



Бойко Г. В.

МОЖЛИВІСТЬ УТВОРЕННЯ ЗВУКОВОЮ ХВИЛЕЮ НИЗЬКОЧАСТОТНОГО РЕЗОНАНСУ В ПОПЛАВКОВОМУ ГІРОСКОПІ

Будується розрахункова схема пружної взаємодії акустичного випромінювання з поплавковим гіроскопом при експлуатаційному використанні в умовах гіперзвукового руху. Доведено, що на низьких частотах, значно менших за граничну частоту, колова хвиля в корпусі гіроскопа породжує хвильове співпадання резонансного типу, коли корпус приладу стає акустично прозорим.

Ключові слова: поплавковий гіроскоп, акустичне випромінювання, хвильове співпадання, низько-частотний резонанс.

1. Вступ

Дослідження відносяться до технології машинобудування і присвячені вивченню природи виникнення в рідинно-статичному підвісі гіроскопа особливостей резонансного типу.

Виникнення резонансної ситуації в поліагрегатному підвісі, в свою чергу, слугує формуванню додаткової похибки позиціонування літального апарату інерціальними приладами. Якщо прийняти до уваги інші зовнішні збудуючі чинники експлуатаційного використання апаратів — вібрацію, хитавицю, лінійні і кутові прискорення, надвисоку температуру тощо — стає очевидною актуальність вивчення природи пружної взаємодії підвісу гіроскопа із зовнішніми збудуючими впливами і їх дії на виникнення додаткових похибок вимірювань. Особливий інтерес викликають породжені зовнішніми збудженнями резонансні явища в підвісі.

З огляду на зазначене, привертають пильну увагу набираючі швидкість впровадження гіперзвукові технології, коли перелічені зовнішні збудження сягають надвисоких рівнів.

2. Постановка проблеми

Розглянемо дію одного із збудуючих чинників гіперзвукового руху — ультразвукового випромінювання — і окреслимо умови формування ним в поліагрегатному підвісі гіроскопа резонансної ситуації, а також з'ясуємо її механізм.

Літальні апарати, які рухаються із швидкостями до 20 М, функціонують в наджорстких умовах експлуатації, серед яких температура до 2000 С°, N -хвиля, випромінювання, вібрація і таке інше.

Зрозуміло, що навігація і управління рухом таких апаратів — керованих чи безпілотних — дуже складна технічна проблема, яка потребує, перш за все, глибокого аналізу усіх супутніх руху ЛА явищ.

3. Аналіз стану досліджень даної проблеми

Технічна реалізація двоступеневого гіроскопа з рідинно-статичним підвісом являє собою два коаксіальних

циліндри, розділених важкою рідиною [1, 2]. Внутрішній герметичний містить гіромотор і заповнений інертним газом, зовнішній — виконує функції корпусу приладу. Таким чином, всі три складові підвісу в акустичному полі будуть привносити свої особливості [3, 4].

Так пружна взаємодія поплавка з проникаючим акустичним випромінюванням породжує Ейлерові сили інерції, які викликають додаткові похибки випромінювань [5, 6]. Примусова прецесія рухомої частини підвісу в акустичному полі вивчалась в роботах [7, 8]. Дифракція звукових хвиль на підвісі гіроскопа і девіація осі фігури внаслідок їх дій вивчалась в роботах [9, 10].

Поза увагою дослідників, на теперішній час, залишаються найбільш небезпечні прояви гіперзвукових технологій — резонансні явища в механічних системах бортової апаратури, зокрема навігаційних приладів, які породжують особливості через виникнення хвильового співпадання.

4. Постановка задачі досліджень

Метою наукових досліджень є побудова розрахункових моделей пружної взаємодії проникаючого акустичного випромінювання з поліагрегатною механічною системою, яка б дала відповідь на причини виникнення особливостей в підвісі гіроскопа, які формують додаткові похибки вимірювань на резонансному рівні.

Для досягнення поставленої мети потрібно:

1. Визначити звукопроникність оболонки.
2. Визначити звуковий тиск під дією плоскої звукової хвилі.
3. Визначити додаткові похибки вимірювань.

5. Побудова розрахункової моделі

За розрахункову модель корпусу двоступеневого поплавкового гіроскопа оберемо колову циліндричну оболонку нескінченної протяжності (рис. 1). Це дозволить залишити поза увагою дифракційні явища на торцях. Надалі вважаємо, що товщина корпусу 2δ , порівняно з його радіусом R , значно менша за його величину.

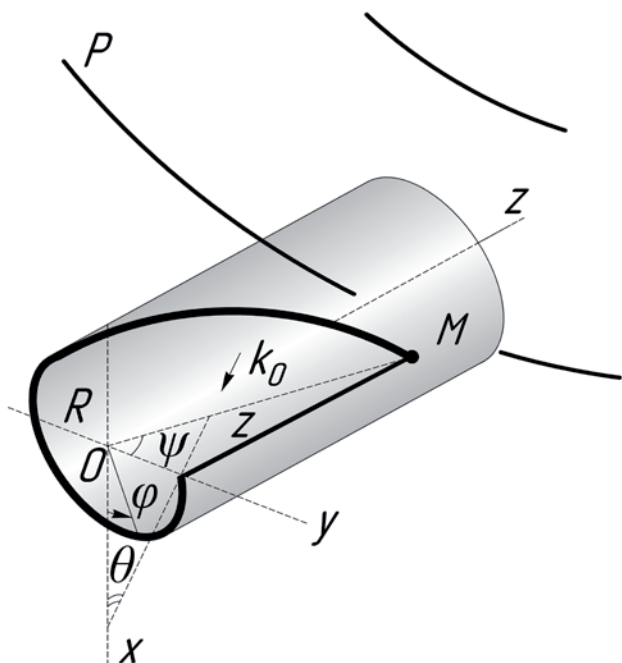


Рис. 1. Схема дії акустичної хвилі на корпус поплавкового гіроскопа

Припустимо, що на оболонку падає плоска звукова хвиля, напрям якої становить з радіусом кут θ , а фронт хвилі утворює кут ψ з площиною шпангоута (рис. 1). Тоді, звуковий тиск на зовнішню поверхню буде дорівнювати [4, 5]:

$$P = P_0 \exp i [\omega t - k_0 2\delta (z \sin \theta \sin \psi - \varphi \sin \theta \cos \psi)]. \quad (1)$$

Якщо нехтувати дисипацією енергії на оболонковій частині корпусу, звукопроникність оболонки буде окреслена виразом:

$$\tau = \frac{1}{\left| 1 + \frac{i}{\Delta_{\Pi}} \left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ГР}}} \right)^2 \sin^4 \theta - \left(\frac{\omega_{\text{ПП}}}{\omega} \right)^2 \sin^4 \psi \right] \right|^2}. \quad (2)$$

Звідси походить, що звукопроникність корпусу може різко знижуватися при частотах, нижчих за граничну частоту $f_{\text{ГР}}$. Тобто, якщо $\omega \ll \omega_{\text{ГР}}$, тоді другий доданок у формулі (2) стає набагато меншим за одиницю, що означає наступне — за умови виконання співвідношення:

$$\omega = \omega_{\text{ПП}} \sin^2 \psi,$$

оболонкова частина корпусу стає «акустично прозорою» (тут позначено через $\omega_{\text{ПП}}$ колову частоту власних радіальних коливань кільця). Цю умову можна розглядати, як рівність сліду довжини кола шпангоута та довжини колової хвилі на λ_{Π} площину, паралельну до фронту падаючої хвилі:

$$2\pi R = \lambda_{\Pi} \sin^2 \psi, \quad (3)$$

де $\lambda_{\Pi} = \frac{c_1}{f}$; c_1 , f — швидкість і частота колової хвилі.

Формула (3) окреслює умови виникнення хвильового співпадання для колових хвиль в корпусі на низьких частотах.

6. Чисельний аналіз явища низькочастотного хвильового співпадання

Припустимо, що діє ультразвуковий промінь частоти 42 кГц, радіус корпусу поплавкового гіроскопа $R = 0,025$ м, а колова швидкість $c_1 = 6400\text{--}5200$ мс⁻¹. Тоді можна окреслити умови низькочастотного резонансу колових хвиль в корпусі гіроскопа з рідинно-статичним підвісом.

Перш за все обчислимо граничну частоту:

$$f = \frac{c_1}{2\pi R} = 40,764 \text{ кГц.}$$

Значення кута ψ , за яких настає хвильове співпадання, обчислимо з формули (3) і зведемо до табл. 1.

Таблиця 1

Резонансні значення кута ψ для колової хвилі

Алюміній, $c_1 = 6400$ мс ⁻¹			
f , Гц	ψ , град	f , Гц	ψ , град
100	2°50'	2000	12°25'
200	4°00'	3000	15°45'
300	4°55'	6000	22°35'
400	5°45'	7000	24°30'
500	6°20'	8000	26°20'
600	7°00'	10000	29°40'
700	7°30'	20000	44°30'
800	8°05'	30000	59°10'
900	8°35'	40000	82°10'
1000	9°00'	—	—

Отже, із зменшенням кута ψ , зменшується і величина частоти співпадання f .

6. Висновки

На низьких частотах, в корпусі двоступеневого поплавкового гіроскопа із рідинно-статичним підвісом виникає хвильове співпадання, яке породжує різкий зріст енергетичної активності рідинної складової підвісу, яка слугує росту амплітуд пружних переміщень поверхні рухомої частини, появи Ейлерових сил інерції (точніше моментів цих сил) і, в підсумку, появи додаткових похибок вимірювань.

В результаті проведених досліджень:

1. Встановлено причини виникнення додаткових похибок вимірювань в підвісі гіроскопа на резонансному рівні.
2. Побудована розрахункова модель колової циліндричної оболонки нескінченної протяжності.
3. Окреслені умови виникнення хвильового співпадання для колових хвиль в корпусі на низьких частотах.
4. Визначені резонансні значення кута ψ для колової хвилі.

Литература

1. Данилин, В. П. Гироскопические приборы [Текст]: учеб. пособ. / В. П. Данилин; Минвуз СССР. — М.: Высш. школа, 1965. — 539 с.
2. Ривкин, С. С. Теория гироскопических устройств [Текст]: моногр. / С. С. Ривкин. — Л.: Судостроение, 1964. — Ч. 2. — 547 с.
3. Бойко, Г. Линеино упругий подвес поплавкового гироскопа в акустическом поле [Текст] / Г. В. Бойко // Технологический аудит и резервы производства. — 2013. — № 6/1(14). — С. 7–10.
4. 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'nik // International Applied Mechanics. — 2012. — Vol. 48, № 4. — P. 458–464. doi:10.1007/s10778-012-0533-y
5. Karachun, V. V. Elastic stress state of a floating-type suspension in the acoustic field. Deviation of the spin axis [Text] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nik // Strength of Materials. — 2012. — Vol. 44, № 6. — P. 668–677. doi:10.1007/s11223-012-9421-2
6. Шибецкий, В. Ю. Збурючий вплив на чутливі датчики ГСП при льотній експлуатації гіперзвукових літальних апаратів [Текст] / В. Ю. Шибецкий // VIII Міжнародна науково-практична конференція «Достижения высшей школы-2013», 17–25 листопада 2013 р., Болгарія, Софія. — Софія: Бял ГРАД-БГ, 2013. — С. 12–16.
7. Косова, В. П. Вплив ударної хвилі на газові бульбашки сенсора [Текст] / В. П. Косова // Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «WYKSZTALCENIE I NAUKA BEZ GRANIC-2012», 07–15 grudnia 2012 roku. — Przemysł: Nauka i studia, 2012. — Vol. 35. Techniczne nauki. — С. 79–81.
8. Бойко, Г. В. Реакция поплавкового подвеса на действие N -волны [Текст] / Г. В. Бойко // Materiały X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Strategiczne pytania swiatowej nauki-2014», 07–15 Lutego, 2014 rok. — Przemysł: Nauka i studia, 2014. — Vol. 35. Techniczne nauki. — С. 78–80.
9. Лозовик, Т. М. Стационарна взаємодія акустичного випромінювання з коловою пластинною [Текст] / Т. М. Лозовик // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2011. — № 5/7(53). — С. 20–23.
10. Заброта, А. А. Дифракційні ефекти в інерціальних системах [Текст] / А. А. Заброта, А. А. Кривец // XIII Міжнародна науково-практ. конф. «Людина і космос», 13–15 жовтня 2011 р. — Дніпропетровськ: НЦАОМУ, 2011. — С. 24.

ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЗВУКОВОЙ ВОЛНОЙ НИЗКОЧАСТОТНОГО РЕЗОНАНСА В ПОПЛАВКОВОМ ГИРОСКОПЕ

Строится расчетная схема упругого взаимодействия акустического излучения с поплавковым гироскопом при эксплуатационном использовании в условиях гиперзвукового движения. Доказано, что на низких частотах, значительно меньших граничной частоты, окружная волна в корпусе гироскопа порождает волновое совпадение резонансного типа, когда корпус прибора становится акустически прозрачным.

Ключевые слова: поплавковый гироскоп, акустическое излучение, волновое совпадение, низкочастотный резонанс.

Бойко Галина Володимирівна, аспірант, кафедра біотехніки та інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: karachun11@i.ua.

Бойко Галина Владимировна, аспирант, кафедра биотехники и инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.

Boyka Galina, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: karachun11@i.ua.

УДК 629.7.054

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.29906

Шибецкий В. Ю.

КОРЕКЦІЯ ПОХИБКИ ГІРОСКОПА В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ ОБ'ЄМНОЮ НЕЛІНІЙНІСТЮ ПОПЛАВКОВОГО ПІДВІСУ

Наводиться кількісний аналіз додаткової систематичної похибки поплавкового гироскопа, що використовується в навігаційних системах авіаційної та космічної техніки, при взаємодії з потужними акустичними полями. Запропоновано перехід від підвісу у вигляді класичного коллового циліндра до опуклого підвісу. Визначено вплив гаусової кривизни підвісу поплавка на похибку вимірювань.

Ключові слова: поплавковий гироскоп, ненульова гаусова кривизна, опуклий підвіс, N -хвиля.

1. Вступ

Дослідження відносяться до технології машинобудування. З метою забезпечення надійної навігації гіперзвукових літальних апаратів, незаперечною постає необхідність побудови триортогональної системи координат, жорстко зв'язаною з фюзеляжем літального апарата (ЛА). Зазвичай таку функцію виконує гіростабілізована платформа, в якій двостепеневі поплавкові гироскопи виконують функції чутливих елементів. Однак варто відмітити, що при подоланні звукового бар'єру, на

інерціальні сенсори діє потужна N -хвиля, яка переводить поверхню підвісу поплавкового гироскопа з абсолютно твердого стану в імпедансний. Це призводить до появи додаткової похибки вимірювань у вигляді реакції на «хвилю» кутову швидкість.

Аналіз похибок інерціальних сенсорів ГСП на базі серійно виготовляемого двостепеневого гироскопа класу ДУСУ з рідинностатичним підвісом необхідно здійснювати з позицій одночасного впливу на гироскоп двох збурюючих чинників — кінематичного (кутового рух ЛА) і N -хвилі.