

УДК 531.383

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України «КПІ»
О.О. Добржанський, аспір.
Житомирський державний технологічний університет

ОДНОРОТОРНИЙ ІНТЕГРУЮЧИЙ ГІРОДАТЧИК ГРАВІТАЦІЙНОГО ПРИСКОРЕННЯ

В статті представлено опис конструкції гіродатчика гравітаційного прискорення (ГДГП), технічні характеристики якої забезпечують підвищення стабільності статичного передавального коефіцієнта ГДГП, можливість визначення поточного статичного передавального коефіцієнта ГДГП, зниження рівня шумових ефектів у вихідному сигналі ГДГП, що у сукупності призводить до суттєвого підвищення точності вимірювання вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарата.

Постановка проблеми. Гіродатчики гравітаційного прискорення (ГДГП) сьогодні є найперспективнішими з точки зору широкомасштабного вивчення аномалій гравітаційного прискорення. ГДГП розглядається як чутливий елемент авіаційної гравіметричної системи (АГС). Актуальним є впровадження технологій автоматизації в систему функціонування приладу, що уможливило комп'ютерну обробку інформаційних сигналів приладу. Проблемою є створення ГДГП для АГС з метою підвищення точності вимірювань аномалій гравітаційного прискорення. Точні знання аномалій гравітаційного поля Землі необхідні в авіаційній та космічній техніці, геології, геофізиці, геодезії.

Аналіз останніх досліджень. Патентна база даних містить інформацію про новий (2003 рік) гравіметр [1] на основі гіроскопа. Гравіметр [1] обрано за прототип.

Гравіметр-прототип, як і об'єкт, що заявляється, містить гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення, систему визначення поточних навігаційних параметрів та вимірювач поточної висоти, які підключені до бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ).

У гравіметрі-прототипі як гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення застосований один двоступеневий гіроскоп. Центр мас ротора зміщений у площині обертання ротора, створюючи маятниковість, а сам ротор кріпиться на осі підвісу за допомогою пружних торсионів, що працюють в основному на скручення. В початковому положенні ротор обертається в площині, перпендикулярній до вертикалі місця (нормалі до еліпсоїда обертання). Під час роботи гравіметра-прототипу 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.

Зазначені особливості конструкції зумовлюють те, що при обранні певного значення швидкості обертання приводного двигуна ротора момент сил пружного опору торсионів 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 гравіметрі-прототипі статичний передавальний коефіцієнт гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення залежить тільки від маятниковості та від передавального коефіцієнта датчика моменту. Але на практиці в гравіметрі-прототипі стабільність статичного передавального коефіцієнта гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення обмежена через сильну залежність пружних властивостей торсионів від температури та параметрів вібрацій в місці установки приладу, які спричиняють втомлюваність пружного елемента. Температурні зміни спричиняють також зміну 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.

У процесі роботи гравіметра-прототипу відносно осі підвісу ротора одночасно діють «корисний» 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 прискорення рухомої основи. Дані 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.

Загальна проблема. Суттєві недоліки гравіметра-прототипу – це:

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

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

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 гравітаційного прискорення таким приладом з борту рухомого апарата.

Цілі статті: Запропонувати ГДГП нової конструкції, в якому вдасться забезпечити:

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

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

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 апарата.

Основний матеріал. Поставлені цілі досягаються за рахунок того, що як ГДГП застосовується однороторний інтегруючий гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення та додаткові інформаційні канали.

Суть запропонованого ГДГП пояснюється кресленням (рис. 1). На кресленні зображено запропонований ГДГП у складі системи гравіметра.

Гравіметр містить ГДГП 1, 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.

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

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 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.

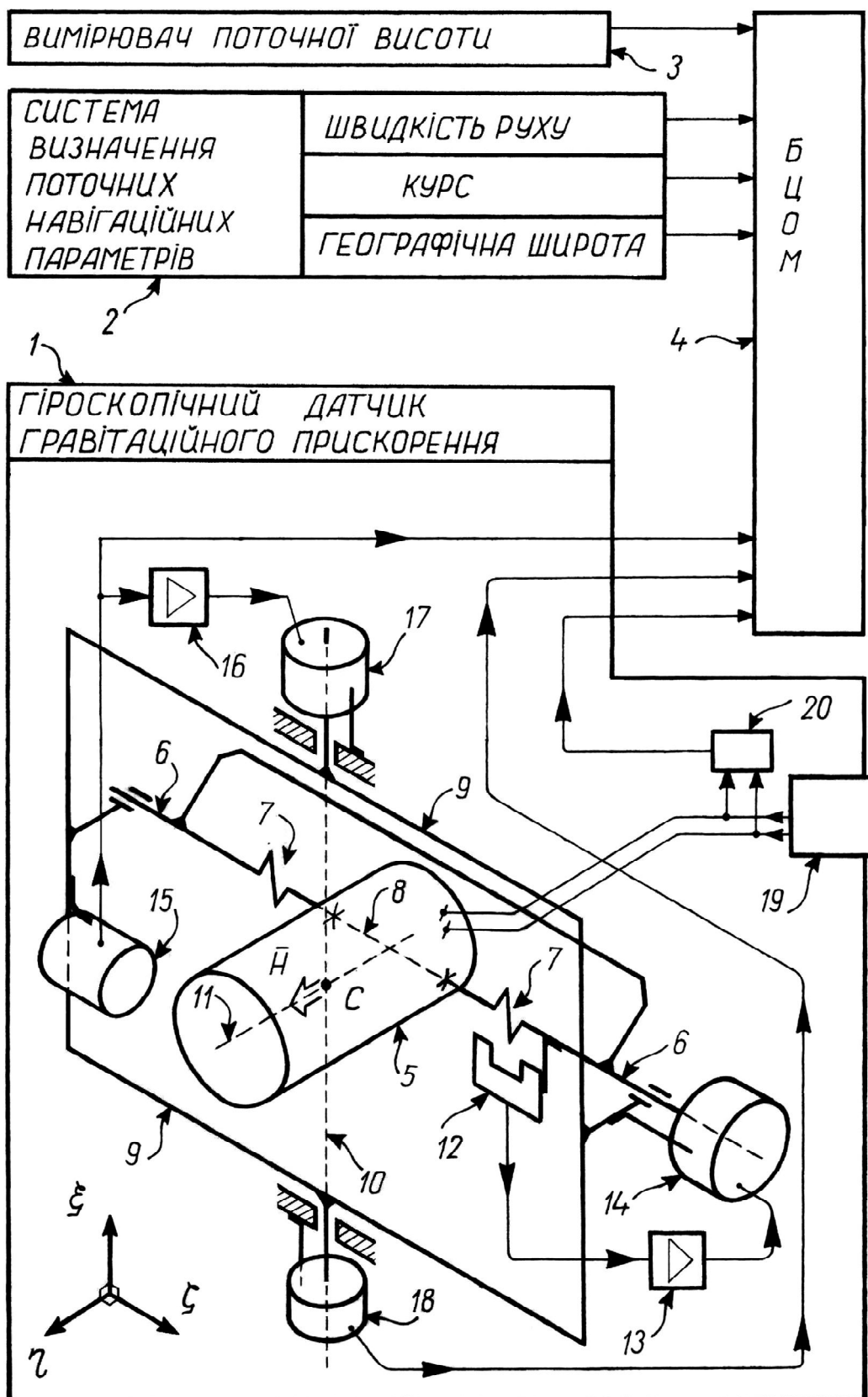


Рис. 1. Однороторний інтегруючий гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення як елемент системи гравіметра

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 таким чином.

Ротор гіромотора 5 обертається з частотою γ 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 вала внутрішнього підвісу гіромотора центр мас C гіромотора 5. При цьому створюється момент $M_{g,W}$ відносно повздовжньої осі 8 вала внутрішнього підвісу гіромотора. Момент $M_{g,W}$, якщо використовувати загальні принципи опису динаміки гіроскопічних систем [4], [6], визначається наступним чином:

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

де $l \cdot m$ – маятниковість гіромотора 5; β – кут повороту гіромотора 5 навколо повздовжньої осі 8 вала внутрішнього підвісу гіромотора; α – кут повороту зовнішньої рамки 9 навколо осі 10 підвісу зовнішньої рамки.

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

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

де B – момент інерції гіромотора 5 відносно повздовжньої осі 8 вала внутрішнього підвісу гіромотора.

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 кориолісових сил інерції (гіроскопічного моменту) від переносної кутової швидкості горизонтально-стабілізованої платформи. Момент M_k , який прикладений відносно повздовжньої осі 8 вала внутрішнього підвісу гіромотора, визначається таким 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_{in} викликають обертання гіромотора 5 навколо повздовжньої осі 8 вала внутрішнього підвісу гіромотора, і тому

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

Гіромотор 5, обертаючись навколо повздовжньої осі 8 вала 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:

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

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

де C – коефіцієнт жорсткості пружних елементів 7 на скручення по повздовжній осі 8 вала внутрішнього підвісу гіромотора; $\Delta\beta_{пр}$ – кут закручення пружних елементів 7; $\beta_{де}$ – кут повороту виконавчим двигуном 14 вала 6 внутрішнього підвісу гіромотора навколо повздовжньої осі 8 вала 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 повздовжньої осі 8 вала внутрішнього підвісу гіромотора доти доки виконується умова:

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

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

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

У процесі роботи приладу, хоча $\Delta\beta_{пр,уст} \rightarrow 0$,

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

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_{in} , 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:

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

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

«Корисною» складовою сигналу в такому випадку є:

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

Інші складові є сигналами перешкод:

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

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 вимірних 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 обирає інтервали, для яких виконуються дві нижчезазначені умови.

Перша – умова стабільності частоти обертання ротора гіромотора 5:

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

де $\dot{\gamma}_i$ – відповідне i -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 :

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

де β_i – відповідне i -тому інтервалу значення кута β повороту гіромотора 5 навколо поздовжньої 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.

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

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

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

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 i -того обраного інтервалу розраховує величини:

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

де $t_{n,i}$, $t_{k,i}$ – моменти часу початку і кінця відліку i -того інтервалу даних; $W_{\xi,i}$, $\omega_{\xi,i}$ – діючі на i -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 $\bar{g}_{\xi,i}$ для кожного i -того обраного інтервалу:

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

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

Висновки. Однороторний інтегруючий гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення належить до засобів вимірювання вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарата і може бути використаний в галузі геодезії, геофізики, геологорозвідування, зокрема при формуванні опорних гравіметричних сіток важкодоступних районів Земної кулі, а також в авіа- та ракетобудуванні.

Запропоноване використання як гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення – однороторного інтегруючого гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення дозволяє підвищити стабільність статичного передавального коефіцієнта даного 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 осевого 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 спільно 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 апарата 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 відповідно 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. У 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 апарата.

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 гіромотором 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 й квадрату кугової 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 апарата.

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 повздовжньої осі вала 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.

Проте в робочому режимі під час повороту гіромотора навколо повздовжньої осі вала 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).

Такий контур зворотного зв'язку забезпечує те, що виконавчий двигун, обертаючи вал внутрішнього підвісу гіромотора навколо повздовжньої 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.

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 підвищує точність вимірювання вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарата.

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].

Підключення датчика кута повороту гіромотора до БЦОМ створює можливість для БЦОМ програмно обирати зі 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 куткової швидкості основи, на якій встановлено гіроскопічний датчик гравітаційного прискорення. Зниження рівня даних складових-перешкод у вихідному сигналі гіроскопічного датчика гравітаційного прискорення підвищує точність вимірювання вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення з борту рухомого апарата.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Патент України на винахід № 53478 А, G 01 V 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.* Про підвищення точності вимірювання прискорення сили тяжіння // Прикладна механіка. – 1995. – № 2. – С. 92–96.
3. *Одинцов А.А.* Динамически настраиваемые гироскопы. – К.: НМК ВО, 1992. – 68 с.
4. *Черников С.А.* Динамика нелинейных гироскопических систем. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
5. *Каргу Л.И.* Точность гироскопических устройств систем управления летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
6. *Павловский М.А., Путята Т.В.* Теоретическая механика: Учебное пособие. – К.: Выща школа, 1985. – 328 с.

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна – Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор кафедри приладобудування Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- гравіметричні прилади і системи;
- математичне моделювання систем автоматичного керування та управління.

ДОБРЖАНСЬКИЙ Олександр Олексійович – аспірант кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- гравіметричні прилади і системи;
- математичне моделювання систем автоматичного керування та управління.

Тел.: 8(0412)229195.

Подано 20.06.2007

Безвесільна О.М., Добржанський О.О. Однороторний інтегруючий гіродатчик гравітаційного прискорення

Безвесильная Е.Н., Добржанский А.А. однороторный интегрирующий гироскоп гравитационного ускорения

Bezvesilna O.M., Dobrzhansky O.O. Gravity acceleration single-rotor integrating gyroscope

УДК 531.383

Однороторный интегрирующий гироскоп гравитационного ускорения / Е.Н. Безвесильная, А.А. Добржанский // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2007. – № 2(41) – С. 1–9: ил. 1. – Библиогр.: 6 назв.

В статье представлено описание конструкции гироскопа гравитационного ускорения (ГДГУ), технические характеристики которой обеспечивают повышение стабильности статического коэффициента передачи ГДГУ, возможность определения поточного статического коэффициента передачи ГДГУ, понижение уровня шумовых эффектов в выходном сигнале ГДГУ, что в совокупности приводит к существенному повышению точности измерения вертикальной составляющей вектора гравитационного ускорения с борта движущегося аппарата.

УДК 531.383

Gravity acceleration single-rotor integrating gyroscope / O.M. Bezvesilna, O.O. Dobrzhansky // Вісник ЖДТУ / Технічні науки. – 2007. – № 2(41) – Р. 1–9: ill. 1. – Refs.: 6 titles.

The article deals with the description of gravity acceleration gyroscope (GAG) construction. The presented technical characteristics of the GAG construction provide the increasing stability of static transfer coefficient of GAG, the possibility of defining the current static transfer coefficient, decreasing of noise level in GAG output signal that, all in sum, leads to substantial increasing of GAG vertical component measuring accuracy on board of aircraft.