional steps to linearize it. In addition, the obtained value of the desired quantity, which does not depend on changes in the parameters of the quadratic transformation function of the sensor, makes it possible to apply this approach to inexpensive sensors. Also, it becomes possible to determine the metrological reliability of the sensor with specified parameter deviations, which ensures direct metrological control of the sensor without additional measures for its verification.

Keywords: algorithm; quadratic transformation functions; redundant measurements; computer program; transformation function parameters.