



УКРАЇНА

(19) UA (11) 90627 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
G01V 7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

### (54) ГРАВИМЕТРИЧНА СИСТЕМА З ВИСОКОТОЧНИМ ВИСТАВЛЕННЯМ ОСІ ЧУТЛИВОСТІ ГРАВИМЕТРА

1

2

(21) а200903869

(22) 21.04.2009

(24) 11.05.2010

(46) 11.05.2010, Бюл.№ 9, 2010 р.

(72) БЕЗВЕСІЛЬНА ОЛЕНА МИКОЛАЇВНА, ПОД-  
ЧАШИНСЬКИЙ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, ОСТА-  
ПЧУК АННА АНАТОЛІЇВНА, КИРИЧУК ЮРІЙ ВО-  
ЛОДИМИРОВИЧ, ТКАЧЕНКО СВІТЛАНА  
СЕРГІЇВНА

(73) ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛО-  
ГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) UA 79874, 25.07.2007

SU 193100, 02.03.1967

RU 2149429, 20.05.2000

US 3727462, 17.04.1973

US 3633003, 11.02.1970

GB 1135117, 27.11.1968

(57) Гравіметрична система з високоточним виставленням осі чутливості гравіметра, що містить

гравіметр (1), встановлений на платформі (2), до входу керування якої підключена цифрова електронна обчислювальна машина (ЕОМ) (3), яка **відрізняється** тим, що додатково містить відеокамеру (5), процесор (6) лінійної апроксимації мітки, світловідбиваючий елемент (7), фотоелектричний автоколіматор (8), а на корпус гравіметра (1) нанесена мітка (4) у вигляді відрізка прямої лінії, напрямком якої співпадає з напрямком осі чутливості гравіметра (1), причому мітка (4) оптично пов'язана із входом відеокамери (5), вихід якої підключений до входу процесора (6) лінійної апроксимації мітки, вихід якого з'єднаний з першим входом цифрової ЕОМ (3), другий вхід якої з'єднаний з виходом фотоелектричного автоколіматора (8), вхід якого оптично пов'язаний зі світловідбиваючим елементом (7), який закріплений на корпусі гравіметра (1).

Винахід належить до області гравіметричних вимірювань і може бути використаний в геодезії, геології, інерціальних системах навігації.

Для будь-якої гравіметричної системи точність вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння визначається точністю виставлення осі чутливості гравіметра, що входить до складу цієї системи в якості чутливого елемента. В реальних умовах роботи вісь чутливості гравіметра відхиляється на деякий кут від напрямку місцевої вертикалі, а напрямком повного вектора прискорення сили тяжіння співпадає з напрямком цієї вертикалі. Тому, внаслідок відхилення осі чутливості гравіметра від місцевої вертикалі, гравіметр вимірює не істинне значення повного вектора прискорення сили тяжіння, а його проекцію на цю вісь чутливості.

Найбільш близькою за сукупністю суттєвих ознак до винаходу є відома гравіметрична система з високоточним виставленням осі чутливості гравіметра [1, с.288-292], що обрана за прототип винаходу.

Спільними суттєвими ознаками гравіметричної системи-прототипу і гравіметричної системи-винаходу є те, що вони містять гравіметр, встано-

влений на платформі, до входу керування якої підключено цифрову електронну обчислювальну машину (ЕОМ).

Проте, на відміну від гравіметричної системи-винаходу, гравіметрична система-прототип не містить елементів, що дозволяють з високою точністю здійснювати та контролювати виставлення осі чутливості гравіметра, що входить до складу цієї системи.

Платформа, на якій встановлено гравіметр, орієнтована певним чином в тривимірному просторі координат. Однак, така орієнтація платформи в тривимірному просторі в силу ряду причин не забезпечує високоточний збіг осі чутливості гравіметра з напрямком повного вектора прискорення сили тяжіння. Це обумовлено різними збурюючими факторами, похибками встановлення гравіметра на платформі тощо.

Таким чином, суттєвим недоліком гравіметричної системи-прототипу є низька точність виставлення осі чутливості гравіметра в тривимірному просторі, що в свою чергу, призводить до низької точності вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння системи в цілому.

(13) C2

(11) 90627

(19) UA

В основу винаходу поставлена задача удосконалення гравіметричної системи з високоточним виставленням осі чутливості гравіметра, щоб забезпечити підвищення точності виставлення в тривимірному просторі осі чутливості гравіметра, а, отже, і суттєве підвищення точності вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння такою гравіметричною системою.

Поставлена задача вирішується шляхом того, що додатково введено відеокамера, процесор лінійної апроксимації мітки, світловідбиваючий елемент, фотоелектричний автоколіматор, а на корпус гравіметра нанесено мітку у вигляді відрізка прямої лінії, напрямком якої співпадає з напрямком осі чутливості гравіметра, причому мітка оптично пов'язана із входом відеокамери, вихід якої підключено до входу процесора лінійної апроксимації мітки, вихід якого з'єднано з першим входом цифрової ЕОМ, другий вхід якої пов'язаний з виходом фотоелектричного автоколіматора, вхід якого оптично пов'язаний зі світловідбиваючим елементом, який закріплено на корпусі гравіметра.

Високоточне виставлення осі чутливості гравіметра в тривимірному просторі забезпечується за рахунок високоточного виставлення в тривимірному просторі положення площини, що відповідає поверхні світловідбиваючого елемента. Причому, мітка та світловідбиваючий елемент закріплені на корпусі гравіметра таким чином, щоб напрямком мітки співпадав із напрямком осі чутливості гравіметра, а площина поверхні світловідбиваючого елемента була паралельна цій осі чутливості. Фотоелектричний автоколіматор та відеокамера також попередньо орієнтовані в тривимірному просторі таким чином, щоб їх оптичні осі були перпендикулярні напрямку місцевої вертикалі. За допомогою фотоелектричного автоколіматора оцінюється відхилення площини поверхні світловідбиваючого елемента від положення, коли вона є перпендикулярною до оптичної осі автоколіматора. Сигнал, пропорційний ступеню цього незбігу, надходить на ЕОМ. ЕОМ керує просторовим положенням платформи таким чином, щоб ліквідувати цей незбіг. В результаті забезпечується розташування осі чутливості гравіметра у вертикальній площині, яка перпендикулярна оптичній осі фотоелектричного автоколіматора та в якій розташовано напрямком місцевої вертикалі. Однак, вісь чутливості гравіметра може бути розташована у вказаній вертикальній площині, але відхилитися на деякий кут від напрямку місцевої вертикалі. Це відхилення може бути визначено за допомогою мітки, відеокамери та процесора лінійної апроксимації мітки. За допомогою цифрової ЕОМ, що керує просторовим положенням платформи, це відхилення може бути ліквідоване.

В результаті, забезпечується високоточне виставлення осі чутливості гравіметра у тривимірному просторі і, відповідно, її високоточний збіг з напрямком місцевої вертикалі та повним вектором прискорення сили тяжіння.

Таким чином, в гравіметричній системі винаході суттєво підвищується точність вимірювання прискорення сили тяжіння.

Суть винаходу пояснюється кресленнями.

Перелік креслень:

Фіг.1 - структурна схема гравіметричної системи з високоточним виставленням осі чутливості гравіметра;

Фіг.2 - переріз А-А Фіг.1;

Фіг.3 - похибка вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння через незбіг осі чутливості гравіметра і місцевої вертикалі.

Гравіметрична система з високоточним виставленням осі чутливості гравіметра (Фіг.1, 2) містить гравіметр 1, платформу 2, цифрову ЕОМ 3, мітку 4, відеокамеру 5, процесор 6 лінійної апроксимації мітки, світловідбиваючий елемент 7, фотоелектричний автоколіматор 8. На корпус гравіметра 1 нанесено мітку 4 у вигляді відрізка прямої лінії, напрямком якої співпадає з напрямком осі чутливості гравіметра 1. Гравіметр 1 встановлено на платформі 2, до входу керування якої підключено цифрову ЕОМ 3. Мітка 4 оптично пов'язана із входом відеокамери 5. Вихід відеокамери 5 підключено до входу процесора 6 лінійної апроксимації мітки. Вихід процесора 6 з'єднано з першим входом цифрової ЕОМ 3, другий вхід якої пов'язаний з виходом фотоелектричного автоколіматора 8. Вхід фотоелектричного автоколіматора 8, в свою чергу, оптично пов'язаний зі світловідбиваючим елементом 7, який закріплено на корпусі гравіметра 1.

Гравіметрична система працює наступним чином.

Попередньо, перед початком вимірювань, виконують калібрування системи за допомогою мітки 4 та світловідбиваючого елемента 7 на тестовому об'єкті, що заздалегідь орієнтований певним чином в тривимірному просторі. В результаті, оптичні осі відеокамери 5 та фотоелектричного автоколіматора 8 перпендикулярні напрямку місцевої вертикалі.

Вісь чутливості  $Oz_1$  гравіметра відхиляється на деякий кут від напрямку місцевої вертикалі  $Oz$  (Фіг.3). Оскільки напрямком повного вектора  $f$  прискорення сили тяжіння співпадає з напрямком місцевої вертикалі  $Oz$ , то внаслідок відхилення осі чутливості гравіметра гравіметричної системи вимірює не істинне значення повного вектора прискорення сили тяжіння, а його проекцію  $f_1$  на цю ось чутливості. Похибка вимірювань дорівнює  $\Delta f$ .

Високоточне виставлення осі чутливості гравіметра 1 в тривимірному просторі забезпечується за рахунок високоточного виставлення в тривимірному просторі положення площини, що відповідає поверхні світловідбиваючого елемента 7. В цій же площині розташований напрямком осі чутливості гравіметра. За допомогою фотоелектричного автоколіматора 8 оцінюється відхилення цієї площини від положення, коли вона є перпендикулярною до оптичної осі фотоелектричного автоколіматора 8. Сигнал, пропорційний ступеню цього незбігу, надходить до другого входу цифрової ЕОМ 3. ЕОМ 3 керує просторовим положенням платформи 2 таким чином, щоб ліквідувати цей незбіг. В результаті забезпечується розташування осі чутливості гравіметра 1 у вертикальній площині перпендикулярно оптичній осі фотоелектричного автоколіматора 8. Однак, вісь чутливості гравіметра 1 розташована у цій вертикальній площині, але зазвичай відхиляється на деякий кут від напрямку місцевої

вертикалі. Це відхилення визначають за допомогою мітки 4, відеокамери 5 та процесора 6 лінійної апроксимації мітки. Відеокамера 5 оптично пов'язана із нанесеною на корпус гравіметра 1 міткою 4 та реєструє відхилення даної мітки від напрямку місцевої вертикалі. Сигнал з відеокамери 5 надходить на вхід процесора 6 лінійної апроксимації відеозображення мітки. Після обробки, інформація з процесора 6 лінійної апроксимації відеозображення мітки надходить до першого входу цифрової ЕОМ 3, яка, в свою чергу, керує просторовим положенням платформи 2 таким чином, щоб ліквідувати незбіг мітки 4 з напрямком місцевої вертикалі.

Найкращий результат з точки зору підвищення точності вимірювань дає лінійна апроксимація відеозображення мітки 4 за методом найменших квадратів або на основі дробово-раціональних оцінок [2, 3]. Така апроксимація приводить до зменшення впливу шумів, наявних у вихідному сигналі відеокамери 5, та похибок вимірювань, обумовлених дискретним характером цифрового відеозображення, на результат вимірювань. Це відбувається завдяки властивостям процедури лінійної апроксимації [3, с.113-117].

Для перевірки працездатності пристрою винаходу було створено його діючий макет та проведено ряд досліджень. Було використано цифрову відеокамеру Sony DCR-TRV940 в якості відеокамери 5, автоколіматор АКФ-5 в якості фотоелектричного автоколіматора 8 і електронну обчислювальну машину Pentium 4-1,7ГГц в якості

процесора 6 лінійної апроксимації мітки. В якості гравіметра 1 гравіметричної системи використано динамічно-настроюваний гіроскоп ГВК-6, що випускається серійно, а в якості цифрової ЕОМ 3 - бортову цифрову обчислювальну машину "Орбіта 20701".

Розмір цифрового відеозображення, отриманого від відеокамери 5, дорівнював 768x576 дискретних точок. Обчислення кута нахилу мітки 4 на кожному відеозображенні виконувалося на основі координат 180 дискретних точок, що належали мітці 4.

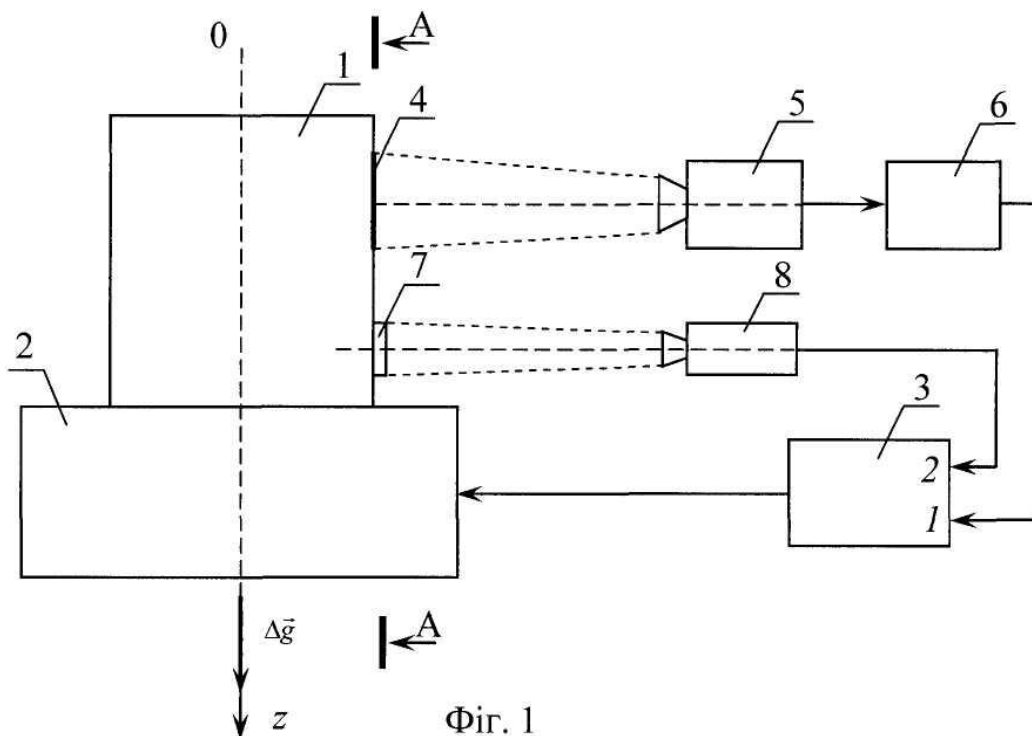
Визначено, що похибка вимірювань кутового положення мітки 4 на основі процедури лінійної апроксимації не перевищує 2'. Цього цілком достатньо для забезпечення виставлення осі чутливості гравіметричної системи з похибкою не більше 5' та вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння з похибкою не більше 1мГал [1]. Така похибка вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння є гарним показником для гравіметричних систем на рухомій основі.

Література:

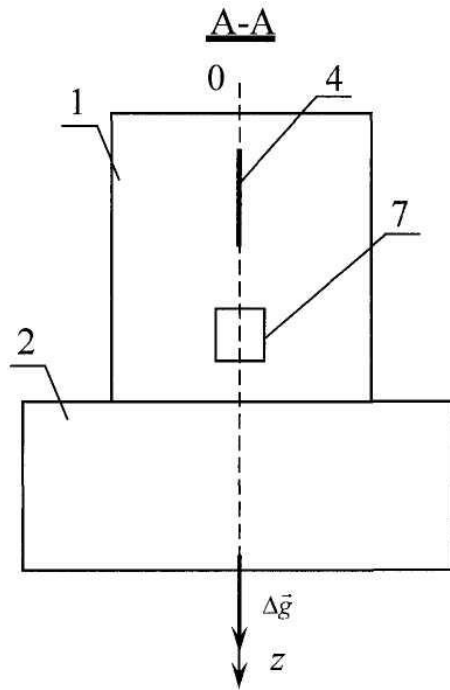
1. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: Монографія. - Житомир: ЖДТУ, 2007. - 604с.

2. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. - Л.: Энергоатомиздат, 1990. - 288с.

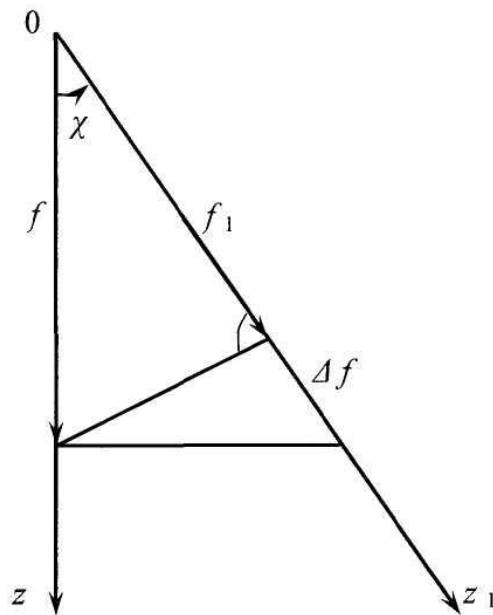
3. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / За редакцією Е.С. Поліщука. - Львів: Бескид Біт, 2003. - 544с.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3