

УДК 629.7.054

**В. Ю. Шибецький**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

## **ПОХИБКИ ДВОСТЕПЕНЕВОГО ГІРОСКОПА У НАПІВНАТУРНИХ УМОВАХ ГІПЕРЗВУКОВОГО ПОЛЬОТУ**

---

*Наводяться результати напівнатурних стендових випробувань гіроскопічного давача кутових швидкостей, уніфікованого на функціональну спроможність в ультразвуковому полі реалії гіперзвукowego польоту. Виявлено додаткові зони каустик, що появляються при хвильовому збігу.*

---

### **ВСТУП**

Освоєння літальними апаратами (ЛА) гіперзвукowych швидкостей сьогодні стає надзвичайно важливим етапом розвитку авіації. Значення гіперзвукowych технологій важко переоцінити: бойовий гіперзвуковой ЛА отримує величезну тактичну перевагу над іншими бойовими системами, стаючи практично неуразливим для систем ППО [3]. До того ж такий ЛА має змогу доставити бойову частину (БЧ) у будь-яку точку земної кулі за одну годину.

За останніми даними Китай провів випробування першого гіперзвукowego ЛА власної конструкції і став, таким чином, третьою країною після США і Росії, які мають таку техніку. Випробування апарата, за твердженням китайських джерел, несе виключно наукове значення. Однак у перспективі на основі даної конструкції можуть бути створені крилаті ракети [[http://rus.ruvr.ru/2014\\_01\\_17/Giperzvuk-tretij-uchastnik-gonki-8178/](http://rus.ruvr.ru/2014_01_17/Giperzvuk-tretij-uchastnik-gonki-8178/)].

У засобах масової інформації з'явилися повідомлення про те, що ЛА Китаю досяг швидкості 10 Мах, і це при тому, що подібні ЛА в Росії рухаються зі швидкістю в 4.5 Мах, а в США — 5 Мах. Але більш-менш точного підтвердження цієї інформації на сьогодні не існує [<http://vpk-news.ru/articles/390>].

Зараз у світі зростає інтерес до освоєння активних гіперзвукowych польотів в атмосфері. Однак роботи, що були розпочаті в Радянському Союзі і США у 1960-ті роки, так і не завершені. Причина не лише у фінансовій складовій. Найбільша складність криється у розв'язанні технічних завдань, що стикаються з величезною кількістю науково-технічних бар'єрів [4].

Масштабні дослідження гіперзвукowych технологій здійснюються по п'яти магістральних напрямках: аеродинаміка, теплозахист, наведення, навігація і керування рухом, обладнання і двигуни.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

У системах управління крилатими ракетами та гіперзвукowymi ЛА широке застосування знайшли так звані поплавкові гіроскопи, які конструктивно позбавлені основних недоліків «сухих» приладів — значних за величиною (і головне, змінних) моментів сил сухого тертя на вихідній осі, а також неприпустимо високої чутливості до ударних і вібраційних впливів, особливо небажаних для інтегровальних гіроскопів [1, 2]. Тому за об'єкт дослідження обрано конкретну технічну реалізацію поплавкового приладу, що серійно виготовляється авіаційною промисловістю, — уніфікований давач кутових швидкостей класу ДУСУ2-30В, призначений для використання в літальних апаратах тривалої дії.

Приймаючи до уваги надзореткі експлуатаційні умови гіперзвукowych, надзвичайно акту-

альними постають задачі дослідження взаємодії систем інерціальної навігації літального апарату з акустичними полями, що виникають у процесі експлуатації.

### ПОХИБКА ДУСУ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМУ ОПРОМІНЮВАННІ НА НЕРУХОМІЙ ОСНОВІ

Тестування датчика кутових швидкостей ДУСУ2-30В на функціональну спроможність провадилося на ультразвуковій установці MINI ULTRASONIC CLEANER MODEL 3560. Вихідний сигнал приладу реєструвався вимірювальною апаратурою для двох режимів — при вимкненому гіроагрегаті і при його робочому стані.

Порівняльний аналіз реалізації вихідного сигналу датчика надає можливість, з одного боку, встановити ступінь впливу ультразвукового пучка на поліагрегатний підвіс гіроскопа, а з іншого — визначити ступінь впливу і динаміку розвитку в часі похибки  $\Delta\omega$  вимірювань кутової швидкості літального апарату при гіперзвуковому польоті. Датчик ДУСУ встановлюється на штативі таким чином, щоб поворотом корпусу приладу відносно своєї осі на фіксований кут  $\varphi$  окреслити найбільш небезпечний напрямок дії проникного акустичного випромінювання при льотній експлуатації.

При вимкненому гіроагрегаті вихідний сигнал датчика кутових швидкостей (рисунок, лінія 1) у промені «білого шуму» ультразвукового випромінювання зазнає стохастичних змін не тільки за величиною, але і за знаком. Величина зсуву нуля може сягати 0.5 град/с (у перерахунку на похибку вимірювань). У положенні  $\varphi = 0^\circ$  похибка вимірювань практично нульова, або не перевищує межу чутливості датчика.

Незначні зміни похибки за знаком мають місце при  $\varphi = 0^\circ$ , а при  $\varphi = 270^\circ$  вони не тільки змінні за знаком, але і мають істотний розкид по амплітуді. При куті  $\varphi = 225^\circ$  розкид значень зсуву нуля перевищує 0.1 град/с, але має постійний знак.

Очевидно, що наявний зсув нуля датчика ДУСУ при ультразвуковому опромінюванні (при вимкненому гіроагрегаті) обумовлений інтегральною реакцією деталей підвісу гіроскопа на опромінювання. У першу чергу це стосується

струмознімача потенціометра, що має вигляд консолі.

Не останню роль відіграють нелінійні коливання поверхні «поплавка» і поява зон каустик, що є втіленням резонансних проявів при виникненні хвильового збігу.

При ввімкненому гіроагрегаті, очевидно, відбудуться зміни вихідного сигналу приладу (рисунок, лінія 2), викликані гіроскопічною реакцією. Так, при  $\varphi = 0^\circ$  похибка приладу збільшується практично в десять разів і змінює знак. Максимальна її величина сягає  $\Delta\omega_{\max} = 1$  град/с, а середня —  $\Delta\omega_{\text{cp}} = 0.7$  град/с.

При кутовому положенні корпусу приладу  $\varphi = 45^\circ$  середня величина похибки  $\Delta\omega_{\text{cp}}$  і її максимальне значення  $\Delta\omega_{\max}$  дещо зменшуються за модулем, але змінюють знак на протилежний:  $\Delta\omega_{\text{cp}} \approx +0.55$  град/с,  $\Delta\omega_{\max} \approx +0.72$  град/с.

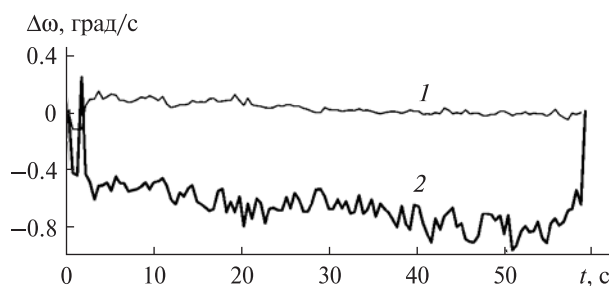
Поворот корпусу ДУСУ на кут  $\varphi = 90^\circ$  дозволяє практично стабілізувати в часі похибку приладу на рівні  $\Delta\omega_{\text{cp}} \approx -0.45$  град/с.

Поворот корпусу ДУСУ на кут  $\varphi = 135^\circ$  дозволяє звести середню похибку до значення  $\Delta\omega \approx -0.05$  град/с, разом з тим розкид значень складе  $\pm 0.2$  град/с. Крім того, спостерігається суперпозиція довгоперіодної і короткоперіодної складових.

При куті  $\varphi = 180^\circ$  вихідний сигнал ДУСУ має мінімальний розкид по амплітуді, а середня похибка не перевищує  $\Delta\omega_{\text{cp}} \approx -0.45$  град/с.

Поворот корпусу ДУСУ на кут  $\varphi = 225^\circ$  практично не змінює діаграму похибки.

На кутах повороту  $\varphi = 270^\circ$  і  $\varphi = 315^\circ$  діаграма похибки не змінюється. Середня її величина залишається рівною  $\Delta\omega_{\text{cp}} \approx -0.45$  град/с без тенденції до розвитку в часі. Але спостерігається незначний розкид значень при  $\varphi = 315^\circ$ .



Вихідний сигнал ДУСУ

Таким чином, поворот корпусу ДУСУ на кути  $\varphi = 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ$  і  $315^\circ$  практично не змінює діаграму розвитку похибки приладу в часі.

### ОДНОЧАСНИЙ ВПЛИВ НА ДУСУ КУТОВОЇ ХИТАВИЦІ І ПРОНИКНОГО АКУСТИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Порівняльний аналіз похибки ДУСУ при кінематичному впливі і спільному впливі кінематичного збурення з ультразвуковим опромінюванням показав, що спектр кутового руху поплавка стає більш насиченим, причому явно спостерігається систематична складова у вихідному сигналі.

Розкид значень також збільшується і перевищує в 2-3 рази значення при кінематичному збуренні.

Таке насичення спектру похибки  $\Delta\omega$  пояснюється суперпозицією кінематичної похибки  $\Delta\omega_k$  і акустичної похибки  $\Delta\omega^a$ . При цьому акустична похибка містить дві складові. Перша обумовлена впливом ейлерових сил інерції в зоні акустичного і кінематичного впливів, що породжують збурювальні моменти. До речі, спостерігається ефект вибіркості частот кінематичного збурення та акустичної вібрації поверхні підвісу гіроскопа, що призводить до виникнення систематичної і періодичної складових різницевої та сумарної частот. Друга складова акустичної похибки обумовлена впливом ультразвукового променя на оболонкову частину поплавкового підвісу на резонансному рівні у вигляді зон каустик.

### ВИСНОВКИ

При експлуатації давача ДУСУ2-30В зовнішній ультразвуковий промінь гіперзвукового польоту породжує додаткові похибки ДУСУ, які за своєю величиною перевищують паспортні значення. Наявність таких похибок негативно відображається на точності позиціонування ЛА в цілому, а у випадку гіперзвукових апаратів може призвести до виникнення позаштатних ситуацій, в тому числі до катастрофічних наслідків.

Взаємне позиціонування джерела ультразвукового випромінювання і гіроскопа суттєво

впливає на похибку ДУСУ, яка змінюється не лише за величиною, але і за знаком.

При одночасному впливі на ДУСУ кутової хитавиці і проникного акустичного випромінювання з'являється систематична складова похибки, а її спектр насичується (у порівнянні із спектром сигналу ДУСУ за умови лише наявної кутової хитавиці корпусу).

1. Карачун В. В., Мельник В. Н., Шибецкий В. Ю. Погрешности гироскопа, обусловленные развивающейся качкой фюзеляжа при летной эксплуатации // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 5/7 (65). — С. 45—47.
2. Шибецкий В. Ю. Влияние гауссовой кривизны подвеса поплавкового гироскопа на упругую податливость в акустическом поле // Молодой ученый. — 2012. — № 12. — С. 116—120.
3. Шибецкий В. Ю., Карачун В. В. Поплавковый подвес гироскопа при летной эксплуатации // Изв. ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение. — 2013. — Вып. 4. — С. 41—44.
4. Karachun V. V., Mel'nick V. N. Influence of diffraction effects of the inertial sensors of a gyroscopically stabilized platform: three-dimensional problem // Int. Appl. Mech. — 2012. — 48, N 4. — P. 458—464.

Стаття надійшла до редакції 06.03.13

В. Ю. Шибецкий

### ПОГРЕШНОСТИ ДВУХСТЕПЕННОГО ГИРОСКОПА В ПОЛУНАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ГИПЕРЗВУКОВОГО ПОЛЕТА

Приводятся результаты полунатурных стендовых испытаний гироскопического датчика угловых скоростей, унифицированного на функциональную способность в ультразвуковом поле реальный гиперзвукового полета. Выявлены дополнительные зоны каустик, которые появляются при волновом совпадении.

V. Yu. Shybetskiy

### ERRORS OF TWO-STAGE GYRO IN SEMI-NATURAL CONDITIONS OF HYPERSONIC FLIGHT

We present our results of semi-natural bench tests of uniform angular velocity sensor in the ultrasound beam which occurs in the operation of a hypersonic aircraft. It is proved that there are additional areas of caustic in wave pattern space.