

ПОХИБКИ ГІРОГОРИЗОНТУ З КОРЕКЦІЄЮ ІНДУКЦІЙНИМИ СТРУМАМИ В АКУСТИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

(Представлено д.т.н., проф. Карачун В.В.)

Аналізується вплив проникаючого акустичного випромінювання на появу додаткових похибок побудови вертикалі місця. Визначається закон примусового руху маятника-коректора під дією звукової хвилі та відповідні значення усталеної похибки побудови вертикалі за антисиметричної та симетричної складових збурюючого чинника.

Постановка проблеми. Відомо, що для примусового прямування вісі гіроскопа до вертикалі місця найкоротшим шляхом, необхідно прикласти момент, вектор якого знаходиться в площині, що утворена віссю фігури і вертикаллю, і був би напрямлений таким чином, щоб вісь прецесувала у бік зменшення кута відхилення її від вертикалі місця.

У гірогоризонтах з радіальною (або *quasi*-радіальною) корекцією моменти, що прикладаються до гіроскопа коректуючими пристроями, створюються саме за цим принципом. У таких пристроях відхилення осі фігури від вертикалі навколо вісі зовнішньої рамки карданова підвісу викликає коректуючий момент, вектор якого напрямлений вздовж вісі внутрішньої рамки, а відхилення відносно вісі внутрішньої рамки – момент, вектор якого напрямлений вздовж вісі зовнішньої рамки.

Існувавшу тривалий час думку відносно того, що акустичну похибку мають лише некоректовані прилади, дослідження останніх років примусили переглянути і розтлумачити. Як з'ясувалося, наявність в системі корекції чутливих елементів, які підвладні дії звукового випромінювання, може слугувати джерелом додаткових похибок. Відмінність полягає лише в тому, що за припинення дії випромінювання, система корекції знову поверне ротор у вихідне положення, а в некоректованих приладах ця похибка інтегруватиметься у часі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення динамічних властивостей пілотажно-навігаційного обладнання, як правило, окреслюється аналізом вібростійкості апаратури та впливу кінематичних збурень основи та похибки вимірювань. Вивчення пружної взаємодії механічних систем приладів з проникаючим акустичним випромінюванням тільки набуває розвитку і теоретичного підґрунтя [1]. В цьому аспекті знайшли свій шлях розвитку розрахункові моделі «сухих» [2] та поліагрегатних підвісів [3] як систем з розподіленими, або дискретно розподіленими параметрами. На відміну від розрахункових схем у вигляді зосереджених мас, це дозволило більш глибоко аналізувати динаміку бортової апаратури.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Наявність достовірної навігаційної інформації обумовлює відповідність Технічних характеристик літального апарату Паспортним. Побудова на об'єкті опорної триортогональної системи координат та сукупності орієнтирних напрямків повинна відповідати надвисоким вимогам, що постає запорукою безумовного виконання Технічного завдання апаратом. Визначення істинної вертикалі місця слугує однією із складових цієї задачі і тому актуальним постає аналіз природи пружної взаємодії проникаючого акустичного випромінювання з чутливими елементами системи корекції гірогоризонту.

Метою досліджень постає аналітичне пояснення природи виникнення похибок системи корекції гірогоризонту внаслідок дифракційних ефектів на елементній базі приладу.

Основний матеріал досліджень. За приклад технічної реалізації таких приладів може служити авіаційний гірогоризонт фірми «Sperry» з корекцією індукційними струмами (рис. 1, а). Ротор 1 гіроскопа приводиться в обертання трифазним асинхронним двигуном. Підшипники 2 слугують головними опорами гіроскопа. На осі ротора жорстко закріплений «грибок» 3, що є частиною порожнистої металевої півсфери. Кожух гіроскопа, представлений на схемі умовно у вигляді внутрішньої рамки підвісу ротора, може обертатися в підшипниках 4 зовнішньої рамки 5 підвісу, якій, в свою чергу, надана можливість повороту навколо осі 6 відносно корпусу приладу. Таким чином, гіроскоп має три ступені вільності обертального руху навколо нерухомої точки, яка є перетином всіх трьох його осей.

Корекція положення вісі фігури здійснюється за допомогою електромагніта 7, обмотка 8 якого живиться постійним струмом і за необхідності може бути знеструмлена, вимикаючи тим самим корекцію приладу. Електромагніт встановлений на іншому (зовнішньому) кардановому підвісі 9 (вилці) є, по суті справи, фізичним маятником.

Принцип дії корекції полягає в наступному. Нехай кут між віссю фігури гіроскопа і віссю маятника (електромагніта) складає φ рад (рис. 2). Лінійна швидкість точки A сферичного грибка буде, очевидно, визначатися співвідношенням:

$$V_A = \Omega \cdot r \cdot \sin \varphi,$$

де r – радіус півсфери (грибка); Ω – кутова швидкість власного обертання ротора; вектор швидкості за обраного напрямку обертання напрямлений за площину рисунка (від спостерігача).

Індуковані в грибку струми, взаємодіючи з магнітним полем електромагніта, створюють гальмуючу силу F ,

$$F = kV_A = k\Omega r \sin \varphi,$$

вектор якої перпендикулярний до площини, що утворена віссю фігури і віссю електромагніта і напрямлений на нас. Момент цієї сили $\vec{M}(\vec{F})$ відносно точки O знаходитиметься в площині, що утворена віссю ротора і віссю електромагніта, і дорівнює

$$M(\vec{F}) = R F = k R r \Omega \sin \varphi,$$

де $R = OA$ (рис. 2). Навівши вектор моменту $\vec{M}(\vec{F})$ у вигляді двох складових \vec{M}_K (момент корекції) і \vec{M}_T (момент тертя), переконаємося, що вісь фігури буде прецесувати у бік зменшення кута φ доти, доки M_K не стане рівним нулю, а момент тертя M_T , гальмуючий власне обертання гіроскопа, не врівноважиться моментом двигуна.

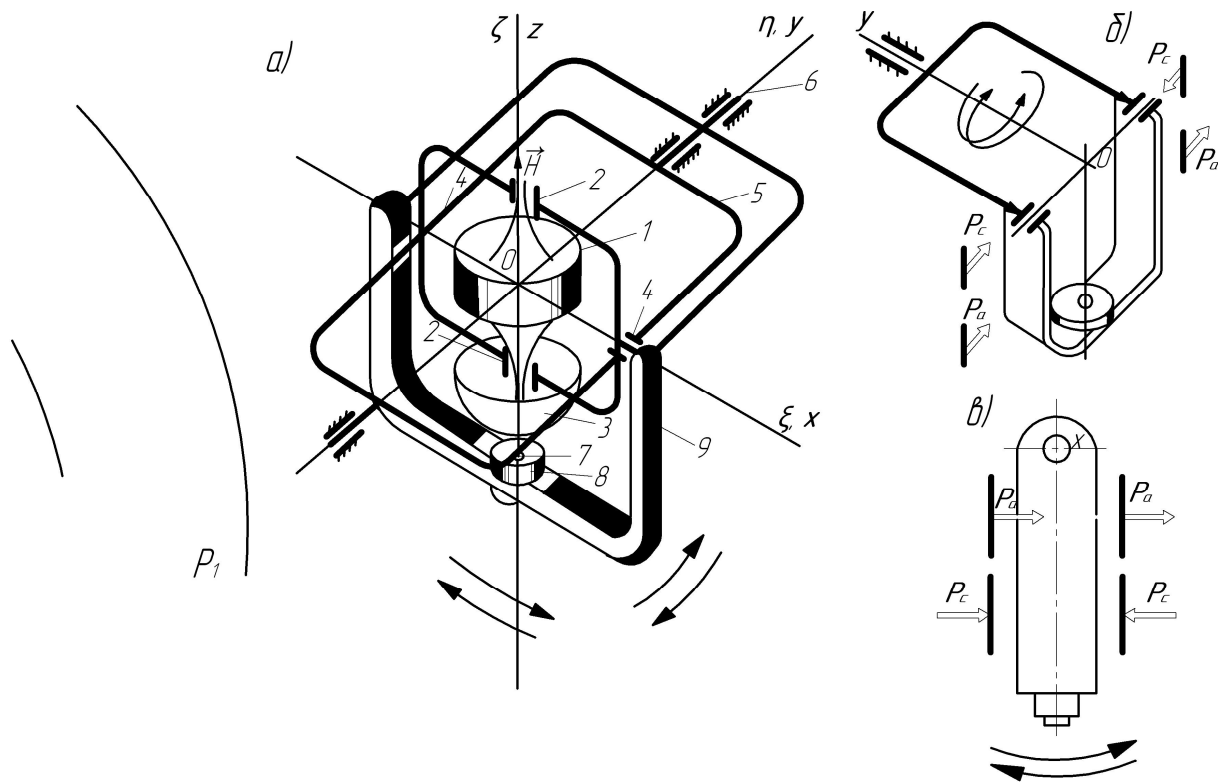


Рис. 1. Схема дії акустичного випромінювання на гірогоризонт з пропорційною радіальною корекцією індукційними струмами

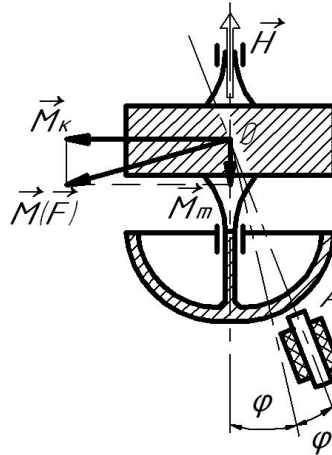


Рис. 2. Корекція індукційними струмами

Причому,

$$M_k = M(\vec{F}) \cos \varphi = kRr\Omega \sin \varphi \cos \varphi = \frac{1}{2} kRz\Omega \sin 2\varphi = \frac{1}{2} M_0 \sin 2\varphi ;$$

$$M_T = M(\vec{F}) \sin \varphi = kRr\Omega \sin^2 \varphi = M_0 \sin^2 \varphi .$$

Проаналізуємо найбільш простий випадок – гірогоризонт з пропорційною корекцією на нерухомій основі та за відсутності тертя в осях підвісу. Рівняння руху гіроскопа запишемо в проекціях на осі напіврухомої системи координат, що знайшла широке застосування в прикладній гіроскопії. Ця система координат жорстко пов'язана з кожухом (внутрішньою рамкою).

Оберемо за опорну – систему координат $\xi\eta\zeta$ з початком в нерухомій точці гіроскопа, яка, власне кажучи, може повертатися в просторі. Положення осі фігури z гіроскопа відносно системи відліку визначимо двома кутами – кутом α повороту навколо осі η , напрямленої вздовж осі зовнішньої рамки, та кутом β повороту навколо осі внутрішньої рамки (кожуха). У початковий момент часу системи координат $\xi\eta\zeta$ і xyz співпадають. Кутові швидкості $\dot{\alpha}$ і $\dot{\beta}$ напрямлені відповідно вздовж осей η та $(-x)$ (рис. 3). Вивчаючи тільки прецесійний рух гірогоризонта на нерухомій основі, рівняння можна записати у вигляді:

$$H\dot{\alpha} + M_0\alpha = M_x ;$$

$$H\dot{\beta} + M_0\beta = M_\eta .$$
(1)

Пам'ятаючи, що

$$M_x = M_0 \sin(\alpha + \alpha_a) ;$$

$$M_\eta = M_0 \sin(\beta + \beta_a) ,$$

де α_a, β_a – додатки, що обумовлені впливом акустичного випромінювання, отримуємо:

$$H\dot{\alpha} + M_0(\alpha + \alpha_a) = M_{TB}^* \text{sign}\dot{\beta} + M_x^* ;$$

$$H\dot{\beta} + M_0(\beta + \beta_a) = M_{TH}^* \text{sign}\dot{\alpha} + M_\eta^* ,$$
(2)

де M_x^*, M_η^* – інші збуджуючі моменти; M_{TB}^*, M_{TH}^* – абсолютні значення моментів тертя у відповідних осях підвісу гірогоризонту.

Оскільки розглядається поведінка приладу на нерухомій основі, без врахування тертя, тому маємо:

$$\dot{\alpha}_a + \varepsilon\alpha_a = M_{x0}^* ;$$

$$\dot{\beta}_a + \varepsilon\beta_a = M_{\eta0}^* ,$$
(3)

де $\varepsilon = \frac{M_0}{H}$; $M_{x0}^* = \frac{M_x^*}{H}$; $M_{\eta0}^* = \frac{M_\eta^*}{H}$.

Зупинимося детальніше на аналізі природи прояву цього явища.

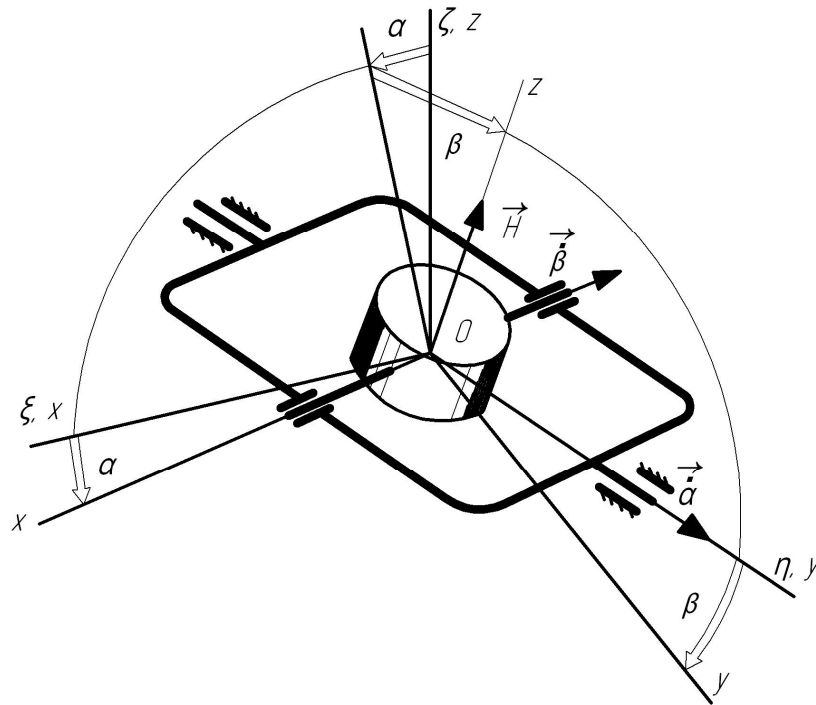


Рис. 3. Куты і кутові швидкості, що визначають рух гірогоризонта

Під дією звукової хвилі P_1 чутливий елемент системи корекції – вилка зі встановленим на ній електромагнітом – буде, з одного боку, рухатися відносно осей x і y , подібно до фізичного маятника, з іншого – в ній виникатимуть згинні коливання, які у своїй сукупності також слугують виникненню особливостей механічної системи. В той же час, пружна взаємодія хвилі тиску P_1 з півсферичним грибокком буде призводити до коливань його поверхні і, як наслідок, слугувати зміні швидкості точки A його поверхні, індукованих в ній струмів, сили гальмування \vec{F} і, в результаті, корекційного моменту \vec{M}_K . Таким чином, згідно з логікою запропонованих міркувань, маємо:

$$\begin{aligned} \alpha_a &= \alpha_a' + \alpha_a''; \\ \beta_a &= \beta_a' + \beta_a'', \end{aligned} \tag{4}$$

де перші доданки в правих частинах рівності є наслідок кутового руху вилки відносно осей підвісу, другі – результат виникаючих в пружній поверхні півсферичного грибка коливань.

Припустимо, що на гірогоризонт діє плоска монохроматична хвиля тиску P_1 виду –

$$P_1 = P_{10} \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1), \tag{5}$$

де P_{10} – амплітуда звукового тиску; $k_0 = \omega c^{-1}$ – хвильове число; ω – колова частота; c – швидкість звуку в повітрі; θ_1 – кут падіння звукової хвилі; z – поточна координата протяжності вилки; t – час.

Механізм пружної взаємодії хвилі тиску з вилкою коректора легше зрозуміти, якщо навести звукову хвилю у вигляді суми симетричної P_c та антисиметричної P_a складових (рис. 1, б, в). Очевидно, що симетрична складова стискає вилку і не вносить принципових змін у її динаміку. Антисиметрична ж складова, навпаки, розкачує її навколо вісі y підвісу (рис. 1, б) і відносно осі x (рис. 1, в). При постійній дії хвилі тиску (і відсутності живлення електромагніта) вилка оберталася б відносно відповідної осі доти, доки не врівноважилася б моментом сил ваги.

Пояснимо детальніше механізм пружної взаємодії акустичної хвилі з вилкою коректора, представленою на рис. 1, в. Для цього зобразимо на схемі падаючу, відбиту і пройдешню хвилі (рис. 4). За обраного закону зміни падаючої хвилі надлишкового тиску P_1 , відбита і пройдешня хвилі матимуть вигляд –

$$\begin{aligned} P_2 &= P_{20} \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1); \\ P_3 &= P_{30} \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1), \end{aligned} \tag{6}$$

де P_{20} і P_{30} – амплітуда тиску у відбитій і пройдешній хвилях відповідно.

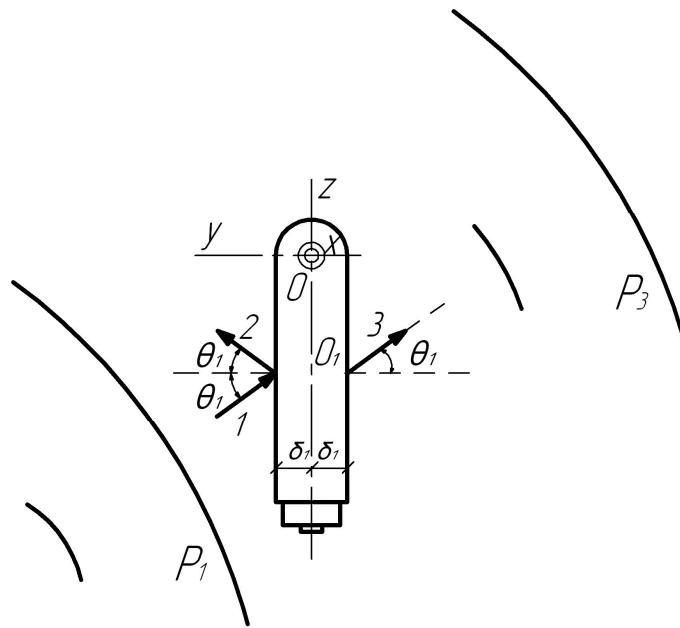


Рис. 4. Дифракція звукової хвилі на вилиці коректора

Як було зазначено, найбільш небезпечною постає антисиметрична складова тиску, яка зваживши на вирази (5) і (6), може бути зображена у вигляді –

$$P_a = \frac{1}{2}(P_{10} + P_{20} - P_{30})\exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1). \quad (7)$$

Її дія призведе до відхилення вилки відносно осі x на додатковий кут β'_a . Вважаючи, що рівнодіюча сил акустичного тиску прикладена в центрі бічних стійок і в центрі нижньої горизонтальної щаблини, збурюючі моменти, що діють відносно осей підвісу, можна визначити співвідношеннями:

$$M_{x0}^* = \frac{P_{10} + P_{20} - P_{30}}{2H} l[S + 2\delta_2(l + l_1)]\cos \beta_a \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1);$$

$$M_{\eta 0}^* = \frac{P_{10} + P_{20} - P_{30}}{2H} (4l\delta_1 + S)\cos \alpha_a \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2), \quad (8)$$

де S – площа поперечного перерізу електромагніту (рис. 5).

Підставляючи вирази (8) в рівняння (3), отримуємо:

$$\dot{\alpha}_a + \varepsilon\alpha_a = \frac{P_{10} + P_{20} - P_{30}}{2H} l[S + 2\delta_2(l + l_1)]\cos \beta_a \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1);$$

$$\dot{\beta}_a + \varepsilon\beta_a = \frac{P_{10} + P_{20} - P_{30}}{2H} (4l\delta_1 + S)\cos \alpha_a \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2). \quad (9)$$

Або в такій формі –

$$\dot{\alpha}_a + \varepsilon\alpha_a = A_0 \cos \beta_a \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1);$$

$$\dot{\beta}_a + \varepsilon\beta_a = B_0 \cos \alpha_a \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2). \quad (10)$$

За припущення малих кутів α_a і β_a , можна провести лінеаризацію правої частини:

$$\dot{\alpha}_a + \varepsilon\alpha_a = A_0 \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1);$$

$$\dot{\beta}_a + \varepsilon\beta_a = B_0 \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2). \quad (11)$$

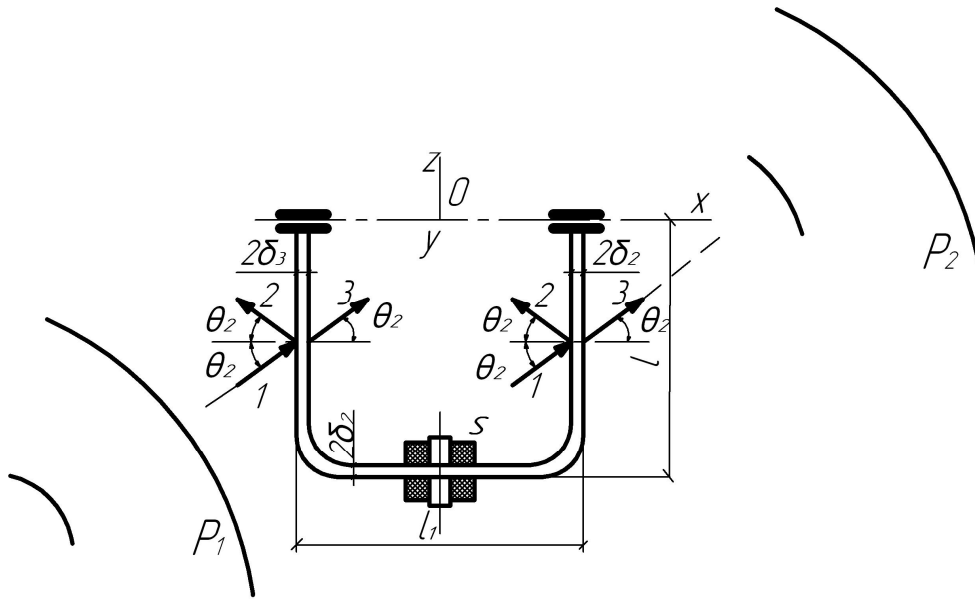


Рис. 5. Взаємодія проникаючого акустичного випромінювання з вилкою коректора

Розв’язки рівнянь (11) шукаємо у вигляді:

$$\begin{aligned} \alpha_a &= \alpha_a^{(1)} + \alpha_a^{(2)}; \\ \beta_a &= \beta_a^{(1)} + \beta_a^{(2)}, \end{aligned} \tag{12}$$

де індексом “1” позначені розв’язки однорідного рівняння, індексом “2” – часткові розв’язки.

Тоді, очевидно,

$$\begin{aligned} \alpha_a^{(1)} &= C_1 e^{-\varepsilon t}; \\ \beta_a^{(1)} &= C_2 e^{-\varepsilon t}, \end{aligned} \tag{13}$$

де C_1, C_2 – довільні сталі інтегрування.

Часкові розв’язки рівнянь (11) шукаємо у вигляді:

$$\begin{aligned} \alpha_a^{(2)} &= A \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1); \\ \beta_a^{(2)} &= B \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2). \end{aligned} \tag{14}$$

Підставляючи в рівняння (11), визначаємо довільні сталі A і B :

$$\begin{aligned} A &= \frac{A_0}{\varepsilon + i\omega(\omega t - k_0 z \sin \theta_1)}; \\ B &= \frac{B_0}{\varepsilon + i\omega(\omega t - k_0 z \sin \theta_2)}. \end{aligned}$$

Отже, розв’язки рівнянь (11), з урахуванням виразів (12), можна записати в такому вигляді:

$$\begin{aligned} \alpha_a &= \alpha_a^{(1)} + \alpha_a^{(2)} = C_1 \exp(-\varepsilon t) + \frac{A_0}{\varepsilon + i\omega(\omega t - k_0 z \sin \theta_1)} \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1); \\ \beta_a &= \beta_a^{(1)} + \beta_a^{(2)} = C_2 \exp(-\varepsilon t) + \frac{B_0}{\varepsilon + i\omega(\omega t - k_0 z \sin \theta_2)} \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2). \end{aligned} \tag{15}$$

Якщо прийняти за початкові умови наступні – $t = 0, \alpha = \alpha_0, \beta = \beta_0$, тоді довільні сталі C_1 і C_2 будуть дорівнювати:

$$\begin{aligned} C_1 &= \alpha_0 - \frac{A_0}{\varepsilon - i\omega k_0 z \sin \theta_1} \exp(-ik_0 z \sin \theta_1); \\ C_2 &= \beta_0 - \frac{B_0}{\varepsilon - i\omega k_0 z \sin \theta_2} \exp(-ik_0 z \sin \theta_2). \end{aligned} \tag{16}$$

В остаточному вигляді закон зміни кутів α_a і β_a відхилення вилки маятника-коректора в акустичному полі набуде вигляду:

$$\begin{aligned} \alpha_a &= \left[\alpha_0 - \frac{A_0}{\varepsilon - i\omega k_0 z \sin \theta_1} \exp(-ik_0 z \sin \theta_1) \right] \exp(-\varepsilon t) + \\ &+ \frac{A_0}{\varepsilon + i\omega(\omega t - k_0 z \sin \theta_1)} \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1); \\ \beta_a &= \left[\beta_0 - \frac{B_0}{\varepsilon - i\omega k_0 z \sin \theta_2} \exp(-ik_0 z \sin \theta_2) \right] \exp(-\varepsilon t) + \\ &+ \frac{B_0}{\varepsilon + i\omega(\omega t - k_0 z \sin \theta_2)} \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2). \end{aligned} \quad (17)$$

Очевидно, що кути α_a і β_a мають стійку тенденцію до збільшення у часі. Цей факт містить зрозумілу фізичну інтерпретацію. Звукова хвиля тиску повертатиме вилку коректора доти, доки цей момент не буде врівноважений моментом сил ваги.

Являє практичний інтерес визначення усталених значень кутів повороту, обумовлених акустичною дією на прилад. З виразів (10) виходить, що

$$\begin{aligned} \alpha_{a_{уст.}} &= \frac{A_0}{\varepsilon} \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1) = \frac{P_{10} + P_{20} - P_{30}}{2HkRr} Il[S + 2\delta_2(l + l_1)] \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1); \\ \beta_{a_{уст.}} &= \frac{B_0}{\varepsilon} \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2) = \frac{P_{10} + P_{20} - P_{30}}{2HkRr} Il[4l\delta_1 + S] \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2), \end{aligned} \quad (18)$$

де I – момент інерції ротора гіроскопа відносно власної осі обертання (полярний момент інерції).

Якщо врахувати не тільки антисиметричну складову, але і симетричну складову надлишкового тиску, тоді формула (18) дещо зміниться:

$$\begin{aligned} \alpha_{a_{уст.}} &= \frac{P_{10}}{HkRr} Il[S + 2\delta_2(l + l_1)] \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_1); \\ \beta_{a_{уст.}} &= \frac{P_{10}}{HkRr} Il[4l\delta_1 + S] \exp i(\omega t - k_0 z \sin \theta_2). \end{aligned} \quad (19)$$

Очевидно, що максимальні значення акустичної похибки приладу визначаються співвідношеннями:

$$\begin{aligned} \alpha_{(a_{уст.})_{\max}} &= \frac{P_{10}}{HkRr} Il[S + 2\delta_2(l + l_1)]; \\ \beta_{(a_{уст.})_{\max}} &= \frac{P_{10}}{HkRr} Il(4l\delta_1 + S). \end{aligned} \quad (20)$$

Ці вирази отримані як результат наведення експоненціальних співмножників у вигляді степеневого ряду з утриманням лише першого члена.

На практиці рідко доводиться зустрічатися з акустичною дією у вигляді однієї хвилі, тому логічно розглянути випадок дифузного акустичного поля. З цією метою досить провести усереднення за Перісом, припустивши тим самим рівномірне перенесення звукової енергії по куту θ (при ергодичному процесі), тобто

$$\begin{aligned} \alpha_{(a_{уст.})_{\text{диф}}} &= 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \alpha_{a_{уст.}} \cos \theta_1 \sin \theta_1 d\theta_1 = \\ &= \frac{P_{10} + P_{20} - P_{30}}{HkRr} Il[S + 2\delta_2(l + l_1)] \exp i\omega t \int_0^{\frac{\pi}{2}} \exp(-ik_0 z \sin \theta_1) \cos \theta_1 \sin \theta_1 d\theta_1; \\ \beta_{(a_{уст.})_{\text{диф}}} &= 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \beta_{a_{уст.}} \cos \theta_2 \sin \theta_2 d\theta_2 = \\ &= \frac{P_{10} + P_{20} - P_{30}}{HkRr} Il(4l\delta_1 + S) \exp i\omega t \int_0^{\frac{\pi}{2}} \exp(-ik_0 z \sin \theta_2) \cos \theta_2 \sin \theta_2 d\theta_2. \end{aligned} \quad (21)$$

Таким чином, акустична дія призводить до появи похибки гірогоризонту, причому, чим вищий рівень тиску падаючої хвилі, тим ця похибка більша. Зменшення її досягається або збільшенням кінетичного моменту H , або обмеженням площі поперечного перетину вилки коректора з електромагнітом.

Балістична похибка приладу від прискорень літального апарата, сухого тертя в осях та інших чинників підсумовуватимуться з акустичною похибкою. Вони достатньо вивчені і в даному викладі не розглядаються.

Очевидно, що акустичне випромінювання, викликаючи згинні коливання поверхні півсферичного грибка коректора, приводить до зміни швидкості точки A , що формує сигнал корекції. Проте, величина цієї швидкості на декілька порядків менша за V_A , оскільки остання обумовлена обертанням грибка, жорстко пов'язаного з гіромотором. Тому немає необхідності докладного вивчення цього питання.

Висновки. Таким чином, обчислені додаткові похибки побудови вертикалі місця за допомогою гірогоризонту з корекцією індукційними струмами, які виникають внаслідок дифракційних ефектів з боку проникаючого акустичного випромінювання. Означена питома вага впливу антисиметричної та симетричної складових випромінювання.

Створене наукове підґрунтя подальшого вдосконалення приладів такого класу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Дротяні елементи приладів в акустичному середовищі: монографія / В.В. Карачун, Н.А. Кубрак. – К.: Корнейчук, 2001. – 160 с.
2. Карачун В.В. Волновые задачи поплавкового гироскопа / В.В. Карачун, Я.Ф. Каюк, В.Н. Мельник. – К.: Корнейчук, 2007. – 228 с.
3. Многомерные задачи нестационарной упругости подвеса поплавкового гироскопа / В.В. Карачун, В.Г. Лозовик, Е.Р. Потапова и др. – К.: Корнейчук. – 128 с.

КОВАЛЕЦЬ Ольга Яківна – аспірант кафедри біотехніки та інженерії Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

– динаміка приладів і систем інерціальної навігації.

Подано 11.09.2009

Ковалець О.Я. Похибки гірогоризонту з корекцією індукційними струмами в акустичному середовищі
Ковалец О.Я. Погрешности гиросгоризонта с коррекцией индукционными токами в акустической среде
Kovalets O.Ya. Errors of gyrohorizon with a correction induction currents in an acoustic field

УДК 629.7.054

Погрешности гиросгоризонта с коррекцией индукционными токами в акустической среде / О.Я. Ковалец

Анализируется влияние проникающего акустического излучения на появление дополнительных погрешностей построения вертикали места. Определяется закон вынужденного движения маятника-корректора под воздействием звуковой волны и соответствующие значения установившейся погрешности построения вертикали для антисимметричной и симметричной составляющих возмущающего фактора.

УДК 629.7.054

Errors of gyrohorizon with a correction induction currents in an acoustic field / O.Ya. Kovalets

Influence of penetrable acoustic radiation is analysed on appearance of additional errors of construction of vertical line of place. The law of the forced motion of pendulum-proof-reader under action of sound-wave and proper values of the set error of construction of vertical line is determined for nonsymmetric and symmetric constituents of revolting factor.