



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 90621

(13) C2

(51) МПК (2009)
G01V 7/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИСТАВЛЕННЯ ОСІ ЧУТЛИВОСТІ ГРАВІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

1

2

(21) a200902978

(22) 30.03.2009

(24) 11.05.2010

(46) 11.05.2010, Бюл.№ 9, 2010 р.

(72) БЕЗВЕСІЛЬНА ОЛЕНА МИКОЛАЇВНА, ПОД-
ЧАШИНСЬКИЙ ЮРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ, КИРИ-
ЧУК ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, ГНАТЕЙКО НОН-
НА ВАЛЕНТИНІВНА

(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) Пристрій для виставлення осі чутливості гра-
віметричної системи, що містить гіростабілізовану

платформу (1), на якій закріплений чутливий елемент (2) гравіметричної системи, та бортову цифрову обчислювальну машину (3) (БЦОМ), вхід якої підключений до виходу чутливого елемента (2) гравіметричної системи, а вихід - до входу керування гіростабілізованої платформи (1), який **відрізняється** тим, що на корпус чутливого елемента (2) гравіметричної системи нанесена мітка (4) у вигляді відрізка прямої лінії, напрямком якої співпадає з напрямком осі чутливості чутливого елемента (2) гравіметричної системи, а також додатково введені відеокамера (5), вхід якої оптично пов'язаний з міткою (4), та обчислювальний пристрій (6) лінійної апроксимації відеозображення мітки, вхід якого підключений до виходу відеокамери (5), а вихід - до додаткового входу БЦОМ (3).

Винахід належить до галузі вимірювальної техніки і може бути використаний для проведення гравіметричних вимірювань в геодезії, геології, інерціальних системах навігації.

Гравіметрична вимірювальна інформація про аномалії прискорення сили тяжіння зазвичай отримується за допомогою гравіметричної системи. Чутливий елемент такої системи вимірює проекцію повного вектора прискорення сили тяжіння на вісь чутливості, яка має певну орієнтацію в вертикальній площині. В процесі роботи гравіметричної системи вісь чутливості може відхилятися від напрямку повного вектора прискорення сили тяжіння. При цьому довжина проекції менша за довжину повного вектора прискорення сили тяжіння. В результаті виникає суттєва похибка результатів вимірювань прискорення сили тяжіння, на основі яких і визначаються аномалії прискорення сили тяжіння.

Тому актуальною науково-технічною задачею є розробка пристроїв для виставлення осі чутливості гравіметричної системи. Такі пристрої забезпечують найбільш точний збіг напрямку цієї осі у вертикальній площині з напрямком повного вектора прискорення сили тяжіння і сприяють підви-

щенню точності вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння.

Відомий пристрій для виставлення осі чутливості гравіметричної системи [1, с 50-56], що обраний за прототип. Як і пристрій-винахід, пристрій-прототип містить гіростабілізовану платформу, на якій закріплено чутливий елемент гравіметричної системи, та бортову цифрову обчислювальну машину (БЦОМ), вхід якої підключено до виходу чутливого елемента гравіметричної системи, а вихід - до входу керування гіростабілізованої платформи.

Проте, на відміну від пристрою-винаходу, пристрій-прототип містить тільки перераховані вище складові частини.

В гравіметричній системі завжди має місце похибка відтворення дійсного напрямку осі чутливості чутливого елемента гравіметричної системи при його кріпленні на гіростабілізованій платформі. Це обумовлено тим, що чутливий елемент гравіметричної системи є прецизійним приладом у закритому корпусі. Відкривати цей корпус в процесі роботи гравіметричної системи неприпустимо.

На відміну від пристрою-винаходу, в пристрої-прототипі відсутні складові частини, що компенсують вказану похибку. Це приводить до похибки виставлення осі чутливості гравіметричної систе-

(13) C2

(11) 90621

(19) UA

ми відносно напрямку повного вектора прискорення сили тяжіння.

В результаті всього вищезазначеного, похибка виставлення осі чутливості гравіметричної системи у пристрої-прототипі може досягати декількох градусів. Така похибка є неприпустимо великою. Наприклад, для забезпечення точності вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння в 1 мГал необхідно виставляти ось чутливості гравіметричної системи з похибкою не більше 5' [2, с. 306-307].

Таким чином, суттєвим недоліком пристрою-прототипу є неточне виставлення осі чутливості гравіметричної системи і, як наслідок, низька точність вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення пристрою для виставлення осі чутливості гравіметричної системи, щоб забезпечити підвищення точності виставлення осі чутливості гравіметричної системи і, на цій основі, суттєве підвищення точності вимірювань прискорення сили тяжіння такою гравіметричною системою. Поставлена задача вирішується шляхом того, що на корпус чутливого елемента гравіметричної системи нанесено мітку у вигляді відрізка прямої лінії, напрямком якої співпадає з напрямком осі чутливості чутливого елемента гравіметричної системи, додатково введені відеокамера, вхід якої оптично пов'язаний з міткою, та обчислювальний пристрій лінійної апроксимації відеозображення мітки, вхід якого підключений до виходу відеокамери, а вихід - до додаткового входу БЦОМ.

Підвищення точності виставлення осі чутливості в пристрої-винаході забезпечується за рахунок введення до його складу блоків, що разом з БЦОМ забезпечують компенсацію похибки відтворення дійсного напрямку осі чутливості чутливого елемента гравіметричної системи при його кріпленні на гіростабілізованій платформі. Цими блоками є відеокамера, мітка у вигляді відрізка прямої лінії, напрямком якої співпадає з напрямком осі чутливості чутливого елемента гравіметричної системи, та обчислювальний пристрій лінійної апроксимації відеозображення цієї мітки.

При цьому відеокамера та обчислювальний пристрій лінійної апроксимації відеозображення мітки забезпечують високоточне визначення орієнтації у вертикальній площині чутливого елемента гравіметричної системи. Це відбувається завдяки властивостям процедури лінійної апроксимації відеозображення мітки [4, с. 113-117]. БЦОМ на основі вказаних результатів обчислює поправки просторової орієнтації гіростабілізованої платформи та подає керуючі сигнали на цю платформу таким чином, щоб напрямком осі чутливості гравіметричної системи, визначений на основі мітки, точно співпадає з напрямком повного вектора прискорення сили тяжіння.

Таким чином, пристрій-винахід забезпечує підвищення точності виставлення осі чутливості гравіметричної системи і, як наслідок, суттєве підвищення точності вимірювань прискорення сили тяжіння такою гравіметричною системою.

Суть винаходу пояснюється кресленнями.

Перелік креслень:

- фіг. 1 - структурна схема пристрою;

- фіг. 2 - схема визначення похибки виставлення осі чутливості гравіметричної системи, що обумовлена похибками виконання кріплення чутливого елемента гравіметричної системи на гіростабілізованій платформі;

- фіг. 3 і 4 - схема визначення похибки виставлення осі чутливості гравіметричної системи, що обумовлена незбігом напрямку мітки і дійсного напрямку осі чутливості чутливого елемента гравіметричної системи;

- фіг. 5 - схема визначення проекції повного вектора прискорення сили тяжіння на ось чутливості чутливого елемента гравіметричної системи.

Пристрій для виставлення осі чутливості гравіметричної системи (фіг. 1) містить гіростабілізовану платформу 1, на якій закріплено чутливий елемент 2 гравіметричної системи, бортову цифрову обчислювальну машину 3 (БЦОМ), мітку 4, відеокамеру 5 та обчислювальний пристрій 6 лінійної апроксимації відеозображення мітки. Мітка 4 виконана у вигляді відрізка прямої лінії, що нанесена на корпус чутливого елемента 2 гравіметричної системи. Напрямок мітки 4 співпадає з напрямком осі чутливості цього чутливого елемента 2. Вхід БЦОМ 3 підключено до виходу чутливого елемента 2 гравіметричної системи, а вихід - до входу керування гіростабілізованої платформи 1. Вхід відеокамери 5 оптично пов'язаний з міткою 4, а вихід підключено до входу обчислювального пристрою 6 лінійної апроксимації відеозображення мітки, вихід якого підключено до додаткового входу БЦОМ 3.

Пристрій для виставлення осі чутливості гравіметричної системи працює таким чином.

В результаті обертання в просторі гіростабілізована платформа 1 приймає таке положення, що напрямком її вертикальної осі збігається з напрямком місцевої вертикалі Oz та, відповідно, напрямком повного вектора прискорення сили тяжіння (фіг. 2). Такий поворот виконується на основі показань акселерометрів (на схемі не показані), що входять до складу гіростабілізованої платформи 1, та сигналів керування, що надходять від БЦОМ 3. Також попередньо виконується калібрування та просторова орієнтація відеокамери 5 за допомогою допоміжних засобів (наприклад, рівня та кутівимірювального пристрою, на схемі не показані). Ця процедура виконується таким чином, щоб вертикальна вісь відеозображень, що отримані за допомогою відеокамери 5 та надходять до обчислювального пристрою 6 лінійної апроксимації відеозображення мітки, співпадала з напрямком місцевої вертикалі.

Далі у відеокамері 5 формується відеозображення мітки 4, що нанесена на корпус чутливого елемента 2 гравіметричної системи. Відеозображення мітки 4 від відеокамери 5 надходить до обчислювального пристрою 6 лінійної апроксимації відеозображення мітки, який виконує процедуру лінійної апроксимації відеозображення мітки 4 та визначає кут β нахилу мітки 4 відносно місцевої вертикалі. Кут β дорівнює похибці Δ_1 , виставлення осі чутливості гравіметричної системи. Ця похибка зумовлена похибкою виконання кріплення

чутливого елемента 2 гравіметричної системи на гіростабілізованій платформі 1.

Найкращий результат з точки зору підвищення точності вимірювань дає лінійна апроксимація відеозображення мітки 4 за методом найменших квадратів або на основі дробово-раціональних оцінок [3, 4]. 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 [4, с 113-117].

Результат вимірювань кута $\beta = \Delta_1$ надходить до БЦОМ 3, яка формує керуючі сигнали для гіростабілізованої платформи 1. В результаті гіростабілізована платформа 1 змінює свою просторову орієнтацію таким чином, щоб напрямок осі чутливості Oz_1 гравіметричної системи, визначений за допомогою мітки 4, співпадає з напрямком місцевої вертикалі та, відповідно, з напрямком повного вектора прискорення сили тяжіння.

Таким чином, в пристрої-винаході забезпечується компенсація похибки виставлення осі чутливості гравіметричної системи Δ_1 . Ця похибка обумовлена похибкою виконання кріплення чутливого елемента 2 гравіметричної системи на гіростабілізованій платформі 1.

Розглянемо компенсацію похибки Δ_2 , що обумовлена незбігом напрямку мітки 4 з дійсним напрямком осі чутливості Oz_2 чутливого елемента 2 гравіметричної системи (фіг. 3 і 4). При цьому вважаємо, що похибка Δ_1 вже зкомпенсована.

Для цього гіростабілізована платформа 1 під дією сигналів керування від БЦОМ 3 відхиляється за годинниковою стрілкою від напрямку місцевої вертикалі на заданий кут у діапазоні від 0° до 90° (фіг. 3). При цьому чутливий елемент 2 гравіметричної системи вимірює проекцію повного вектора прискорення сили тяжіння на свою вісь чутливості та надсилає результат вимірювань до БЦОМ 3. Результат вимірювань дорівнює (фіг. 5):

$$f_{g1} = g \cdot \cos \alpha_1, \quad (1)$$

де: g - значення модуля повного вектора прискорення сили тяжіння;

α_1 - кут між дійсним напрямком осі чутливості чутливого елемента 2 гравіметричної системи і напрямком місцевої вертикалі, яка співпадає з напрямком повного вектора прискорення сили тяжіння.

Одночасно з цим відеокамера 5 формує відеозображення мітки 4, а обчислювальний пристрій 6 лінійної апроксимації відеозображення мітки визначає кут β_1 нахилу цієї мітки 4 відносно місцевої вертикалі. З фіг. 3 випливає, що

$$\alpha_1 = \beta_1 - \Delta_2. \quad (2)$$

Далі гіростабілізована платформа 1 під дією сигналів керування від БЦОМ 3 починає відхилятися проти годинникової стрілки від напрямку місцевої вертикалі (фіг. 4). При цьому БЦОМ 3 керує просторовим положенням гіростабілізованої платформи 1 таким чином, щоб досягти співвідношення

$$f_{g2} = f_{g1}. \quad (3)$$

При цьому

$$f_{g2} = g \cdot \cos \alpha_2, \quad (4)$$

де α_2 - кут між дійсним напрямком осі чутливості чутливого елемента 2 гравіметричної системи і напрямком місцевої вертикалі, яка співпадає з напрямком повного вектора прискорення сили тяжіння.

Для цього чутливий елемент 2 гравіметричної системи вимірює проекцію повного вектора прискорення сили тяжіння на свою вісь чутливості і надсилає результат вимірювань f_{g2} до БЦОМ 3.

Одночасно з цим відеокамера 5 формує відеозображення мітки 4, а обчислювальний пристрій 6 лінійної апроксимації відеозображення мітки визначає кут β_2 нахилу цієї мітки 4 відносно місцевої вертикалі.

З фіг. 4 випливає, що

$$\alpha_2 = \beta_2 + \Delta_2. \quad (5)$$

Оскільки значення модуля повного вектора прискорення сили тяжіння g не змінюється, то з формул (1), (3) і (4) випливає, що $\alpha_1 = \alpha_2$. Тоді, порівнюючи формули (2) і (5), можна отримати співвідношення

$$\beta_1 - \Delta_2 = \beta_2 + \Delta_2.$$

Звідси отримуємо значення похибки виставлення осі чутливості гравіметричної системи, що обчислюється у БЦОМ 3 за формулою:

$$\Delta_2 = \frac{\beta_1 - \beta_2}{2}.$$

Ця похибка обумовлена незбігом напрямку мітки 4 з дійсним напрямком осі чутливості чутливого елемента 2 гравіметричної системи. Якщо $\beta_1 > \beta_2$, то $\Delta_2 > 0$ (цю похибку відраховуємо проти годинникової стрілки від напрямку місцевої вертикалі). Якщо $\beta_1 < \beta_2$, то $\Delta_2 < 0$.

За результатом обчислень похибки Δ_2 БЦОМ 3 формує керуючі сигнали для гіростабілізованої платформи 1. На основі цих сигналів гіростабілізована платформа 1 змінює свою просторову орієнтацію таким чином, щоб напрямок дійсної осі чутливості гравіметричної системи співпадає з напрямком місцевої вертикалі та, відповідно, з напрямком повного вектора прискорення сили тяжіння.

Таким чином, в пристрої-винаході забезпечується компенсація похибки виставлення осі чутливості гравіметричної системи Δ_2 . Ця похибка обумовлена незбігом напрямку мітки 4 з дійсним напрямком осі чутливості чутливого елемента 2 гравіметричної системи.

Пристрій-винахід забезпечує високоточне виставлення осі чутливості гравіметричної системи у вертикальній площині, що перпендикулярна напрямку оптичної осі відеокамери 5. Якщо необхідно забезпечити виставлення осі чутливості гравіметричної системи у двох взаємно перпендикулярних вертикальних площинах (повну просторову орієнтацію та виставлення осі чутливості), то необхідно повернути відеокамеру 5 на кут 90° відносно чутливого елемента 2 гравіметри-

чної системи та повторити процедуру визначення похибок Δ_1 і Δ_2 . Також можливе використання в цьому випадку двох відеокамер, що розташовані під кутом 90° одна відносно другої.

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 і електронну обчислювальну машину Pentium 4-1,7 ГГц в якості обчислювального пристрою 6 лінійної апроксимації відеозображення мітки. В якості чутливого елемента 2 гравіметричної системи використано використаний динамічно-настроюваний гіроскоп ГВК-6, що випускається серійно, а в якості БЦОМ 3 - бортову цифрову обчислювальну машину "Орбіта 20701".

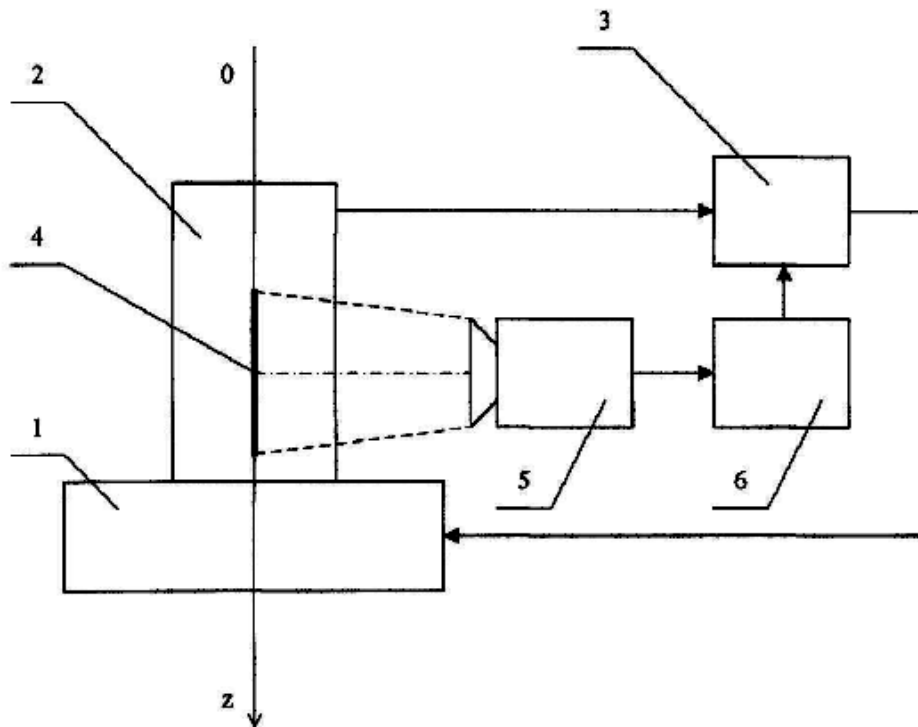
Розмір цифрового відеозображення, отриманого від відеокамери 5, дорівнював 768×576 дискретних точок. Обчислення кута нахилу мітки 4 на кожному відеозображенні виконувалося на основі координат 180 дискретних точок, що належали мітці 4. Величина нахилу гіростабілізованої плат-

форми 1 при визначенні похибки Δ_2 дорівнювала приблизно 20° .

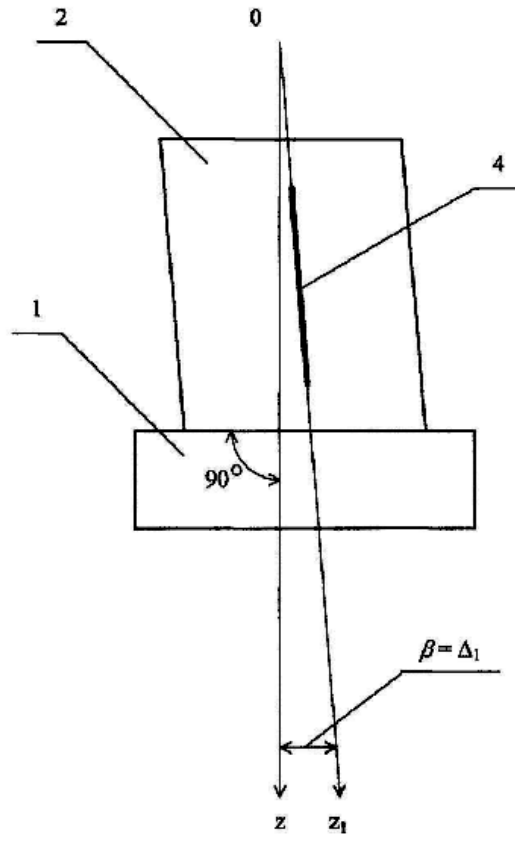
Визначено, що похибка вимірювань кутового положення мітки 4 на основі процедури лінійної апроксимації не перевищує $2'$. Цього цілком достатньо для забезпечення виставлення осі чутливості гравіметричної системи з похибкою не більше $5'$ та вимірювань аномалій прискорення сили тяжіння з похибкою не більше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

Література

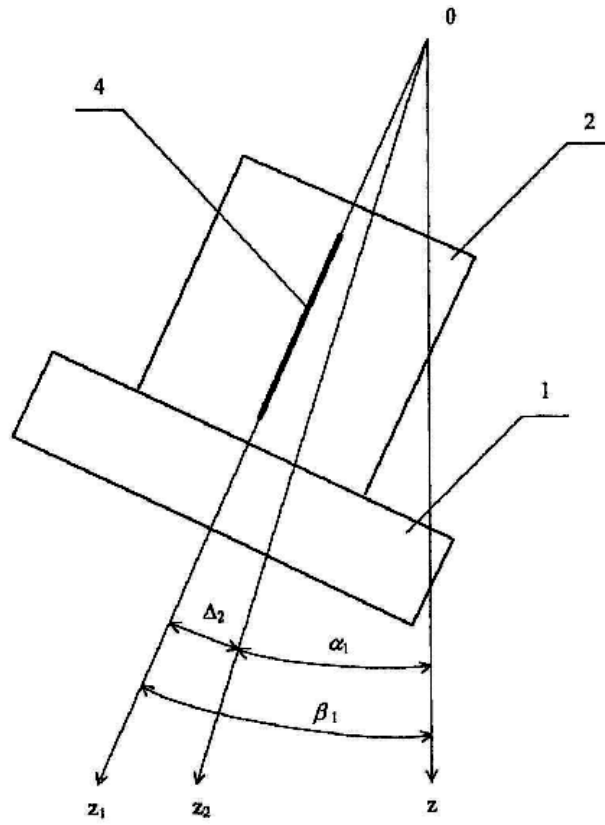
1. Безвесільна О.М. Вимірювання прискорень: Підручник. - К.: Либідь, 2001.-264 с
2. Безвесільна О.М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: Монографія. - Житомир: ЖДТУ, 2007. - 604с.
3. Грановский В. А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. - Л.: Энергоатомиздат, 1990. -288 с.
4. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник / За редакцією Е.С. Поліщука. - Львів: Бескид Біт, 2003. - 544 с.



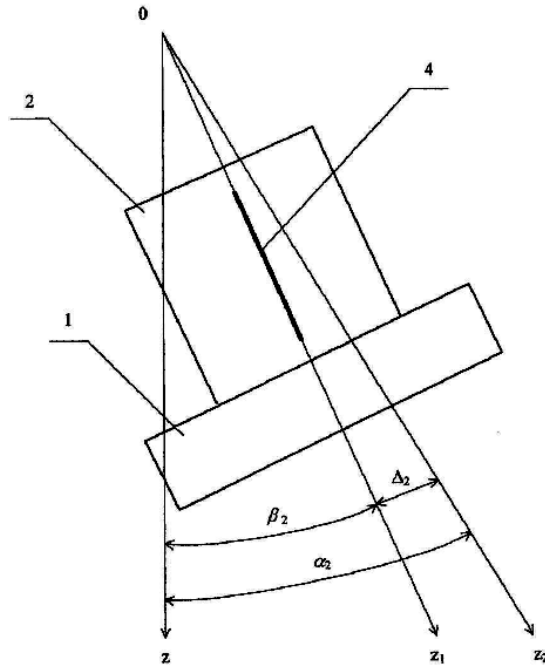
Фіг. 1



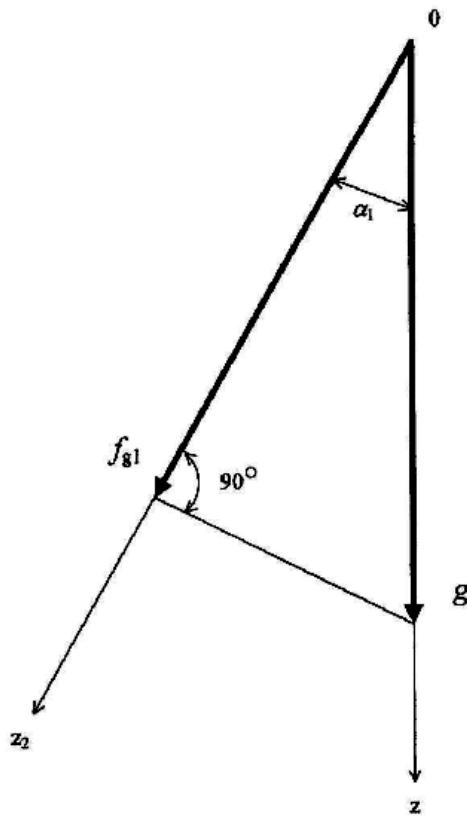
Φir. 2



Φir. 3



Фіг. 4



Фіг. 5