

УДК 629.7.054

В. М. МЕЛЬНИК, Г. В. БОЙКО

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ

АВТОКОМПЕНСАЦІЯ ДИФРАКЦІЙНИХ ЯВИЩ У ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТАХ ГІРОСТАБІЛІЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ПРЯМИМ ВИКОРИСТАННЯМ ПРИНЦИПА ДВОКАНАЛЬНОСТІ ПЕТРОВА

В роботі проведена оцінка одного з методів автокомпенсації дифракційних явищ у чутливих елементах, яка знайшла використання в гіроскопії. Вивчається робота гіростабілізатора в експлуатаційних умовах ЛА за одночасного впливу зовнішніх збурюючих чинників - інтенсивного акустичного збурення, а також вібрації корпусу носія, обумовлених роботою двигунів. Доведено доцільність метода для використання в експлуатаційних умовах надзвукових літальних апаратів для осереднення миттєвих значень похибок стохастичної структури. Метод двоканальності постає ефективним засобом зменшення впливу зовнішніх збурюючих чинників, обумовлених методичними похибками кінематики гіроскопічних сенсорів, зокрема являється ефективним засобом зменшення впливу перехресних зв'язків між каналами силової стабілізації платформи по гіроскопічному моменту.

Ключові слова: автокомпенсація, двоканальна схема, силовий гіростабілізатор, акустичне випромінювання, імпеданс, Ейлерові сили інерції

Вступ

Проаналізуємо можливості зменшення похибок поплавкових гіроскопічних приладів в системах ГСП під дією проникаючого акустичного випромінювання за допомогою автокомпенсаційних методів. Зокрема, розглянемо два методи – двоканальну схему та метод примусового обертання карданового підвісу навколо осі, паралельної до вектора $\vec{H}$ кінетичного моменту.

Метод двоканальності має певну спільність з методом реверсування вектора кінетичного моменту. Обидва використовують залежність напрямку дрейфа гіроскопів під дією перешкод від знаку кінетичного моменту. Обидва передбачають наявність двох різнообертаючихся гіромоторів. Разом з тим, вони мають і суттєві розбіжності відносно повноти компенсації впливу усіх моментів-перешкод. Так метод двоканальності лише осереднює прояв внутрішніх перешкод у двох гіроскопів, але не компенсує їх. З іншого боку, цей метод дозволяє компенсувати не тільки стаціонарні зовнішні перешкоди, але і нестационарні. До того ж, забезпечує компенсацію їх миттєвих значень, а не в середньому за період реверсу вектора кінетичного моменту. З точки зору технічної реалізації він також простіше [1].

Двоканальна автокомпенсація впливу акустичного випромінювання на гіроскоп досягається прямим використанням принципу двоканальності Б.М. Петрова і полягає в застосуванні двох зв'язаних еле-

ктромеханічно однакових гіроскопів з протилежними за напрямком векторами кінетичних моментів. Досягнення поставленої мети здійснюється ідентифікацією початкової виставки приладів відносно спільної основи.

Можливість автокомпенсації впливу акустичного навантаження на ДУСУ в двоканальній схемі реалізується створенням замість одного – двох структурно однорідних каналів для одержання двох функціонально однакових проявів зовнішніх перешкод, які відрізняються тільки знаком. Однорідність каналів проходження акустичного збурення забезпечується використанням гіроскопів з однаковою кінематичною підвісу.

Задача, таким чином, стоїть у виборі таких технічних рішень, коли буде забезпечуватися часткова інваріантність двохступеневого гіроскопа по відношенню до силового акустичного навантаження.

Аналіз літератури та постановка проблеми

Виникнення теорії компенсації (теорії інваріантності) в прикладній гіроскопії зазвичай пов'язують з іменем Г. В. Щипанова [2 - 3]. Велике значення для подальшого розвитку основ теорії незбуреності гіроскопічних систем, зокрема, гіромаятника і гірокомпаса, мала фундаментальна робота Б. В. Булгакова [4]. В публікаціях [5-9] також розглянуті окремі аспекти компенсації впливу збурюючих чинників на гіропристрої з позицій постулатів теорії інваріантності [10].

Безперечно, важливе значення набуло формулювання критерію Б.М. Петрова реалізуємості умов інваріантності, зокрема, в тій його частині, де підкреслюється необхідність, але не достатність, здійснення абсолютної інваріантності наявністю, як мінімум, двох каналів трансляції збурення між точкою прикладення збурення і точкою, відносно якої досягається інваріантність (принцип двохканальності).

Дещо докладніше про перший спосіб автокомпенсації впливу зовнішніх механічних збурень – двохканальний. Відомо, що в одноконтурних системах неможливо задовольнити умовам інваріантності (компенсації) без порушення умов стійкості. Для виконання умов стійкості відносно певних збурень, необхідно, щоб інформація про цей чинник надходила в контролюєму точку, відносно якої досягається інваріантність, щонайменше по двом каналам.

В прикладній гіроскопії, в роботах О. Ю. Ішлінського, Б. В. Булгакова, М. Д. Кондорського [9] та ін., розгорнуті пропозиції щодо зменшення впливу деяких збурень шляхом застосування двох гіроскопів, але зв'язаних кінематично. Однак, цей метод має суттєву ваду – наявність кінематичної в'язі між гіроскопами, яка навантажена гасимими в ній перешкодами, слугує росту моментів сил сухого тертя, тому він практично не пристосований для поплавкових гіроскопів.

Схема електромеханічного зв'язку між гіроскопами, замість кінематичної, була вперше запропонована М. Д. Кондорським [9]. Можливість усунення впливу кутового прискорення основи при з'єднанні двох інтегруючих гіроскопів за диференціальною схемою занотована також у роботі В. О. Каракашева та інших його публікаціях [11].

Відома технічна реалізація примусового обертання підвісу гіроскопа навколо осі, паралельної до вектора кінетичного моменту, викладена, наприклад, у роботі [12, 13].

Стендові напівнатурні дослідження автокомпенсаційних схем проводилися на установці “Сирена” Інституту проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України.

Двохканальна схема автокомпенсації впливу перешкод

В ревербераційній камері установлювалися два різнообертаючихся датчики кутових швидкостей серії ДУСУ2-6АС з однаковою орієнтацією підвісу відносно встановленої на розтяжках основи.

Примусове обертання підвісу гіроскопа навколо паралельної до вектора кінетичного моменту осі. Гіроскоп встановлювався на платформі універсального поворотного столику серії УПГ-56 так, щоб забезпечувалася колінеарність векторів кінетичного

моменту гіроскопів $\vec{H}_1$ і вектора $\vec{\omega}$ кутової швидкості примусового обертання карданового підвісу.

Тестування показали, що похибки ДУСУ від впливу акустичного поля високого рівня (~163-165 дБ), змінює знак при зміні напрямку обертання гіромотора і має характер інструментальної похибки гіроскопа. Таким чином, двохканальна схема дозволяє лише усереднити величину цієї похибки, а друга схема – звести до нуля, але в середньому за період обертання.

Досліди твердять, що ефективним засобом компенсації впливу інтенсивних звукових полів є модуляція сталих збурюючих моментів періодичною функцією часу. Відома технічна реалізація цього способу полягає в автокомпенсації акустичної похибки шляхом примусового обертання підвісу гіроскопа відносно осі, паралельної до вектора кінетичного моменту гіроскопа.

Розширимо задачу аналізу і будемо вивчати роботу гіростабілізатора в експлуатаційних умовах ЛА, тобто за одночасного впливу інтенсивного акустичного збурення, а також вібрації носія, обумовлених роботою двигунів.

Пропонується на цей випадок, на наш погляд, перспективна схема силового (рис. 1) та індикаторного (рис. 2) гіростабілізаторів. Двовісний силовий гіростабілізатор містить основу 1, на якій встановлені амортизатори 18, 19, 20 та 21 із закріпленими на них підшипниками осей прецесії двохступеневих гіроскопів 22, 23 з однаковою кінематикою підвісу, паралельними між собою векторами кінетичних моментів $\vec{H}_1$ та $\vec{H}_2$ і взаємноперпендикулярними осями прецесії. Основа 1 примусово обертається з кутовою швидкістю ω спеціальним двигуном 6 навколо осі, перпендикулярної до площини стабілізованої платформи 5, на якій вона встановлена.

Вихідний сигнал датчиків кута 24 і 25 гіроскопів надходить на перетворювач координат 9, який механічно з'єднаний з основою 1. Вихідний сигнал перетворювача координат 9 надходить до узгоджуючого пристрою 14, а також на вхід підсилювачів 10 та 11, які управляють стабілізуючими двигунами 12 і 13. Для узгодження напрямків векторів кінетичних моментів $\vec{H}_1$ і $\vec{H}_2$ гіроскопів з вектором кутової швидкості $\vec{\omega}$ основи 1, здійснюється корекція їх положення відносно основи 5 шляхом подачі сигналів з датчиків кута 24 і 25 до підсилювачів 26 і 27, вихідний сигнал котрих надходить на датчики моменту 28 і 29, які встановлені на осях прецесії гіроскопів. Підшипники зовнішньої рами 15 гіростабілізатора встановлені на амортизаторах 16 і 17, жорстко закріплених на корпусі носія.

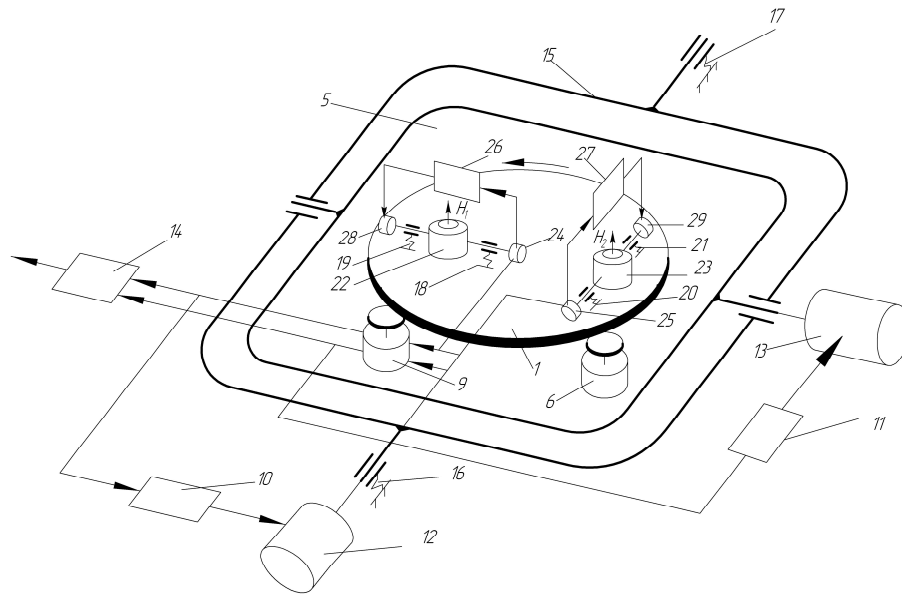


Рис. 1. Кінематична схема силового гіростабілізатора

Індикаторний стабілізатор із примусовим обертанням підвісу гіроскопа (рис. 2) містить основу 1, на якій на амортизаторах 2 і 3 установлений триступеневий автоматичний некоректируємий гіроскоп 4 в кардановому підвісі. У вихідному положенні, вектор $\vec{H}$ кінетичного моменту гіроскопа перпендикулярний до площини стабілізованої платформи 5. Основа 1 примусово обертається з кутовою швидкістю ω спеціальним двигуном 6 навколо осі, перпендикулярної площині стабілізованої платформи 5, на якій вона розміщена. На осях підвісу гіроскопа

знаходяться датчики кута 7 і 8, сигнали з яких надходять на перетворювач координат 9, а потім, попередньо посилені підсилювачами 10 та 11, на управляючі обмотки стабілізуючих двигунів 12 і 13. Узгоджуючий пристрій 14 електрично з'єднаний з перетворювачем координат 9. Підшипники зовнішньої рами 15 гіростабілізатора встановлені на амортизаторах 16 і 17, жорстко закріплених на корпусі носія.

Силовий гіростабілізатор за одночасної дії інтенсивних акустичних збурень і вібрації корпусу носія працює наступним чином.

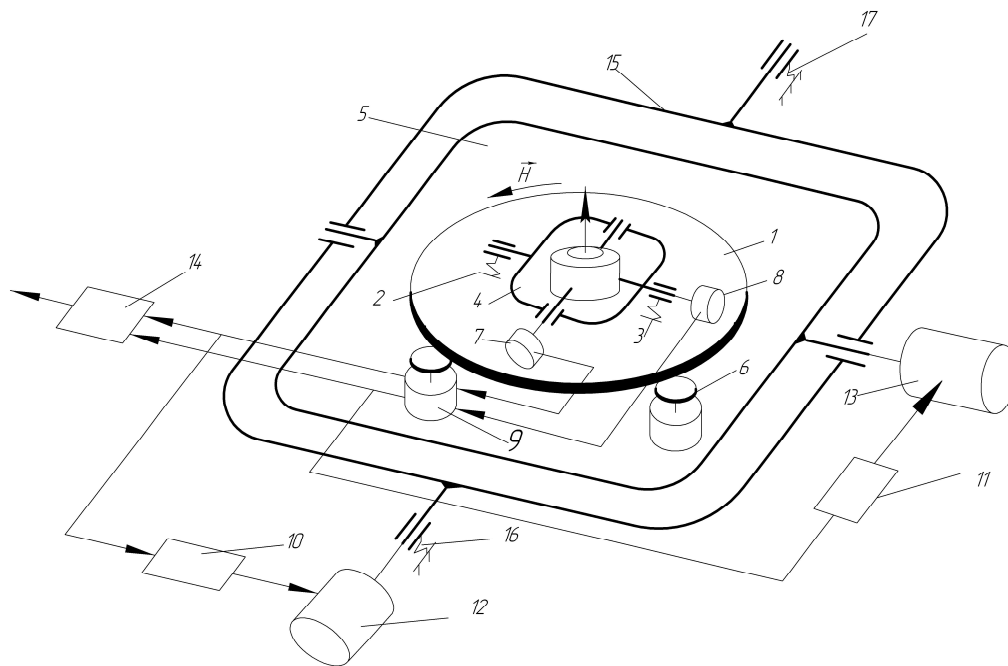


Рис. 2. Кінематична схема індикаторного гіростабілізатора

Інтенсивні акустичні хвилі генерують в елементах конструкції гіроскопів коливання, які у своїй сукупності призводять до появи на певних частотах сталих за величиною і напрямком збурюючих моментів, які напрямлені уздовж осей прецесії, і, відповідно, слугують причиною виникнення систематичних похибок гіроприладів. Примусове обертання підвісів гіроскопів разом з основою 1 з кутовою швидкістю ω спеціальним двигуном 6 навколо осі, перпендикулярної до площини стабілізованої платформи 5 і паралельної до векторів кінетичних моментів $\vec{H}_1$ та $\vec{H}_2$ гіроскопів, дозволяє змодувати вектор збурюючого моменту періодичною функцією часу $\sin \omega t$. Це призведе до такої ж модуляції у часі систематичної похибки двохступеневого гіроскопа і, тим самим, дозволить звести до нуля її середнє значення за період обертання.

Усунення впливу вібрації основи 1, породженої дією інтенсивного акустичного збурення, здійснюється установкою підшипників осей прецесії на амортизатори 18, 19, 20 і 21.

Зважаючи на те, що примусове обертання підвісів гіроскопів призводить до їх переорієнтації у просторі, в той час як стабілізована платформа 5 разом з двигунами 12 і 13 залишається нерухомою, сигнали датчиків кута 24, 25 гіроскопів надходять до підсилювачів 10 і 11 стабілізуючих двигунів 12 і 13 з перетворювача координат 9, механічно зв'язаного з основою 1 повторюючого його обертання, а електрично з'єднані з датчиками кута 24 та 25. Якщо для вирішення задач управління ЛА потрібен буде сигнал двохступеневого гіроскопа, його можна отримати в аналоговій чи цифровій формі за допомогою узгоджуючого пристрою 14, електрично з'єднаного з перетворювачем координат 9. В цьому випадку весь пристрій можна вважати за двохступеневий гіроскоп, але маючий за інтенсивних акустичних збурень і вібрації корпусу ЛА менші похибки вимірів, ніж звичайний гіроскоп за тих же умов.

Спочатку вектори кінетичних моментів $\vec{H}_1$ і $\vec{H}_2$ гіроскопів паралельні до вектора $\vec{\omega}$ кутової швидкості обертання основи 1. З появою збурюючих чинників по осям стабілізації, коїться непогодження цих векторів, що породжує додаткові гіроскопічні моменти внаслідок дії перехресної складової вектора $\vec{\omega}$, паралельної осям чутливості гіроскопів 22, 23. Електричний сигнал датчиків кута 24, 25, пропорційний цієї швидкості, попередньо підсилений підсилювачами 26 і 27, надходить до датчиків моментів 28 і 29, які формують величину і напрямок моменту для забезпечення вихідної паралельності векторів $\vec{H}_1$, $\vec{H}_2$ і $\vec{\omega}$.

Для усунення впливу вібрації корпусу літального апарату на похибку стабілізації, підшипники зовнішньої рами силового стабілізатора встановлюють на амортизатори 16 і 17.

Індикаторний гіростабілізатор за інтенсивних акустичних збурень і вібрації фюзеляжу працює аналогічно. Однак треба зауважити, що за акустичного навантаження вище за 160 дБ некоректуємих гіроскоп, без прийнятих заходів шумоізоляції, непрацездатен.

Подальшим вдосконаленням схеми силового гіростабілізатора є ГС з примусовим обертанням підвісів електрично зв'язаних двохступневих гіроскопів з протилежно напрямленими векторами кінетичних моментів і однаковою орієнтацією осей підвісу (рис. 3). В цьому випадку датчики кута гіроскопів через суматор і підсилювач з'єднуються з укріпленими на осях прецесії датчиками моменту, а через диференціальний підсилювач підключаються до перетворювача координат. Застосування механічного спарника тут недоцільне при високих рівнях звукового тиску – вище 160 дБ. Крім того, механічний спарник практично виключає можливість використання в гіростабілізаторі поплавкових гіроскопів.

Формування вихідного сигналу двохступеневого гіроскопа у вигляді різниці вихідних сигналів двох електрично зв'язаних приладів дозволяє компенсувати вплив миттєвих значень моментів-перешкод, які обумовлені бічною чутливістю гіроскопів і дією кутового прискорення фюзеляжу як за стаціонарного, так і за нестаціонарного характеру їх зміни у часі. Крім того, компенсується також зсув нуля (дрейф нуля в інтегруючому гіроскопі), який має місце за кінематичного збурення з боку основи навіть за кута повороту рухомої частини гіроскопа рівною нулю. Жорсткий від'ємний обернений зв'язок по сумі сигналів датчиків кута гіроскопів дозволяє здійснити взаємну корекцію їх положення між собою і з вектором $\vec{\omega}$ кутової швидкості основи 1 подачею сигналу на датчики моментів.

У вихідному положенні вектори кінетичних моментів $\vec{H}_i$ гіроскопів 10, 11, 12 і 13 паралельні між собою і перпендикулярні площини стабілізованої платформи 15. Акустична хвиля генерує в елементах конструкції гіроскопів згинні коливання і створює пружно напружений стан матеріалу, які у сукупності призводять до появи сталих збурюючих моментів і, таким чином, до систематичних похибок гіроскопів. Формування вихідного сигналу двохступневих гіроскопів у вигляді різниці вихідних сигналів двох електрично зв'язаних різнообертаючихся гіроскопів 10, 11 і 12, 13 дозволяє компенсувати вплив миттєвих значень моментів-перешкод внаслідок бічної чутливості гіроскопів і впливом кутового прискорення ЛА, при-

чому, як за стаціонарного, так і за нестационарного їх розвитку у часі. Нарешті, компенсується також зсув

нуля, який має місце навіть за відсутності кута повороту рухомої частини гіроскопа.

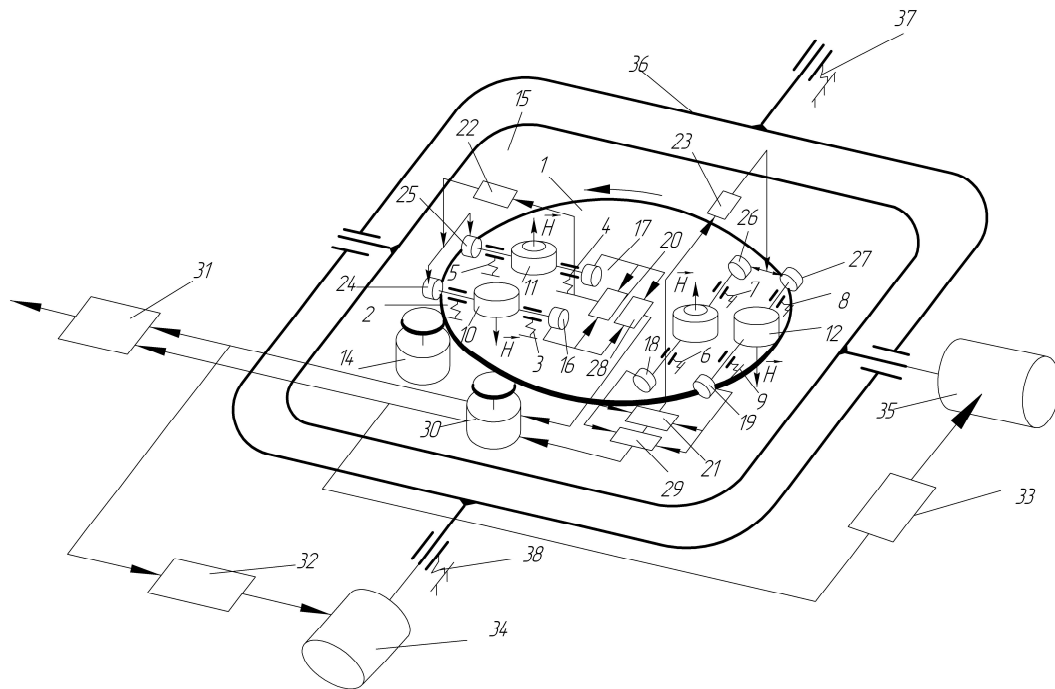


Рис. 3. Кінематична схема силового гіростабілізатора з двохканальною автокомпенсацією зменшення впливу зовнішніх механічних збурень

Жорсткий від'ємний обернений зв'язок по сумі сигналів датчиків кута 16, 17 та 18, 19 гіроскопів 10, 11 та 12, 13 дозволяє провести взаємну корекцію їх положення між собою і вектором $\vec{\omega}$ кутової швидкості основи платформи надходженням сигналу на датчики моментів 24, 25, 26 та 27.

Примусове обертання підвісів гіроскопів 10, 11, 12 і 13 разом з основою 1 з кутовою швидкістю ω двигуном 14 навколо осі, перпендикулярної до площини стабілізованої платформи 15, і паралельної до векторів кінетичних моментів $\vec{H}_i$ гіроскопів, дозволяє змодувувати вектори збурюючих моментів, обумовлених впливом акустичного випромінювання, дебалансу гіроскопів, сил сухого тертя, а також інших інструментальних похибок періодичною функцією часу, наприклад $\sin \omega t$, що призведе до такої ж модуляції у часі систематичної похибки гіроскопів і, тим самим, дозволить звести до нуля її середнє значення за період обертання.

Усунення впливу вібрації основи 1 під дією акустичного збурення високої інтенсивності на елементи конструкції гіроскопів 10, 11 та 12, 13 здійснюється установкою підшипників їх вихідних осей на амортизатори 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 і 9.

Внаслідок того, що примусове обертання підвісів гіроскопів призводить до їх переорієнтації у про-

сторі, тоді як стабілізована платформа 15 з двигунами 34 і 35 залишається нерухомою, сигнали диференціальних підсилювачів 28 і 29 надходять на перетворювач координат 30, механічно з'єднаний з основою 1 і повторюючий її обертання, а потім, через підсилювачі 32 і 33 на управляючі обмотки стабілізуючих двигунів 34 і 35.

Якщо для вирішення задач управління рухом ЛА за інтенсивних акустичних збурень і вібрації фюзеляжу потрібен сигнал двохступеневого гіроскопа, то його можна отримати у цифровій чи аналоговій формі за допомогою узгоджуючого пристрою 31, електрично з'єднаного з перетворювачем координат 30. В цьому випадку, пропонуємо пристрій можна розглядати як двохступеневий гіроскоп, але вільний від вад звичайного двохступеневого гіроскопа в інтенсивному акустичному полі і вібрації.

Інтегруючі гіроскопи знайшли широкого вжитку в ГСП як чутливі елементи. Тому декілька слів про особливості їх роботи.

Розглянемо найпростіший випадок – гармонічні коливання платформи відносно трьох осей, наприклад:

$$\psi_x = \psi_{x0} \sin(\omega_1 t + \varphi_1);$$

$$\psi_y = \psi_{y0} \sin(\omega_2 t + \varphi_2); \quad \psi_z = \psi_{z0} \sin \omega_3 t.$$

Для цього збурення кут повороту рухомої частини підвісу окреслюється виразом:

$$\begin{aligned} \beta &\approx \beta(0) - \beta(0)a \sin \omega_3 t + b \sin(\omega_1 t + \varphi_1) - \\ &- c \cos(\omega_2 t + \varphi_2) - \frac{\omega_3 ab}{2} \times \\ &\times \left\{ \frac{\cos[(\omega_3 - \omega_1)t - \varphi_1]}{\omega_3 - \omega_1} - \frac{\cos[(\omega_3 + \omega_1)t + \varphi_1]}{\omega_3 + \omega_1} \right\} + \\ &+ \frac{\omega_3 ac}{2} \times \\ &\times \left\{ \frac{\sin[(\omega_3 - \omega_2)t - \varphi_2]}{\omega_3 - \omega_2} + \frac{\sin[(\omega_3 + \omega_2)t + \varphi_2]}{\omega_3 + \omega_2} \right\}, \end{aligned}$$

де $a = k\psi_{z0}$; $b = k\psi_{x0}$; $c = Tk\psi_{y0}\omega_2$.

В інтегруючих гіроскопах коефіцієнт передачі k зазвичай близький до одиниці, а стала часу T складає декілька мілісекунд. Тому, за певних значень ω_2 справедлива нерівність

$$T\omega_2 \ll k.$$

Якщо амплітуди коливань платформи навколо осей x та y практично однакові, наслідком нерівності буде співвідношення:

$$c \ll b.$$

Тоді можна спростити і вираз для кута повороту –

$$\begin{aligned} \beta &\approx \beta(0) - \beta(0)a \sin \omega_3 t + b \sin(\omega_1 t + \varphi_1) - \\ &- c \cos(\omega_2 t + \varphi_2) - \frac{\omega_3 ab}{2} \times \\ &\times \left\{ \frac{\cos[(\omega_3 - \omega_1)t - \varphi_1]}{\omega_3 - \omega_1} - \frac{\cos[(\omega_3 + \omega_1)t + \varphi_1]}{\omega_3 + \omega_1} \right\}. \end{aligned}$$

З виразу видно, що за хитами відносно осей x і z з близькими частотами в сигналі приладу буде присутньою мінливості складова похибки, яка може досягати і значних величин. Найбільш небажаною постає умова $\omega_1 = \omega_3$.

Для цього випадку кут повороту змінюється за законом –

$$\begin{aligned} \beta &\approx \beta(0) - \beta(0)a \sin \omega_1 t + b \sin(\omega_1 t + \varphi_1) - \\ &- c \cos(\omega_2 t + \varphi_2) - \frac{ab\omega_1 \sin \varphi_1}{2} t + \\ &+ \frac{ab}{4} \cos(2\omega_1 t + \varphi). \end{aligned}$$

Складова, яка зростає пропорційно часу, і окреслює великий ухил гіроскопа за цих умов. Наприклад, нехай

$$k = 1; \psi_{x0} = \psi_{z0} = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ рад}; \omega_1 = \omega_3 = 10 \text{ с}^{-1};$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2}; t = 3600 \text{ с}.$$

Тоді

$$\begin{aligned} \Delta\beta_t &= \frac{ab\omega_1 \sin \varphi_1}{2} t = \\ &= \frac{1 \cdot 5,8^2 \cdot 10^{-8} \cdot 10 \cdot 3,6 \cdot 10^3}{2} = 6,06 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Приклад підтверджує, що навіть за помірних умов хитами, складова ухилу гіроскопа може бути суттєвою.

Тепер для ілюстрації доведемо, наскільки ефективним постає двохканальний метод автокомпенсації впливу хитами. Сигнал управління стабілізуючим двигуном повинен бути сформований у вигляді різниці електричних сигналів двох інтегруючих каналів на кожній осі, тобто

$$U_y = U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}} = k_{\partial y1}\beta_1 - k_{\partial y2}\beta_2,$$

де $k_{\partial y1}$, $k_{\partial y2}$ – коефіцієнти передачі електричних датчиків кута двох приладів; β_1 , β_2 – кути повороту рухомих частин електрично з'єднаних гіроскопів.

З метою спрощення, всі параметри інтегруючих гіроскопів будемо вважати однаковими, за винятком знаків кінетичних моментів. Тоді, використовуючи вже наведену рівність, запишемо:

$$\beta_1 \approx \beta_1(0) - \beta_1(0)a \sin \omega_1 t + b \sin(\omega_1 t + \varphi_1) -$$

$$- c \cos(\omega_2 t + \varphi_2) - \frac{ab\omega_1 \sin \varphi_1}{2} t$$

$$+ \frac{ab}{4} \cos(2\omega_1 t + \varphi),$$

$$\beta_2 \approx \beta_2(0) + \beta_2(0)a \sin \omega_1 t - b \sin(\omega_1 t + \varphi_1) -$$

$$- c \cos(\omega_2 t + \varphi_2) - \frac{ab\omega_1 \sin \varphi_1}{2} t +$$

$$+ \frac{ab}{4} \cos(2\omega_1 t + \varphi).$$

Кут повороту другого інтегруючого гіроскопа відрізняється від першого тільки за знаками коефіцієнтів a і b , що обумовлене зміною знака кінетичного момента гіромотора другого приладу.

Природно також припустити, що

$$\beta_2(0) \approx -\beta_1(0) = -\beta(0).$$

Після підстановки значень β_1 та β_2 , з урахуванням останнього виразу і однаковості коефіцієнтів $k_{\partial y1}$ і $k_{\partial y2}$, отримаємо –

$$U_y = k_{\partial y} [2\beta(0) + 2b \sin(\omega_1 t + \varphi_1)].$$

Зовсім інша ситуація спостерігається, коли гіроскопічні прилади знаходяться в акустичних полях високого рівня – вище 150-160 дБ. А саме такі рівні мають місце в експлуатаційних умовах гіперзвукового руху.

Проникаюче акустичне випромінювання “розгойдує” механічні системи приладів і комплектуючі. Виникаючий пружно напружений стан матеріалу підвісу породжує Ейлерові сили інерції, які ство-

рюють “хибний” сигнал і, відповідно, похибку вимірювань [14, 15]. Причина явища в переході матеріалу підвісу і корпусу приладу з категорії абсолютно твердої поверхні в категорію імпедансної конструкції [16, 17]. Ця теза має бути обов’язково присутньою при побудові розрахункових схем бортової апаратури гіперзвукових технологій [18, 19].

Обговорення результатів досліджень

Експериментальні дослідження довели, що зразок пристрою для гіроскопічної стабілізації апаратури (ГСП), який за чутливі елементи використовує поплавкові прилади класу ДУСВ встановлені на амортизаторах і з’єднані по диференціальній схемі, або примусово обертаємі навколо осі, паралельної вектору кінетичного моменту, нормально функціонує при акустичному навантаженні інтенсивності 160 дБ у частотному діапазоні до 1 кГц.

Висновки

Виконані стендові і теоретичні дослідження впливу інтенсивних звукових хвиль на поліагрегатні системи промислового зразка датчика кутових швидкостей модифікації ДУСВ дозволяють зробити деякі узагальнення для інших технічних рішень таких систем і сформулювати наступні висновки і рекомендації:

- поліагрегатні системи підвладні дії інтенсивних акустичних променів. Запропонована механічна модель пружно-деформуємої поліагрегатної системи у вигляді двох коаксialьних циліндричних оболонок, поділених рідиною, дозволяє зробити кількісну і якісну оцінку вивчаємих явищ;

- бортова гіроскопічна апаратура поліагрегатної структури в акустичних полях експлуатаційних умов ЛА може мати методичні і інструментальні похибки внаслідок виникаючих Ейлерових сил інерції;

- для боротьби з негативним впливом акустичної вібрації комплектуючих, як один з варіантів, можуть бути рекомендовані автокомпенсаційні методи, які пройшли стендову апробацію з позитивним результатом.

Література

1. Одинцов, А. А. Метод автокомпенсации влияния внешних помех, действующих на гироскопы и маятниковые акселерометры [Текст] / А. А. Одинцов // Автоматика и приборостроение : сб. научн. тр. Киев. политех. ин-та. – К., 1973. – С. 87-94.
2. Щипанов, Г. В. Гироскопические приборы слепого полета [Текст] : монография / Г. В. Щипанов. – М. : Оборонгиз, 1938. – 116с.

3. Булгаков, Б. В. Прикладная теория гироскопов [Текст] : монография / Б. В. Булгаков. – М. : Гостехиздат, 1955. – 235с.

4. Ишлинский, А. Ю. Идеи теории инвариантности и инерциальная навигация [Текст] / А. Ю. Ишлинский // Всесоюз. совещание по теории инвариантности : сб. научн. тр. – М. : Наука, 1964. – С. 1-8.

5. Ишлинский, А. Ю. Полная компенсация внешних возмущений, вызванных маневрированием, в гироскопических системах [Текст] / А. Ю. Ишлинский, // Всесоюз. совещ. по теории инвариантности : сб. научн. тр. – К. : Изд-во АН УССР, 1959. – С. 12-24.

6. Кухтенко, В. И. Проблемы инвариантности в автоматике [Текст] : монография / В. И. Кухтенко. – К. : Гостехиздат, 1963. – 143с.

7. Коновалов, С. Ф. Влияние упругих деформаций сильфона и кронштейна выносного элемента на виброустойчивость поплавкового прибора [Текст] / С. Ф. Коновалов, А. А. Трунов // Тр. МВТУ : сб. науч. тр. Сер. Прикладная гидромеханика поплавковых приборов. – М. : МВТУ, 1982. – Вып. 372. – С. 25-60.

8. Сменковский, Е. Г. Применение теории инвариантности в автоматике [Текст] / Е. Г. Сменковский // Всесоюз. Совещ. по теории инвариантности : сб. научн. тр. – К. : Наук. думка, 1964. – С. 78-81.

9. Кондорский, И. Д. К теории некорректируемых гироскопических азимутов [Текст] / И. Д. Кондорский // Изв. ВУЗов Приборостроение. – 1959. – № 2. – С. 43-49.

10. Кулебакин, В. С. Теория инвариантности автоматически регулируемых и управляемых систем [Текст] / В. С. Кулебакин // Первый Междунар. конгресс ИФАК по автоматическому управлению : сб. научн. тр. – М., 1961. – Т. 1. – С. 71-76.

11. Каракашев, В. А. Влияние дрейфа гироскопов на движение гиростабилизированной платформы с $T=84,4$ мин [Текст] / В. А. Каракашев // Изв. ВУЗов СССР Приборостроение. – 1960. – Т. 3, № 5. – С. 37-44.

12. Каргу, Л. И. О характере движения астатического гироскопа во вращающемся кардановом подвесе [Текст] / Л. И. Каргу, В. А. Яблонская // Изв. ВУЗов СССР Приборостроение. – 1968. – Т. 11, № 1. – С. 77-81.

13. Каргу, Л. И. О движении свободного гироскопа с принудительным вращением опор [Текст] / Л. И. Каргу // Изв. ВУЗов СССР Приборостроение. – 1962. – Т. 5, № 4. – С. 54-62.

14. Karachun, V. V. Influence of Diffraction Effects on the Inertial Sensors of a Gyroscopically Stabilized Platform: Three – Dimensional Problem [Text] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nick // International Applied Mechanics. – 2012. – № 48(4). – P. 458-464.

15. Mel'nick, V. N. Compensation of influence of day's movement of the Earth [Text] / V. N. Mel'nick, V. V. Karachun // Věda a VZNIK – 2010/2011 :

Materialy VII Mezinardni vědecko-practika conference, Praha, 2011. – P. 9-12.

16. Karachun, V. V. *The results of experimental research of gyroin float performance [Tekm] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nick // Materialy VII Miedzinarodowej Naukovi-Praktycznej Konferencji «Aktualne problemy Nowoczesnych Nauk-2011», Praha, 2011. – P. 24-28.*

17. Mel'nick, V. N. *The loss of sound waves [Text] : monografiya / V. N. Mel'nick, M. S. Trivailo, V. V. Karachun ; Nat. Techn. Univ. Ukraine «KPI». K. : Korniyuchuk. – 2010. – 120 p.*

18. Mel'nick, V. N. *Working features of navigation devices [Text] / V. N. Mel'nick, V. V. Karachun, O. I. Levchenko // Materialy Mezinardni Vědecko-Practika Konferenci «Efektivni Nastroje Modernich Věd-2010» Praha: Publishing House «Education and Science». – 2010. – P. 16-20.*

19. Mel'nick, V. N. *Determining Gyroscopic Integrator Errors to Diffraction of Sound Waves [Text] / V. N. Mel'nick, V. V. Karachun // International Applied Mechanics. - 2004. – № 40 (3). – P. 328-336.*

References

1. Odincov, A. A. *Metod avtokompensacii vlijaniya vneshnih pomeh, dejstvujushhih na giroskopy i majatnikovye akselerometry [The method of autocompensation of the influence of external noise acting on gyroscopes and pendulum accelerometers]. Kiev, Avtomatika i priborostroenie, 1973, pp. 87-94.*

2. Shhipanov, G. V. *Giroskopicheskie pribory slepogo poleta [Gyroscopic devices of blind flight]. Moscow, Oborongiz Publ., 1938. 116 p.*

3. Bulgakov, B. V. *Prikladnaja teorija giroskopov [Applied theory of gyroscopes]. Moscow, Gostehizdat Publ., 1955. 235 p.*

4. Ishlinskij, A. Ju. *Idei teorii invariantnosti i inercial'naja navigacija [Ideas of the theory of invariance and inertial navigation]. Moscow, Nauka, 1964, pp. 1-8.*

5. Ishlinskij, A. Ju. *Polnaja kompensacija vneshnih vozmushhenij, vyzvannyh manevrirovaniem, v giroskopicheskikh sistemah [Full compensation of external disturbances caused by maneuvering in gyroscopic systems]. Kiev, AN USSR, 1959, pp. 12-24.*

6. Kuhtenko, V. I. *Problemy invariantnosti v avtomatike [Problems of invariance in automation: monogr.]. Kiev, Gostehizdat Publ., 1963. 143 p.*

7. Kononov, S. F., Trunov, A. A. *Vlijanie uprugih deformacij sil'fona i kronshtejna vynosnogo jelementa na vibroustojchivost' poplavykovogo pribora [The effect of elastic deformations of the bellows and the remote bracket member for the vibration of the float device]. Tr. MVTU. Ser. Prikladnaja gidromehanika poplavykovykh priborov : sb. nauchn. tr. [Applied hydromechanics of floating devices]. Moscow, MVTU, 1982, no. 372, pp. 25-60.*

8. Smenkovskij, E. G. *Primenenie teorii invariantnosti v avtomatike [Application of the theory of invariance in automatics]. Kiev, Nauk. Dumka Publ., 1964, pp. 78-81.*

9. Kondorskij, I. D. *K teorii nekorrektiruemih giroskopicheskikh azimutov [On the theory of uncorrectable gyroscopic azimuths]. Izv. VUZov Priborostroenie, 1959, vol. 2, pp. 43-49.*

10. Kulebakin, V. S. *Teorija invariantnosti avtomaticheskij reguliruemih i upravljajemyh sistem [The theory of invariance of automatically controlled and controllable systems]. Pervyj mezhdunarodnyj kongress IFAK po avtomaticheskomu upravleniju : sb. nauchn. tr. [The 1 th international conference "Theory of invariance of automatically regulated and controlled systems"], Moscow, 1961, vol. 1. pp. 71-76.*

11. Karakashev, V. A. *Vlijanie drejfa giroskopov na dvizhenie girostabilizirovannoj platformy s $T=84,4$ min [The influence of gyroscope drift on the motion of a gyrostabilized platform with $T = 84.4$ min]. Izv. VUZov Priborostroenie Publ., 1960, vol. 3, no. 5. pp. 37-44.*

12. Kargu, L. I., Jablonskaja, V. A. *O haraktere dvizhenija astaticheskogo giroskopa vo vrashhajushhemsja kardanovom podvese [On the nature of the motion of an astatic gyroscope in a rotating cardan suspension]. Izv. VUZov Priborostroenie Publ., 1968, vol. 11, no. 1. pp. 77-81.*

13. Kargu, L. I. *O dvizhenii svobodnogo giroskopa s prinuditel'nym vrashheniem opor [On the motion of a free gyroscope with forced rotation of supports]. Izv. VUZov Priborostroenie Publ., 1962, vol. 5, no. 4. pp. 54-62.*

14. Karachun, V. V., Mel'nick, V. N. *Influence of Diffraction Effects on the Inertial Sensors of a Gyroscopically Stabilized Platform : Three – Dimensional Problem. International Applied Mechanics, 2012, vol. 48 (4). pp. 458-464.*

15. Mel'nick, V. N., Karachun, V. V. *Compensation of influence of day's movement of the Earth. Věda a VZNIK – 2010/2011 : Materialy VII Mezinardni vědecko-practika conference, Praha, 2011. pp. 9-12.*

16. Karachun, V. V., Mel'nick, V. N. *The results of experimental research of gyroin float performance. Materialy VII Miedzinarodowej Naukovi-Praktycznej Konferencji «Aktualne problemy Nowoczesnych Nauk-2011» Praha, 2011. pp. 24-28.*

17. Mel'nick, V. N., Trivailo, M. S., Karachun, V. V. *The loss of sound waves. Kiev, Korniyuchuk Publ., 2010. 120 p.*

18. Mel'nick, V. N., Karachun, V. V., Levchenko, O. I. *Working features of navigation devices. Materialy Mezinardni Vědecko-Practika Konferenci «Efektivni Nastroje Modernich Věd-2010» Praha: Publishing House «Education and Science», 2010. pp. 16-20.*

19. Mel'nick, V. N., Karachun, V. V. *Determining Gyroscopic Integrator Errors to Diffraction of Sound Waves. International Applied Mechanics, 2004, vol. 40 (3). pp. 328-336.*

Поступила в редакцию 24.05.2017, рассмотрена на редколлегии 8.06.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. В. Карачун, Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”, Киев, Украина.

**АВТОКОМПЕНСАЦИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ
ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ПРЯМЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРИНЦИПА ДВУХКАНАЛЬНОСТИ ПЕТРОВА**

В. М. Мельник, Г. В. Бойко

В работе проведена оценка одного из методов автокомпенсации дифракционных явлений в чувствительных элементах, которая нашла применение в гироскопии. Изучается работа гиростабилизатора в эксплуатационных условиях ЛА при одновременном влиянии внешних возмущающих факторов - интенсивного акустического возмущения, а также вибрации корпуса носителя, обусловленных работой двигателей. Доказана целесообразность метода для использования в эксплуатационных условиях сверхзвуковых летательных аппаратов для осреднения мгновенных значений погрешностей стохастической структуры. Метод двухканальности является эффективным средством уменьшения влияния внешних возмущающих факторов, обусловленных методическими погрешностями кинематики гироскопических сенсоров, в частности является эффективным средством уменьшения влияния перекрестных связей между каналами силовой стабилизации платформы по гироскопическим моментам.

Ключевые слова: автокомпенсация, двухканальная схема, силовой гиростабилизатора, акустическое излучение, импеданс, Эйлера силы инерции

**AUTOCOMPENSATION OF DIFFRACTION PHENOMENA IN SENSITIVE ELEMENTS
OF THE GYROSTABILIZED PLATFORM BY DIRECT USE OF THE PRINCIPLE
OF THE TWO-CHANNELITY OF PETROV**

V. N. Mel'nick, G. V. Boiko

In this paper, one of the methods of auto-compensation of diffraction phenomena in sensitive elements was evaluated, which was used in gyroscopes. The work of the gyrostabilizer under operational conditions of the aircraft is studied with the simultaneous influence of external perturbing factors - intense acoustic disturbance, as well as vibration of the carrier body, caused by the operation of the engines. The expediency of the method for using supersonic aircraft in operational conditions for averaging the instantaneous errors of the stochastic structure is proved. The two-channel method is an effective means of reducing the influence of external perturbing factors caused by methodical errors in the kinematics of gyroscopic sensors, in particular, it is an effective means of reducing the effect of crosslinks between the channels of force stabilization of the platform with gyroscopic moments.

Keywords: auto-compensation, two-channel circuit, power gyrostabilizer, acoustic radiation, impedance, Euler inertia forces

Мельник Виктория Николаевна – д-р техн. наук, проф., зав. каф. биотехники и инженерии Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”, Киев, Украина, e-mail: karachun11@i.ua.

Бойко Галина Владимировна – ученый секретарь отдела Ученого секретаря Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”, Киев, Украина, e-mail: karachun11@i.ua.

Mel'nick Viktorij - doctor of engineering sciences, professor, manager by a department National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: karachun11@i.ua.

Boiko Galina - scientific secretary of the Department of the Scientific Secretary National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: karachun11@i.ua.