

Здійснюється чисельний аналіз систематичної похибки двохступенневого гіроскопічного датчика кутових швидкостей з поплавковим підвісом за асинхронної структури кутового руху фюзеляжа в акустичних полях льотного використання. Показана небезпека виникнення резонансних значень систематичної похибки приладу в умовах, коли качка апарата розвивається у часі і переходить в режим полігармонічного кутового руху відносно жорстко зв'язаної з апаратом трійки координатних осей

Ключові слова: поплавковий гіроскоп, асинхронна хитавиця, систематична похибка, трикомпонентна хитавиця

Проводится численный анализ систематической погрешности двухступенного гироскопического датчика угловых скоростей с поплавковым подвесом при асинхронной структуре углового движения фюзеляжа в акустических полях летного использования. Показана опасность возникновения резонансных значений систематической погрешности прибора в условиях развивающейся во времени качки аппарата, переходящей в режим полигармонического углового движения относительно жестко связанной с аппаратом тройки координатных осей

Ключевые слова: поплавковый гироскоп, асинхронная качка, систематическая погрешность, трехкомпонентная качка

ПОГРЕШНОСТИ ГИРОСКОПА, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ РАЗВИВАЮЩЕЙСЯ КАЧКОЙ ФЮЗЕЛЯЖА ПРИ ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. В. Карачун

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: karachun11@i.ua

В. Н. Мельник

Доктор технических наук, профессор,

заведующий кафедрой*

E-mail: karachun11@i.ua

В. Ю. Шибецкий

Ассистент*

E-mail: karachun11@i.ua

*Кафедра биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056

1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены изучению влияния развивающейся во времени качки летательного аппарата на погрешность двухступенного дифференцирующего гироскопа с жидкостатическим подвесом в акустических полях высокой интенсивности. Такие режимы эксплуатационного использования ЛА наблюдаются, например, при старте с открытых стартовых позиций или из шахт.

2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

Режимы летной эксплуатации убедительно доказывают, что упруго-напряженное состояние элементной базы приборов инерциальной навигации приводит к появлению возмущающих моментов, воспринимаемых сенсорами как полезный сигнал [1 – 3]. Речь идет, в первую очередь, о старте ЛА, когда в период разгона двигателей на борту строится опорная система координат [4, 5]. Высокий уровень

акустического излучения, выше 150-160 дБ, служит причиной возникновения колебаний и волн в механических системах подвеса гироскопов [6, 7]. Неизбежное угловое движение корпуса аппарата, имеющее, строго говоря, стохастическую структуру, порождает Эйлеровы силы инерции на упруго-податливой поверхности подвеса, которые служат источником дополнительных погрешностей командно-измерительного комплекса ЛА [8, 9]. В общем случае, асинхронная полигармоническая качка объекта создает эффект избирательности форм упругих колебаний поверхности подвеса под действием проникающего акустического излучения, следствием которого является *девиация* (или *дрейф*) оси фигуры гироскопа [10].

Целью настоящих исследований служит численный анализ погрешностей дифференцирующего двухступенного поплавкового гироскопа, обусловленных одновременным действием двух возмущающих факторов – внешнего акустического излучения высокого уровня и кинематического воздействия в виде асинхронного полигармонического трехкомпонентного углового движения, как неизменно присутствующих при летной эксплуатации летательных аппаратов.

3. Численная оценка погрешности поплавкового гироскопа в акустическом поле при асинхронной и полигармонической качке ЛА

Как известно, угловое движение летательного аппарата относительно трех связанных с ним осей имеет вид не *детерминированного* процесса, а *полигармонического* движения. В общем случае в виде трехкомпонентной качки, имеющей тенденцию к развитию во времени в сторону *стохастической* структуры.

Таким образом, представляет практический интерес численный анализ систематической погрешности $\Delta\omega$ поплавкового датчика угловых скоростей, например, класса ДУСУ2, при различных значениях угловых скоростей v_1, v_2 и v_3 движения вокруг осей, жестко связанных с фюзеляжем (рис. 1, 2).

В предположении, что подвижная часть подвеса имеет форму кругового цилиндра, численный анализ показывает, что поплавковый гироскоп в акустических полях приобретает систематическую погрешность на некоторых частотах (рис. 1). Причем, местами имеет место резкое ее увеличение (рис. 1, б, в; рис. 2). В случае синхронной качки, такой эффект известен (даже в отсутствии проникающего акустического излучения). Здесь же, при асинхронной качке фюзеляжа, как оказалось, имеет место эффект избирательности угловым движением ЛА некоторых форм упругих перемещений подвеса гироскопа (акустической вибрации) и трансформации его в возмущающие моменты Эйлеравых сил инерции с присутствующей систематической составляющей.

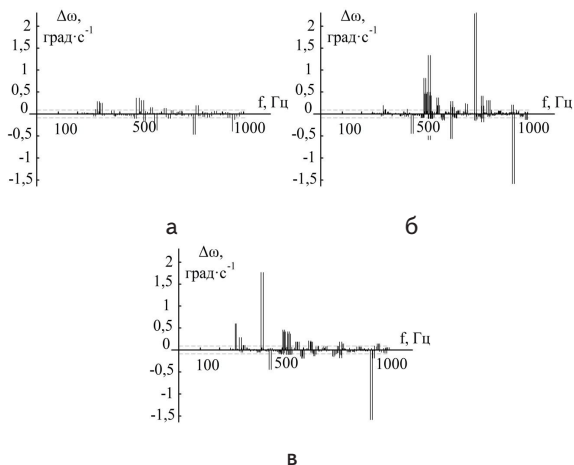


Рис. 1. Систематическая погрешность ДУСУ2 при развивающейся качке фюзеляжа ЛА. Подвес цилиндрической формы: а - $v_1=0.3 \text{ c}^{-1}, v_2=0.4 \text{ c}^{-1}, v_3=0.5 \text{ c}^{-1}$; б - $v_1=0.36 \text{ c}^{-1}, v_2=0.42 \text{ c}^{-1}, v_3=0.44 \text{ c}^{-1}$; в - $v_1=0.4 \text{ c}^{-1}, v_2=0.44 \text{ c}^{-1}, v_3=0.46 \text{ c}^{-1}$

Как следует из приведенных диаграмм, самым безопасным является случай, когда $v_1=0.3 \text{ c}^{-1}, v_2=0.4 \text{ c}^{-1}, v_3=0.5 \text{ c}^{-1}$ (рис. 1, а). При всех других значениях величин угловых скоростей v_i спектр дополнительной погрешности в акустических полях не только видоизменяется, но и резонансные значения наблюдаются на других частотах, причем, эти отличия достаточно существенны (рис. 1, б); (рис. 2, а, б, в).

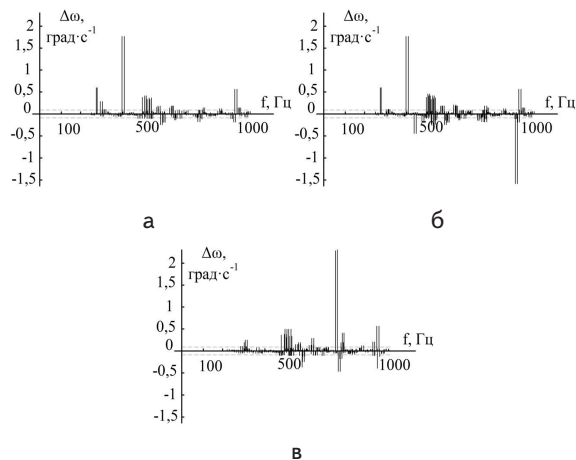


Рис. 2. Систематическая погрешность ДУСУ2 в акустических полях при асинхронной качке. Подвес цилиндрической формы а - $v_1=0.4 \text{ c}^{-1}, v_2=0.46 \text{ c}^{-1}, v_3=0.48 \text{ c}^{-1}$; б - $v_1=0.44 \text{ c}^{-1}, v_2=0.46 \text{ c}^{-1}, v_3=0.48 \text{ c}^{-1}$; в - $v_1=0.42 \text{ c}^{-1}, v_2=0.48 \text{ c}^{-1}, v_3=0.5 \text{ c}^{-1}$

В случае полигармонической качки ЛА, погрешность измерений будет иметь более насыщенный состав по оси частот (рис. 3). Это следует из самого определения – “полигармоническая” качка, т.е. происходит чистое суммирование имеющейся погрешности, без эффекта взаимного подавления или корреляции. Как и следовало ожидать, наиболее опасными являются частоты $450 \text{ Гц}, 550 \text{ Гц}, 800 \text{ Гц}$ и 950 Гц , когда систематическая составляющая достигает соответственно $1,4 \text{ град } \text{c}^{-1}, 1,6 \text{ град } \text{c}^{-1}, 1,7 \text{ град } \text{c}^{-1}, 3 \text{ град } \text{c}^{-1}$.

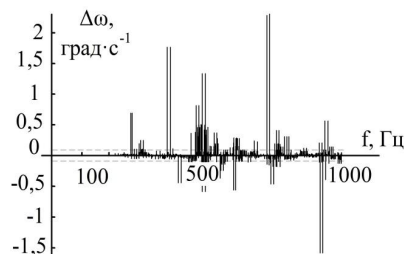


Рис. 3. Систематическая погрешность ДУСУ2 в условиях полигармонической качки фюзеляжа: $v_1 = \sum_1^5 v_{1k}$;

$$v_2 = \sum_1^5 v_{2k} ; v_3 = \sum_1^5 v_{3k}$$

В связи с тем, что в приборе прошедшая акустическая волна формирует диффузное поле, для уточнения результатов численной оценки погрешности следует провести процедуру осреднения по Пэрису акустической вибрации поверхности поплавкового подвеса.

4. Выводы

Систематическая погрешность поплавкового датчика угловых скоростей, например, класса ДУСУ2, при летной эксплуатации может иметь не только периодические, но и систематические погрешности измерений, величины которых до-

стигають суттєвих значень і можуть стати визначальними для пілотажно-навігаційного обладнання.

Якщо періодичні складові представляють чисте теоретичне інтерес, то систематичні тривають обов'язкового контролю з метою зменшення її величин до паспортних значень.

Технічна реалізація боротьби з проникаючим акустичним випромінюванням представляється або в формі пасивних методів, або схемних рішень.

Технічна реалізація боротьби з проникаючим акустичним випромінюванням представляється або в формі пасивних методів, або схемних рішень.

Література

1. Мельник, В. М. Звуковий бар'єр і вплив потужної ударної N-хвилі на пружні конструкції апаратів класу «Air to air» [Текст] / В. М. Мельник, В. В. Карачун // Космічна наука і технологія. -2012. -Т.18. - №5. -С.12-23.
2. Winter, E. H. 100 years of flight: a chronicle of aerospace history [Текст]: моногр./ F. Winter, F. Van der Binder; Reston, Virginia, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2003. - 524 p.
3. Karachun, V. V. Influence of Diffraction Effects of the Inertial Sensors of a Gyroscopically Stabilized Platform: Three – Dimensional Problem [Текст] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nick // Int. Appl. Mech. - 2012. -Vol. 48, -№4. - P.458-464.
4. Mel'nick, V. N. Some aspects of the gyroscopic stabilization in acoustic fields [Текст] / V. N. Mel'nick, V. V. Karachun // Int. Appl. Mech. -2002. -Vol.38, №1 P. 74-80.
5. Фоменкова, А. А. Упруго-напряженное состояние подвеса гироскопа как фактор дополнительных погрешностей при эксплуатационном использовании летательных аппаратов [Текст] / А. А. Фоменкова, В. В. Карачун // Научная сессия ГУ-АП: сб. докл.: в 3ч. Ч. I. Технические науки. - Россия, С.-Петербург, ГУАП, 14-17 апр. 2012. - С. 55-57.
6. Heckl, M. Die Schalldämmung von homogenen einfachwandigen endlichen Flächen [Текст] / M. Heckl // Acustica. - 1960. - Vol. 10, № 2. - P 207-211.
7. Кренделл, С. Случайные колебания [Текст]: пер. с. англ. / М. Коловского, В. Пальмова, К. Фролова. - М.: Мир, 1967. - 356 с.
8. Ковалец, О. Я. Влияние дифракционных эффектов на погрешность гироскопа в акустических полях [Текст] / О. Я. Ковалец // Materialy V Miedzynarodowej naukowe-praktycznej konferencji "Dynamika naukowych badan - 2009", 07-15 lipca 2009 roku. - Volume 11. - Techniczne nauki: Przemysl. - "Nauka i studia", 2009.- Str. 39-43.
9. Калініна, М. Ф. Звуковий бар'єр як фактор зовнішнього впливу на механічні системи навігаційної апаратури [Текст] / М. Ф. Калініна // Вісник НТУУ «КПІ», Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. - 2012. - Вип. 44. - С. 28-34.
10. Шибецкий, В. Ю. Влияние гауссовой кривизны подвеса поплавкового гироскопа на упругую податливость в акустическом поле [Текст] / В. Ю. Шибецкий // Молодой ученый. Ежемесячный журнал. - г. Чита, Россия. - 2012. - №12. - С. 116-120.