



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **137601** (13) **U**
(51) МПК (2019.01)
G01V 7/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

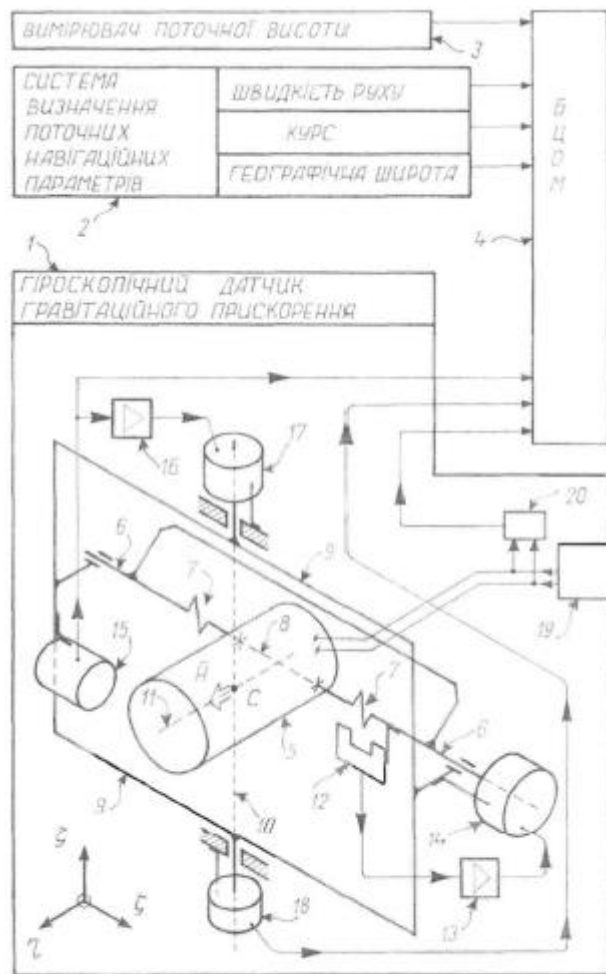
(21) Номер заявки: u 2019 04517	(72) Винахідник(и): Добржанський Олександр Олексійович (UA), Ткачук Андрій Геннадійович (UA), Богдановський Мартін Віталійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 25.04.2019	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 25.10.2019	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.10.2019, Бюл.№ 20	(73) Власник(и): ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005 (UA)

(54) ОДНОРОТОРНИЙ ІНТЕГРУЮЧИЙ ГІРОСКОПІЧНИЙ ГРАВИМЕТР З КОНТРОЛЬОВАНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

(57) Реферат:

Однороторний інтегруючий гіроскопічний гравіметр з контрольованими параметрами містить гіроскопічний датчик (1) гравітаційного прискорення, систему (2) визначення поточних навігаційних параметрів та вимірювач (3) поточної висоти, виходи яких підключені до бортової обчислювальної машини (БЦОМ) (4), причому гіроскопічний датчик (1) гравітаційного прискорення містить гіромотор (5), який закріплений на валу (6) внутрішнього підвісу гіромотора пружними елементами (7), які виконано так, що жорсткість пружних елементів на скручення по повздовжній осі (8) валу внутрішнього підвісу гіромотора набагато менша ніж жорсткість пружних елементів (7) на вигин, причому повздовжня вісь (8) вала внутрішнього підвісу гіромотора зміщена відносно площини зовнішньої рамки (9) і розташована у площині, перпендикулярній до осі (10) підвісу зовнішньої рамки, а центр мас гіромотора (5) розташований на осі (11) обертання ротора гіромотора так, що, якщо вісь (11) обертання ротора гіромотора перпендикулярна до площини зовнішньої рамки (9), то центр мас гіромотора (5) розміщений на осі (10) підвісу зовнішньої рамки, яка встановлена вздовж вертикалі місця, причому на валу (6) внутрішнього підвісу гіромотора розташований датчик (12) кута закручення пружних елементів, вихід якого підключений до першого підсилюючого елемента (13), вихід якого підключений до виконавчого двигуна (14), який жорстко закріплений на зовнішній рамці (9), а вал виконавчого двигуна (14) є валом (6) внутрішнього підвісу гіромотора, причому на зовнішній рамці (9) встановлений датчик (15) кута повороту гіромотора, вихід якого підключений до БЦОМ (4) та до другого підсилюючого елемента (16), вихід якого підключений до датчика (17) моменту, який встановлений на осі (10) підвісу зовнішньої рамки разом з датчиком (18) кута повороту зовнішньої рамки, вихід якого підключений до БЦОМ (4), причому до блока (19) живлення стабілізованої частоти підключені гіромотор (5) та датчик (20) поточної частоти живлення, вихід якого підключений до БЦОМ (4).

UA 137601 U



Фіг. 1

Корисна модель належить до засобів вимірювання вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарату і може бути використана в галузі геодезії, геофізики, геологорозвідування, зокрема, при формуванні опорних гравіметричних сіток важкодоступних районів Земної кулі, а також в авіа- та ракетобудуванні.

5 Найбільш близьким за сукупністю суттєвих ознак до корисної моделі є гравіметр на базі гіроскопа [1], що вибраний як найближчий аналог.

Спільними суттєвими ознаками аналога та корисної моделі, що заявляється, є те, що вони містять гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення, систему визначення поточних навігаційних параметрів та вимірювач поточної висоти, виходи яких підключені до бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ).

10 Проте, на відміну від корисної моделі, аналог має ряд недоліків. У аналога як гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення застосований один двоступеневий гіроскоп. Центр мас ротора зміщений в площині обертання ротора, створюючи маятниковість, а сам ротор кріпиться на осі підвісу за допомогою пружних торсіонів, що працюють, в основному, на скручення. В 15 початковому положенні ротор обертається в площині, перпендикулярній до вертикалі місця (нормалі до еліпсоїда обертання). Під час роботи гравіметра-аналога відхилення ротора від його початкового положення вимірюється датчиком кута, вихід якого є вихідним сигналом гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення і вхідним сигналом для датчика моменту, який створює додатковий момент відносно осі підвісу ротора [2].

20 Зазначені особливості конструкції зумовлюють те, що при виборі певного значення швидкості обертання приводного двигуна ротора момент сил пружного опору торсіонів відносно осі підвісу ротора компенсується моментом відцентрових сил інерції ротора відносно тієї ж осі, що виникає внаслідок обертання ротора від приводного двигуна. Тому, в ідеалі, в гравіметри-аналогі статичний передавальний коефіцієнт гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення 25 залежить тільки від маятниковості та від передавального коефіцієнта датчика моменту. Але на практиці в гравіметри-аналогі стабільність статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення обмежена через сильну залежність пружних властивостей торсіонів від температури та параметрів вібрацій в місці установки приладу, які спричиняють втомлюваність пружного елемента. Температурні зміни спричиняють також зміну 30 електричних параметрів в електромеханічній системі датчика моменту і, таким чином, впливають на значення його передавального коефіцієнта. Нестабільність передавального коефіцієнта датчика моменту спричиняє додаткову нестабільність статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення.

В процесі роботи гравіметра-аналога відносно осі підвісу ротора одночасно діють "корисний" 35 момент від вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення, моменти-перешкоди від горизонтальних складових вектора гравітаційного прискорення, моменти-перешкоди від вертикальної та горизонтальних складових вектора лінійного прискорення рухомої основи, моменти-перешкоди від вертикальної та горизонтальних складових вектора кутової швидкості рухомої основи та моменти-перешкоди від горизонтальних складових вектора кутового 40 прискорення рухомої основи. Вказані моменти викликають появу відповідних складових у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення. Моменти-перешкоди, окрім тих, що спричинені горизонтальними складовими вектора гравітаційного прискорення, обумовлені тим, що гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення встановлений на рухомій основі. Таким чином, суттєвим недоліком гравіметра-аналога є:

45 1) нестабільність статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення, спричинена змінами пружних властивостей торсіонів та змінами електричних параметрів в електромеханічній системі датчика моменту;

2) неможливість визначення поточного статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення;

50 3) наявність у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення складових-перешкод, обумовлених тим, що гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення встановлений на рухомій основі, а також складових-перешкод від горизонтальних складових вектора гравітаційного прискорення.

Зазначені фактори суттєво знижують точність вимірювання вертикальної складової вектора 55 гравітаційного прискорення цим приладом з борту рухомого літального апарату.

В основу корисної моделі поставлено задачу в однороторному інтегруючому гіроскопічному гравіметрі з контрольованими параметрами шляхом застосування як датчик гравітаційного прискорення - однороторного інтегруючого гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення та додаткових інформаційних каналів забезпечити:

1) підвищення стабільності статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення,

2) можливість визначення поточного статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення,

5 3) зниження рівня перешкод у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення, що у сукупності призводить до суттєвого підвищення точності вимірювань вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарату.

Поставлена задача вирішується тим, що у гравіметр, що містить гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення, систему визначення поточних навігаційних параметрів та вимірювач поточної висоти, виходи яких підключені до БЦОМ, введені нові суттєві ознаки. Згідно з корисною моделлю, гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення містить гіромотор, який закріплений на валу внутрішнього підвісу гіромотора пружними елементами, які виконано так, що жорсткість пружних елементів на скручення по повздовжній осі вала внутрішнього підвісу гіромотора набагато менша ніж жорсткість пружних елементів на вигин, причому повздовжня вісь вала внутрішнього підвісу гіромотора зміщена відносно площини зовнішньої рамки і розташована у площині перпендикулярній до осі підвісу зовнішньої рамки, а центр мас гіромотора розташований на осі обертання ротора гіромотора так, що, якщо вісь обертання ротора гіромотора перпендикулярна до площини зовнішньої рамки, то центр мас гіромотора розміщений на осі підвісу зовнішньої рамки, яка встановлена вздовж вертикалі місця, причому на валу внутрішнього підвісу гіромотора розташований датчик кута закручення пружних елементів, вихід якого підключений до першого підсилюючого елемента, вихід якого підключений до виконавчого двигуна, який жорстко закріплений на зовнішній рамці, а вал виконавчого двигуна є валом внутрішнього підвісу гіромотора, причому на зовнішній рамці встановлений датчик кута повороту гіромотора, вихід якого підключений до БЦОМ та до другого підсилюючого елемента, вихід якого підключений до датчика моменту, який встановлений на осі підвісу зовнішньої рамки разом з датчиком кута повороту зовнішньої рамки, вихід якого підключений до БЦОМ, причому до блоку живлення стабілізованої частоти підключені гіромотор та датчик поточної частоти живлення, вихід якого підключений до БЦОМ.

Запропоноване використання в якості гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення - однороторного інтегруючого гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення дозволяє підвищити стабільність статичного передавального коефіцієнта вказаного датчика за рахунок того, що в цьому випадку статичний передавальний коефіцієнт визначається лише значенням маятниковості, осьовим моментом інерції та частотою обертання ротора гіромотора. Оскільки значення маятниковості та осьового моменту інерції ротора гіромотора можливо застабілізувати лише підбором матеріалів з малим температурним розширенням, а стабільність значення частоти обертання ротора гіромотора забезпечити за рахунок використання якісного прецизійного синхронного гіромотора у сукупності з блоком живлення стабілізованої частоти, то забезпечується отримання стабільного статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення. Це є значною перевагою, оскільки стабільність цього коефіцієнта є одним з головних факторів, що визначають вихідну точність однороторного інтегруючого гіроскопічного гравіметра з контрольованими параметрами, а, отже, і точність вимірювань вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарату за допомогою такого приладу.

Система з підключеного до БЦОМ датчика поточної частоти живлення, який контролює частоту напруги живлення гіромотора, створює додатковий інформаційний канал і дозволяє, особливо у випадку неможливості забезпечити довготривалу стабільність частоти живлення гіромотора, програмними засобами обирати із всієї сукупності вимірювань інтервали з необхідною, для заданої точності, стабільністю частоти живлення гіромотора і визначати для кожного такого інтервалу поточне значення статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення у відповідності до поточних, для таких інтервалів, значень частоти обертання ротора гіромотора.

Вихідний сигнал гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення містить складові-перешкоди, обумовлені тим, що гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення встановлений на рухомій основі. За даними від системи визначення поточних навігаційних параметрів визначають низькочастотні складові-перешкоди, а потім в БЦОМ програмно віднімають їх від вихідного сигналу гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення. Наявність високочастотних складових-перешкод зумовлює необхідність усереднення вихідного сигналу гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення, що передбачає застосування процедури інтегрування. Запропонований однороторний інтегруючий гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення має в цьому сенсі значну перевагу, оскільки з точки зору прецесійної теорії [3] є

ідеальним інтегратором. В цьому випадку зникає необхідність проведення процедури дискретного інтегрування сигналу програмними засобами в БЦОМ, а, отже, відсутня і похибка дискретного інтегрування, що підвищує точність вимірювання вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарату.

5 Розташування гіромотора, а також розташування вала внутрішнього підвісу гіромотора так, що центр мас гіромотора підтримується максимально близько до осі підвісу зовнішньої рамки, дозволяє звільнитись від складових-перешкод у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення, спричинених відцентровими прискореннями, що діють на центр мас гіромотора під час обертання зовнішньої рамки разом з промотором навколо осі підвісу зовнішньої рамки. Якщо б вказаний центр мас знаходився на певній відстані від осі підвісу зовнішньої рамки, то з'явилися би відцентрові прискорення прямо пропорційні цій відстані і квадрату кутової швидкості обертання зовнішньої рамки навколо осі підвісу зовнішньої рамки. Відсутність таких відцентрових прискорень означає відсутність відповідних складових-перешкод у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення. Звільнення від описаних складових-перешкод у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення підвищує точність вимірювання вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарату.

20 Закріплення гіромотора на валу внутрішнього підвісу гіромотора за допомогою пружних елементів, які працюють в основному на скручення, дозволяє досягти того, що в робочому режимі відносно повздожньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора не прикладені моменти, спричинені силами сухого тертя. Наявність таких моментів тертя обов'язково викликала б появу відповідних складових-перешкод у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення і зумовила б наявність порогу чутливості гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення, обумовленого нелінійним характером сил сухого тертя.

25 Проте, в робочому режимі під час повороту гіромотора навколо повздожньої осі валу внутрішнього підвісу гіромотора пружні елементи закручуються і відносно вказаної осі діють моменти від сил пружності пружних елементів, що спричиняє небажані зміни динаміки роботи гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення. Тому в конструкції приладу передбачено контур зворотного зв'язку, утворений датчиком кута закручування пружних елементів, вихід якого підключений до першого підсилюючого елемента, вихід якого підключений до виконавчого двигуна, який жорстко закріплений на зовнішній рамці, і вал якого є валом внутрішнього підвісу гіромотора (саме на цьому валу гіромотор закріплений пружними елементами).

30 Такий контур зворотного зв'язку забезпечує те, що виконавчий двигун, обертаючи вал внутрішнього підвісу гіромотора навколо повздожньої осі вала внутрішнього підвісу гіромотора, постійно відслідковує можливі кутові переміщення гіромотора навколо зазначеної осі, а, отже, і зменшує кут закручування пружних елементів до значення, яким можна знехтувати. Малість кута закручування пружних елементів означає пропорційну малість моменту сил пружного опору пружних елементів. Отже, завдяки передбаченому контуру зворотного зв'язку забезпечується достатня малість значень моменту сил пружного опору пружних елементів: достатня для того, щоб знехтувати його значенням.

40 Закріплення гіромотора на валу внутрішнього підвісу гіромотора пружними елементами і застосування описаного вище контуру зворотного зв'язку забезпечує відсутність у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення складових-перешкод, спричинених силами сухого тертя, і одночасно забезпечує відсутність порогу чутливості гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення, обумовленого нелінійним характером сил сухого тертя, що у сукупності підвищує точність вимірювання вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарату.

45 Передбачений контур корекції, що складається з датчика кута повороту гіромотора, вихід якого підключений до другого підсилюючого елемента, вихід якого підключений до датчика моменту, встановленого на осі підвісу зовнішньої рамки, дозволяє забезпечити мінімальність кута відхилення осі обертання ротора гіромотора від перпендикулярності до площини зовнішньої рамки і, отже, від перпендикулярності до осі підвісу зовнішньої рамки. Оскільки осі підвісу зовнішньої рамки надане положення вздовж вертикалі місця (нормалі до еліпсоїда обертання), момент, створений дією вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення на центр мас гіромотора, буде мати стабільно максимальне значення, при стабільності положення осі обертання ротора гіромотора. Таким чином, забезпечується стабільність "нуль-пункту" і максимальна чутливість запропонованого гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення, що є стандартною вимогою до приладів такого типу [4].

60 Підключення датчика кута повороту гіромотора до БЦОМ створює можливість для БЦОМ програмно обирати із всієї сукупності вимірювань інтервали, на яких умова перпендикулярності

осі обертання ротора гіромотора до осі підвісу зовнішньої рамки виконується з потрібною точністю.

Максимальна близькість осі обертання ротора гіромотора до положення перпендикулярності до осі підвісу зовнішньої рамки за умови, що вісь підвісу зовнішньої рамки встановлена вздовж вертикалі місця, означає також мінімальність присутніх у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення складових-перешкод від горизонтальних складових вектора гравітаційного прискорення, від горизонтальних складових вектора лінійного прискорення основи, на якій встановлено гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення, а також від горизонтальних складових вектора кутової швидкості основи, на якій встановлено гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення. Зниження рівня вказаних складових-перешкод у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення підвищує точність вимірювання вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарату.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, на якому зображено структуру однороторного інтегруючого гіроскопічного гравіметра з контрольованими параметрами.

Гравіметр містить гіроскопічний датчик 1 гравітаційного прискорення, систему 2 визначення поточних навігаційних параметрів (швидкості руху, курсу та географічної широти розташування рухомої основи) та вимірювач 3 поточної висоти, виходи яких підключені до БЦОМ 4.

Гіроскопічний датчик 1 гравітаційного прискорення містить гіромотор 5, який закріплений на валу 6 внутрішнього підвісу гіромотора пружними елементами 7, які виконано так, що жорсткість пружних елементів на скручення по повздовжній осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора набагато менша ніж жорсткість пружних елементів 7 на вигин.

Повздовжня вісь 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора зміщена відносно площини зовнішньої рамки 9 і розташована у площині перпендикулярній до осі 10 підвісу зовнішньої рамки, а центр мас гіромотора 5 розташований на осі 11 обертання ротора гіромотора так, що, якщо вісь 11 обертання ротора гіромотора перпендикулярна до площини зовнішньої рамки 9, то центр мас гіромотора 5 розміщений на осі 10 підвісу зовнішньої рамки, яка встановлена вздовж вертикалі місця.

Встановлення осі 10 підвісу зовнішньої рамки вздовж вертикалі місця реалізується, наприклад, монтажем гіроскопічного датчика 1 гравітаційного прискорення на горизонтально-стабілізовану платформу, причому вісь 10 підвісу зовнішньої рамки встановлюється вздовж вертикальної осі ξ горизонтально-стабілізованої платформи, а осі η , ζ - горизонтальні осі цієї платформи.

На валу 6 внутрішнього підвісу гіромотора розташований датчик 12 кута закручення пружних елементів, вихід якого підключений до першого підсилюючого елемента 13, вихід якого підключений до виконавчого двигуна 14, який жорстко закріплений на зовнішній рамці 9, а вал виконавчого двигуна 14 є валом 6 внутрішнього підвісу гіромотора.

На зовнішній рамці 9 встановлений датчик 15 кута повороту гіромотора, вихід якого підключений до БЦОМ 4 та до другого підсилюючого елемента 16, вихід якого підключений до датчика 17 моменту, який встановлений на осі 10 підвісу зовнішньої рамки. Підключення датчика 15 кута повороту гіромотора до БЦОМ 4 дозволяє організувати контроль виконання умови перпендикулярності осі 11 обертання ротора гіромотора до осі 10 підвісу зовнішньої рамки.

На осі 10 підвісу зовнішньої рамки розміщений датчик 18 кута повороту зовнішньої рамки, вихід якого підключений до БЦОМ 4. Вихідний сигнал датчика 18 кута повороту зовнішньої рамки є основним вихідним сигналом гіроскопічного датчика 1 гравітаційного прискорення.

До блока 19 живлення стабілізованої частоти підключений гіромотор 5 та датчик 20 поточної частоти живлення, вихід якого підключений до БЦОМ 4.

Вихід датчика 20 частоти живлення підключений до БЦОМ 4 для можливості визначення поточної частоти обертання ротора гіромотора 5, за якою БЦОМ 4 визначає статичний передавальний коефіцієнт гіроскопічного датчика 1 гравітаційного прискорення.

Гравіметр працює наступним чином.

Ротор гіромотора 5 обертається з частотою $\dot{\gamma}$ навколо осі 11 обертання ротора гіромотора, створюючи кінетичний момент H .

Вертикальна складова g_{ξ} та горизонтальні складові g_{η} , g_{ζ} вектора гравітаційного прискорення разом із вертикальною складовою W_{ξ} та горизонтальними складовими W_{η} , W_{ζ} вектора лінійного прискорення горизонтально-стабілізованої платформи діють на зміщений відносно повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора центр мас C гіромотора 5. При цьому створюється момент $M_{g,W}$ відносно повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу

гіромотора. Момент $M_{g,W}$, якщо використовувати загальні принципи опису динаміки гіроскопічних систем [4], [6], визначається наступним чином:

$$M_{g,W} = -m \cdot l \cdot [(W_{\xi} - g_{\xi}) \cdot \cos\beta + (W_{\eta} - g_{\eta}) \cdot \sin\alpha \cdot \sin\beta - (W_{\zeta} - g_{\zeta}) \cdot \cos\alpha \cdot \sin\beta], \quad (1)$$

де $l \cdot m$ - маятниковість гіромотора 5;

5 β - кут повороту гіромотора 5 навколо повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора;

α - кут повороту зовнішньої рамки 9 навколо осі 10 підвісу зовнішньої рамки.

При наявності горизонтальних складових $\dot{\omega}_{\zeta}$, $\dot{\omega}_{\eta}$ вектора кутового прискорення горизонтально-стабілізованої платформи, де безпосередньо встановлено гіроскопічний датчик 1 гравітаційного прискорення, виникає момент M_{iH} сил інерції відносно повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора, який визначається наступним чином:

$$M_{iH} = -B \cdot (\dot{\omega}_{\eta} \cdot \cos\alpha + \dot{\omega}_{\zeta} \cdot \sin\alpha), \quad (2)$$

де B - момент інерції гіромотора 5 відносно повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора.

15 Вертикальна складова ω_{ξ} та горизонтальні складові ω_{η} , ω_{ζ} вектора кутової швидкості горизонтально-стабілізованої платформи, де безпосередньо встановлено гіроскопічний датчик 1 гравітаційного прискорення, викликають появу моменту M_k коріолісових сил інерції (гіроскопічного моменту) від переносної кутової швидкості горизонтально-стабілізованої платформи. Момент M_k , який прикладений відносно повздовжньої осі 8 валу внутрішнього

20 підвісу гіромотора, визначається наступним чином:

$$M_k = H \cdot (\omega_{\xi} \cdot \cos\beta + \omega_{\eta} \cdot \sin\alpha \cdot \sin\beta - \omega_{\zeta} \cdot \cos\alpha \cdot \sin\beta), \quad (3)$$

де H - кінетичний момент, що створюється обертанням ротора гіромотора 5. Моменти $M_{g,W}$, M_k , M_{iH} викликають обертання гіромотора 5 навколо повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора, і тому:

$$25 \quad \beta \neq 0. \quad (4)$$

Промотор 5, обертаючись навколо повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора, закручує пружні елементи 7. При цьому відносно вказаної осі виникають моменти від сил пружності пружних елементів 7: $M_{пр}$, які визначаються так:

$$M_{пр} = C \cdot \Delta\beta_{пр}, \quad (5)$$

$$30 \quad \Delta\beta_{пр} = \beta - \beta_{дв}, \quad (6)$$

де C - коефіцієнт жорсткості пружних елементів 7 на скручення по повздовжній осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора;

$\Delta\beta_{пр}$ - кут закручення пружних елементів 7;

35 $\beta_{дв}$ - кут повороту виконавчим двигуном 14 валу 6 внутрішнього підвісу гіромотора навколо повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора.

При наявності кута $\Delta\beta_{пр}$ закручення пружних елементів на виході датчика 12 кута закручення пружних елементів присутній пропорційний куту $\Delta\beta_{пр}$ сигнал, який передається на перший підсилюючий елемент 13, вихід якого підключений до виконавчого двигуна 14. Виконавчий двигун 14 буде обертати вал 6 внутрішнього підвісу гіромотора навколо

40 повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора доти, доки виконується умова:

$$\Delta\beta_{пр} \neq 0. \quad (7)$$

При цьому напрямок обертання валу 6 внутрішнього підвісу гіромотора навколо повздовжньої осі 8 валу внутрішнього підвісу гіромотора є завжди такий, що забезпечує зменшення поточного значення кута $\Delta\beta_{пр}$, яке виміряне датчиком 12 кута закручення пружних

45 елементів. Цим вдається досягти умови: усталене значення $\Delta\beta_{пр.уст}$ кута $\Delta\beta_{пр}$ прямує до нуля ($\Delta\beta_{пр.уст} \rightarrow 0$). Це також означає:

$$M_{пр.уст} \rightarrow 0. \quad (8)$$

В процесі роботи приладу хоча $\Delta\beta_{пр.уст} \rightarrow 0$

$$\beta = \beta_{дв} + \Delta\beta_{пр} \neq 0. \quad (9)$$

Тут починає діяти контур корекції між повздовжньою віссю 8 вала внутрішнього підвісу гіромотора та віссю 10 підвісу зовнішньої рамки.

Датчик 15 кута повороту гіромотора, встановлений на зовнішній рамці 9, вимірює кут β і передає сигнал пропорційний куту β на другий підсилюючий елемент 16, вихід якого підключено до датчика 17 моменту. Датчик 17 моменту, відповідно до вхідного сигналу, створює корекційний момент $M_{кор}$:

$$M_{кор} = -K_k \cdot \beta, \quad (10)$$

де K_k - загальний передавальний коефіцієнт описаного каналу.

Датчик 17 моменту прикладає $M_{кор}$ до осі 10 підвісу зовнішньої рамки. Під дією $M_{кор}$ зовнішня рамка 9 набуває кутової швидкості $\dot{\alpha}$, достатньої, щоб скомпенсувати сумарний момент відносно повздовжньої осі 8 внутрішнього підвісу гіромотора, і, таким чином, забезпечити малість кута β так, щоб значення $\cos\beta$ було якомога ближче до одиниці: $\beta \rightarrow 0$.

Малість кута β означає прямопропорційну малість тих складових моментів $M_{g,W}$, M_k , M_{IH} , що залежать від величини $\sin\beta$. Таким чином вдається забезпечити мінімум залежності вихідного сигналу гіроскопічного датчика 1 гравітаційного прискорення від складових-перешкод, спричинених горизонтальними складовими W_η , W_ζ вектора лінійного прискорення та горизонтальними складовими ω_η , ω_ζ вектора кутової швидкості горизонтально-стабілізованої платформи, де безпосередньо встановлено гіроскопічний датчик 1 гравітаційного прискорення, а також спричинених горизонтальними складовими g_η , g_ζ вектора гравітаційного прискорення.

Виходячи із загальних принципів опису динаміки гіроскопічних систем [4], [6] та враховуючи умови $\beta \rightarrow 0$, $M_{пр} \rightarrow 0$, кут $\alpha(t)$ повороту зовнішньої рамки 9 в усталеному режимі:

$$\begin{aligned} \alpha_{уст}(t) &\approx -\frac{1}{H} \int_{t_{поч}}^t (M_{g,W} + M_{IH} + M_k + M_{пр}) dt = \\ &= \frac{m \cdot l}{H} \int_{t_{поч}}^t (W_\xi - g_\xi) dt + \frac{1}{H} \int_{t_{поч}}^t (-H \cdot \omega_\xi) dt + \\ &+ \frac{B}{H} \int_{t_{поч}}^t (\dot{\omega}_\eta \cdot \cos \alpha + \dot{\omega}_\zeta \cdot \sin \alpha) dt \end{aligned} \quad , (11)$$

де $t_{поч}$ - момент часу початку відліку даних; t - момент часу кінця відліку даних.

"Корисною" складовою сигналу в такому випадку є:

$$\alpha_{кор,уст}(t) = -\frac{m \cdot l}{H} \int_{t_{поч}}^t g_\xi dt. \quad (12)$$

Інші складові є сигналами перешкод:

$$\alpha_{пер,уст}(t) = -\frac{m \cdot l}{H} \cdot \int_{t_{поч}}^t W_\xi dt + \int_{t_{поч}}^t (-\omega_\xi) dt + \frac{B}{H} (\dot{\omega}_\eta \cdot \cos \alpha + \dot{\omega}_\zeta \cdot \sin \alpha) dt. \quad (13)$$

Сигнал $\alpha(t)$ сприймається датчиком 18 кута повороту зовнішньої рамки, встановленим на осі 10 підвісу зовнішньої рамки, і є основним вихідним сигналом гіроскопічного датчика 1 гравітаційного прискорення. З виходу датчика 18 кута повороту зовнішньої рамки цей сигнал потрапляє в БЦОМ 4 для обробки.

Для обчислення середнього значення \bar{g}_ξ вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення БЦОМ 4 обирає інтервали вимірюваних значень сигналу $\alpha(t)$ за даними про стабільність на цих інтервалах кінетичного моменту H гіромотора 5 та за даними про значення кута β на цих інтервалах. Для цього БЦОМ 4 впродовж всього часу, доки тривають вимірювання, зчитує з виходу датчика 20 поточної частоти живлення дані про частоту $\dot{\gamma}'$ напруги живлення гіромотора 5, а з виходу датчика 15 кута повороту гіромотора дані про кут β . За значенням частоти $\dot{\gamma}'$ напруги живлення гіромотора 5 БЦОМ 4 визначає відповідне значення частоти $\dot{\gamma}$ обертання ротора гіромотора 5.

За отриманими даними БЦОМ 4 вибирає інтервали, для яких виконуються дві нижчезазначені умови.

Перша - умова стабільності частоти обертання ротора гіромотора 5

$$\dot{\gamma}_i = \text{const} \pm \Delta\dot{\gamma}_i \quad (14)$$

5 де $\dot{\gamma}_i$ - відповідне і-тому інтервалу значення частоти обертання $\dot{\gamma}$ ротора гіромотора 5; $\Delta\dot{\gamma}_i$ - модуль різниці між значенням частоти $\dot{\gamma}_i$ обертання ротора гіромотора 5 та середнім значенням частоти $\dot{\gamma}_i$ ротора гіромотора 5, причому значенням $\Delta\dot{\gamma}_i$ можна знехтувати і вважати таким, що прямує до нуля.

Друга - умова малості кута β :

$$10 \quad \beta_i = 0 \pm \Delta\beta_i, \quad (15)$$

де β_i - відповідне і-тому інтервалу значення кута β повороту гіромотора 5 навколо повздовжньої осі 8 вала внутрішнього підвісу гіромотора;

$\Delta\beta_i$ - модуль відхилення значення кута β_i від нуля, яким можна знехтувати і вважати таким, що прямує до нуля.

15 Для кожного і-того вибраного інтервалу БЦОМ 4 виконує операцію обчислення поточного статичного передавального коефіцієнта $R_{\text{ст},i}$ гіроскопічного датчика 1 гравітаційного прискорення з урахуванням відповідного кожному такому інтервалу значення $\dot{\gamma}_i$:

$$R_{\text{ст},i} = \frac{m \cdot l}{H_i} = \frac{m \cdot l}{J \cdot \dot{\gamma}_i}, \quad (16)$$

де J - момент інерції ротора гіромотора 5 відносно осі 11 обертання ротора гіромотора.

20 Одночасно із зчитуванням основного сигналу $\alpha(t)$ і додаткових сигналів β , $\dot{\gamma}$. БЦОМ 4 зчитує дані з підключених до неї пристроїв: системи 2 визначення поточних навігаційних параметрів та вимірювача 3 поточної висоти. За отриманими даними БЦОМ 4 для кожного і-того вибраного інтервалу розраховує величини:

$$\int_{t_{n,i}}^{t_{k,i}} W_{\xi,j} dt, \quad \int_{t_{n,i}}^{t_{k,i}} \omega_{\xi,j} dt, \quad (17)$$

25 де $t_{n,i}$, $t_{k,i}$ - моменти часу початку і кінця відліку і-того інтервалу даних; $W_{\xi,j}$, $\omega_{\xi,j}$ - діючі на і-му інтервалі величини відповідно вертикальної складової W_{ξ} вектора лінійного прискорення та вертикальної складової ω_{ξ} вектора кутової швидкості горизонтально-стабілізованої платформи.

Виконавши зазначені обчислення, БЦОМ 4 розраховує середнє значення вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення g_{it} для кожного і-того вибраного інтервалу:

$$30 \quad \bar{g}_{\xi,i} = \frac{-1}{R_{\text{cm},i}} \cdot \left[(\alpha(t_{k,i}) - \alpha(t_{n,i})) - \frac{R_{\text{cm},i}}{1} \cdot \left(\int_{t_{n,i}}^{t_{k,i}} W_{\xi,i} dt \right) + \left(\int_{t_{n,i}}^{t_{k,i}} \omega_{\xi,i} dt \right) \right] \cdot \frac{1}{(t_{k,i} - t_{n,i})}. \quad (18)$$

У загальному випадку БЦОМ 4 виконує додатково редуцію отриманого значення вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення.

Джерела інформації:

35 1. Патент України на винахід № 53478 А, G01V 7/00. Гравіметр /С.О. Нечай, Д.Г. Тулупов, О.М. Безвесільна, К.В. Меньшикова, Є.І. Бобруйко. - № 2002064813; Заявл. 11.06.2002; Опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1.

2. Безвесільна О.М. Сучасні гравіметри авіаційної гравіметричної системи /О.М. Безвесільна, А.Г. Ткачук, Л.О. Чепюк, К.С. Козько //Геофизический журнал. - 2015. - № 2. - Т. 37. - С. 86-94.

40 3. Павловский М.А., Путята Т.В. Теоретическая механика: Учебное пособие. - К.: Вища школа, 1985. - 328 с.

4. Одинцов А.А. Динамически настраиваемые гироскопы. - К.: НМК ВО, 1992. - 68 с.

5. Черников С.А. Динамика нелинейных гироскопических систем. - М.: Машиностроение, 1981. - 224 с.

45 6. Каргу Л.И. Точность гироскопических устройств систем управления летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1990. - 208 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Однороторний інтегруючий гіроскопічний гравіметр з контрольованими параметрами, що

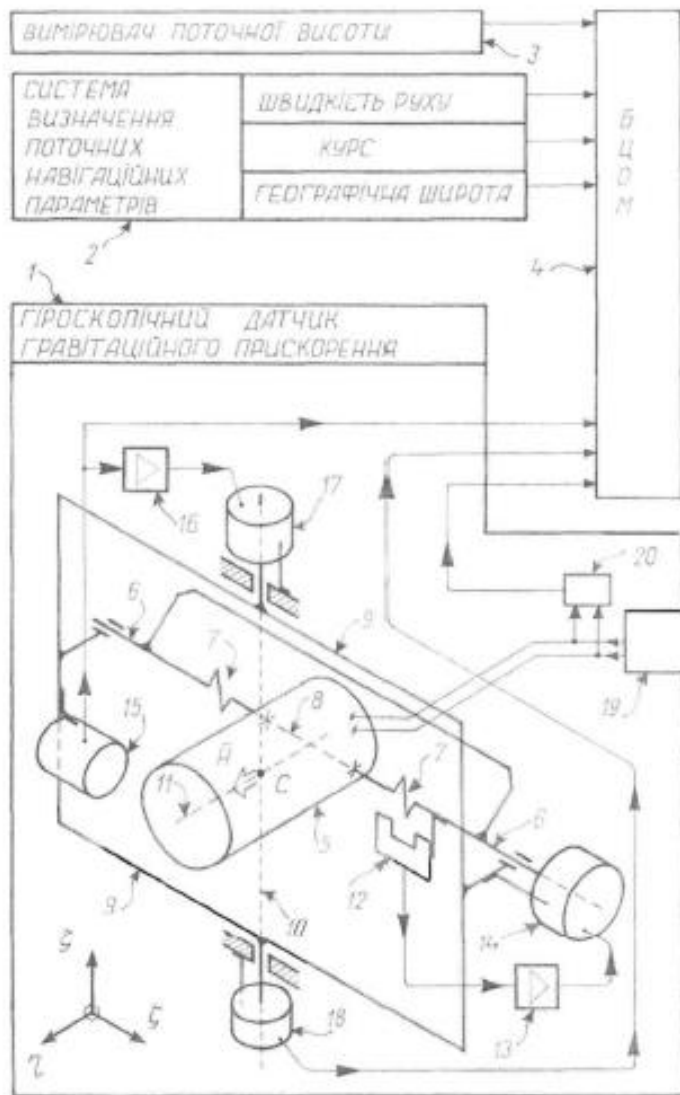
5 містить гіроскопічний датчик (1) гравітаційного прискорення, систему (2) визначення поточних навігаційних параметрів та вимірювач (3) поточної висоти, виходи яких підключені до бортової обчислювальної машини (БЦОМ) (4), який **відрізняється** тим, що гіроскопічний датчик (1) гравітаційного прискорення містить гіромотор (5), який закріплений на валу (6) внутрішнього підвісу гіромотора пружними елементами (7), які виконано так, що жорсткість пружних елементів

10 на скручення по повздожній осі (8) вала внутрішнього підвісу гіромотора набагато менша ніж жорсткість пружних елементів (7) на вигин, причому повздожня вісь (8) вала внутрішнього підвісу гіромотора зміщена відносно площини зовнішньої рамки (9) і розташована у площині перпендикулярній до осі (10) підвісу зовнішньої рамки, а центр мас гіромотора (5) розташований на осі (11) обертання ротора гіромотора так, що, якщо вісь (11) обертання ротора гіромотора перпендикулярна до площини зовнішньої рамки (9), то центр мас гіромотора (5) розміщений на

15 осі (10) підвісу зовнішньої рамки, яка встановлена вздовж вертикалі місця, причому на валу (6) внутрішнього підвісу гіромотора розташований датчик (12) кута закручення пружних елементів, вихід якого підключений до першого підсилюючого елемента (13), вихід якого підключений до виконавчого двигуна (14), який жорстко закріплений на зовнішній рамці (9), а вал виконавчого

20 двигуна (14) є валом (6) внутрішнього підвісу гіромотора, причому на зовнішній рамці (9) встановлений датчик (15) кута повороту гіромотора, вихід якого підключений до БЦОМ (4) та до другого підсилюючого елемента (16), вихід якого підключений до датчика (17) моменту, який встановлений на осі (10) підвісу зовнішньої рамки разом з датчиком (18) кута повороту зовнішньої рамки, вихід якого підключений до БЦОМ (4), причому до блока (19) живлення стабілізованої частоти підключені гіромотор (5) та датчик (20) поточної частоти живлення, вихід якого підключений до БЦОМ (4).

25



Комп'ютерна верстка В. Мацело

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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