

**Здійснюється чисельний аналіз систематичної похибки диференційного дво-ступеневого гіроскопа з рідинностатичним підвісом рухомої частини під дією проникаючого акустичного випромінювання і полігармонічної хитавиці корпусу літального апарату. Показано, що виконання поплавкового підвісу у вигляді катеноїда, замість колового циліндра, дозволяє пасивними методами суттєво скорегувати величину акустичної похибки, зменшив її практично до рівня порогу чутливості**

**Ключові слова:** систематична похибка, двоступеневий гіроскоп, катеноїд, акустичне випромінювання, поріг чутливості

**Проводиться численний аналіз систематической погрешности дифференцирующего двух-степенного гироскопа с жидкостатическим подвесом подвижной части под действием проникающего акустического излучения и поли-гармонической качки летательного аппарата. Показано, что выполнение поплавкового подве-са в виде катеноида, вместо кругового цилиндра, позволяет пассивными методами существенно скорректировать величину акустической погрешности, уменьшив ее практически до уровня порога чувствительности**

**Ключевые слова:** систематическая погреш-ность, двухстепенной гироскоп, катеноид, аку-стическое излучение, порог чувствительности

# УМЕНЬШЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПОПЛАВКОВОГО ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕГО ГИРОСКОПА ПАССИВНЫМИ МЕТОДАМИ

**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

\*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 путей уменьшения систематической погрешности двухступенного поплавкового гироскопа в акустических полях летной эксплуатации пассивными методами, которые наряду с простотой технической реализации позволяют достигать эффективного подавления влияния проникающего акустического излучения высокого уровня на бортовую аппаратуру.

## 2. Литературный обзор

Жидкостатический подвес двухступенного гироскопа позволил существенно повысить точность измерений. Улучшил демпфирующие свойства и динамические характеристики приборов [1, 2]. Вместе с тем, наличие тяжелой жидкости, в которую погружен поплавок с гироскопом, обеспечило беспрепятственное прохождение внутрь прибора внешнего акустического излучения [3 – 5]. Кроме того, возникли проблемы эксплуатации поплавковых изделий в случае появления градиента тепла по объему жидкофазной составляющей и необходимости обеспечения температурной однородности.

Прошедшая внутрь прибора акустическая волна генерирует в поплавковом подвесе множество нелинейных колебаний, в том числе и резонансных [6 – 10]. Эти колебания порождают Эйлеровы силы инерции, которые приводят к погрешности гироскопа при летной эксплуатации.

## 3. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

Вполне понятно, что устранение колебаний поверхности подвеса позволит решить задачу повышения точности приборов. Наиболее простым, с точки зрения технической реализации, представляется путь пассивной звукоизоляции подвеса от воздействия проникающего излучения.

Предлагается решить поставленную задачу коррекцией линии меридиана оболочечной части поплавка. В частности, придания ей формы катеноида.

Вместе с тем, не исключаются другие пути повышения точности измерений. Например, схемными решениями уменьшения влияния проникающего акустического излучения, активными методами звукоизоляции прибора и т. п.

Широкие возможности открывают методы, основанные на использовании резонансных явлений –

волнового совпадения, пространственно-частотного резонанса и др.

#### 4. Численная оценка погрешности поплавкового гироскопа в акустическом поле при полигармонической качке летательного аппарата

Изучая пути уменьшения влияния проникающего акустического излучения на бортовую аппаратуру, следует помнить, что самым радикальным средством является уменьшение уровня звукового давления до паспортного. Уменьшать уровень акустического излучения можно либо в месте его возникновения, либо на пути трансляции до приборного отсека, либо в самом приборном отсеке.

Остановимся подробнее на последнем – подавлении уровня прошедшей акустической волны на самом приборе. В данном случае речь идет о двухступенном гироскопическом датчике угловых скоростей, например, класса ДУСУ2-6АС, с жидкостатическим подвесом подвижной части.

Поплавковый подвес представляет собой герметичный круговой цилиндр, заполненный инертным газом, внутри которого размещен гироскопический агрегат.

Вполне понятно, что прошедшая звуковая волна будет генерировать в подвесе нелинейные колебания в трех направлениях – изгибные в плоскости шпангоута, тангенциальные вдоль параллели и продольные вдоль протяженности поплавка. Очевидно, что амплитуда изгибных колебаний в плоскости шпангоута будет значительно превышать величину двух других колебаний. Причиной этого факта служит недостаточная жесткость поплавка в радиальном направлении.

Так как речь идет о пассивных методах уменьшения влияния акустического излучения на прибор, то, очевидно, что панацеей от всех бед будет ужесточение поверхности подвеса в радиальном направлении. Для этого следует в общем случае решить задачу оптимизации геометрии оболочечной части подвеса, а точнее ее образующей.

Рассмотрим один из возможных вариантов – оболочечная часть поплавка выполнена в виде катеноида с прогибом  $\delta$  в его среднем шпангоуте.

Как оказалось, крутизна огибающей оболочечной части подвеса  $\delta$  не является единственно определяющей и влияющей на погрешность прибора  $\Delta\omega$ . Здесь ощущается присутствие многих факторов, в том числе резонансного свойства. Выбор той или иной геометрии линии меридиана подвеса очерчен также порогом чувствительности прибора.

Проанализируем более подробно степень влияния величины прогиба  $\delta$  огибающей подвеса в среднем шпангоуте на величину погрешности  $\Delta\omega$  прибора.

Расчеты показывают, что при  $\delta = -0,11 \cdot 10^{-3}$  м величина погрешности измерений  $\Delta\omega$  находится ниже порога чувствительности прибора во всем диапазоне частот (рис.1, а). Таким образом, линия меридиана оболочечной части поплавкового подвеса с прогибом среднего шпангоута в  $1,0 \cdot 10^{-4}$  м является оптимальной с точки зрения минимального влияния прошедшего акустического излучения на погрешность измерений двухступенного гироскопа с жидкостатическим подвесом.

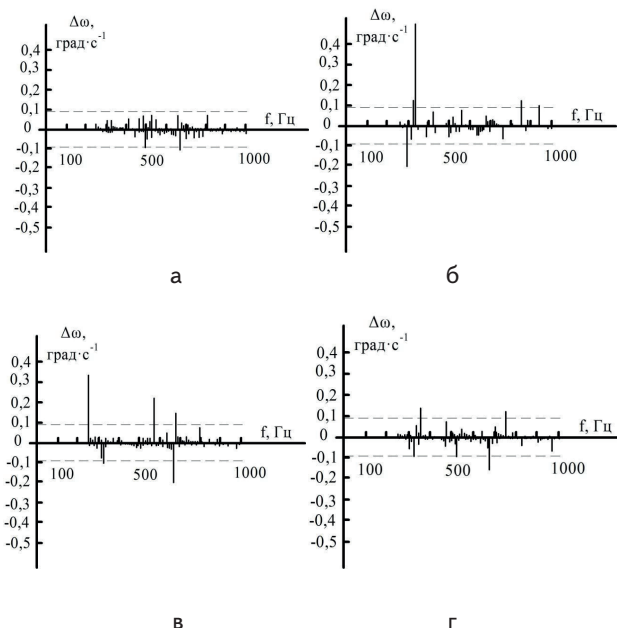


Рис. 1. Систематическая погрешность ДУСУ2 для различных значений прогиба  $\delta$  среднего шпангоута: а -  $\delta = -0,11 \cdot 10^{-3}$  м; б -  $\delta = -0,12 \cdot 10^{-3}$  м; в -  $\delta = -0,13 \cdot 10^{-3}$  м; д -  $\delta = -0,17 \cdot 10^{-3}$  м

Увеличение радиального прогиба  $\delta$  в среднем шпангоуте на  $0,01 \cdot 10^{-3}$  м сразу же порождает мощные резонансные проявления величины погрешности ДУСУ до  $0,55$  град  $\text{с}^{-1}$  (рис. 1, б). Дальнейшее увеличение прогиба еще на  $0,01 \cdot 10^{-3}$  м создает четыре экстремальных значения погрешности величиной  $0,18-0,35$  град  $\text{с}^{-1}$  (рис. 1, в). При значениях  $\delta = -0,17 \cdot 10^{-3}$  м погрешность  $\Delta\omega$  прибора существенно уменьшается и не превышает  $0,12-0,14$  град  $\text{с}^{-1}$  на частотах  $350$  Гц,  $650$  Гц и  $750$  Гц (рис. 1, д). Эти величины практически соответствуют порогу чувствительности –  $0,09$  град  $\text{с}^{-1}$ .

Таким образом, катеноидная форма оболочечной части поплавкового подвеса с прогибом  $\delta$  среднего шпангоута величиной в  $0,11 \cdot 10^{-3}$  м позволяет решить поставленную задачу уменьшения погрешности дифференцирующего гироскопа при действии акустического излучения высокого уровня (выше  $160$  дБ) до величины, ниже порога чувствительности.

#### 5. Выводы

Рассмотренный метод подавления влияния прошедшей акустической волны на погрешность пилотажно-навигационных приборов, вполне понятно, не является единственным. Но его преимущества, основанные на простоте технической реализации, очевидны.

Дальнейшее усиление эффекта представляется в использовании резонансных явлений обусловленных конструктивной нелинейностью, в частности, на основе перфорированных экранов различных модификаций.

Литература

1. Ригли, У. Теория, проектирование и испытания гироскопов [Текст]: пер. с англ. / У. Ригли, У. Холлистер, У. Денхард. – М.: Мир, 1972. -416 с.
2. Кренделл, С. Случайные колебания [Текст]: пер. с англ. / С. Кренделл. - М.: Мир, 1967. -356с.
3. Mel'nick, V. N. Determining Gyroscopic Integrator Errors to Diffraction of Sound Waves [Text] / V. N. Mel'nick, V. V. Karachun // Int. Appl. Mech. -2004. –Vol. 40(3). – P. 328-336.
4. Karachun, V. V. Influence of Diffraction Effects of the Inertial Sensors of a Gyroscopically Stabilized Platform: Three – Dimensional Problem [Text] / V. V. Karachun, V. N. Mel'nick // Int. Appl. Mech. – 2012. –Vol. 48(4). – P. 458-464.
5. Шибельский, В. Ю. Способи зменшення похибок навігаційного обладнання в складних умовах експлуатації гіперзвукових літальних апаратів [Текст] / В. Ю. Шибельский // Наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми розвитку авіаційної техніки», 10 червня 2013р. - Київ, 2013. –120 с.
6. Smith, P. W. Response and radiation of structural modes excited by sound [Text] / P. W. Smith // J. Acoustic Soc. Am. -1962. - Vol. 34, № 5. -P. 640-647.
7. Lyon, R. H. Vibration energy transmission in a three element structure [Text] / R. H. Lyon, T. D. Schartoun T. D. // J. Acoustic Soc. Am. - 1965.- Vol.38, №2. -P.1344-1354.
8. Maidanik, Ct. Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields [Text] / Ct. Maidanik //J. Acoustic Soc. Am. - 1962. - Vol. 34, №6. -P. 809-826.
9. Heckl, M. A. Vibrations of point-driven cylindrical shells [Text] / M. A. Heckl // J. Acoustic Soc. Am. - 1962. - Vol. 34, № 10. - P. 1553-1557.
10. Dyer, I. Noise environments of flight vehicles [Text] / I. Dyer // NOISE Control. - 1960. - Vol. 6, № 1. -P. 31-40.

*У статті запропонований підхід до дослідження напружено-деформованого стану елементів штампового оснащення з урахуванням контактної взаємодії. Завдання зводиться із залученням теорії варіаційних нерівностей до проблеми мінімізації функціонала повної внутрішньої енергії системи. При цьому визначається розподіл контактної тиску по контактних поверхнях. Також визначається напружено-деформований стан штампів*

*Ключові слова: напружено-деформований стан, штамп, контактна взаємодія, елемент штампової оснастки, технологічна система*

*В статье предложен подход к исследованию напряженно-деформированного состояния элементов штамповой оснастки с учетом контактного взаимодействия. Задача сводится с привлечением теории вариационных неравенств к проблеме минимизации функционала полной внутренней энергии системы. При этом определяется распределение контактного давления по контактными поверхностями. Также определяется напряженно-деформированное состояние штампов*

*Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, штамп, контактное взаимодействие, элемент штамповой оснастки, технологическая система*

УДК 539.3

# РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ

**Н. А. Демина**  
 Кандидат технических наук  
 Кафедра высшей математики и физики  
 Таврический государственный  
 агротехнологический университет  
 пр. Б. Хмельницкого, 18, г. Мелитополь,  
 Запорожская обл., Украина, 72312  
 E-mail: deminanatasha@yandex.ru

## 1. Введение

Штамповая оснастка, в частности, штампы для разделительных операций (разделительные штампы – РШ) являются центральным элементом технологической системы, обеспечивающим подачу, базирование заготовки, разделение материала, калибровку детали,

съём заготовки и повторение всего технологического цикла. Прочностные и жесткостные характеристики оснастки самым непосредственным образом влияют на точность изготовления и качество поверхности штампуемых деталей. Кроме того, работоспособность и стойкость инструмента, в первую очередь режущих частей элементов разделительных штампов, зависят от