

**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 *детермированного* 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.

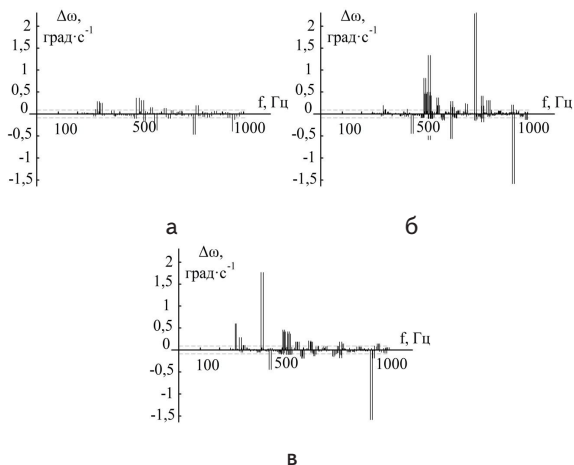


Рис. 1. Систематическая погрешность ДУСУ2 при развивающейся качке фюзеляжа ЛА. Подвес цилиндрической формы: а -  $v_1=0.3 \text{ c}^{-1}, v_2=0.4 \text{ c}^{-1}, v_3=0.5 \text{ c}^{-1}$ ; б -  $v_1=0.36 \text{ c}^{-1}, v_2=0.42 \text{ c}^{-1}, v_3=0.44 \text{ c}^{-1}$ ; в -  $v_1=0.4 \text{ c}^{-1},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

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).

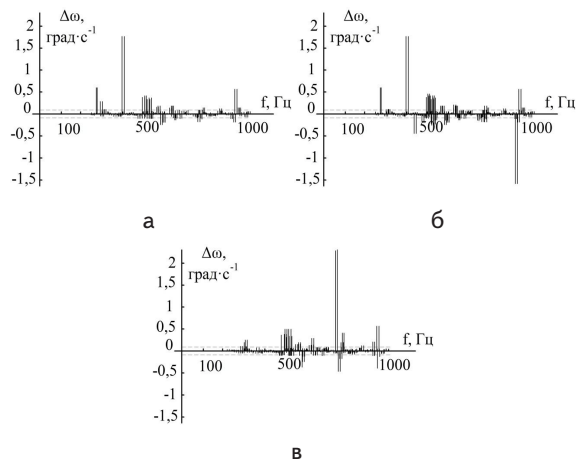


Рис. 2. Систематическая погрешность ДУСУ2 в акустических полях при асинхронной качке. Подвес цилиндрической формы а -  $v_1=0.4 \text{ c}^{-1}, v_2=0.46 \text{ c}^{-1}, v_3=0.48 \text{ c}^{-1}$ ; б -  $v_1=0.44 \text{ c}^{-1}, v_2=0.46 \text{ c}^{-1}, v_3=0.48 \text{ c}^{-1}$ ; в -  $v_1=0.42 \text{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

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  $950 \text{ Гц}$ , когда систематическая составляющая достигает соответственно  $1,4 \text{ град c}^{-1}, 1,6 \text{ град c}^{-1}, 1,7 \text{ град c}^{-1}, 3 \text{ град c}^{-1}$ .

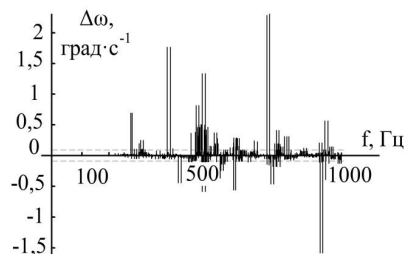


Рис. 3. Систематическая погрешность ДУСУ2 в условиях полигармонической качки фюзеляжа:  $v_1 = \sum_1^5 v_{1k}$  ;

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

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 трем-

ють 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.

#### 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./ E. 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.