

Технические науки

УДК 629.7.054

Шибецкий Владислав Юрьевич

Кандидат технических наук, старший преподаватель

НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского»

Фесенко Сергей Викторович

Аспирант

НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского»

Shybetskyy V.

PhD, Senior lecturer

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky KPI»

Fesenko S.

Postgraduate

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky KPI»

**ФОРМИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ
ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ АКУСТИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ
FORMATION ENERGETIC ACTIVITY OF HIGH-FREQUENCY
ACOUSTIC FIELDS**

Аннотация: Построена расчетная модель возникновения дополнительных погрешностей при взаимодействии мощной ударной N-волны с инерциальными приборами позиционирования гиперзвуковых летательных аппаратов. Установлены углы совпадения для промышленного образца датчика угловой скорости. Проведен сравнительный анализ с экспериментальными данными полунатурных стендовых исследованиях для двух случаев: работающего и выключенного гидроагрегата. Сделаны выводы относительно возможности использования полученных результатов.

Ключевые слова: *N*-волна, гиперзвуковые летательные аппараты, зона каустик, волновое совпадение, поплавковый гироскоп.

Summary: *The computational model of additional errors, which occur from interaction of intense shock N-wave with inertial positioning devices of hypersonic aircraft was built. Angles of coincidence for the industrial design of the angular velocity sensor were fitted. A comparative analysis of the experimental data for seminatural conditions for the two cases (gyroscope ON, gyroscope OFF) was made. Conclusions about the possibility of use of the results were made.*

Key words: *N*-wave, hypersonic aircraft, caustic zone, wave coincidence, float gyroscope.

Введение

По заключению аналитиков, в ближайшем будущем гиперзвуковые технологии в состоянии обеспечить защиту стратегических интересов любой страны в мире.

В мире стремительно растет интерес к освоению активных гиперзвуковых полетов в атмосфере. Однако работы, которые были начаты в Советском союзе и США в 60-е годы, так и не имеют убедительного продолжения. Причина здесь не только в финансовой составляющей. Наибольшая сложность кроется в решении технических задач, которые порождаются огромным количеством научно-технических барьеров [1, 2].

Масштабные исследования гиперзвуковых технологий осуществляются по пяти магистральным направлениям: *аэродинамика; теплозащита; наведения; навигация и управление движением; оборудование и двигатели.*

Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследования

В системах управления сверхзвуковой авиацией широкое применение нашли так называемые поплавковые гироскопы, которые конструктивно лишены основных недостатков «сухих» приборов, а именно значительных по величине моментов сил сухого трения на исходной оси, а также недопустимо

высокой чувствительности к ударным и вибрационным воздействиям, особенно нежелательных для интегрирующих гироскопов [3-6].

Учитывая сверхжесткие эксплуатационные условия гиперзвукового движения, чрезвычайно **актуальными** становятся задачи анализа упругого взаимодействия приборов инерциальной навигации с проникающим акустическим излучением, имеющим место в процессе эксплуатации, и служащим причиной возникновения погрешностей позиционирования ЛА.

Особенности построения расчетных моделей явления

Исследования показывают, что при определенных условиях корпус поплавкового гироскопа может стать «акустически прозрачным» и ударная *N*-волна практически без потерь пройдет внутрь прибора и приведет к резкому увеличению погрешности измерений. Это явление можно классифицировать как пространственный (геометрический) резонанс, либо как *волновое совпадение*. На частотах, выше граничной, при определенном угле совпадения θ_c , соответствующем своей частоте, изгибная волна в корпусе прибора сформулирует локальные особенности резонансного типа, что послужит возникновению Эйлеровых сил инерции в поплавке, которые приведут к резкому увеличению погрешности измерений [7, 8].

В свою очередь, на частотах ниже граничной $f_{гр}$, окружная волна в корпусе также приведет к возникновению волнового совпадения, но при своем угле совпадения θ'_c . Это будет иметь место, когда наступит равенство следа падающей и окружной волн.

Стендовое тестирование датчика угловых скоростей звуковым лучом

Сравнительный анализ реализаций выходного сигнала датчика позволяет, с одной стороны, установить степень влияния ультразвукового луча, собственно, на полиагрегатный подвес гироскопа, а с другой – определить степень влияния гироскопических моментов и Эйлеровых сил инерции на погрешность $\Delta\omega$ измерений угловой скорости летательного аппарата при гиперзвуковом полете.

Красным цветом на диаграмме выходного сигнала датчика угловых скоростей обозначено "смещение нуля" прибора при выключенном гиросмотре, когда $\theta = 0^\circ$. Синим цветом представлен выходной сигнал, когда направление ультразвукового луча $\theta = 10^\circ 37'$ (рис. 1).

При перпендикулярном падении ультразвукового луча на оболочечную часть корпуса ($\theta = 0^\circ$), как видно, подвес практически не реагирует на акустическое возмущение. Выходной сигнал можно считать равным нулю (рис. 1, красный цвет). Совсем другая картина наблюдается при угле падения ультразвукового луча $\theta = 10^\circ 37'$. Теоретические расчеты показали, что это наступает при угле падения $\theta = 10^\circ$.

Разница между аналитическим определением угла совпадения θ_c и стендовыми измерениями составляет всего 37 угловых минут, что можно считать вполне допустимым.

Реализация выходного сигнала ДУСУ показывает, что в нем присутствует достаточно существенная постоянная составляющая (около 0,5 град с^{-1}) и стохастическая составляющая (рис. 1). Причем, максимальное значение выходного сигнала достигает 0,65 град с^{-1} , что намного превышает пороговое значение для прибора (для ДУСУ2-30В пороговое значение составляет 0,45 град с^{-1}).

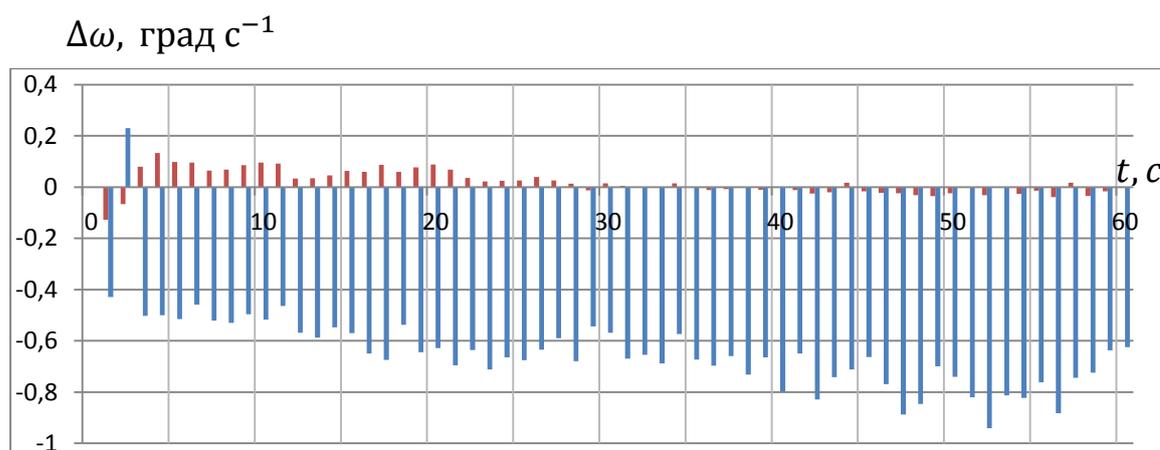


Рис 1. Реакция подвеса гироскопа на действие ультразвукового луча: красный цвет – $\theta = 0^\circ$; синий цвет – $\theta = 10^\circ 37'$.

При включенном гиromоторе, гироскоп, естественно принесет существенное влияние на выходной сигнал прибора.

Так, для углов падения ультразвукового луча не равных углу совпадения θ_c , выходной сигнал лишь немного превышает порог чувствительности (рис. 2). Наоборот, при угле совпадения θ_c , выходной сигнал резко увеличивается, достигая $2,19 \text{ град с}^{-1}$. Средняя его величина составляет $1,6 \text{ град с}^{-1}$. Причем, изменился и знак выходного сигнала.

Очевидно, что на выходной сигнал, кроме самого подвеса, стала влиять также и гироскопическая реакция. И ее влияние настолько существенно, что ставит под сомнение работоспособность прибора в данных условиях.

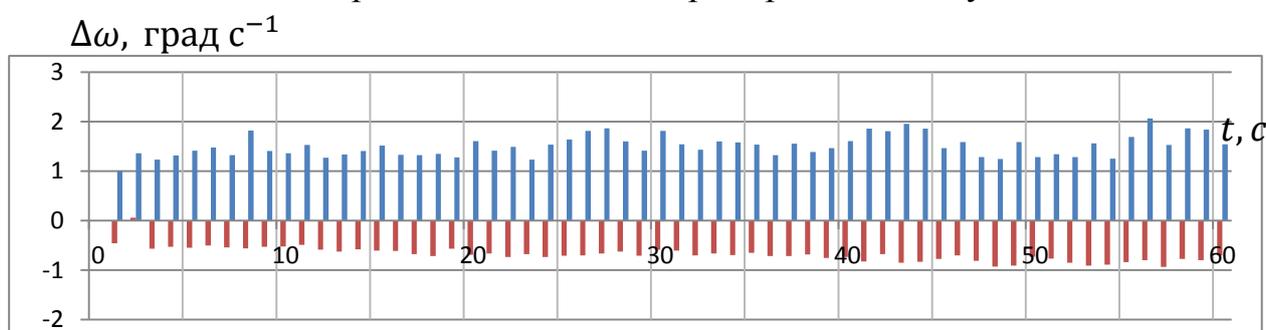


Рис. 2. Выходной сигнал ДУСУ: красный цвет – $\theta = 0^\circ$;
синий цвет – $\theta = 10^\circ 37'$.

Здесь просматриваются несколько путей решения. Либо разработать пассивные методы звукоизоляции прибора, либо использовать схемные решения для устранения (или частичного подавления) влияния на прибор ультразвукового излучения гиперзвукового полета.

Выводы

Проведенные полунатурные стендовые испытания датчика угловых скоростей на функциональную способность в ультразвуковом поле при гиперзвуковом полете предоставляют возможность сделать определенные выводы о соответствии характеристик паспортным требованиям:

- впервые установлено, что при эксплуатации датчиков класса ДУСУ внешний ультразвуковой луч порождает дополнительные погрешности ДУСУ на резонансном уровне при наличии волнового совпадения,

- которые по своей величине превышают допустимые Паспортные требования;
- построенные расчетные модели позволяют обобщить полученные результаты на иные объекты, требующие «акустической прозрачности» и «невидимости» в поисковом луче.

Литература

1. Шибецкий, В.Ю. Поплавковый подвес гироскопа при летной эксплуатации [Текст] / В.Ю. Шибецкий, В.В. Карачун // Известия ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение: науч. журнал. – СПб.: ГУАП, 2013. – Вып. 4 – С. 41-44.
2. 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.
3. Карачун, В.В. Погрешности гироскопа, обусловленные развивающейся качкой фюзеляжа при летной эксплуатации [Текст] / В.В. Карачун, В.Н. Мельник, В.Ю. Шибецкий // «Восточно-Европейский журнал передовых технологий». – 2013. – №5/7 (65). – С. 45-47.
4. 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.
5. Кузьмичев, Ю.М. Возбуждение цилиндрической оболочки ультразвуком [Текст] / Ю.М. Кузьмичев, В.М. Макаров // Акуст. журнал, 1958. – Т. IV., вып. 3. – С. 282-283.
6. Макаров, В.И., Об излучении волн оболочками в звуковом поле [Текст] / В.И. Макаров, Н.А. Фадеев // Акуст. журнал, 1960. – Т. IV., вып. 2. – С. 261-263.