(19) UA (11) 78 620 (13) C2

(51)МПК

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ДЕПАРТАМЕНТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ УКРАИНЫ

(21), (22) Заявка: a200505440, 07.06.2005

(24) Дата начала действия патента: 10.04.2007

(46) Дата публикации: 15.04.2007G01V 7/00
20070101CFI20070115BHUA

(72) Изобретатель:
Безвесильная Елена Николаевна, UA,
Коробийчук Игорь Вацлавович, UA,
Нечай Сергей Алексеевич, UA,
Подчашинский Юрий Александрович, UA

(73) Патентовладелец:
ЖИТОМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ, UA

(54) ГРАВИМЕТР

(57) Реферат:

Предлагаемый гравиметр может быть использован при геодезических съемках, геологических исследованиях и в системах инерциальной навигации. Гравиметр содержит двухступенчатый гироскоп с моментным электродвигателем и датчиком углового положения, фильтр нижних частот и вычислительное устройство. Центр масс ротора гироскопа смещен относительно оси вращения ротора. Выход датчика углового положения соединен с входом вычислительного устройства через фильтр. Предлагаемый гравиметр отличается повышенной точностью.

Официальный бюлетень "Промышленная собственность". Книга 1 "Изобретения, полезные модели, топографии интегральных микросхем", 2007, N 4, 15.04.2007. Государственный департамент интеллектуальной собственности Министерства образования и науки Украины.

UA 78620 C2

UA 78620 C2

(19) **UA** (11) **78 620** (13) **C2**

(51) Int. Cl.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

STATE DEPARTMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY

(12) DESCRIPTION OF PATENT OF UKRAINE FOR INVENTION

(21), (22) Application: a200505440, 07.06.2005

(24) Effective date for property rights: 10.04.2007

(46) Publication date: 15.04.2007G01V 7/00
20070101CFI20070115BHUA

(72) Inventor:
Bezvesilna Olena Mykolaivna, UA,
Korobiichuk Ihor Vatslavovych, UA,
Nechai Serhii Oleksiiovych, UA,
Podchashynskyi Yurii Oleksandrovych, UA

(73) Proprietor:
ZHYTOMYR STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, UA

(54) GRAVITY METER

(57) Abstract:

The proposed gravity meter can be used in geodetic surveys, geologic explorations, and inertial navigation systems. The gravity meter contains a two-stage gyroscope with a torque motor and an angular position transducer, a low-pass filter, and a computing unit. The center of mass of the rotor of the gyroscope is displaced relative to the rotation axis of the rotor. The output of the angular position transducer is connected to the input of the computing unit via the filter. The proposed gravity meter is distinctive by its enhanced accuracy.

Official bulletin "Industrial property". Book 1 "Inventions, utility models, topographies of integrated circuits", 2007, N 4, 15.04.2007. State Department of Intellectual Property of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

UA 78620 C2

UA 78620 C2

(19) UA (11) 78 620 (13) C2

(51)МПК

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

(12) ОПИС ВИНАХОДУ ДО ПАТЕНТУ УКРАЇНИ

(21), (22) Дані стосовно заявки:
a200505440, 07.06.2005

(24) Дата набуття чинності: 10.04.2007

(46) Публікація відомостей про видачу патенту (деклараційного патенту): 15.04.2007G01V 7/00
20070101CFI20070115BHUA

(72) Винахідник(и):
Безвесільна Олена Миколаївна, UA,
Коробійчук Ігор Вацлавович, UA,
Нечай Сергій Олексійович, UA,
Подчашинський Юрій Олександрович, UA

(73) Власник(и):
ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, UA

(54) ГРАВІМЕТР

(57) Реферат:

Винахід стосується вимірювальної техніки і може бути використаний для проведення гравіметричних вимірів на рухомій основі в геодезії, геології, ініціальних системах навігації. Гравіметр містить двоступеневий динамічно настроюваний гіроскоп, до якого підключений датчик моменту, ротор та датчик кута повороту. Центр мас ротора двоступеневого динамічно настроюваного гіроскопа зміщений відносно осі його обертання. До складу гравіметра введено фільтр нижніх частот і пристрій обчислення вихідного сигналу гравіметра. Вхід датчика кута повороту підключено до виходу двоступеневого динамічно настроюваного гіроскопа, а вихід датчика кута повороту підключено до входу фільтра нижніх частот, вихід якого підключено до входу пристрою обчислення вихідного сигналу гравіметра. Таке виконання винаходу дозволяє підвищити точність вимірювань.

UA 78620 C2

UA 78620 C2

Опис винаходу

Винахід належить до галузі вимірювальної техніки і може бути використаний для проведення гравіметричних вимірів на рухомій основі в геодезії, геології, ініціальних системах навігації.

Відомий гравіметр [1] на основі двостепеневого гіроскопа, який використовується в якості чутливого елементу (ЧЕ) гравіметра. Спільними суттєвими ознаками відомого гравіметра і гравіметра-винаходу є те, що вони містять двостепеневий гіроскоп і датчик моменту.

Проте, на відміну від гравіметра-винаходу, у відомому гравіметрі центр мас ротора двостепеневого гіроскопа розташований на осі його обертання. До складу відомого гравіметра входить датчик кутової швидкості повороту ротора двостепеневого гіроскопа відносно основи. У відомому гравіметрі відсутні фільтр нижніх частот і пристрій обчислення вихідного сигналу гравіметра.

Результат вимірювань, отриманий за допомогою відомого гравіметра, містить великі похибки вимірювань. Ці похибки викликані тим, що цей гравіметр вимірює сукупність прискорення сили тяжіння (корисної складової результатів вимірювань) та інерціального абсолютного прискорення (завада, що приводить до похибок результатів вимірювань). Інерціальне абсолютне прискорення зумовлене, в основному, вертикальним прискоренням літака, на якому встановлено гравіметр. Причому величина завади може бути значно більшою, ніж величина корисної складової результатів вимірювань. Поступальні і кутові вібрації літака також можуть привести до істотних випадкових похибок результатів вимірювань.

Таким чином, суттєвим недоліком відомого гравіметра є низька точність вимірювань.

Найбільш близьким за сукупністю суттєвих ознак до гравіметра-винаходу є гравіметр, побудований на основі двостепеневого динамічно-настроюваного гіроскопа (ДНГ), який використовується в якості ЧЕ гравіметру [2, стор.6]. Цей гравіметр обрано за прототип.

Спільними суттєвими ознаками гравіметра-прототипу і гравіметра-винаходу є те, що вони містять двостепеневий ДНГ, до якого підключений датчик моменту.

Проте, на відміну від гравіметра-винаходу, у гравіметрі-прототипі центр мас ротора двостепеневого ДНГ розташований на осі його обертання. До складу гравіметра-прототипу входить датчик кутової швидкості повороту ротора двостепеневого ДНГ відносно основи. У відомому гравіметрі відсутні фільтр нижніх частот і пристрій обчислення вихідного сигналу гравіметра.

Результат вимірювань, отриманий за допомогою відомого гравіметра, містить великі похибки вимірювань. Ці похибки викликані тим, що цей гравіметр вимірює сукупність прискорення сили тяжіння (корисної складової результатів вимірювань) і інерціального абсолютного прискорення (завада, що призводить до похибок результатів вимірювань). Інерціальне абсолютне прискорення зумовлене, в основному, вертикальним прискоренням літака, на якому встановлено гравіметр. Причому величина завади може бути значно більшою, ніж величина корисної складової результатів вимірювань. Поступальні і кутові вібрації літака також можуть привести до істотних похибок результатів вимірювань.

Таким чином, суттєвим недоліком гравіметра-прототипу є низька точність вимірювань.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення гравіметра, щоб забезпечити підвищення точності вимірювань прискорення сили тяжіння.

Поставлена задача вирішується шляхом того, що центр мас ротора двостепеневого динамічно-настроюваного гіроскопа зміщений відносно осі його обертання, додатково введені датчик кута повороту, фільтр нижніх частот і пристрій обчислення вихідного сигналу гравіметра, причому вхід датчика кута повороту підключено до виходу двостепеневого динамічно-настроюваного гіроскопа, а вихід датчика кута повороту підключено до входу фільтра нижніх частот, вихід якого підключено до входу пристрою обчислення вихідного сигналу гравіметра.

Підвищення точності вимірювань в гравіметрі-винаході забезпечується за рахунок того, що центр мас ротора двостепеневого ДНГ зміщений відносно осі його обертання і тому цей гравіметр виконує безпосереднє вимірювання прискорення сили тяжіння. Ці вимірювання виконуються за допомогою датчика кута повороту, який додатково введено до складу гравіметра-винаходу.

Оскільки в гравіметрі-винаході виконується безпосереднє вимірювання прискорення сили тяжіння, то з'являється можливість виконати фільтрацію вимірювального сигналу. Основна частина потужності корисної складової вимірювального сигналу зосереджена на частотах, менших за 0,1рад/с (крива 2, Фіг.1). Основна частина потужності похибок вимірювального сигналу зосереджена на частотах, більших за 0,1рад/с (крива 1, Фіг.1). Тому до складу гравіметра введено фільтр нижніх частот. Цей фільтр виконує фільтрацію вимірювального сигналу з метою вилучення похибок, викликаних вертикальними прискореннями, поступальними і кутовими вібраціями літака, на якому встановлено гравіметр. Пристрій обчислення вихідного сигналу гравіметра перетворює результат фільтрації вимірювального сигналу у вихідний сигнал гравіметра.

Таким чином, з вихідного сигналу гравіметра-винаходу вилучається ряд суттєвих похибок вимірювань. Якщо ці похибки не вилучити запропонованим способом, то вони по величині можуть дорівнювати значенню корисного сигналу, тобто бути неприпустимо великими. Вилучення похибок дозволяє суттєво підвищити точність вимірювань прискорення сили тяжіння.

Суть винаходу пояснюється кресленнями.

Фіг.1 - графік спектральної щільності корисної складової та похибок результатів вимірювань.

Фіг.2 - структурна схема гравіметра;

Гравіметр (Фіг.2) містить двостепеневий ДНГ (1) з ротором (2), до якого підключено датчик (4) моменту,

UA 78620 C2

UA 78620 C2

датчик (3) кута повороту, фільтр (5) нижніх частот і пристрій (6) обчислення вихідного сигналу гравіметра. Вхід датчика (3) кута повороту підключено до виходу двостепеневого динамічно-настроюваного гіроскопу (1), вихід датчика (3) кута повороту підключено до входу фільтра (5) нижніх частот. Вихід фільтра (5) нижніх частот підключено до входу пристрою (6) обчислення вихідного сигналу гравіметра. Центр мас С ротора (2) зміщений відносно осі його обертання на величину l.

Гравіметр працює таким чином.

За допомогою приводного двигуна (на кресленні не показаний) ротор (2) обертається з постійною кутовою швидкістю Г. При відсутності зовнішніх впливів ротор (2) обертається в горизонтальній площині. При наявності прискорення сили тяжіння уздовж його осі обертання ротор (2) почне відхилятись.

При описі роботи гравіметра основні початкові співвідношення запозичені з [3, 4].

Якщо вісь 0z спрямована вертикально і, крім прискорення сили тяжіння g, інші прискорення відсутні, то виникає момент сили тяжіння M_g, який змусить ротор (2) відхилятися відносно осі 0x. Момент сили тяжіння M_g визначиться виразом:

$M_g=mgl\cdot\cos\alpha$,

де m - маса ротора (2),

l - зміщення центру мас ротора (2) відносно осі його обертання,

α - кут відхилення ротора (2).

Момент $M_{\ddot{h}}$ від вертикального прискорення $\ddot{h}$ по осі чутливості приладу (Фіг.2) дорівнює:

$$M_{\ddot{h}}=m\ddot{h}l\cdot\cos\alpha$$

Момент M_T сил пружності пружних елементів підвіски ротора (2) (на кресленні не показані) дорівнює:

$M_T=C_x\alpha$,

де C_x - жорсткість пружних елементів підвіски ротора (2) на кручення.

Відцентровий момент M_u дорівнює:

$M_u=I\dot{\gamma}^2\sin\alpha$,

де I - момент інерції ротора (2),

γ - кутова швидкість обертання ротора (2).

Якщо прийняти, що α«1 рад, то можна записати:

$C_x\alpha+I\dot{\gamma}^2\alpha=-mlg+ml\ddot{h}$,

звідки, позначивши $k=C+I\dot{\gamma}^2$, отримуємо:

$$\alpha=-\frac{ml}{C+I\dot{\gamma}^2}(g+\ddot{h})=-\frac{ml}{k}(g+\ddot{h})$$

Позначивши $S=\frac{ml}{k}$, отримуємо вхідний сигнал фільтра (5) нижніх частот:

$$T=\frac{1}{S}\alpha=-g+\ddot{h}.$$

Звідки

$$\alpha=(-g+\ddot{h})S.$$

Таким чином, кут α відхилення ротора (2) пропорційний прискоренню сили тяжіння g та вертикальному прискоренню $\ddot{h}$.

Вихідний сигнал датчика (3) кута повороту проходить через підсилювач (на кресленні не показаний) з коефіцієнтом підсилення $\frac{1}{S}$ і поступає на вхід фільтра (5) нижніх частот. У вихідному сигналі датчика (3) кута повороту також присутні похибки, викликані поступальними і кутовими вібраціями літака, на якому встановлено гравіметр. Тому, враховуючи ці обставини, вхідний сигнал фільтра (5) нижніх частот визначається за формулою:

$$T=\frac{1}{S}\alpha=-g+\ddot{h}-(R_x\alpha-R_y\beta)-\frac{B}{ml}(\dot{\omega}_x+\dot{\omega}_y\alpha)+\frac{M_{l2}}{ml},$$

де R_x, R_y - проекції на осі 0x, 0y поступальних віброприскорень літака,

B - коефіцієнт пропорційності,

B - момент інерції ротора (2),

$\dot{\omega}_x,\dot{\omega}_y$ - проекції на осі 0x, 0y кутових віброприскорень літака,

M_{l2} - моменти, пов'язані з інструментальними похибками двоступеневого ДНГ (1).

Частотні спектри сигналу, який відповідає прискоренню сили тяжіння, і сигналу, який відповідає вертикальним прискоренням, поступальним і кутовим вібраціям літака, є різними (Фіг.1, крива 2 і крива 1 відповідно). Переважна частота першого сигналу дорівнює 0,00175рад/с, переважна частота другого сигналу дорівнює 0,269рад/с.

Фільтр (5) нижніх частот має частоту зрізу 0,1рад/с і виконує фільтрацію сигналу T з метою вилучення похибок, викликаних вертикальними прискореннями, поступальними і кутовими вібраціями літака, на якому встановлено гравіметр. В результаті, на виході фільтра (5) нижніх частот отримуємо вихідний сигнал T'.

Для фільтра (5) нижніх частот можна записати співвідношення [5]:

UA 78620 C2

UA 78620 C2

$$T'(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t-\tau)T(\tau)d\tau ,$$

де w(.) - вагова функція фільтра (5) нижніх частот.

Вагова функція фільтра (5) нижніх частот дорівнює [5]:

$$w(t) = \int_{-\infty}^{\infty} W(j\omega)e^{j\omega\tau}d\omega = 2\omega_0\left[\frac{\sin\omega_0 t}{\omega_0 t}\right],$$

де $W(j\omega)$ - передаточна функція фільтра (5) нижніх частот.

Вихідний сигнал фільтра (5) нижніх частот подається в пристрій (6) обчислення вихідного сигналу гравіметра. Він обчислює вихідний сигнал гравіметра за формулою:

$$T'(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} 2\omega_0\left[\frac{\sin\omega_0(t-\tau)}{\omega_0(t-\tau)}\right]T(\tau)d\tau .$$

В даному випадку $\tau=2\pi n$ - інтервал часу обчислень пристрою (6), n=1,2,... - кількість повних обертів зовнішньої рамки (на кресленні не показана) двостепеневого ДНГ (1).

В результаті отримуємо вихідний сигнал T' гравіметра-винаходу, який містить корисну інформацію про прискорення сили тяжіння g. В ньому відсутні всі похибки, переважна частота яких більша за 0,1рад/с. Ці похибки викликані: поступальними віброприскореннями з переважаючою частотою 3140рад/с; кутовими віброприскореннями з переважаючою частотою 20рад/с, що дорівнює частоті власних коливань двостепеневого ДНГ (1) (самий небезпечний випадок головного резонансу); кутовими віброприскореннями з переважаючою частотою 40рад/с та 60рад/с; кутовими віброприскореннями, частота яких дорівнює 6,7 та 10рад/с (субгармонійні коливання).

Крім того, за час обчислень $\tau=2\pi n$ практично повністю будуть усуватися інструментальні похибки двостепеневого ДНГ (1), оскільки за повний оберт його зовнішньої рамки ці похибки по черзі приймають рівні по амплітуді додатні і від'ємні значення, тобто в середньому вони дорівнюють нулю.

Таким чином, у вихідному сигналі гравіметра-винаходу повністю компенсується вплив ряду похибок вимірювань, що дозволяє суттєво підвищити точність вимірювань прискорення сили тяжіння.

При проведенні випробувань для реалізації запропонованого винаходу використовувалися такі апаратні засоби:

1. Двостепеневий ДНГ, що серійно виготовляється у ВАТ "НВК Київський завод автоматики ім. Г.І.Петровського", м. Київ.

2. Фільтр нижніх частот з частотою зрізу 0,1рад/с.

3. Пристрій обчислення вихідного сигналу гравіметра - бортова обчислювальна машина С-019 літака АН-124.

У вказаного двостепеневого ДНГ центр мас ротора розташований на осі його обертання. Тому було виконано доробку цього двостепеневого ДНГ шляхом закріплення на його роторі додаткового тягаря, місце розташування якого зміщено відносно осі обертання ротора.

В результаті проведених випробувань визначено, що гравіметр-винахід дозволяє відокремлювати сигнал прискорення сили тяжіння від завад, викликаних вертикальними прискореннями, поступальними і кутовими вібраціями літака, на якому встановлено гравіметр. Таким чином, у вихідному сигналі гравіметра-винаходу повністю компенсується вплив ряду похибок вимірювань. Точність вимірювань прискорення сили тяжіння за допомогою гравіметра-винаходу складає 1мГл.

Література:

1. Авторське свідоцтво №317021, клас G01V7/00. - "Бюлетень винаходів". - 1971. -№30.

2. Одинцов А.А. Динамически настраиваемые гироскопы: Учебное пособие. - К.: КПИ, 1982. -68с.

3. Павловский В.А. Теория гироскопов. - К.: Вища школа, 1986. -302с.

4. Самотокин Б.Б., Мелешко В.В., Степанковский Ю.В. Навигационные приборы и системы. - К.: Вища школа, 1986. -344с.

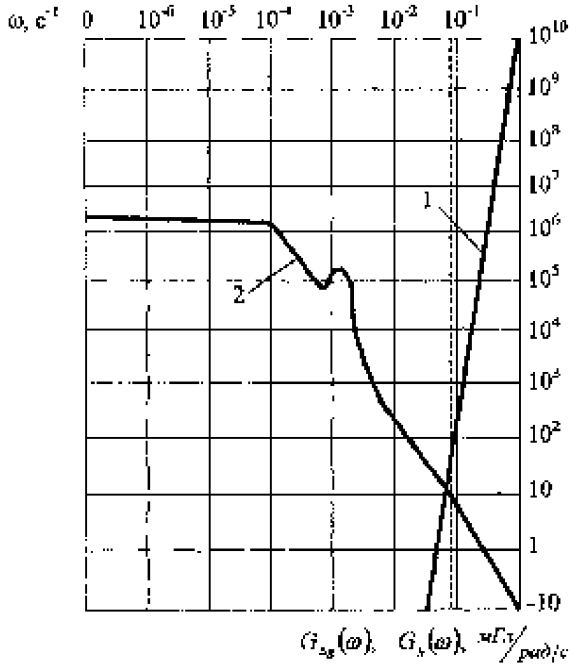
5. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие для вузов. - М: Радио и связь, 1990. -256с.

Формула винаходу

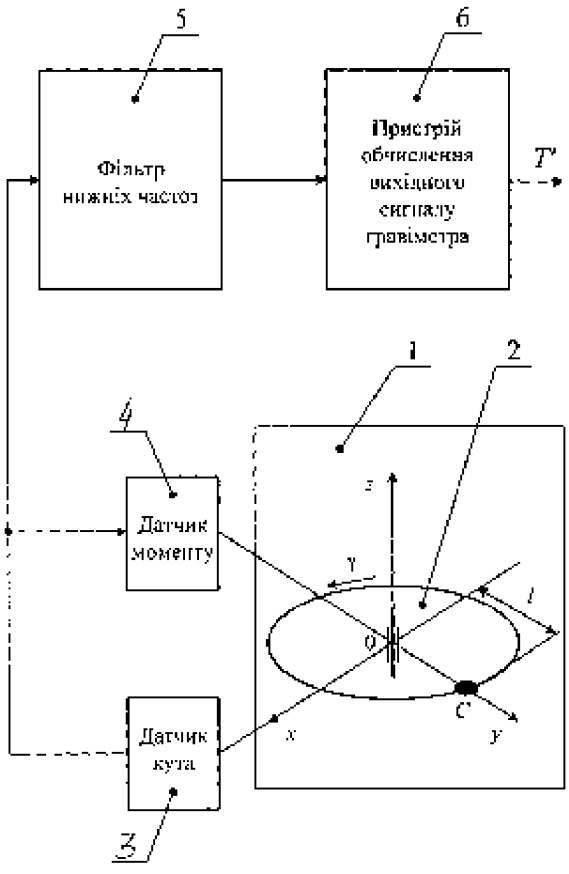
Гравіметр, що містить двоступеневий динамічно настроюваний гіроскоп (1), до якого підключений датчик (4) моменту, ротор (2) та датчик (3) кута повороту, який **відрізняється** тим, що центр мас ротора (2) двоступеневого динамічно настроюваного гіроскопа (1) зміщений відносно осі його обертання, введено фільтр (5) нижніх частот і пристрій (6) обчислення вихідного сигналу гравіметра, причому вхід датчика (3) кута повороту підключено до виходу двоступеневого динамічно настроюваного гіроскопа (1), а вихід датчика (3) кута повороту підключено до входу фільтра (5) нижніх частот, вихід якого підключено до входу пристрою (6) обчислення вихідного сигналу гравіметра.

UA 78620 C2

UA 78620 C2



Фіг. 1



Фіг. 2

Офіційний бюлетень "Промислоава власність". Книга 1 "Винаходи, корисні моделі, топографії інтегральних мікросхем", 2007, N 4, 15.04.2007. Державний департамент інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України.

UA 78620 C2

UA 78620 C2