

Здійснюється аналіз впливу гауссової кривизни рухомої частини двохступеневого гіроскопа з рідинностатичним підвісом на систематичну похибку вимірювань. Чисельно підтверджено ефект зменшення впливу ударної хвилі гіперзвукового руху переходом від нульової гауссової кривизни поплавкового підвісу до фіксованого значення

Ключові слова: ударна N-хвиля, систематична похибка, гауссова кривизна, гіперзвуковий рух, підвіс

Проводится анализ влияния гауссовой кривизны подвижной части двухступенного гироскопа с жидкостатическим подвесом на систематическую погрешность измерений. Численно подтвержден эффект уменьшения влияния ударной волны гиперзвукового движения переходом от нулевой гауссовой кривизны поплавкового подвеса к фиксируемому значению

Ключевые слова: ударная N-волна, систематическая погрешность, гауссовая кривизна, гиперзвуковое движение, подвес

ГАУССОВАЯ КРИВИЗНА КАК СРЕДСТВО УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ N-ВОЛНЫ ГИПЕРЗВУКОВОГО ДВИЖЕНИЯ НА СЕНСОР

В. В. Карачун

Доктор технических наук, профессор*

В. Н. Мельник

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой*

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

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

E-mail: karachun11@i.ua

1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены изучению влияния ударной N-волны гиперзвукового движения на импедансную поверхность подвеса двухступенного инерциального сенсора с жидкостатическим подвесом.

Необходимость проведенного анализа обусловлена тем, что ракеты, летящие со скоростью 7 М, становятся практически неуязвимыми для современных средств ПВО и способны уничтожать защищенные по последнему слову техники как наземные, так и подводные объекты. Жесткие условия полетной эксплуатации, в то же время, оказывают силовое воздействие на бортовую аппаратуру, что может привести к возникновению и развитию во времени нештатных ситуаций.

Сверхзвуковые летательные аппараты. Приведем некоторые модификации гиперзвуковых ЛА:

- MBDA CVS PERSEUS (France). Перспективная сверхзвуковая крылатая ракета. Скорость 3 Маха. Запуск с морских и воздушных платформ. Дальность полета 300 км;

- Гиперзвуковой аппарат X-43 (USA). Предтеча крылатой ракеты X-51. Является третьей ступенью системы бомбардировщик B-52 – разгонная крылатая ракета X-43. Скорость 9,8 Махов;

- Ракета X-51 «Waverider» (USA). Скорость 6 М. Для создания дополнительной подъемной силы использует энергию ударной волны гиперзвукового полета;

- Высотный бомбардировщик North American XB-70, Valkyrie (USA). Имеет свойства волнолета. Скорость 3 М;

- Гиперзвуковой самолет X-plane (USA). Запускается ракетой-носителем. После выполнения полетного задания опускается на Землю парашютом;

- Гиперзвуковой планер;
- Беспилотный самолет HTV – 2, HTV-3X на гиперзвуковых прямоточных двигателях. Скорость 20М.

2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

Наиболее полное представление о звуковом ударе дает спектральная плотность распределения энергии процесса [1, 2]. Причем, при преодолении звукового барьера уровень N-волны может превышать в десятки раз уровень старта с открытых позиций [3, 4].

Проникающее внутрь летательного аппарата акустическое излучение генерирует в элементной базе инерциальных сенсоров множество форм колебаний, в том числе и резонансных [5, 6]. В своей совокупности они порождают возмущающие моменты Эйлеровых сил инерции, которые приводят к появлению погрешностей (либо дрейфа) выходных сигналов инерциальных сенсоров [7, 8].

Наиболее простыми, и вместе с тем наименее трудоемкими, методами устранения этого явления являются методы конструкторско-технологических решений, т.е. пассивные методы [9 – 11].

Проанализируем более подробно влияние фактора ненулевой гауссовой кривизны подвеса поплавкового двухступенного гироскопа на увеличение его импеданса при жестких условиях гиперзвукового полета. Для этого, радиус поплавка примем в виде:

$$R = R_0 \pm \delta \sin \pi z,$$

где R_0 - радиус кругового цилиндра; δ - подъем образующей в среднем шпангоуте; z - безразмерная координата

протяженности; знак \pm соответствует выпуклой, либо вогнутой оболочечной части подвеса.

3. Систематическая погрешность двухстепенного гироскопа под действием ударной N – волны. Трехмерная задача

Подвес поплавкового двухстепенного гироскопа в виде классического кругового цилиндра имеет тот очевидный недостаток, что в плоскости шпангоута радиальные перемещения поверхности под действием акустической волны существенно превышают величины упругих перемещений в двух других направлениях – в окружном (по параллели) и в направлении протяженности (вдоль образующей).

В диффузном поле четко проявляется факт наличия меньшей величины жесткости образующей в направлении радиуса оболочки и, как следствие, ее большая податливость действию акустического излучения.

Выходом из данной ситуации служит переход к ненулевой гауссовой кривизне подвеса, например, в виде *катеноида*, либо *бочки*.

Для удобства анализа результатов, представим на одном рисунке диаграммы систематической погрешности измерений – выявленные на стенде и расчетные (рис. 1). Если исключить из рассмотрения значения погрешности $\Delta\omega$, находящиеся в “пороговой” зоне прибора и ограниченные горизонтальными пунктирными линиями (ДУСМ-А Вар. 3), то становится очевидным следующее. На частоте 320 Гц и 500 Гц расчетная и стендовая погрешности практически совпадают и составляют (+0,24 град s^{-1} и +0,31 град s^{-1}). На 800 Гц расчеты показали погрешность (+0,18 град s^{-1}), которая на стенде не имеет места. На частоте 750 Гц погрешность на стенде составляет (-0,6 град s^{-1}), расчетная – (-0,5 град s^{-1}). Это наибольшая систематическая погрешность прибора. Незначительное расхождение вполне удовлетворительно. Второй всплеск погрешности в (-0,3 град s^{-1}) на стенде выявлен на частоте 700 Гц, а в расчетах – (-0,35 град s^{-1}) на частоте 550 Гц, т.е. несколько сдвинут по оси частот влево. Таким образом, если не учитывать “всплеск” в (-0,4 град s^{-1}) на частоте 950 Гц, стендовые и теоретические результаты практически совпадают.

В том случае, когда подвес выполнен в форме катеноида, спектр систематических погрешностей существенно упростился (рис. 1, в).

Выпуклая форма подвеса в виде бочки частично, на низких частотах, повторила погрешности катеноида. В то же время наблюдается существенный ее рост до (-0,9 град s^{-1}) на частоте 610 Гц (рис. 1, г).

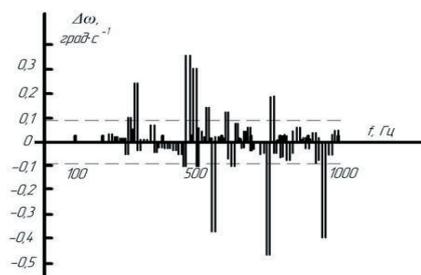
Вполне понятно, что порог чувствительности зависит не только от пределов измерений, но и от класса поплавкового дифференцирующего гироскопа. Так, для класса (ДУСМ-А Вар. 3) предел измерений составляет ± 6 град s^{-1} , а порог чувствительности 0,09 град s^{-1} . Для класса ДУСУ2-30А предел измерений составляет ± 30 град s^{-1} , а порог чувствительности 0,45 град s^{-1} .

Из этого следует, что опасная частота проникающего акустического излучения для ДУСУ2-30А – это 800 Гц, которая порождает погрешность $\Delta\omega = -0,62$ град s^{-1} . На остальных частотах погреш-

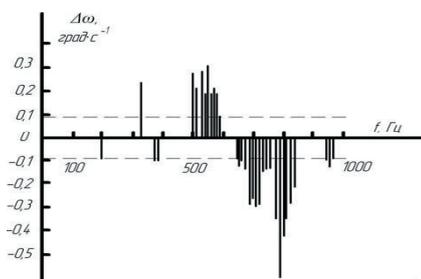
ность измерений находится ниже порога чувствительности.

Теоретические результаты определяют погрешность на этой частоте в (-0,5 град s^{-1}) (рис. 1, б).

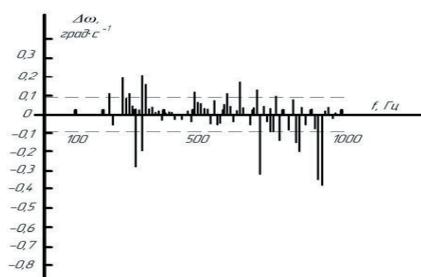
Оболочечная часть поплавкового подвеса в виде катеноида позволит вообще исключить в этом случае акустическую погрешность (рис. 1, в). Бочкообразный подвес еще эффективней снизит систематическую погрешность, но на частоте 610 Гц произойдет ее резкое увеличение до (-0,9 град s^{-1}). Это значительно выше *порога чувствительности* приборов класса ДУСУ2-30А.



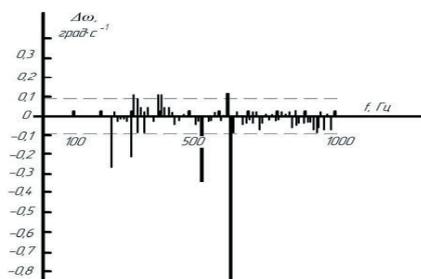
а



б



в



г

Рис. 1. Систематическая погрешность ДУС: а - стендовая; б - расчетная (классический цилиндр); в - подвес в виде катеноида; г - подвес выпуклый в виде бочки

Выбор геометрии оболочечной части поплавкового подвеса – с нулевой, или ненулевой, гауссовой кривизной – вопрос Технического Задания на изделие.

4. Выводы

Таким образом, придавая поплавковому подвесу конечную по величине гауссовую кривизну, можно

регулировать систематическую погрешность дифференцирующего гироскопа в акустических полях по величине и по структуре.

Очевидно, что вполне возможно решать задачу оптимизации работы инерциального сенсора в жестких условиях гиперзвукового движения, например, соответствующим выбором линии меридиана поплавкового подвеса.

Литература

1. Феодосьев, В.И. Введение в ракетную технику [Текст] / В.И. Феодосьев, Г.Б. Синярев. – М.: Оборониз, 1969. – 506с.
2. Кренделл, С. Случайные колебания [Текст]: пер. с англ. / С. Кренделл. – М.: Мир, 1967. – 356с.
3. Карачун, В.В. Гиперзвуковые технологии. Перспективы и проблемы [Текст]: матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., Київ, НТУУ «КПІ», 17-18 квітня 2013 р. / В.В. Карачун, В.Н. Мельник // Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки. – С. 38-44.
4. Карачун, В.В. Действие ударной N-волны на поплавковый подвес при циркуляции [Текст]: матеріали Шостої Міжнар. наук.-практ. конф., Київ, НАУ, 27-29 травня 2013р. / В.В. Карачун, В.Ю. Шибельский // Інтегровані роботехнічні комплекси. – С. 32-33.
5. Кузьменко, В.А. Усталостные испытания на высоких частотах нагружения [Текст]: монография / В.А. Кузьменко, Л.Е. Матюхнюк, Г.Г. Писаренко, И.А. Троян, А.Д. Шевчук. – К.: Наук. думка, 1976. – 336с.
6. Мельник, В.Н. Основные причины шума РН [Текст]: матеріали ІХ Міжнар. наук.-практ. конф., Київ, НТУУ «КПІ», 17-18 квітня 2013 р. / В.Н. Мельник, В.В. Карачун // Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки. – С. 98-104.
7. Мельник, В.Н. Осенесеметричная деформация поплавкового подвеса под действием ударной волны. Первое приближение [Текст]: матеріали за 8-а международна научна практична конференция, София, 17 - 25 октомври 2012. / В.Н. Мельник, В.В. Карачун // Образованието и науката на XXI век. – 2012. – Str. 5-7.
8. Карачун, В.В. Параметры Ламе и кривизна поверхности поплавкового подвеса [Текст]/ В.В. Карачун, В.Н. Мельник // VEDECKY PRUMYSL EVROPSKEHO KONTINENTU – 2011: materialy VII mezinarodni vedecko-prakticka konferencji, Praha, Publishing House “Education and Science”, 27.11.2011-05.12.2011. – Str. 38-42.
9. 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 ГУАП: сб. докл.: в 3ч. Ч. I. Технические науки. – Россия, С.-Петербург, ГУАП, 14-17 апр. 2012. – С. 55-57.
10. Карачун, В.В. Ряди Фур'є для визначення пружної піддатливості оболонки [Текст]: materialy IX miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, Przemysł, 07-15 maja 2013 roku./ В.В. Карачун, В.М. Мельник, В.П. Косова // Europejska nauka xxi poweka. – 2013.– Str. 57-59.
11. Mel'nick, V.N. The loss of sound waves [Текст]: монография /V.N. Mel'nick, M.S. Trivailo, V.V. Karachun. – Nat. Tech. Univ. Ukraine “KPI”. – К: «Корнейчук», 2010. – 120 р.