



УКРАЇНА

(19) UA (11) 56722 (13) U  
(51) МПК  
G01B 7/30 (2011.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) МАЯТНИКОВИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЕРТИКАЛІ ЗЕМЛІ ТА КУТІВ ТАНГАЖУ І КРЕНУ НА РУХОМОМУ ОБ'ЄКТІ (МАЯТНИК КАРПАЧЕВА)

1

2

(21) u201008253

(22) 02.07.2010

(24) 25.01.2011

(46) 25.01.2011, Бюл.№ 2, 2011 р.

(72) КАРПАЧЕВ ЮРІЙ АНДРІЙОВИЧ

(73) КАРПАЧЕВ ЮРІЙ АНДРІЙОВИЧ

(57) 1. Маятниковий прилад для визначення вертикалі Землі та кутів тангажу і крену на рухомому об'єкті, який містить однокоординатний фізичний маятник, механічно з'єднаний з датчиком кута, датчиком моменту, демпфером механічних коливань та посилювачем зворотного зв'язку, причому датчик кута маятника жорстко з'єднаний з основою рухомого об'єкта, який відрізняється тим, що він

додатково містить триланковий сателітний механізм, в якому вісь обертання сателітного колеса встановлена паралельно осі маятника та жорстко з'єднана з нею; вісь центрального колеса розміщена на одній прямій з віссю обертання маятника та жорстко з'єднана з корпусом рухомого об'єкта, а сателітне колесо оснащено датчиком кута.

2. Маятниковий прилад для визначення вертикалі Землі та кутів тангажу і крену на рухомому об'єкті за п. 1, який відрізняється тим, що додатково містить другий маятниковий прилад, вісь обертання якого перпендикулярна осі обертання першого маятника, при цьому вісь обертання другого маятника паралельна осі крену об'єкта.

Корисна модель відноситься до приладобудування, зокрема до приладів та пристроїв визначення напрямку вертикалі Землі, а саме до приладів та пристроїв з використанням фізичних маятників.

Основні властивості фізичного маятника, якими є періодичність коливань та здатність зберігати в положенні статичної рівноваги напрямки вертикалі Землі, широко використовуються в різноманітних приладах: гравіметрах, нівелірах, акселерометрах, сейсмічних приладах, в приладах для експериментального визначення моментів інерції твердих тіл, в часових механізмах та ін. Всі згадані прилади, крім часових механізмів, потребують установки осі підвісу маятника на основі, вимоги до якої передбачають строге зберігання горизонтальності відносно Землі.

Відомий маятниковий прилад для визначення вертикалі Землі [ЕР 1830193, МПК G01P15/13, опубл. 2007-09-05], який містить фізичний маятник, розміщений на осі підвісу, датчик кута, датчик маятника, демпфер та підсилювач зворотного зв'язку. Недоліком відомого маятникового приладу є необхідність його установки на нерухомій основі або основі, що стабілізується.

Задачею корисної моделі є створення високоточного маятника для рухомого об'єкта, що обертається та рухається із прискоренням.

Поставлена задача вирішується тим, що в маятниковому приладі для визначення вертикалі Землі та кутів тангажу і крену на рухомому об'єкті, який містить однокоординатний фізичний маятник, механічно пов'язаний з датчиком кута, датчиком моменту, демпфером механічних коливань та посилювачем зворотного зв'язку, причому датчик кута маятника жорстко пов'язаний з основою рухомого об'єкта, згідно з корисною моделлю, прилад додатково містить трьохланковий сателітний механізм, в якому вісь обертання сателітного колеса встановлена паралельно вісі маятника та жорстко пов'язана з нею; вісь центрального колеса розміщена на одній прямій з віссю обертання маятника та жорстко пов'язана з корпусом рухомого об'єкта, а сателітне колесо споряджено датчиком кута.

Новим також є те, що маятниковий прилад для визначення вертикалі Землі та кутів тангажу і крену на рухомому об'єкті додатково містить другий маятниковий прилад, вісь обертання якого перпендикулярна осі обертання першого маятника та паралельна осі крену об'єкта.

Корисна модель пояснюється кресленнями на Фіг.1-5. На Фіг.1 зображені дві праві ортогональні системи координат. На Фіг.2 зображена кінематична схема маятникового приладу, на Фіг.3 схема маятникового приладу в аксонометричному вигляді.

(13) U  
(11) 56722  
(19) UA

ді, на Фіг.4 блок-схема обчислення кутів  $\beta_1, \vartheta$  за показаннями датчика кута маятника і датчика кута сателітного колеса при однакових коефіцієнтах передачі датчиків, на Фіг.5 - блок-схема обчислення кутів  $\beta_2$  і  $\varphi$  за показанням датчиків маятника та сателітного колеса, осі яких ортогональні осі маятника.

Маятниковий прилад містить:

- датчик кута 1 маятника 5, жорстко пов'язаний з корпусом рухомого об'єкта, причому поверхня 2 датчика кута 1 виконана резистивною;
- струмознімач 3 датчика кута 1;
- важіль повороту 4 струмознімача 3, жорстко пов'язаний віссю обертання 6 однокоординатного фізичного вільного маятника (далі - маятник) 5;
- водило 7, що жорстко зв'язує вісь обертання 6 маятника 5 та вісь обертання 8 сателітного колеса 13, причому вісь обертання 8 розміщена паралельно вісі обертання 6;
- датчик кута сателітного колеса 13, який розміщений у корпусі 12, що жорстко пов'язаний з сателітним колесом 13, та який містить струмознімач 10, що контактує з резистивною поверхнею 11 сателітного колеса 13, і важіль 9, жорстко пов'язаний з віссю обертання 8 сателітного колеса;
- центральне колесо 14, вісь обертання 15 якого жорстко пов'язана з корпусом рухомого об'єкта 16;
- опору 17 для підвісу маятника 5;
- зубчатий сектор 18 датчика моменту, жорстко пов'язаний з віссю обертання 6 маятника 5;
- 19 - миттєвий двигун, жорстко пов'язаний з об'єктом;
- демпфер коливань 20 маятника рідинно-механічного або електромагнітного типів.

Маятниковий прилад, що пропонується, є реалізацією накладеного на однокоординатний фізичний маятник додаткового кінематичного зв'язку, який не обмежує вільні коливання маятника. В якості такого зв'язку обраний епіциклоїдальний зв'язок у вигляді простого сателітного механізму, який полягає в тому, що будь-яка точка сателітного колеса, яке котиться без прослизання по нерухомій окружності, описує в площині коліс епіциклоїду. Для запобігання прослизання сателітне та центральне колесо виконують із зубчатою або фрикційною передачею та здійснюють попереднє підтискання сателітного колеса до центрального. На представленій кінематичній схемі в якості датчика кута розглянуто датчик потенціометричного типу, а в якості миттєвого двигуна - звичайний електродвигун із зубчатою передачею. В якості датчика кута можуть бути використані датчик електромагнітного, магнітоелектричного, оптичного та інших типів, а в якості датчика моменту - датчик магнітно-електричного типу.

При обертанні об'єкта та за умови його руху з прискоренням в вертикальній площині, зокрема навколо осі обертання маятника та струмознімача датчика кута маятника, вихідний сигнал датчика кута видасть сигнал, пропорційний різниці кутів (Фіг.1)

$$v_1 = \vartheta - \beta_1, \quad (1)$$

де  $\beta_1$  - кут відхилення маятника відносно вертикальної площини;  $v_1$  - показники датчика кута маятника;  $\vartheta$  - кут тангажу рухомого об'єкта (кут обертання об'єкта навколо осі обертання маятника).

На Фіг.1 введені на розгляд дві праві ортогональні системи координат. Система координат  $Ox_1^0 x_2^0 x_3^0$  - нерухома відносно поверхні Землі, вісь  $Ox_2^0$  лежить в горизонтальній площині та направлена на читача (вісь кута тангажу), вісь  $Ox_1^0$  також лежить в горизонтальній площині та направлена в сторону руху об'єкта (вісь крену об'єкта), а вісь  $Ox_3^0$  - вертикальна осі (вісь ристання об'єкта). Точка О є початком системи координат, яка співпадає зі віссю підвісу маятника (вісь  $Ox_3^0$ ). Система координат  $Ox_1 x_2 x_3$  - рухома, ось  $Ox_1$  є віссю крену, ось  $Ox_2$  - віссю тангажу, а вісь  $Ox_3$  - віссю ристання об'єкта.

При  $\vartheta = \varphi = \psi = 0$ , де  $\varphi$  - кут крену об'єкта, а  $\psi$  - кут ристання об'єкта, одноіндексні осі систем координат  $Ox_1^0 x_2^0 x_3^0$  та  $Ox_1 x_2 x_3$  співпадають одна з одною.

При встановленні осі маятника по осі крену (вісь  $Ox_1$ ) датчик кута маятника видає сигнал  $v_3$ , який дорівнює різниці кутів.

$$v_3 = \varphi - \beta_2, \quad (2)$$

де  $\varphi$  - кут крену, а  $\beta_2$  - кут відхилення маятника відносно вертикальної площини.

Значення кутів в (1), (2) і в подальшому вважаються позитивними, якщо вони відлічують проти часової стрілки навколо напрямку позитивних осей систем координат  $Ox_1^0 x_2^0 x_3^0$  і  $Ox_1 x_2 x_3$ .

Відповідно (1), (2) обчислення кутів  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  не представляються можливими, оскільки невідомі кути тангажу та крену об'єкта, викликані обертаючим рухом об'єкта та дією сил інерції переносного руху осей підвісу маятників.

Маятниковий прилад працює наступним чином.

При нерухомому маятнику ( $\beta = 0$ ) та повороті об'єкта на кут  $\vartheta$  навколо осі  $Ox_2$ , сателітне колесо обертається за часовою стрілкою на кут  $v_{21}$ , оскільки центральне колесо, будучи жорстко пов'язаним з корпусом об'єкта, також повертається на кут  $\vartheta$ . Очевидно, що в цьому випадку кут  $v_{21}$  буде дорівнювати

$$v_{21} = -\frac{r_1}{r_2} \vartheta, \quad (3)$$

де  $r_1$  - радіус центрального колеса,  $r_2$  - радіус сателітного колеса.

При нерухомій основі, а отже і нерухомому центральному колесі, при обертанні маятника на кут  $\beta_1$  сателітне колесо повертається проти часової стрілки на кут  $v_{2_2}$ , рівний

$$v_{2_2} = \frac{r_1 + r_2}{r_2} \beta_1. \quad (4)$$

Тоді кут оберту сателітного колеса при повороті основи на кут  $\vartheta$  і повороті маятника на кут  $\beta_1$  буде дорівнювати відповідно (3), (4) сумі

$$v_2 = v_{2_2} + v_{2_1} = \frac{1}{r_2} [-r_1 \vartheta + (r_1 + r_2) \beta_1] \quad (5)$$

Вирішивши рівняння (1), (4) відносно кутів  $\beta_1, \vartheta$ , отримаємо

$$\beta_1 = K_1 v_1 + v_2, \quad (6)$$

$$\vartheta = K_2 v_1 + v_2,$$

де

$$K_1 = \frac{r_1}{r_2}; K_2 = \frac{r_1 + r_2}{r_2} \quad (7)$$

Блок-схема обчислення кутів  $\beta_1, \vartheta$  за показаннями датчика кута маятника і датчика кута сателіта при однакових коефіцієнтах передачі датчиків показана на Фіг.4. Нагадаємо, що в (6) величини  $\beta_1, \vartheta, v_1, v_2$  мають безрозмірну величину.

Якщо датчики кутів  $D_1, D_2$ , мають різну крутизну вихідних сигналів, то легко показати, що вираз (6) прийме наступний вид

$$\beta_1 = K_1 v_1 + n v_2, \quad (8)$$

$$v = K_2 v_1 + n v_2$$

де  $n$  - рівне відношенню крутизни датчика  $D_1$  до крутизни вихідних сигналів датчика  $D_2$ :

$$n = \frac{\bar{K}_1}{\bar{K}_2}, \quad (9)$$

де  $\bar{K}_1$  - крутизна вихідного сигналу датчика  $D_1$ , а  $\bar{K}_2$  - крутизна вихідного сигналу датчика  $D_2$ .

При однакових радіусах коліс датчика кута та сателітного колеса, тобто, при  $r_1 = r_2 = r$  рівняння (6) набуває вигляду

$$\beta_1 = v_1 + v_2, \quad (10)$$

$$\vartheta = 2v_1 + v_2,$$

що визначає

$$v_1 = \vartheta - \beta_1 \quad (11)$$

$$v_2 = \vartheta - 2\beta_1,$$

тобто, сателітне колесо при  $\vartheta = 0$  повертається на кут  $2\beta_1$

Таким чином накладання до осі обертання маятника додаткового епіциклоїдального кінематичного зв'язку у вигляді простого трьохланкового сателітного механізму дозволяє визначити за допомогою найпростіших обчислень не тільки кут відхилення маятника відносно вертикальної площини Землі, але й кут тангажу об'єкта  $\vartheta$ , що суттєво розширює функціональні можливості такого фізичного маятника.

При установці такого ж маятника (другого маятника) по осі  $Ox_1$  (вісь крену об'єкта) з такими ж параметрами, як і у першого маятника, для другого маятника можна отримати аналогічні (7), (9) вирази.

$$\beta_2 = K_1 v_3 + n v_4, \quad (12)$$

$$\varphi = K_2 v_3 + n v_4$$

де  $v_3$  - кут, який реєструється датчиком кута, встановленим по осі другого маятника;  $v_4$  - кут, який реєструється датчиком кута, встановленим по осі обертання сателіта;  $\beta_2$  - кут відхилення маятника відносно вертикальної площини;  $\varphi$  - кут крену об'єкта, що виходить за допомогою повороту об'єкта проти часової стрілки навколо позитивного напрямку осі  $Ox_1^0$ ;  $n, K_1, K_2$  - безрозмірні коефіцієнти які обчислюють за формулою (6), (8)

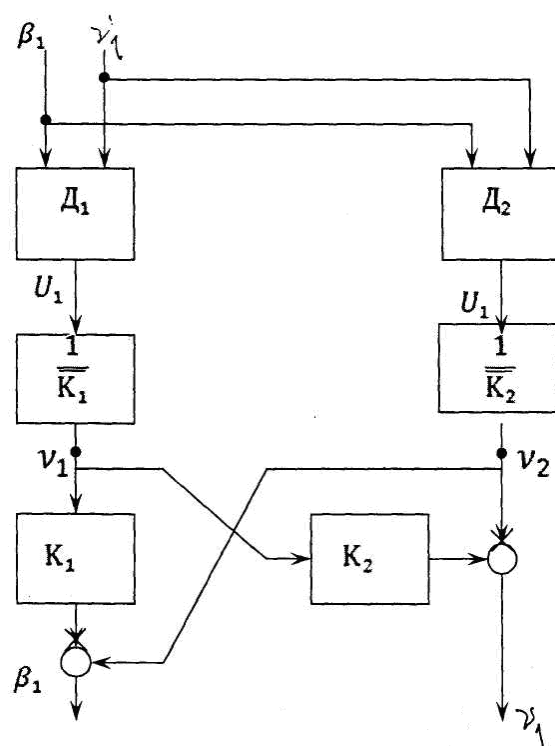
Блок-схема обчислення кутів  $\beta_2$  і  $\varphi$  за показанням датчиків маятника  $D_3$  та сателітного колеса  $D_4$  показано на Фіг.5.

Отже, при встановленні двох описаних маятників із взаємно перпендикулярним розташуванням їх осей, утворюється система виміру та обчислення двох координат визначення вертикалі Землі на основі, що обертається та рухається з прискоренням, з можливістю передачі інформації по кутам тангажу та крену об'єкта в систему управління рухом об'єкта.

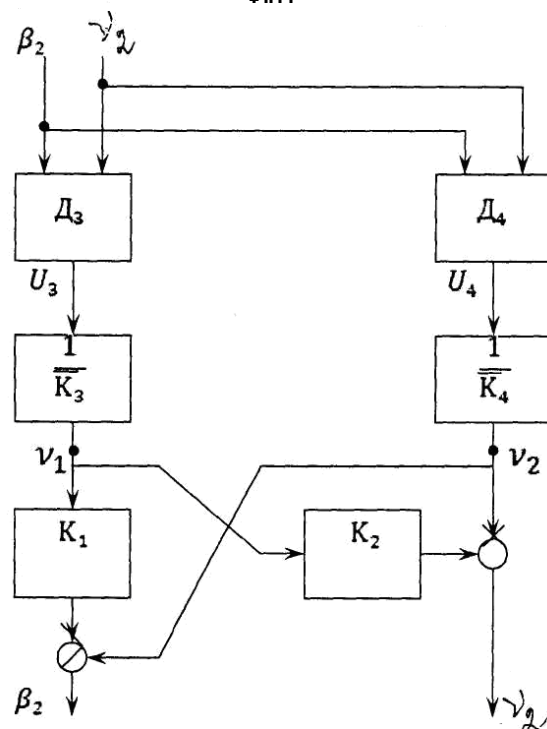
І, нарешті, якщо формуючий в обчислювальному пристрої маятників кут  $\beta_1$  і  $\beta_2$  подать в ланцюг негативного зворотного зв'язку маятників, який складається із датчиків кута, миттєвих двигунів та посилювачів зворотного зв'язку з позиційним інтегро-диференціальним контуром (ПІД регулятором), то вийде стійка, задемпфована двохкоординатна маятникова вертикаль з довільним періодом особистих коливань та з незалежною (інваріантною) з точністю до перехідних процесів від переносних прискорень рухомого об'єкта.

Використання фізичного маятника, із сателітним механізмом в якості датчиків кута тангажу та крену об'єкта, який розглядався вище, дозволяє виключити застосування дорогих гіроскопічних приладів (вільних та коригуючих гіроскопів, однороторних та багатороторних гіровертикалей).





Фиг.4



Фиг.5