

*Вивчається вплив проникаючого акустичного випромінювання гіперзвукового польоту на чутливі елементи гіростабілізованої платформи у вигляді диференціюючого гіроскопа з поплавковим підвісом. Аналізується вибірний ефект кутового руху фюзеляжу на акустичну вібрацію підвісу гіроскопа в експлуатаційних умовах, який породжує систематичну похибку гіроскопів*

*Ключові слова: диференціюючий гіроскоп, поплавковий підвіс, гіростабілізована платформа, систематична похибка, хитавиця*

*Исследуется влияние проникающего акустического излучения гиперзвукового полета на чувствительные элементы гиростабилизированной платформы в виде дифференцирующего гироскопа с поплавковым подвесом. Анализируется избирательный эффект углового движения фюзеляжа на акустическую вибрацию подвеса гироскопа в эксплуатационных условиях, порождающий систематическую погрешность гироскопов*

*Ключевые слова: дифференцирующий гироскоп, поплавковый подвес, гиростабилизированная платформа, систематическая погрешность, качка*

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ ГИПЕРЗВУКОВОГО ПОЛЕТА НА ПОГРЕШНОСТЬ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

**В. Н. Мельник**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

E-mail: karachun11@i.ua

**В. В. Карачун**

Доктор технических наук, профессор\*

E-mail: karachun11@i.ua

**М. Ф. Калинина**

Аспирант\*

E-mail: kalinina.miroslava@yandex.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 степени воздействия акустического излучения гиперзвукового полета на механические системы пилотажно-навигационного оборудования и связанные с ним ухудшения тактико-технических характеристик летательных аппаратов.

## 2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

Систематическое изучение упругого взаимодействия проникающего акустического излучения с бортовой аппаратурой ЛА имеет сравнительно непродолжительную историю [1-3].

В основном речь шла о влиянии звуковых волн на приборы инерциальной навигации в целом и о влиянии на их элементную базу, в том числе различного агрегатного состояния [4-8].

К слову сказать, взаимодействие объектов различного класса с сильной ударной волной излучается довольно длительное время [9].

Нелинейные задачи акустики изучались, в основном, при решении задач излучения и пеленгации [10]. Динамика элементной базы приборов рассматривалась, например, в работах [11, 12].

Целью настоящих исследований является численный анализ погрешностей двухстепенного гироскопа в акустических полях и сравнительный анализ результатов теории со стендовыми, полунатурными, испытаниями.

## 3. Подвес с нулевой гауссовой кривизной

Определяя погрешность инерциальных сенсоров ГСП при летной эксплуатации, ограничимся рассмотрением синхронных и асинхронных колебаний фюзеляжа, оставляя в стороне анализ влияния полигармонической качки.

Точнее, проведем численный анализ только систематической составляющей погрешности измерений двухстепенного дифференцирующего гироскопа с жидкостатическим подвесом, как представляющей наибольший практический интерес.

Примем для конкретности следующие числовые значения величин, входящих в рабочую формулу:

$$c = 0,12 \text{ Нм}^2; \quad B = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ Нмс}^2; \quad H = 0,2093 \text{ Нмс};$$

$$E = 7 \cdot 10^{10} \text{ Нм}^{-2}; \quad \nu = 0,32; \quad h = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}; \quad L = 0,06 \text{ м};$$

$$R_0 = 0,02 \text{ м}; \quad \rho = 2,7 \cdot 10^3; \quad m \quad P_{10} = 0,7 \cdot 10^2 \text{ Нм}^2;$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \frac{\pi}{6} \text{ рад}; A = 0,7; B = 0,3;$$

$$I_z = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ Нмс}^2; v_1 = 0,5 \text{ с}^{-1};$$

$$\rho_\phi = \rho_\theta = \rho_\psi = \frac{\pi}{36} \text{ рад}; n = 34,5.$$

Таким образом, вначале предполагаем наличие синхронной качки фюзеляжа, затем асинхронной.

Строго говоря, такое упрощение принесет некоторую погрешность при сопоставительном анализе стендовых испытаний с числовыми, но не настолько, чтобы не обеспечить доверительности результатам летной эксплуатации.

Числовой анализ показывает, что при частоте качки ЛА 300 Гц систематическая погрешность прибора составляет 0,24 град с<sup>-1</sup>, а на частоте 500 Гц – 0,35 град с<sup>-1</sup> (рис. 1а).

На частоте 600 Гц – (-0,38), град с<sup>-1</sup> на частоте 800 Гц – (-0,48) град с<sup>-1</sup>, на 960 Гц – (-0,39 град с<sup>-1</sup>).

Результаты стендовых испытаний промышленных образцов дифференцирующего гироскопа показали, что на частоте 300 Гц систематическая погрешность составляет 0,24 град с<sup>-1</sup>, на частоте 500 Гц – 0,31 град с<sup>-1</sup>, на частоте 800 Гц – (-0,6 град с<sup>-1</sup>), а на частоте 960 Гц – (-0,13 град с<sup>-1</sup>) (рис. 1б).

Таким образом, по результатам стендовых испытаний пиковые значения погрешности поплавкового гироскопа имеют место на частотах акустического излучения 300 Гц, 500 Гц, 700 Гц, 800 Гц, 960 Гц. Численный анализ выявил пиковые значения погрешностей прибора, для условий эксперимента, также на частотах 300 Гц, 500 Гц, 800 Гц.

Причем, они практически совпали не только по величине, но и по знаку.

Некоторое несоответствие имеет место на частотах 700 Гц и 960 Гц.

Стендовые испытания на частоте 700 Гц выявляют погрешность прибора в (-0,27 град с<sup>-1</sup>), а теоретические – погрешность в (-0,35 град с<sup>-1</sup>) на частоте 580 Гц, т.е. левее по оси частот. Различие в 0,08 град с<sup>-1</sup> при пороге чувствительности в 0,09 град с<sup>-1</sup>, т.е. им можно пренебречь. Стендовые испытания на частоте 960 Гц показывают погрешность (-0,14 град с<sup>-1</sup>), а теоретические устанавливают ее значение в (-0,38 град с<sup>-1</sup>).

Эти несоответствия, прежде всего вполне допустимы, во-вторых, имеют достаточно убедительное объяснение. На стенде прибор располагается на упругих растяжках, которые благодаря большому коэффициенту поглощения нейтрализуют влияние стен и пола на прибор, с одной стороны, с другой – растяжки формируют полигармоническую качку прибора, в то время как теоретические расчеты предполагают наличие детерминированной синхронной качки фюзеляжа, либо асинхронной.

Наблюдающийся эффект избирательности угловым движением корпуса ЛА частот, генерируемых акустическим излучением колебаний поверхности поплавкового подвеса, порождающих упруго-напряженное состояние подвеса гироскопа и, как следствие, появление ложной угловой скорости на входной оси и ложного углового ускорения на выходной оси, приводит к более насыщенному спектру погрешности вдоль оси частот. Числовой анализ принятой фиксации синхронной, либо асинхронной, качки корпуса, естественно, объединил спектр погрешности. Вместе с тем, совпадение наибольших, пиковых значений, погрешностей на стенде и в расчетах прекрасно подтвердилось.

В итоге, относительно осей стабилизации платформа будет совершать не только колебательное движение, но и иметь дополнительный систематический дрейф, обусловленный дифракцией ударной N-волны на подвесе чувствительных элементов – двухступенных гироскопов (рис. 2).

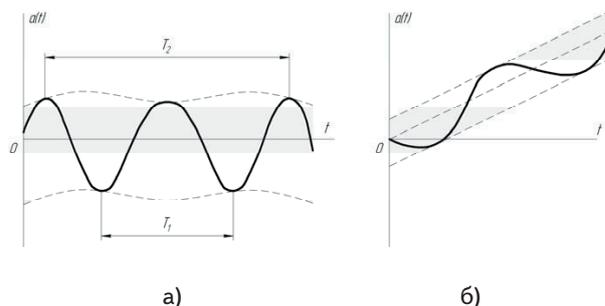


Рис. 2. Уходы платформы под действием ударной N-волны: а) периодические составляющие; б) систематическая и периодическая составляющие

Наконец, трехмерная расчетная модель не учитывала нелинейных колебаний торцов подвеса в акустическом поле, справедливо считая, что оболочечная часть в большей степени подвержена действию про-

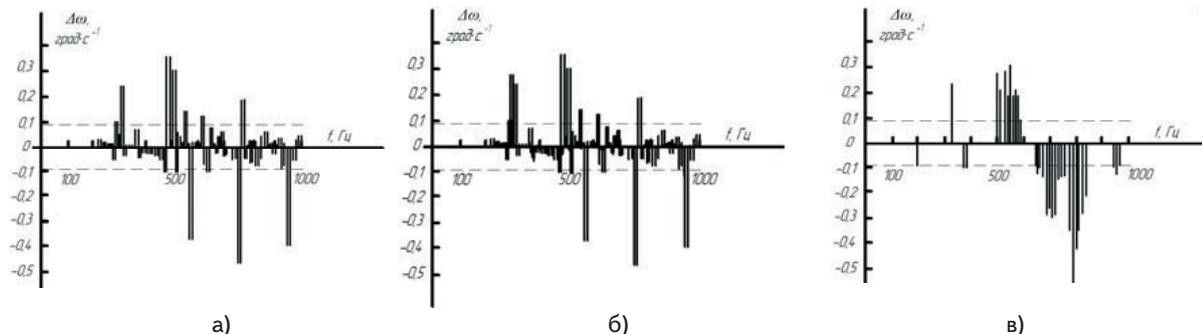


Рис. 1. Погрешность ДУСУ в акустическом поле: а) расчетная, при синхронной качке; б) расчетная, при асинхронной качке:  $v_1 = 0,3 \text{ с}^{-1}$ ;  $v_2 = 0,4 \text{ с}^{-1}$ ;  $v_3 = 0,5 \text{ с}^{-1}$ ; в) стендовая, в акустической камере. Пунктирная линия отмечает порог чувствительности прибора

никающего излучения и является наиболее уязвимой в плане решаемых задач. На торцах же поплавок имеют место комплекующие, которые это влияние существенно ослабят – сильфон, датчик моментов, упоры и т.п. Вполне понятно, что дальнейшее уточнение расчетной модели позволит существенно приблизить теорию к эксперименту, создаст условия для анализа влияния особенностей резонансного типа в жидкофазной части подвеса, характера рассеяния энергии акустического излучения в элементной базе, причин возникновения зон каустик, а также проявления других факторов. Наконец, позволит выбрать технические решения для устранения влияния этих возмущений на погрешность прибора.

#### 4. Выводы

Трехмерная модель позволила убедительно доказать необходимость учета упругих перемещений вдоль протяженности подвеса на том основании, что они вносят свою долю в формирование *ложной* угловой скорости и, как следствие, служат появлению погрешности двухстепенного гироскопа в акустических полях.

Поэтому, несмотря на значительно меньшую их абсолютную величину, по сравнению с двумя другими координатами, надо все же, принимать этот факт во внимание, не доверяя полностью двумерной модели.

#### Литература

1. Сломянский, Г.А. Поплавковые гироскопы и их применение [Текст]: моногр./ Г. А. Сломянский, Ю.М. Прядилов. –М.: Оборониз, 1958. – 244с.
2. Ягодкин, В.В. Гироскопические приборы баллистических ракет [Текст]: моногр. / В.В. Ягодкин, Г.А. Хлебников. –М.: Воениздат, 1967. -216с.
3. Ригли, У. Теория, проектирование и испытания гироскопов [Текст]: моногр. / У. Ригли, У. Холлистер, У. Денхард. –М.: «Мир», 1972. -416с.
4. Мельник, В.Н. Гиперзвуковые технологии и некоторые проблемы навигации [Текст]: моногр. /В.Н. Мельник. В.В. Карачун. –К.: «Корнейчук», 2013. -152 с.
5. Карачун, В.В. Инерциальный указатель направления. Абсолютно твердый и импедансный подвес [Текст]: моногр. /В.В. Карачун, В.Н. Мельник. –К.: «Корнейчук», 2013. -128с.
6. Karachun, V.V. Influence of Diffraction Effects on the Inertial Sensors of a Gyroscopically Stabilized Platform: Three –Dimensional Problem [Текст] /V.V. Karachun, V.N. Mel'nick // International Applied Mechanics. - 2012.- Vol.48, №4.- P. 458-464.
7. Mel'nick, V.N. Determining Gyroscopic Integrator Errors to Diffraction of Sound Waves [Текст]: /V.N. Mel'nick, V.V. Karachun // International Applied Mechanics. -2004. –Vol. 40(3). – P. 328-336.
8. Mel'nick, V.N. The loss of sound waves [Текст]: моногр. /V.N. Mel'nick, M.S. Trivailo, V.V. Karachun, Nat. Tech. Univ. Ukraine “КПИ”: «Корнейчук», 2010. -120 p.
9. Григолюк, Э.И. Перемещение жесткого цилиндра под действием акустической волны давления [Текст]: /Э.И. Григолюк, // Прикл. механика. – 1968. – Т. 4, №10. –С. 1-5.
10. Шендеров, Е.Л. Прохождение звуковой волны через упругую цилиндрическую оболочку [Текст] / Е.Л. Шендеров // Акустический журнал. – 1963. – Т.9, Вып. 2 – С.47-49.
11. Karachun, V.V. Vibration of a plate under an aconstic load [Текст] / V.V. Karachun // Engineering, Technology Applied Science. - 1989. –Vol. 20, №37. –P. 399-401.
12. 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.