



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **159555** (13) **U**
(51) МПК (2025.01)
G01P 21/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

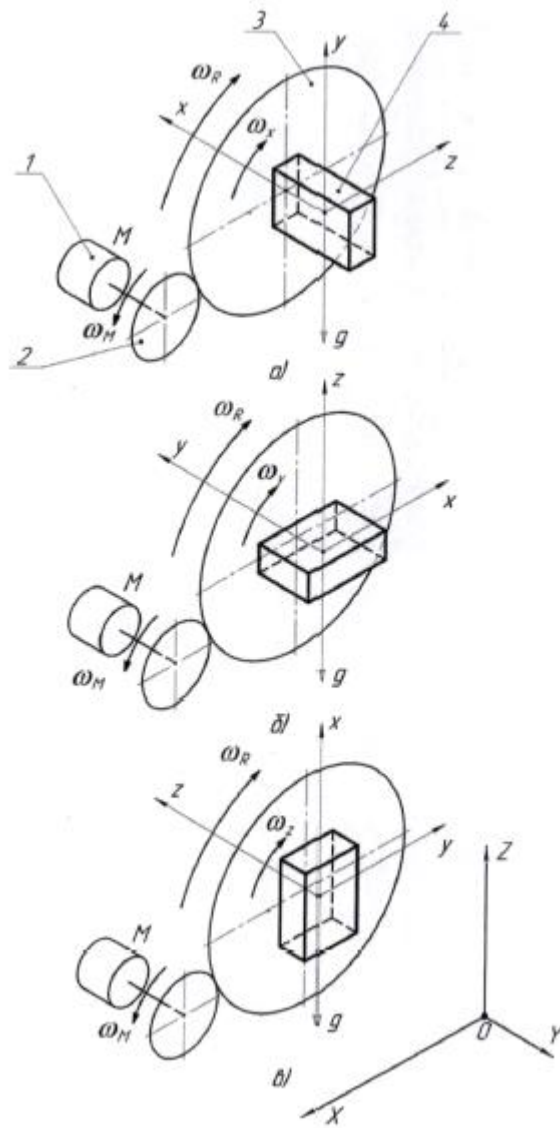
(21) Номер заявки: u 2024 05996 (22) Дата подання заявки: 17.12.2024 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 12.06.2025 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 11.06.2025, Бюл.№ 24	(72) Винахідник(и): Антощенко Роман Вікторович (UA), Галич Іван Васильович (UA), Богданович Сергій Андрійович (UA), Никифоров Антон Олексійович (UA), Череватенко Галина Ігорівна (UA) (73) Володілець (володільці): ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002 (UA) (74) Представник: Дейнеко Андрій Іванович, реєстр. №473
---	---

(54) СПОСІБ ДИНАМІЧНОГО ТАРУВАННЯ ДАТЧИКА ДИНАМІКИ КОЛЕСА

(57) Реферат:

Спосіб динамічного тарування датчика динаміки колеса включає вимірювання сили тяжіння Землі чутливою віссю для кожної з трьох взаємно перпендикулярних осей, що розташовуються паралельно до вектора сили тяжіння Землі. При цьому датчик обертають з постійною швидкістю навколо осі, що перпендикулярна до осі чутливості, що тарується.

UA 159555 U



Корисна модель належить до галузі вимірювальної техніки та може бути використана для налаштування, регулювання, діагностування та експлуатаційного контролю вимірювальних приладів, а саме безплатформних інерційних вимірювальних модулів, призначених, зокрема, але не виключно, для динамічного тарування датчика динаміки колеса.

5 До складу безплатформних інерційних вимірювальних модулів (далі-БІВМ) зазвичай входять гіроскопи, які вимірюють кутову швидкість, та акселерометри, які вимірюють силу тяжіння Землі. В деяких випадках вони також включають до складу магнітометр, який вимірює напруженість магнітного поля Землі.

10 Перед початком використання БІВМ необхідне його тарування, щоб уникнути можливих похибок вимірювань. У процесі використання БІВМ також з'являються похибки, що, з часом, об'єднуються та накопичуються, особливо при великому обсязі вимірювань що проводяться, внаслідок чого значно підвищується вірогідність нових помилок вимірювання та погіршується точність вимірювань. Відповідно, з'являється необхідність встановлення величини похибки акселерометра, гіроскопа та магнітометра, що входять до складу БІВМ, тобто, його тарування.

15 З патенту України на винахід UA55408 [опубл. 15.08.2000 р., МПК G01P 21/00] відомий пристрій для відтворення віброприскорень у тривісній акселерометри що складається з засобу для утворення коливання у вигляді маятника на чотирьох підвісах, на якому закріплено прапорець оптичного датчика швидкості, вихід якого приєднано до входу блока управління, вихід блока управління з'єднано з пристроєм для утворення коливання, а блок управління через
20 канал спільного користування приєднано до системи обробки сигналів та індикації. Використання такого пристрою дає змогу виконувати перевірку (тарування) тривісних акселерометрів по чутливості та коефіцієнту поперечного перетворення.

Відомий спосіб відрізняється складністю проведення випробувань та трудомісткістю визначення динамічних характеристик, вимагає наявності складного обладнання для його здійснення. Крім цього, відомим способом може бути виконано лише тарування акселерометра. Такий спосіб неможливо застосувати для тарування гіроскопа та магнітометра, особливо об'єднаних в одному корпусі БІВМ.

У патенті США на винахід US6640609B1 [опубл. 04.11.2003 р., МПК G01P 21/00] розкритий спосіб, в якому акселерометр, що калібрується, встановлюється на поворотному столі.
30 Поворотний стіл налаштовується так, щоб вісь обертання поворотного столу була нахилена відносно вектора місцевої гравітації. Потім поворотний стіл обертається навколо осі обертання з кутовою швидкістю, так, що акселерометр відчуває змінну в часі складову вектора місцевої гравітації. Вихідні дані акселерометра реєструються, оскільки акселерометр відчуває змінну в часі складову вектора місцевої гравітації. Зареєстровані вихідні дані акселерометра порівнюються з прогнозованими вихідними даними акселерометра, що базуються на куті нахилу поворотної платформи та кутовій швидкості поворотної платформи, а також на значенні гравітаційного прискорення в місці калібрування.

При такому методі калібрування акселерометра, внаслідок того, що розташування осі обертання датчика не вертикальне та вісь відхилена на відповідний кут, виникає додаткова похибка при обчисленні коефіцієнтів коригування, що негативно впливає на результати тарування. Також недоліком способу є його відносно вузька сфера застосування, адже передбачено лише можливість калібрування лише одного датчика, акселерометра.

Найближчим аналогом є спосіб відомий з патенту США на винахід US6823279B1 [опубл. 23.11.2004 р., МПК G01P 15/00; G01P 15/18; G01P 21/00], що включає вимірювання сили тяжіння Землі чутливою віссю для кожної з трьох взаємо перпендикулярних осей, що розташовуються паралельно до вектора сили тяжіння Землі.

Більш конкретно, згідно зі способом, багатовісний акселерометричний пристрій, що калібрується, встановлюють на поворотному столі. Поворотний стіл має кут нахилу відносно вертикальної осі, який визначається вектором місцевої гравітації. Поворотний стіл
50 використовується для обертання багатовісного акселерометричного пристрою навколо осі обертання з такою кутовою швидкістю, що декілька чутливих осей акселерометричного пристрою відчувають змінну в часі складову вектора місцевої гравітації. Отримані з датчика дані записуються. Далі багатовісний акселерометричний пристрій встановлюється на поворотному столі в двох інших ортогональних орієнтаціях, і процедура обертання і запис даних повторюється.
55

Недоліком найближчого аналога є його відносно вузька сфера застосування, оскільки відомий спосіб, хоча й дає змогу дозволяє виконувати калібрування багатовісного акселерометра, не може бути використаним щоб калібрувати (тарувати) БІВМ який, крім акселерометра, містить у складі гіроскоп та магнітометр.

Таким чином, відомі способи, включно зі способом-прототипом, не вирішують задачу тарування БІВМ, до складу якого входять гіроскоп, акселерометр, та магнітометр.

В основу корисної моделі поставлено задачу забезпечення можливості та підвищення точності динамічного тарування датчика динаміки колеса, що є БІВМ.

5 Ще однією задачею корисної моделі є спрощення процедури тарування, зменшення трудомісткості визначення динамічних характеристик при динамічному таруванні датчика динаміки колеса, що є БІВМ.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі динамічного тарування датчика динаміки колеса, що включає вимірювання сили тяжіння Землі чутливою віссю для кожної з трьох
10 взаємно перпендикулярних осей, що розташовуються паралельно до вектора сили тяжіння Землі, згідно з корисною моделлю, датчик обертають з постійною швидкістю навколо осі, що перпендикулярна до осі чутливості, що тарується.

За рахунок примусового та регульованого обертання датчика з постійною швидкістю навколо осі, що перпендикулярна до осі чутливості, що тарується, забезпечується підвищення
15 точності тарування.

Згідно з одним з доцільних аспектів здійснення способу, датчик, що тарується, встановлюють на диск, який виконано з можливістю обертання навколо його осі, та розміщують таким чином, щоб досліджувана вісь чутливості датчика була орієнтована в горизонтальній площині паралельно до площини диска і проходила через центр диска, та була спрямована
20 перпендикулярно до осі обертання диска.

Таке втілення способу забезпечує можливість використання випробувального устаткування спрощеної конструкції, знижує вимоги до випробувального устаткування, спрощує експлуатацію такого устаткування, та, одночасно, достатню надійність отримуваних результатів дослідження.

Згідно з ще одним доцільним аспектом здійснення способу, датчик, що тарується є безплатформенним інерційним вимірювальним модулем, що містить гіроскоп, виконаний із
25 можливістю вимірювання кутової швидкості, акселерометр, виконаний із можливістю вимірювання прискорення, та магнітометр, виконаний з можливістю вимірювання вертикальної складової індукції магнітного поля Землі, що полягає в тому, що тарують три чутливі осі датчика (x , y , z) обертанням диска в прямому та зворотному напрямках, тарують при обертанні датчика з
30 постійною кутовою швидкістю 1, 12, 25 рад/с навколо осі x акселерометр - прискорення a_y , a_z , гіроскоп - кутову швидкість ω_x , магнітометр - m_x , тарують при обертанні датчика з постійною кутовою швидкістю 1, 12, 25 рад/с навколо осі y акселерометр - прискорення a_x , a_z , гіроскоп - кутову швидкість ω_y , магнітометр - m_y , тарують при обертанні датчика з постійною кутовою швидкістю 1, 12, 25 рад/с навколо осі z акселерометр - прискорення a_x , a_y , гіроскоп - кутову
35 швидкість ω_z , магнітометр - m_z .

Застосування триосьових акселерометра, гіроскопа та магнітометра, що розташовуються на диску, дозволяє виконувати тарування одночасно трьох датчиків (наприклад акселерометра по
40 осям y , z ; гіроскопа - по осі x та магнітометра - по осі x). Також це дає змогу з високою точністю визначити похибки орієнтації вимірювальних осей гіроскопів, магнітометрів та акселерометрів БІВМ у процесі випробувань, що підвищує точність вимірювань.

В окремому випадку здійснення способу додатково вимірюють вихідні сигнали гіроскопа, акселерометра, магнітометра, за результатами вимірювань обчислюють коефіцієнти зміщення
о та підсилення g для акселерометра, гіроскопа, магнітометра, отримані показники реєструють в пам'яті мікроконтролера, об'єднують зареєстровані вихідні сигнали та результати обчислень,
45 та, за сумою цих показників визначають динамічні характеристики колеса.

При такому здійсненні забезпечується спрощення опрацювання, зберігання, обробки та корекції вимірювальної інформації отримуваної у процесі налаштування, регулювання, діагностування та експлуатаційного контролю вимірювальних приладів, що утворюють БІВМ.

В цілому, описаний спосіб динамічного тарування датчика динаміки колеса, дозволяє
50 підвищити точність, прискорити процес та покращити якість вимірювань, отримувати більш достовірні, точні і повторювані результати вимірювань, зокрема вимірювань, отримуваних в процесі визначення динамічних характеристик колеса.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де представлена схема динамічного тарування датчика динаміки колеса, на якій наведено наступні позначення: 1 - електричний
55 двигун з частотним перетворювачем; 2 - зубчата передача; 3 - диск; 4 - датчик, що тарується.

Засіб для тарування, що реалізує спосіб, містить диск 3, на який встановлюють та закріплюють датчик 4, що тарується, причому чутлива вісь датчика розташовується
перпендикулярно до площини датчика, та повинна мати можливість обертатися з постійною швидкістю 1, 10, 15 рад/с в прямому та зворотному напрямках. Постійну швидкість обертання та
60 напрям забезпечується електричним двигуном з частотним перетворювачем 1 та зубчатою

передачею 2. Датчик 4 встановлюється на диск 3 так, щоб досліджувана вісь датчика проходила через центр диска та була перпендикулярна до нього.

Спосіб динамічного тарування датчика динаміки колеса здійснюють наступним чином.

5 Датчик динаміки колеса, що тарується, та є безплатформенним інерційним вимірювальним модулем, що містить гіроскоп, призначений для вимірювання кутової швидкості, акселерометр, призначений для вимірювання прискорення, та магнітометр, призначений для вимірювання вертикальної складової індукції магнітного поля Землі, встановлюють за закріплюють на диску 3.

10 Важливо забезпечити певні умови проведення тарування. Зокрема, враховуючи наявність в БІВМ магнітометра, який вимірює магнітне поле Землі, будь-яке інше магнітне поле є паразитним, тобто, магнітні аномалії повинні бути відсутніми.

Враховуючи наявність у БІВМ акселерометра, повинна вимірюватись тільки сила тяжіння, відповідно, датчик не повинен зазнавати будь-яке інше прискорення.

15 Послідовність дій з тарування є наступною. Спочатку тарують три чутливі осі датчика (x, y, z) обертанням диска в прямому та зворотному напрямках. Далі тарують при обертанні датчика з постійною кутовою швидкістю 1, 12, 25 рад/с навколо осі x: акселерометр - прискорення a_y, a_z ; гіроскоп - кутову швидкість ω_x ; магнітометр - m_x . Потім тарують при обертанні датчика з постійною кутовою швидкістю 1, 12, 25 рад/с навколо осі y: акселерометр - прискорення a_x, a_z ; гіроскоп - кутова швидкість ω_y ; магнітометр - m_y . Нарешті тарують при обертанні датчика з 20 постійною кутовою швидкістю 1, 12, 25 рад/с навколо осі z акселерометр - прискорення a_x, a_y ; гіроскоп - кутова швидкість ω_z ; магнітометр - m_z .

Вимірювання проводяться N разів, щоб знайти коефіцієнти зміщення, підсилення та міжосьового підсилення.

Рівняння коефіцієнтів тарування має 9 невідомих:

$$25 \quad v = [a \ b \ c \ d \ e \ f \ g \ h \ i]^T \quad (1)$$

та такі точки даних перебувають на поверхні еліпсоїда, тобто, чутливі елементи датчика мають різну чутливість.

30 Якщо осі чутливих елементів датчика x, y та z співпадають з осями датчика, то рівняння (1) можна скоротити до 6 невідомих:

$$v = [a \ b \ c \ g \ h \ i]^T \quad (2)$$

35 У випадку, коли осі чутливих елементів датчика (акселерометра, гіроскопа та магнітометра) x, y та z мають однаковий коефіцієнт підсилення, тоді рівняння (2) можна скоротити до чотирьох невідомих:

$$v = [a+b+c \ g \ h \ i]^T \quad (3)$$

Рівняння тарування має наступний вигляд:

$$40 \quad a \cdot X^2 + b \cdot Y^2 + c \cdot Z^2 + d \cdot 2XY + e \cdot 2XZ + f \cdot 2YZ + g \cdot 2X + h \cdot 2Y + i \cdot 2Z = 1, \quad (4)$$

де X, Y Z - значення вимірювального параметра.

Набір точок N даних використовується для побудови матриці даних D з урахуванням умови, що точки даних не повинні бути в одній площині:

$$45 \quad D = [X^2 \ Y^2 \ Z^2 \ 2XY \ 2XZ \ 2YZ \ 2X \ 2Y \ 2Z] \quad (5)$$

Принаймні 9 точок даних $D[N \times 9]$ необхідні для обчислення коефіцієнтів зміщення, підсилення та міжосьового підсилення.

50 Далі, методом найменших квадратів помилка апроксимації може бути обчислена для невідомих v за допомогою псевдо-інверсії, яка не являється квадратною матрицею. По-перше, обидва доданки множаться на транспоновану матрицю D^T . По-друге, обидва доданки множаться на зворотну квадратну матрицю $D \cdot D^T$. Таким чином, може бути 9, 6 або 4 невідомих, залежно від зазначених вище обмежень. Для найбільш загальному випадку:

$$\begin{aligned} D[N \times 9] \cdot v[9 \times 1] &= 1[N \times 1]; \\ D^T[9 \times N] \cdot D[N \times 9] \cdot v[9 \times 1] &= D^T[9 \times N] \cdot 1[N \times 1]; \\ (D^T D)[9 \times 9] \cdot v[9 \times 1] &= (D^T \cdot 1)[9 \times 1]; \\ v[9 \times 1] &= \text{inv}(D^T D)[9 \times 9] \cdot (D^T \cdot 1)[9 \times 1]. \end{aligned} \quad (6)$$

5 Визначаємо допоміжні матриці $A_4[4 \times 4]$, $A_3[3 \times 3]$ та допоміжний вектор $v_{ghi}[3 \times 1]$ отримуються з (3.1):

$$A_4 = \begin{bmatrix} a & d & e & g \\ d & b & f & h \\ e & f & c & i \\ g & h & i & -1 \end{bmatrix}, \quad A_3 = \begin{bmatrix} a & d & e \\ d & b & f \\ e & f & c \end{bmatrix}, \quad v_{ghi} = \begin{bmatrix} g \\ h \\ i \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Коефіцієнти зміщення $o=(o_x, o_y, o_z)$ розраховуються з рівнянь:

$$\begin{aligned} A_3[3 \times 3] \cdot o[3 \times 1] &= -v_{ghi}[3 \times 1]; \\ o[3 \times 1] &= -\text{inv}(A_3)[3 \times 3] v_{ghi}[3 \times 1]. \end{aligned} \quad (8)$$

10 Після того, як визначили коефіцієнти зміщення, вводимо ще одну допоміжну матрицю $B_4[4 \times 4]$, яка представляє собою еліпсоїд, приведений до початку системи координат:

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ o_x & o_y & o_z & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} B_4[4 \times 4] &= T[4 \times 4] \cdot A_4[4 \times 4] \cdot T^T[4 \times 4]; \\ B_4[4 \times 4] &= \begin{bmatrix} b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix}, \quad B_3[3 \times 3] = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix} I - b_{44}. \end{aligned} \quad (10) \quad (11)$$

15 Коефіцієнти підсилення та міжосьового підсилення $g = [g_x \ g_y \ g_z]^T$ поперечних осей можуть бути обчислені з власних значень і власних векторів радіусів еліпсоїда, тобто:

$$\begin{aligned} G &= 1 + \frac{g^2}{a} + \frac{h^2}{b} + \frac{i^2}{c} \\ g &= \left[\text{sqrt} \frac{a}{G} \quad \text{sqrt} \frac{b}{G} \quad \text{sqrt} \frac{c}{G} \right]^T. \end{aligned} \quad (12)$$

20 Після проведення тарування датчиків динаміки колеса, отримані коефіцієнти зміщення o (8) та підсилення g (12) для акселерометра, гіроскопа та магнітометра завантажуються в пам'ять мікроконтролера. Далі об'єднують зареєстровані вихідні сигнали датчиків та результати обчислень, та, за сумою цих показників, визначають динамічні характеристики колеса з врахуванням похибок вимірювання.

25 Спосіб динамічного тарування датчика динаміки колеса, що пропонується, є технологічним, та може бути реалізований з використанням відомих вимірювальних пристроїв та засобів.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30 1. Спосіб динамічного тарування датчика динаміки колеса, що включає вимірювання сили тяжіння Землі чутливою віссю для кожної з трьох взаємно перпендикулярних осей, що розташовуються паралельно до вектора сили тяжіння Землі, який **відрізняється** тим, що

датчик обертають з постійною швидкістю навколо осі, що перпендикулярна до осі чутливості, що тарується.

2. Спосіб динамічного тарування за п. 1, який **відрізняється** тим, що датчик, що тарується, встановлюють на диск, який виконано з можливістю обертання навколо його осі, та розміщують таким чином, щоб досліджувана вісь чутливості датчика була орієнтована в горизонтальній площині паралельно до площини диска і проходила через центр диска, та була спрямована перпендикулярно до осі обертання диска.

3. Спосіб динамічного тарування за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що датчик, що тарується, є безплатформенним інерційним вимірювальним модулем, що містить гіроскоп, виконаний із можливістю вимірювання кутової швидкості, акселерометр, виконаний із можливістю вимірювання прискорення, та магнітометр, виконаний з можливістю вимірювання вертикальної складової індукції магнітного поля Землі, що полягає в тому, що тарують три чутливі осі датчика (x, y, z) обертанням диска в прямому та зворотному напрямках, тарують при обертанні датчика з постійною кутовою швидкістю 1, 12, 25 рад/с навколо осі x акселерометр - прискорення a_y , a_z , гіроскоп - кутову швидкість ω_x , магнітометр - m_x , тарують при обертанні датчика з постійною кутовою швидкістю 1, 12, 25 рад/с навколо осі y акселерометр - прискорення a_x , a_z , гіроскоп - кутову швидкість ω_y , магнітометр - m_y , тарують при обертанні датчика з постійною кутовою швидкістю 1, 12, 25 рад/с навколо осі z: акселерометр - прискорення a_x , a_y , гіроскоп - кутову швидкість ω_z , магнітометр - m_z .

4. Спосіб динамічного тарування за п. 3, який **відрізняється** тим, що вимірюють вихідні сигнали гіроскопа, акселерометра, магнітометра, за результатами вимірювань обчислюють коефіцієнти зміщення o та підсилення g для акселерометра, гіроскопа, магнітометра, отримані показники реєструють в пам'яті мікроконтролера, об'єднують зареєстровані вихідні сигнали та результати обчислень, та за сумою цих показників визначають динамічні характеристики колеса.

