



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **113026** (13) **C2**
(51) МПК

G01V 7/02 (2006.01)

G01V 7/16 (2006.01)

G01P 15/09 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

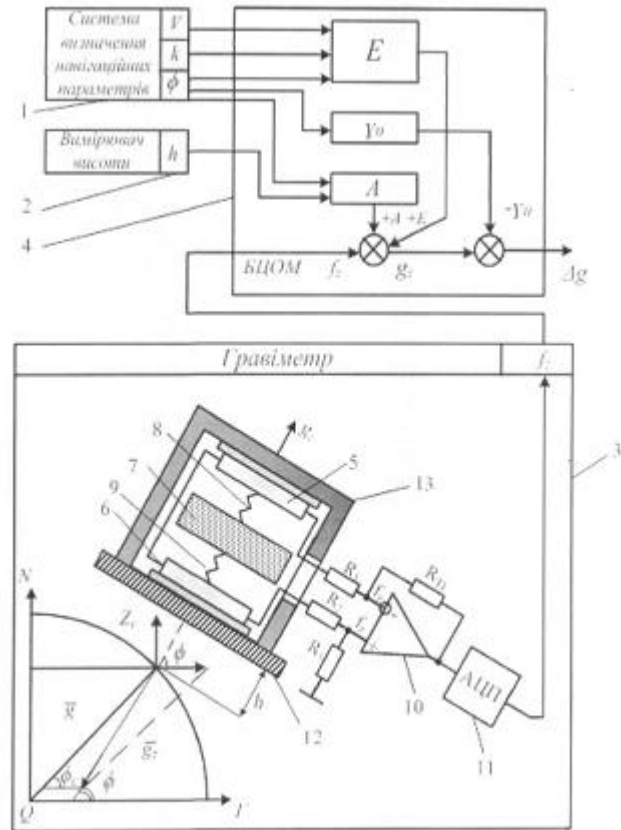
<p>(21) Номер заявки: а 2015 07024</p> <p>(22) Дата подання заявки: 14.07.2015</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.11.2016</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 11.04.2016, Бюл.№ 7</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.11.2016, Бюл.№ 22</p>	<p>(72) Винахідник(и): Безвесільна Олена Миколаївна (UA), Ткачук Андрій Геннадійович (UA), Войцицький Максим Анатолійович (UA), Бичук Роман Вікторович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, 10005 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 107637 C2, 26.01.2015 UA 108963 C2, 25.06.2015 SU 532069 A1, 15.10.1976 GB 2376752 A, 24.12.2002 EP 0248549 A2, 09.12.1987 WO 9116636 A1, 31.10.1991</p>
---	---

(54) АВІАЦІЙНА ГРАВІМЕТРИЧНА СИСТЕМА ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ АНОМАЛІЙ ПРИСКОРЕННЯ СИЛИ ТЯЖІННЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до вимірювальної техніки та може бути використаний для проведення гравіметричних вимірів на літальних апаратах у геодезії, геології, інерціальних системах навігації. Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння містить систему (1) визначення навігаційних параметрів, вимірювач (2) висоти та встановлений на двовісній платформі (12) гравіметр (3) з чутливим елементом у герметичному корпусі, виходи яких підключені до входів бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ) (4). Чутливий елемент гравіметра (3) виконаний з двома каналами та інерційною масою (7), причому в кожному з каналів встановлено по одному п'єзоелементу (5) і (6), що є ідентичними і виконані у вигляді п'єзопластин, а інерційна маса (7) через пружину (8) прикріплена до низу п'єзопластин п'єзоелемента (5) одного каналу та через пружину (9) прикріплена до верху п'єзопластин п'єзоелемента (6) другого каналу. При цьому виходи п'єзопластин обох каналів з'єднані з входами операційного підсилювача (10), вихід якого з'єднаний через аналогово-цифровий перетворювач (11) із входом БЦОМ (4). Технічний результат полягає у підвищенні точності вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння.

UA 113026 C2



Фиг. 1

Винахід належить до галузі вимірювальної техніки і може бути використаний для проведення гравіметричних вимірів на літальних апаратах у геодезії, геології, інерціальних системах навігації.

5 Найбільш близькою за сукупністю суттєвих ознак до винаходу є авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння, що обрана як прототип [1].

Спільними суттєвими ознаками прототипу та винаходу є те, що вони містять систему визначення навігаційних параметрів, вимірювач висоти та встановлений на двовісній платформі гравіметр, виходи яких підключені до входів бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ). Чутливий елемент гравіметра розміщений у герметичному корпусі і виконаний у вигляді інерційної маси та п'єзопакета, який працює на основі деформації стиснення-розтягування. Частота власних коливань п'єзопакета гравіметра дорівнює частоті перетину спектральних щільностей корисного сигналу прискорення сили тяжіння та сигналу основної завади вертикального прискорення літака.

15 Проте, на відміну від винаходу, у прототипі в якості чутливого елемента використано гравіметр, чутливий елемент якого виконано з одним каналом - «...чутливий елемент гравіметра розміщений у герметичному корпусі, пружно піджятий до основи і виконаний у вигляді інерційної маси та п'єзопакета, на торцях якого знаходяться ізолятори...». Така конструкція гравіметра-прототипу не передбачає компенсацію інструментальних похибок від впливу зміни температури, вологості та тиску зовнішнього середовища, які є значними в екстремальних умовах, якими характеризуються вимірювання за допомогою гравіметра-прототипу [2].

Крім того, у прототипі не враховано вплив на вихідні покази системи похибки від переносної (відносно гравіметра) кутової швидкості, яка складає 584 мГал [2], що значно зменшує точність вимірювання аномалій прискорення сили тяжіння.

25 Таким чином, суттєвим недоліком авіаційної гравіметричної системи-прототипу є низька точність вимірювання аномалій прискорення сили тяжіння.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення авіаційної гравіметричної системи для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння, що містить систему визначення навігаційних параметрів, вимірювач висоти та встановлений на двовісній платформі гравіметр, виходи яких підключені до входів бортової цифрової обчислювальної машини, шляхом того, що чутливий елемент гравіметра розміщений у герметичному корпусі і виконаний з двома каналами, в кожному з яких встановлено по одному п'єзоелементу, що є ідентичними і виконані у вигляді п'єзопластин, а інерційна маса через пружину прикріплена до низу п'єзопластин п'єзоелемента одного каналу та через таку ж пружину прикріплена до верху п'єзопластин п'єзоелемента другого каналу, причому виходи п'єзопластин обох каналів з'єднані з входами операційного підсилювача, вихід якого з'єднаний через аналогово-цифровий перетворювач із входом БЦОМ, щоб забезпечити підвищення точності вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння.

Підвищення точності вимірювання у гравіметрі-винаході забезпечується за рахунок того, що створено другий канал вимірювання. Для цього чутливий елемент виконано з двома каналами. П'єзоелементи першого та другого каналів вимірювання є ідентичними та прикріплені до верху та низу герметичного корпусу гравіметра відповідно. Інерційна маса через пружину прикріплена до низу п'єзопластин п'єзоелемента першого каналу та через таку ж пружину прикріплена до верху п'єзопластин п'єзоелемента другого каналу. П'єзоелемент першого каналу працює на основі деформації розтягу, а п'єзоелемент другого каналу - на основі деформації стиснення.

45 Вихідні електричні сигнали п'єзопластин обох каналів надходять на вхід операційного підсилювача. Результуючий корисний електричний сигнал буде пропорційним подвоєному сигналу прискорення сили тяжіння та надходитиме через аналогово-цифровий перетворювач до БЦОМ.

У БЦОМ будуть проводитись необхідні розрахунки для визначення значення аномалій прискорення сили тяжіння за відповідним алгоритмом [3], де також буде враховано поправку на вплив похибки від переносної (відносно гравіметра) кутової швидкості обертання Землі.

Отже, завдяки використанню додатково введеного другого каналу вимірювання, забезпечується відсутність у вихідному сигналі гравіметра системи-винаходу сигналів похибок від залишкової неідентичності конструкцій однакових п'єзопластин, від впливу зміни температури, вологості та тиску зовнішнього середовища (тобто інструментальних похибок), які можуть бути значними. Також відбувається усунення впливу вертикального прискорення літака на покази гравіметра одразу двома способами: 1 - за рахунок встановлення частоти власних коливань п'єзоелементів гравіметра рівними частоті перетину спектральних щільностей корисного сигналу прискорення сили тяжіння та сигналу основної завади вертикального прискорення літака (як у прототипі); 2 - завдяки використанню додатково введеного другого

каналу вимірювання. Використання операційного підсилювача та аналогово-цифрового перетворювача реалізують додавання та підсилення вихідних аналогових сигналів обох каналів гравіметра та перетворювання їх у цифровий код відповідно. У БЦОМ буде визначатись значення аномалій прискорення сили тяжіння враховуючи поправку на вплив похибки від переносної (відносно гравіметра) кутової швидкості.

Таким чином, запропонована авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння забезпечує суттєве підвищення точності вимірювання аномалій прискорення сили тяжіння.

Суть винаходу пояснюється кресленням, де зображено структурну схему авіаційної гравіметричної системи для вимірювання аномалій прискорення сили тяжіння.

Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння містить систему 1 визначення навігаційних параметрів, вимірювач 2 висоти та встановлений на двовисній платформі 12 гравіметр 3, виходи яких підключені до входів БЦОМ 4.

Чутливий елемент гравіметра 3 розміщений у герметичному корпусі 13 і виконаний з двома каналами, в кожному з яких встановлено по одному п'єзоелементу 5 і 6, що є ідентичними і виконані у вигляді п'єзопластин, а інерційна маса 7 через пружину 8 прикріплена до низу п'єзопластин п'єзоелемента 5 одного каналу та через пружину 9 прикріплена до верху п'єзопластин п'єзоелемента 6 другого каналу. Виходи п'єзопластин обох каналів з'єднані з входами операційного підсилювача 10, вихід якого з'єднаний через аналогово-цифровий перетворювач 11 із входом БЦОМ 4.

Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння працює наступним чином.

На п'єзоелементи обох каналів діє прискорення сили тяжіння g_z , вертикальне прискорення $\Delta \ddot{z}$ літака та інструментальні похибки Δi від впливу залишкової неідентичності конструкцій однакових п'єзопластин та мас, від впливу зміни температури, вологості та тиску зовнішнього середовища. Якщо спроектувати всі ці впливи на вимірювальну вісь Oz гравіметра-винаходу та врахувати те, що п'єзоелемент 6 працює на стиснення, а п'єзоелемент 5 - на розтяг, то отримаємо [3]:

$$u_1 = k(mg_z + m\Delta \ddot{z} + \Delta i);$$

$$u_2 = k(mg_z - m\Delta \ddot{z} - \Delta i),$$

де u_1 - вихідний електричний сигнал п'єзопластин одного каналу;

u_2 - вихідний електричний сигнал п'єзопластин іншого каналу;

m - інерційна маса;

k - п'єзоелектрична стала.

Вихідні електричні сигнали u_1 та u_2 п'єзопластин обох каналів додаються в операційному підсилювачі 10:

$$u_\Sigma = u_1 + u_2 = 2kmg_z, \quad (1)$$

де u_Σ - вихідний сигнал операційного підсилювача 10.

Вихідний сигнал операційного підсилювача подається на аналого-цифровий перетворювач 11, де перетворюється у цифровий та надходить до БЦОМ 4.

На вхід БЦОМ 4, куди подається вихідний сигнал гравіметра 3, також подаються вихідні сигнали від системи 1 визначення навігаційних параметрів та вимірювача 2 висоти. БЦОМ 4 на основі отриманих даних обчислює аномалії Δg прискорення сили тяжіння за формулою [2]:

$$\Delta g = f_z + E + A - \gamma_0, \quad (2)$$

де f_z - вихідний сигнал гравіметра 3;

E - поправка Етвеша;

A - поправка за висоту;

γ_0 - довідкове значення прискорення сили тяжіння.

До відомого алгоритму визначення аномалії Δg прискорення сили тяжіння (4) необхідно врахувати ще поправку на вплив похибки від переносної (відносно гравіметра) кутової швидкості.

Похибки Δ_3 та δ_3 від переносної кутової швидкості ω_z обертання Землі визначаються [2]:

$$\Delta_3 = K_{\text{ПГ}} \omega_z; \quad (3)$$

$$\delta_3 = \frac{\Delta_3}{\alpha_{\text{кор}}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де $K_{\text{ПГ}}$ - коефіцієнт передачі гравіметра; ω_3 - швидкість обертання Землі; $\alpha_{\text{кор}}$ - корисний сигнал гравіметра.

Знайдемо аналітичний вираз похибки Δ_3 . Для цього врахуємо, що вертикальна складова переносної кутової швидкості головної осі зумовлена обертанням Землі і власним рухом літака:

5
$$\omega_z = \omega_3 \sin \varphi + \frac{v_y}{r} \operatorname{tg} \varphi; \quad (5)$$

$$v_y = r \dot{\lambda} \cos \varphi; \quad (6)$$

$$\frac{v_y}{r} \operatorname{tg} \varphi = \dot{\lambda} \sin \varphi, \quad (7)$$

де v_y - східна складова шляхової швидкості літака; r - геоцентричний радіус Землі; $\dot{\lambda}$ - швидкість зміни довготи.

10 Із урахуванням (7) можна представити вираз (5) у вигляді:

$$\omega_z = (\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi. \quad (8)$$

У загальному випадку руху літака ще повертається навколо осі Oz з кутовою швидкістю $\dot{\kappa}$, тоді

$$\omega_z = (\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi + \dot{\kappa}, \quad (9)$$

15 де κ - курсовий кут у площині горизонту, відлічуваний за рухом годинникової стрілки від напрямку на північ до повздовжньої осі об'єкта.

З урахуванням (9) запишемо вираз (3) у вигляді:

$$\Delta_3 = K_{\text{ПГ}} [(\omega_3 + \dot{\lambda}) \sin \varphi + \dot{\kappa}]. \quad (10)$$

Відповідне середнє значення абсолютної похибки $\bar{\Delta}_3$ становить:

20
$$(t_2 - t_1) \bar{\Delta}_3 = K_{\text{ПГ}} [k(t_2) - k(t_1)] + K_{\text{ПГ}} \int_{t_1}^{t_2} \omega_3 \sin \varphi(t) dt + K_{\text{ПГ}} \int_{t_1}^{t_2} \dot{\lambda}(t) \sin \varphi(t) dt, \quad (11)$$

де $(t_2 - t_1)$ - інтервал усереднення.

Отже, БЦОМ 4 буде визначати значення аномалії Δg прискорення сили тяжіння за наступним алгоритмом:

$$\Delta g = f_z + \Delta_3 + E + A - \gamma_0. \quad (12)$$

25 Таким чином, авіаційна гравіметрична система-винахід забезпечує суттєве підвищення точності вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння.

Джерела інформації:

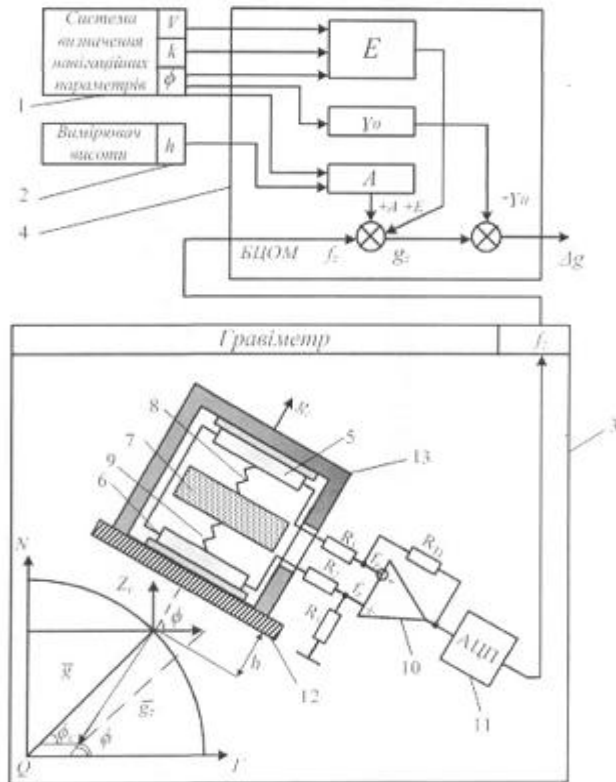
30 1. Патент України на винахід 107637, МПК G01V 7/00. Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук. - № а201315251; Заявл. 26.12.13; опубл. 26.01.15, Бюл. № 2.

2. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: монографія / О.М. Безвесільна. - Житомир: ЖДТУ, 2007. - 604 с.

35 3. Безвесільна О.М. Науково-теоретичні дослідження нового п'єзоелектричного гравіметра автоматизованої авіаційної гравіметричної системи в екстремальних умовах з використанням нейронних мереж: монографія / О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук, Г.С. Тимчик. - Житомир: ЖДТУ, 2014. - 224 с.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

40 Авіаційна гравіметрична система для вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння, що містить систему (1) визначення навігаційних параметрів, вимірювач (2) висоти та встановлений на двовісній платформі (12) гравіметр (3) з чутливим елементом у герметичному корпусі, виходи яких підключені до входів бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ) (4), яка **відрізняється** тим, що чутливий елемент гравіметра (3) виконаний з двома каналами та інерційною масою (7), причому в кожному з каналів встановлено по одному п'єзоелементу (5) і (6), що є ідентичними і виконані у вигляді п'єзопластин, а інерційна маса (7) через пружину (8) прикріплена до низу п'єзопластин п'єзоелемента (5) одного каналу та через пружину (9) прикріплена до верху п'єзопластин п'єзоелемента (6) другого каналу, причому виходи п'єзопластин обох каналів з'єднані з входами операційного підсилювача (10), вихід якого **з'єднаний** через аналогово-цифровий перетворювач (11) із входом БЦОМ (4).



Фиг. 1

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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