

3. Применение регулируемых приводов Фойт для надежной и долговечной эксплуатации компрессорных установок и сервисная служба в России [Текст] // Совещание главных механиков нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий России и стран СНГ, 2009. Н.Н. Кончаков, М. Рихтер.
4. Костенко, Д.А. Регулируемые приводы: возможности, затраты, эффективность [Текст] / Д.А. Костенко, В.Б. Иванов // ТЭК. – 2008. – №4. – С.30-33.
5. Ситас, В.И. Применение регулируемых гидромуфт для уменьшения расхода электроэнергии на собственные нужды электростанций [Текст] / В.И. Ситас, А. Пёшк, Р.М. Фаткуллин // Электрические станции. – 2003. – №2. – С.61 – 65.
6. Туркин, А.Н. Гидромуфты питательных насосов тепловых электростанций [Текст] / А.Н. Туркин. - М.: Энергия, 1974. – 23-2 с.
7. Рихтер, М. Регулируемые приводы Voith в электростанциях комбинированного типа и магистральных газопроводах [Текст] / М. Рихтер, В.Б. Иванов, В.И. Ситас // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – 3/3 (45). – С. 57-59.
8. Ситас, В.И. Гидромуфта Фойт – конкурентоспособный регулируемый привод для энергетики [Текст] / В.И. Ситас, А. Пёшк, М. Рихтер // Энергетик. – 2005. – №2. – С. 45.
9. Фаткуллин, Р.М. Об экономической эффективности применения регулируемого привода на питательных насосах ТЭЦ с поперечными связями [Текст] / Р.М. Фаткуллин, О.В. Зайченко, В.Э. Кремер // Энергетик. – 2004. – №4. – С. 9-11.
10. Фардиев И.Ш. О целесообразности и опыте применения гидромуфт на вспомогательном оборудовании ТЭС с поперечными связями [Текст] / И.Ш. Фардиев, А.А. Салихов, Р.М. Фаткуллин // Энергетик. – 2004. – №5. – С. 15-18.

*Вивчається природа появи додаткового зсуву нуля інтегруючого гіроскопа при льотній експлуатації. Зазначено, що вже в першому наближенні можна оцінити ступінь впливу антисиметричної складової проникаючого акустичного випромінювання в умовах гіперзвукового польоту на показання інерціальних сенсорів в поплавковому виконанні*

*Ключові слова: інтегруючий гіроскоп, дрейф нуля, осенесиметрична деформація підвісу, синхронна хитавиця, асинхронна хитавиця*

*Изучается природа появления дополнительного сдвига нуля интегрирующего гироскопа при летной эксплуатации. Показано, что уже в первом приближении можно оценить степень влияния антисимметричной составляющей проникающего акустического излучения в условиях гиперзвукового полета на показания инерциальных сенсоров в поплавковом исполнении*

*Ключевые слова: интегрирующий гироскоп, дрейф нуля, осенесиметричная деформация подвеса, синхронная качка, асинхронная качка*

## 1. Введение

Исследования относятся к области прикладной механики и посвящены изучению воздействия мощной N-волны гиперзвукового полета на упругие конструкции поплавкового подвеса двухстепенного гироскопа. Гиперзвуковые технологии прочно входят в авиацию и ракетостроение.

Вместе с тем, сверхжесткие условия требуют критического пересмотра технических реализаций командно-измерительного комплекса летательных аппаратов.

# ДРЕЙФ НУЛЯ ИНТЕГРИРУЮЩЕГО ГИРОСКОПА ПРИ ОСЕНЕСИММЕТРИЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОДВЕСА

УДК 629.7.054

**В. В. Карачун**

Доктор технических наук, профессор\*

**В. Н. Мельник**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

\*Кафедра биотехники и инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

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

E-mail: karachun11@i.ua

Это в равной степени относится к транспортным ракетам (например «Falcon 9 Heavy»), сверхзвуковым крылатым ракетам на базе ГПВРД, гиперзвуковому оружию, баллистическим ракетам, а также беспилотным летательным аппаратам (БПЛА).

## 2. Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследований

При боевом дежурстве выполнение запроса на огневую поддержку гиперзвуковые аппараты проводят

в соответствии с Полетным заданием, что неизбежно предполагает многократное преодоления звукового барьера и порожденное этой необходимостью формирование мощной N-волны [1, 2]. В частности, беспилотники находятся в воздухе намного дольше, чем любой пилотируемый самолет, и за один только вылет могут поразить больше целей, чем, например, А-10С [3, 4].

Это особенно важно в случае асимметричной волны.

Кроме ударной волны, экстремальным внешним фактором гиперзвуковых технологий следует считать высокую температуру – около 2000°С.

Эти два фактора – ударная звуковая волна и сверхвысокая температура – существенно ухудшают технические характеристики, например, поплавок-выход модификаций инерциальных сенсоров автономного позиционирования ЛА [5-8].

С учетом того, что поправки нашли широкое применение не только как пилотажные, но и как навигационные приборы, глубокий анализ их свойств в условиях гиперзвукового полета требует незамедлительного и углубленного исследования [9, 10].

### 3. Систематический дрейф нуля интегрирующего гироскопа в полетных условиях

Уравнение первого приближения можно записать в виде [3]:

$$\ddot{\beta}_1 + 2h\dot{\beta}_1 = \frac{H}{B}\omega_{1y} - \dot{\omega}_{1z} - \frac{H}{B}(\omega_1^a + \omega_2^a - \omega_3^a) + (\dot{\omega}_{w1}^a - \dot{\omega}_{w2}^a - \dot{\omega}_{\varphi1}^a - \dot{\omega}_{\varphi2}^a). \quad (1)$$

Или так:

$$\ddot{\beta}_1 + 2h\dot{\beta}_1 = \frac{H}{B}\dot{\phi} - \ddot{\psi} - \frac{H}{B}(\omega_1^a + \omega_2^a - \omega_3^a) + (\dot{\omega}_{w1}^a - \dot{\omega}_{w2}^a - \dot{\omega}_{\varphi1}^a - \dot{\omega}_{\varphi2}^a). \quad (2)$$

Последние два слагаемых в правой части отображают природу акустического импеданса поплавок-подвеса и дают возможность оценить величину дополнительного дрейфа нуля подвижной части в акустическом поле.

*Синхронная качка ЛА:*

$$\theta(t) = \rho_\theta \sin(v t + \delta);$$

$$\psi(t) = \rho_\psi \sin(v t + \delta);$$

$$\omega_{1y} = v \rho_\varphi \cos(vt + \delta).$$

Частное решение уравнения (2), определяющее влияние акустического излучения в виде осесимметричной деформации подвеса, имеет вид:

$$\begin{aligned} (\tilde{\beta}_1^a)_{\text{синхр.}} &= \frac{1}{2}v [C_1\rho_\theta + \rho_\varphi(qQ_{21} - Q_{51} - Q_{71}) - \rho_\psi qQ_{31}] \times \\ &\times [(v - \omega_1)^2 + 4h^2(v - \omega_1)^2]^{\frac{1}{2}} \cos[(v - \omega_1)t - \varepsilon_1] + \\ &+ \frac{1}{2}v [C_1\rho_\theta + \rho_\varphi(qQ_{21} - Q_{51} - Q_{71}) - \rho_\psi qQ_{31}] \times \\ &\times [(v + \omega_1)^2 + 4h^2(v + \omega_1)^2]^{\frac{1}{2}} \cos[(v + \omega_1)t + 2\delta - \varepsilon_2], \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{где } C_1 = \frac{H}{B}Q_{11} + Q_{41} - Q_{61}.$$

Второе слагаемое пополняет спектр периодических составляющих выходного сигнала. Первое слагаемое при частотах акустического излучения

$$\omega_1 = v + k\pi, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

формирует постоянные составляющие, которые очерчивают систематический дрейф нуля подвижной части.

*Асинхронная качка ЛА:*

$$\theta(t) = \rho_\theta \sin(v_1 t + \delta_\theta);$$

$$\psi(t) = \rho_\psi \sin(v_2 t + \delta_\psi);$$

$$\omega_{1y} = v_3 \rho_\varphi \cos(v_3 t + \delta_\varphi).$$

Частное решение уравнения (2) имеет вид:

$$\begin{aligned} (\tilde{\beta}_1^a)_{\text{асинхр.}} &= \frac{v_1}{2}\rho_\theta(-qQ_{11} + Q_{41} - Q_{61}) \times \\ &\times [(v_1 - \omega_1)^2 + 4h^2(v_1 - \omega_1)^2]^{\frac{1}{2}} \cos[(v_1 - \omega_1)t + \delta_\theta - \varepsilon_3] + \\ &+ \frac{v_1}{2}\rho_\theta(-qQ_{11} + Q_{41} - Q_{61}) \times \\ &\times [(v_1 + \omega_1)^2 + 4h^2(v_1 + \omega_1)^2]^{\frac{1}{2}} \cos[(v_1 + \omega_1)t + \delta_\theta - \varepsilon_4] - \\ &- \frac{v_2}{2}\rho_\psi qQ_{31} [(v_2 - \omega_1)^2 + 4h^2(v_2 - \omega_1)^2]^{\frac{1}{2}} \times \\ &\times \cos[(v_2 - \omega_1)t + \delta_\psi - \varepsilon_5] - \\ &- \frac{v_2}{2}\rho_\psi qQ_{31} [(v_2 + \omega_1)^2 + 4h^2(v_2 + \omega_1)^2]^{\frac{1}{2}} \times \\ &\times \cos[(v_2 + \omega_1)t + \delta_\psi - \varepsilon_6] + \\ &+ \frac{v_3}{2}\rho_\varphi(qQ_{21} - Q_{51} - Q_{71}) \times \\ &\times [(v_3 - \omega_1)^2 + 4h^2(v_3 - \omega_1)^2]^{\frac{1}{2}} \cos[(v_3 - \omega_1)t + \delta_\varphi - \varepsilon_7] + \\ &+ \frac{v_3}{2}\rho_\varphi(qQ_{21} - Q_{51} - Q_{71}) \times \\ &\times [(v_3 + \omega_1)^2 + 4h^2(v_3 + \omega_1)^2]^{\frac{1}{2}} \cos[(v_3 + \omega_1)t + \delta_\varphi - \varepsilon_8]. \end{aligned} \quad (4)$$

Как видно, не только при синхронной, но и при асинхронной качке фюзеляжа имеют место систематические составляющие.

Они наблюдаются, когда

$$\begin{aligned} \omega_1 &= v_1 + \ell_1 \pi; \\ \omega_1 &= v_2 + \ell_1 \pi; \\ \omega_1 &= v_3 + \ell_1 \pi, \quad \ell_1 = 0, 1, 2, \dots, \end{aligned}$$

т.е. происходит избирательность частот проникающего акустического излучения угловым движением корпуса аппарата вокруг трех осей.

Итак, первое, третье и пятое слагаемые в выражении (4) вносят каждый свою долю в систематический дрейф нуля. Второе, четвертое и шестое – пополняют спектр периодических составляющих.

Систематический дрейф нуля интегрирующего гироскопа будет определяться формулой

$$\langle \dot{\beta} \rangle = \frac{1}{2h} \langle f_1 \rangle,$$

где  $f_1$  - правая часть выражений (3) и (4).

Таким образом, систематический дрейф нуля прибора под действием проникающего акустического излучения будет следующим:

*синхронная качка*

$$\begin{aligned} \langle \dot{\beta}_1^a \rangle_{\text{синхр.}} &= \left\langle \frac{1}{4h} v [C_1 \rho_\theta + \rho_\phi (qQ_{21} - Q_{51} - Q_{71}) - \rho_\psi qQ_{31}] \times \right. \\ &\times \left. \left[ (v - \omega_1)^2 + 4h^2 (v - \omega_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cos \epsilon_1 \right\rangle, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\omega_1 = v + k\pi, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

*асинхронная качка*

$$\begin{aligned} \langle \dot{\beta}_1^a \rangle_{\text{асинхр.}} &= \frac{1}{4h} \langle v_1 \rho_\theta (-qQ_{11} + Q_{41} - Q_{61}) \times \\ &\times \left[ (v_1 - \omega_1)^2 + 4h^2 (v_1 - \omega_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cos(\delta_\theta - \epsilon_3) - \\ &- v_2 \rho_\psi qQ_{31} \left[ (v_2 - \omega_1)^2 + 4h^2 (v_2 - \omega_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cos(\delta_\psi - \epsilon_5) + \\ &+ v_3 \rho_\phi (qQ_{21} - Q_{51} - Q_{71}) \times \\ &\times \left. \left[ (v_3 - \omega_1)^2 + 4h^2 (v_3 - \omega_1)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cos(\delta_\phi - \epsilon_7) \right\rangle. \end{aligned} \quad (6)$$

Символ  $\langle \rangle$  означает осреднение по времени, т.е.

$$\langle f_1 \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt.$$

#### 4. Выводы

Таким образом, учет в уравнениях движения поплавкового подвеса Эйлеровых сил инерции при импедансом состоянии поверхности дает возможность установить условия появления систематического дрейфа выходного сигнала при синхронной и асинхронной качке фюзеляжа в режиме гиперзвукового полета.

#### Литература

1. Ягодкин, В.В. Гироскопические приборы баллистических ракет [Текст]: моногр. / В.В. Ягодкин, Г.А. Хлебников. – М.: Воениздат, 1967. - 216с. – Библиогр.: с.212-213.
2. Феодосьев, В.И. Введение в ракетную технику [Текст]: уч. пособ. / В.И. Феодосьев, Г.Б. Синярев. - М.: Оборониз, 1969. – 506 с. Библиогр.: с. 501.
3. 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. - Т.48(4) p. 458-464.
4. Mel'nick, V.N. Compensation of influence of day's movement of the Earth [Текст]: V.N. Mel'nick, V.V. Karachun // Materialy VII Mezinarodni vedecko-prakticka conference «Věda a VZNIK – 2010/2011» Praha: - 2011. Str. 9-12.
5. Сломянский, Г.А. Поплавковые гироскопы и их применение [Текст]: моногр./ Г. А. Сломянский, Ю.М. Прядилов. – М.: Оборониз, 1958. – 244с. Библиогр.: 241-242.
6. Фертрегт, М. Основы космонавтики [Текст]: моногр./ пер. с англ.. – М.: Просвещение, 1969. – 301 с.
7. Karachun, V.V. The results of experimental research of gyroin float performance [Текст] / V.V. Karachun, V.N. Mel'nick // Materialy VII Miedzinarodowej Naukovi-Praktycznej Konferencji «Aktualne problemy Nowoczesnych Nauk-2011» Praha: - 2011.- 27 Str. 24-28.
8. Mel'nick, V.N. The loss of sound waves [Текст]: моногр. / V.N. Mel'nick, M.S. Trivailo, V.V. Karachun; Nat. Techn. Univ. Ukraine «КПІ». К.: «Корнійчук». – 2010. -120р.: fig., tabb, - Ref. : p. 103-104.
9. Mel'nick, V.N. Working features of navigation devices [Текст] / V.N. Mel'nick, V.V. Karachun, O.I. Levchenko // Materialy Mezinarodni Vedecko-Prakticka Konferencie «Efektivni Nastroje Modernich Věd-2010» Praha: Publishing House «Tducatic and Sciens». – 2010. – Str. 16-20.
10. 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. –Т40(3). – h. 328-336.